

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química



UTN

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA**

**OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR
DE MELAZA**

**Morano, Ana Clara
Tavella Ambrogio, Julieta Magalí**

**Villa María
2020**

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Firma de las alumnas

MORANO, Ana Clara

Firma:.....

D.N.I 38.158.462

TAVELLA AMBROGIO, Julieta Magalí

Firma:.....

D.N.I 38.019.128

Aceptado por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María el día.....del mes dedel año 2020.

Aprobada por su contenido y estilo.

Presidente del Tribunal:

Primer Miembro Vocal:

Segundo Miembro Vocal:

Nota final de aprobación:

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

AGRADECIMIENTOS

Nuestro principal agradecimiento está dirigido a nuestros padres, quienes nos apoyaron y brindaron las herramientas para lograr nuestro objetivo.

También queremos agradecer a los familiares que nos acompañaron a lo largo de este proceso.

A nuestros compañeros de la universidad, con quienes compartimos muchas experiencias a lo largo de estos años, por su ayuda y amistad.

Por último, agradecemos a los profesores Ing. Rubén Baccifava, quien fue nuestro guía y supervisor en el transcurso de este proyecto; Ing. Luis Toselli, por su ayuda incondicional en la etapa de diseño de equipos y al Ing. José Reynoso, quien nos aportó valiosa información sobre el tema que elegimos desarrollar.

A nuestra querida y prestigiosa facultad que nos brindó no solo la posibilidad de estudiar, sino también, de conocer oportunidades académicas y laborales, preparándonos como excelentes profesionales.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

ÍNDICE

CAPÍTULO I: OBJETIVOS Y GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Objetivos generales.....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 Generalidades del proyecto.....	13

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

2.1 Introducción.....	16
2.2 Materia prima.....	16
2.2.1 Melaza.....	16
2.2.2 Bacteria <i>Corynebacterium Glutamicum</i> – ATCC 13032.....	18
2.3 Insumos.....	19
2.3.1 Hidróxido de amonio.....	19
2.3.2 Treonina.....	19
2.3.3 Fosfato de potasio.....	20
2.3.4 Ácido clorhídrico.....	20
2.3.5 Oxígeno.....	20
2.4 Producto L-lisina.....	21
2.4.1 Definición.....	21
2.4.2 Estructura química.....	21
2.4.3 Biosíntesis.....	22
2.4.4 Propiedades.....	22
2.4.5 Importancia de la lisina.....	23

CAPÍTULO III: ESTUDIO DE MERCADO

3.1 Introducción.....	25
3.2 Mercado del producto.....	25
3.2.1 Mercado mundial de aminoácidos.....	25
3.2.2 Dinámica y perspectivas del mercado.....	26
3.2.3 Principales productores mundiales.....	27
3.2.4 Mercado mundial de lisina.....	27
3.3 Producción nacional de lisina.....	30
3.3.1 Importaciones.....	30

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

3.3.2 Exportaciones.....	31
3.4 Demanda insatisfecha.....	32
3.4.1 Proyección de la demanda nacional de L-lisina.....	34
3.5 Mercado de la materia prima.....	35
3.5.1 Melaza.....	35
3.6 Mercados previstos.....	40
3.7 Análisis FODA.....	41
CAPÍTULO IV: LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE LA PLANTA	
4.1 Introducción.....	44
4.2 Macrolocalización.....	44
4.3 Microlocalización.....	47
4.4 Método de ponderaciones.....	47
4.5 Ubicación definitiva de la planta.....	49
CAPÍTULO V: SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	
5.1 Introducción.....	52
5.2 Métodos de obtención.....	52
5.3 Selección del proceso.....	61
5.4 Descripción del proceso.....	62
5.4.1 <i>Corynebacterium Glutamicum</i> – ATCC 13032.....	62
5.4.2 Medio de cultivo.....	64
5.4.3 Preparación del inóculo.....	65
5.4.4 Prefermentación.....	65
5.4.5 Régimen de trabajo.....	65
5.4.6 Diseño y tipo de reactor.....	67
5.4.7 Concentración y purificación.....	69
5.4.8 Envasado.....	70
5.5 Diagrama de flujo.....	70
CAPÍTULO VI: CAPACIDAD DE LA PLANTA	
6.1 Introducción.....	72
6.2 Proyección de producción óptima.....	72
6.3 Estimación de la materia prima disponible.....	73

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

6.4 Conclusión.....	73
CAPÍTULO VII: BALANCES DE MASA Y ENERGÍA	
7.1 Introducción.....	75
7.2 Balance de masa.....	76
7.2.1 Balance general.....	76
7.2.2 Mezclado.....	78
7.2.3 Esterilización.....	79
7.2.4 Fermentación.....	80
7.2.4.1 Prefermentación.....	81
7.2.4.2 Fermentación.....	83
7.2.5 Tanque pulmón.....	84
7.2.6 Centrifugación.....	84
7.2.7 Adsorción.....	86
7.2.8 Evaporación.....	87
7.2.9 Enfriamiento.....	88
7.2.10 Cristalización.....	88
7.2.11 Centrifugación.....	89
7.2.12 Secado.....	90
7.3 Balance de energía.....	92
7.3.1 Esterilización.....	92
7.3.2 Prefermentación y fermentación.....	94
7.3.2.1 Balance global para el fermentador.....	94
7.3.2.2 Balance global para el prefermentador.....	96
7.3.3 Evaporación.....	97
7.3.4 Enfriamiento.....	98
7.3.5 Cristalización.....	98
7.3.6 Secado.....	99
CAPÍTULO VIII: DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS	
8.1 Introducción.....	101
8.2 Sección de pretratamiento.....	101
8.2.1 Tanque mezclador MD-01.....	101

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.2.2 Tanque mezclador MD-02.....	103
8.2.3 Filtro FIL-01.....	105
8.2.4 Tanque mezclador MD-03.....	106
8.2.5 Sistema de esterilización para el medio de cultivo.....	107
8.3 Sección de fermentación.....	112
8.3.1 Sistema de fermentación.....	112
8.4 Sección de extracción y purificación.....	133
8.4.1 Tanque pulmón T-02.....	133
8.4.2 Centrifugación S-01.....	134
8.4.3 Adsorción C-01.....	136
8.4.4 Evaporación E-01.....	138
8.4.5 Enfriamiento I-04.....	140
8.4.6 Cristalización CR-01.....	141
8.4.7 Centrifugación S-02.....	150
8.4.8 Secado por aspersion D-01.....	151
8.5 Equipos adicionales.....	153
8.6 Cálculo y adopción de bombas.....	158
8.6.1 Bombas para la sección de pretratamiento.....	161
8.6.2 Bombas para la sección de fermentación.....	164
8.6.3 Bombas para la sección de extracción y purificación.....	166
CAPÍTULO IX: SERVICIOS AUXILIARES	
9.1 Introducción.....	174
9.2 Servicio de agua.....	174
9.2.1 Agua requerida en las diferentes etapas.....	174
9.2.2 Sistema de limpieza CIP.....	175
9.2.3 Tanque de almacenamiento de agua.....	179
9.2.4 Diagrama de abastecimiento de agua.....	180
9.3 Vapor de agua.....	180
9.3.1 Adopción de la caldera.....	181
9.3.2 Diagrama de abastecimiento de vapor.....	183
9.4 Gas natural.....	183

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

9.4.1 Consumo de gas.....	184
9.5 Equipos de enfriamiento.....	184
9.5.1 Diagrama de enfriamiento.....	186
9.6 Refrigeración con amoníaco.....	187
9.6.1 Diagrama de refrigeración.....	189
9.7 Sistema de vacío.....	190
9.8 Cálculo y adopción de bombas.....	191
9.8.1 Bombas de tratamiento de efluentes.....	191
9.8.2 Bombas de limpieza CIP.....	194
9.8.3 Bomba de agua de enfriamiento.....	197
9.8.4 Bomba del sistema de refrigeración con amoníaco.....	198
9.8.5 Bomba de abastecimiento de agua.....	200
9.9 Servicio de electricidad.....	201
9.9.1 Elementos de la instalación eléctrica.....	201
9.9.2 Consumo de energía eléctrica de los equipos.....	202
9.10 Sistema de iluminación.....	203
9.10.1 Secuencia para la determinación de la luminaria pertinente.....	204
CAPÍTULO X: CONTROL DE CALIDAD	
10.1 Introducción.....	211
10.2 Buenas Prácticas de Manufactura.....	211
10.3 Personal.....	212
10.4 Instalaciones.....	212
10.5 Materiales.....	214
10.6 Agua.....	214
10.7 Inspección y ensayos.....	214
10.8 Auditorías.....	215
10.9 Material y productos no conformes.....	215
10.10 Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES).....	216
10.11 Plan de control de calidad.....	216
10.11.1 Plan de calidad para materias primas e insumos.....	217
10.11.2 Plan de calidad para el control del proceso.....	219

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

10.11.2.1 Controles en el fermentador.....	219
10.12 Registros.....	225
CAPÍTULO XI: TRATAMIENTO DE EFLUENTES	
11.1 Introducción.....	229
11.2 Tipos de tratamientos de efluentes.....	229
11.2.1 Tratamientos físicos.....	230
11.2.2 Tratamientos químicos.....	231
11.2.3 Tratamientos biológicos.....	231
11.3 Normativa sobre el vertido de efluentes.....	232
11.4 Caracterización de los efluentes de la planta.....	234
11.5 Selección del método de tratamiento de efluentes.....	234
11.5.1 Neutralización química.....	235
11.5.2 Tratamiento biológico.....	236
CAPÍTULO XII: OBRAS CIVILES	
12.1 Introducción.....	238
12.2 Disposiciones generales.....	238
12.2.1 Galpón general.....	241
12.2.2 Área de servicios auxiliares.....	242
12.2.3 Comedor, baños y vestidores.....	242
12.2.4 Depósito de insumos, materias primas y producto terminado.....	244
12.2.5 Laboratorio.....	244
12.2.6 Puesto de seguridad y estacionamiento.....	245
12.2.7 Oficinas administrativas y directivas.....	246
12.2.8 Sala de caldera.....	247
12.2.9 Sector de pretratamiento, concentración, purificación y envasado del producto.....	248
12.2.10 Sector de prefermentación y fermentación.....	248
12.2.11 Tratamiento de efluentes.....	249
12.2.12 Taller de mantenimiento.....	249
CAPÍTULO XIII: ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL	
13.1 Introducción.....	251

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

13.2 Tipo de empresa.....	251
13.3 Organización de la empresa.....	252
13.3.1 Organización interna.....	252
13.4 Descripción de los puestos de trabajo.....	254
13.4.1 Gerente general.....	254
13.4.2 Departamento de producción.....	254
13.4.2.1 Jefe de producción.....	254
13.4.2.2 Supervisores.....	255
13.4.2.3 Operarios de planta.....	255
13.4.3 Departamento de mantenimiento.....	255
13.4.3.1 Jefe de mantenimiento.....	255
13.4.3.2 Operarios de mantenimiento.....	255
13.4.4 Departamento de calidad.....	256
13.4.4.1 Jefe de calidad.....	256
13.4.4.2 Encargado de laboratorio.....	256
13.4.4.3 Analista de laboratorio.....	256
13.4.5 Departamento de administración.....	256
13.4.5.1 Jefe administrativo.....	257
13.4.5.2 Administrativos.....	257
13.4.5.3 Responsable de Recursos Humanos.....	257
13.4.6 Departamento comercial.....	257
13.4.6.1 Jefe de marketing, ventas y logística.....	257
13.4.7 Responsable de Higiene y Seguridad.....	258
13.5 Organización de la producción y turnos de trabajo.....	258
13.6 Requisitos de formación y cantidad de personas.....	258
CAPÍTULO XIV: AUTOMATIZACIÓN	
14.1 Introducción.....	261
14.2 Control automático.....	261
14.2.1 Control automático de la sección de fermentación.....	261
14.3 P&ID.....	262
14.4 Hojas de especificaciones de los instrumentos.....	264

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

CAPÍTULO XV: ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

15.1 Introducción.....	272
15.2 Inversión.....	272
15.2.1 Activos fijos.....	273
15.2.1.1 Obras civiles.....	274
15.2.1.2 Equipos industriales, auxiliares y accesorios.....	275
15.2.1.3 Mobiliario y elementos de oficina.....	277
15.2.1.4 Resumen de activos fijos.....	278
15.2.2 Activos nominales.....	279
15.2.3 Capital de trabajo.....	280
15.2.4 Inversión total del proyecto.....	281
15.3 Costos totales de producción.....	282
15.3.1 Costos directos de producción.....	282
15.3.1.1 Materia prima.....	282
15.3.1.2 Insumos.....	283
15.3.1.3 Servicios auxiliares.....	283
15.3.1.4 Mano de obra directa.....	284
15.3.1.5 Resumen de costos directos de producción.....	285
15.3.2 Costos indirectos de producción.....	285
15.3.2.1 Mano de obra indirecta.....	286
15.3.2.2 Mantenimiento y limpieza de la planta.....	286
15.3.2.3 Resumen de costos indirectos de producción.....	287
15.3.3 Costos fijos indirectos.....	287
15.3.3.1 Amortizaciones y depreciaciones.....	287
15.3.3.2 Seguro e impuestos.....	288
15.3.3.3 Resumen de costos indirectos.....	289
15.3.4 Costos generales.....	289
15.4 Costos de producción unitario.....	290
15.5 Ingreso por ventas.....	291
15.6 Financiación del proyecto.....	292
15.7 Evaluación económica.....	293

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

15.7.1 Estado de los resultados.....	293
15.7.2 Indicadores.....	295
15.7.2.1 Valor Neto Actual VAN.....	295
15.7.2.2 Tasa Interna de Retorno TIR.....	296
15.7.2.3 Relación beneficio/costo.....	296
15.7.3 Período de recuperación de la inversión realizada.....	297
15.7.4 Análisis de sensibilidad.....	297
15.7.4.1 Variación de la TIR con el precio de venta de L-lisina HCl.....	297
15.7.4.2 Variación de la TIR con el costo de materia prima.....	298
15.7.4.3 Variación de la TIR con respecto a la mano de obra.....	298
15.8 Conclusiones del estudio económico financiero.....	299
CONCLUSIONES.....	301
BIBLIOGRAFÍA.....	303
ANEXO I: TÉCNICAS PARA ANÁLISIS Y CONTROL DE CALIDAD.....	307
ANEXO II: PLANOS.....	320

CAPÍTULO I: OBJETIVOS Y GENERALIDADES DEL PROYECTO

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

1.1 Objetivos generales

- Determinar la viabilidad técnico-económica de un proyecto de inversión para la realización de una planta de obtención de L-lisina HCL empleando como materia prima melaza, subproducto de la industria azucarera.
- Integrar los conocimientos y habilidades profesionales del ingeniero químico adquiridos durante la carrera para poder llevar a cabo las tareas involucradas en el proyecto.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar las características del mercado nacional e internacional de L-lisina HCL, analizando la materia prima de partida, consumo y evolución de su producción dado los valores actuales e históricos de los mismos.
- Establecer la capacidad de producción óptima teniendo en cuenta la demanda y las limitaciones de producción.
- Analizar los diferentes procesos de producción de L-lisina HCL a fin de seleccionar el método más conveniente.
- Utilizar ingeniería básica y de detalle para efectuar los balances de masa y energía del proceso, como así también el diseño de los equipos involucrados en éste, incluyendo los servicios auxiliares.
- Diseñar un sistema de gestión de la calidad que garantice la seguridad de los procesos y la calidad de los productos.
- Realizar un estudio económico-financiero para evaluar la viabilidad económica de una planta elaboradora de L-lisina HCL.

1.3 Generalidades del proyecto

En el presente proyecto se analiza la factibilidad técnico-económica de instalar una planta de elaboración de L-lisina HCL a partir de melaza, utilizando el método de producción que se considere más adecuado, con el fin de obtener un producto competitivo en cuanto a precio y calidad. El interés en este producto en particular surge gracias a que se conoce que, por un lado, sus aplicaciones son diversas y por otro, que existe una gran cantidad de melaza que no es aprovechada industrialmente; esto genera la posibilidad de sintetizar el producto a nivel nacional, sustituyendo las importaciones.

Se analiza la situación del mercado nacional e internacional en forma global, obteniendo a partir de los datos actuales, estimaciones de las tendencias futuras de producción, consumo y precios tanto de la materia prima como del producto, lo que posibilita la toma de decisiones más adecuadas acerca de la manera de llevar a cabo el proyecto en cuanto a la ubicación de la planta, los mercados proveedores y consumidores, e incluso, la cantidad de producto a elaborar.

Posteriormente se describen todos los procesos de producción de L-lisina HCL conocidos y se los evalúa teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas, para seleccionar el más conveniente. En base a este último, se realiza, mediante las ingenierías básica y de detalle, el diseño de la planta de producción, para lo cual se desarrolla un análisis técnico que avale la posibilidad de llevar a cabo el proyecto

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

desde este enfoque. Por último, se realiza un estudio económico-financiero que, luego de cuantificar con relativa exactitud el monto de inversión requerido, permitirá evaluar la viabilidad económica del proyecto propuesto.

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

2.1 Introducción

En este capítulo se describe la materia prima y los insumos necesarios para llevar a cabo un proceso de fermentación, como así también detallar el producto principal de nuestro interés, L-lisina HCl.

Al realizar cualquier tipo de fermentación se pretende que las materias primas tengan mínimo o nulo valor comercial. En este caso se emplea un subproducto de la industria azucarera, melaza.

El valor biológico o nutritivo de una proteína está determinado, en gran medida, por el contenido y la proporción que presente de los llamados aminoácidos esenciales. La L-lisina (ácido 2,6-diaminoexanóico) es uno de los aminoácidos esenciales más importantes que existen para la nutrición humana y animal. Pertenece al grupo de los ácidos alifáticos diaminomono-carboxilo. Es de color blanco o amarillento, según el grado de pureza obtenido durante el proceso de obtención, presenta un olor característico, es insoluble en alcohol y éter, y soluble en agua. (AJINOMOTO, 2010).

Entre los usos que presenta este producto se pueden mencionar el enriquecimiento de cereales para la nutrición humana, como materia prima para la industria farmacéutica y en la formulación de alimento para el ganado no rumiante. Tiene como función biológica fundamental la participación en la creación y construcción de las células presentes en los tejidos, lo cual es muy importante para aquellos organismos en crecimiento.

2.2 Materia prima

Entre los materiales de partida para la fermentación se encuentran los microorganismos a determinar, que serán los encargados de realizar la síntesis de L-lisina; empleando la melaza como fuente de carbono.

2.2.1 Melaza

2.2.1.1 Definición

La denominación melaza o miel final se aplica al efluente final obtenido en la preparación del azúcar mediante una cristalización repetida. Es un jarabe o líquido denso y viscoso que se destaca por su color oscuro y por ofrecer gran cantidad de minerales y vitaminas. (SWAM y KARALAZOS, 1990)

Las mieles finales tienen un alto valor energético. El contenido de azúcares totales está entre el 50 y 58%, y la energía metabolizable oscila en alrededor de 2200 kcal/kg. (CORDOVES HERRERA, 2011)

2.2.1.2 Composición química

Tabla 2.1. Composición química de la melaza. Fuente: Castillo – Forero, 2007.

Componentes	Constituyentes	Contenido (p/p)
Componentes mayores	Materia seca	78%
	Proteínas	3%
	Sacarosa	60 – 63%
	Azúcares reductores	3 – 5%

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

	Sustancias disueltas (diferentes azúcares)	4 – 8%
	Agua	16%
	Grasas	0.4%
	Cenizas	9%
Contenido de minerales	Calcio	0.74%
	Magnesio	0.35%
	Fósforo	0.08%
	Potasio	3.67%
Contenido de aminoácidos	Glicina	0.10%
	Leucina	0.01%
	Treonina	0.06%
	Lisina	0.01%
	Valina	0.02%
Contenido de vitaminas	Colina	600 ppm
	Niacina	48.86 ppm
	Ácido pantoténico	42.9 ppm
	Piridoxina	44 ppm
	Riboflavina	4.4 ppm
	Tiamina	0.88 ppm

2.2.1.3 Principales usos

La melaza es utilizada para distintos fines. Algunos de ellos, según CORDOVES HERRERA (2011), son:

- Alimentación animal

El uso de las mieles en la alimentación de rumiantes está bastante extendido a nivel mundial. La miel con urea garantiza la utilización del nitrógeno, su aplicación es simple y no requiere de grandes inversiones. En las dietas con mieles generalmente se incluye forraje y/o proteína verdadera.

- Producción de alcohol etílico

Todos los países productores de azúcar de caña, poseen en mayor o menor grado destilerías para la producción de alcohol a partir de mieles, y la posterior producción de bebidas. El etanol tiene uso farmacéutico, industrial y cada día más como combustible automotor en mezclas con gasolina o solo, en vehículos especialmente diseñados a tal fin.

- Producción de proteína unicelular

Las levaduras son microorganismos unicelulares utilizados con fines industriales y comerciales. Se usan como aditivos en la alimentación humana y para forrajes, por el alto contenido de proteínas, buen balance de aminoácidos y elevada riqueza en vitaminas del complejo B en el caso de la levadura cervecera. De todas las especies, la *Saccharomyces cerevisiae* es la que se emplea en la industria panadera, alcoholera y cervecera. La levadura *torula* de mieles se utiliza como fuente proteica en todas las especies animales, y cada vez es más amplio el uso de la levadura como suplemento proteico.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Lisina

Es un aminoácido que no puede ser sintetizado por los organismos animales, por lo que debe ser incorporado a partir de fuentes externas mediante la alimentación. La única forma asimilable es la L-lisina la cual es biológicamente activa y su obtención se logra por vía fermentativa.

- Ácido cítrico

Este producto químico se obtiene a partir de las mieles mediante fermentación superficial y sumergida, siendo este último proceso el más aceptado en los últimos años. Se utiliza en la industria alimentaria, con fines farmacéuticos e industrial.

- Glutamato monosódico

Se obtiene a partir de las mieles y es uno de los productos químicos de amplio uso en la industria alimentaria para acentuar el sabor o como saborizante corriente.

2.2.2 Bacteria: *Corynebacterium Glutamicum* – ATCC 13032

Es una bacteria Gram positiva del género *Corynebacterium*, asporógena (no produce esporas) y pleomórfica (que puede presentarse con diversas formas y tamaños). Su tamaño oscila entre 2 - 6µm de longitud y 0.5 µm de diámetro. En función de los requerimientos de oxígeno, pueden dividirse en bacterias aerobias o anaerobias facultativas, grupo en el que se incluyen los géneros *Brevibacterium* y *Corynebacterium* respectivamente; y bacterias anaerobias o aerotolerantes, como es el caso de los géneros *Eubacterium* y *Propionibacterium*. (ROSETO BERNAL, 2017)

Las corynebacterias están ampliamente distribuidas en la naturaleza encontrándose en el suelo, en el agua y también en la mucosa y piel del hombre y animales. Algunas especies pertenecientes a este grupo son conocidas por sus efectos patógenos en humanos y otros animales, así como por su patogenicidad en plantas. Un grupo de corynebacterias no patógenas presenta la capacidad de excretar ácido glutámico en grandes cantidades, por lo que al grupo se lo denominó bacterias del ácido glutámico. Las especies no patógenas son utilizadas en procesos industriales de gran relevancia, como la producción de aminoácidos, producción de nucleótidos y otros factores nutricionales, bioconversión de esteroides, degradación de hidrocarburos, maduración de quesos, producción de enzimas y otros procesos con interés desde el punto de vista aplicado.

Corynebacterium Glutamicum es un microorganismo industrial utilizado tradicionalmente para la producción de aminoácidos. Fue descubierto por primera vez como productor de glutamato en Japón en 1957. Ahora se utiliza para la producción de aminoácidos, tales como lisina, treonina e isoleucina, así como vitaminas y pantotenato. Es un bacilo que aparece de forma individual, en parejas o formando masas irregulares; la morfología de las colonias cuando crecen sobre agar es de aspecto suave, circular y de color amarillento, como se muestra en la Figura 2.1. Siendo el rango de temperatura óptima de crecimiento entre 25 y 37°C. Con respecto a los requerimientos nutricionales, todos ellos necesitan biotina para su crecimiento y algunas cepas requieren además tiamina y ácido p-aminobenzoico. (ROSETO BERNAL, 2017)

Particularmente, la cepa ATCC 13032 permite la absorción e intercambio de lisina.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química



Figura 2.1. Morfología de *Corynebacterium Glutamicum*

2.3 Insumos

2.3.1 Hidróxido de amonio

Es conocido como agua de amoníaco o amoníaco líquido, es una solución de amoníaco en agua. Se utiliza como componente del medio de cultivo para el desarrollo de la bacteria *Corynebacterium Glutamicum*, como fuente de nitrógeno y como reguladora de pH.

Fórmula: NH_4OH

Densidad: 880 kg/m^3

Masa molar: 35.04 g/mol

Punto de ebullición: $24.7 \text{ }^\circ\text{C}$

Punto de fusión: -91.5°C

Número CAS: 1336-21-6

2.3.2 Treonina

Es uno de los veinte aminoácidos que componen las proteínas; su cadena lateral es hidrófila.

Se obtiene casi preferentemente mediante un proceso de fermentación por parte de los microorganismos (por ejemplo levaduras modificadas genéticamente), aunque también puede obtenerse por aislamiento a partir de hidrolizados de proteínas para su uso farmacéutico.

Fórmula: $\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}_3$

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Masa molar: 119.1192 g/mol

Número CAS: 72-19-5

2.3.3 Fosfato de potasio

Es una sal soluble de potasio y el ion fosfato de dihidrógeno que se utiliza como fertilizante, aditivo alimentario y fungicida. También es un agente tampón. Se utiliza como componente del medio de cultivo para el crecimiento de la bacteria *Corynebacterium Glutamicum*.

Fórmula: KH_2PO_4

Densidad: 2.34 g/cm³

Masa molar: 136.086 g/mol

Punto de ebullición: 400°C

Punto de fusión: 252.6°C

Número CAS: 7778-77-0

2.3.4 Ácido clorhídrico

Es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno. Es muy corrosivo y ácido. Se emplea comúnmente como reactivo químico y se trata de un ácido fuerte que se disocia completamente en disolución acuosa. Se utiliza para mejorar la cristalización de la L-lisina y así obtenerla en su forma de L-lisina HCl.

Fórmula: HCl

Masa molar: 36.46 g/mol

Punto de ebullición: 48°C

Punto de fusión: -26°C

Número CAS: 7647-01-0

2.3.5 Oxígeno

El oxígeno es el elemento más abundante de la corteza terrestre, constituyendo aproximadamente el 50 % del peso de la misma. En estado libre se encuentra en la atmósfera en disolución, fundamentalmente con nitrógeno, y constituyendo un 23% en peso o 21% en volumen. Su presencia en la atmósfera juega un papel decisivo en el sostenimiento de la vida (participa en el metabolismo y en la respiración de los organismos vivos).

Fórmula: O_2

Densidad: 1.429 kg/m³

Masa molar: 15.99 g/mol

Punto de ebullición: -183°C

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Punto de fusión: -223°C

Número CAS: 7782-44-7

2.4 Producto L- Lisina

2.4.1 Definición

Es un aminoácido esencial y necesario para la síntesis de proteínas, así como para el metabolismo de los carbohidratos y los ácidos grasos. Puede mejorar la producción de energía y la utilización del calcio. Además, retrasa la replicación y mejora la curación de las lesiones causadas por el herpes simplex. La evidencia sugiere que la complementación con lisina puede mejorar los síntomas de la angina de pecho en algunos individuos.

La lisina, uno de los veinte aminoácidos que componen las proteínas vegetales y animales, presenta una especificidad: al contrario de los vegetales, los animales no tienen la capacidad de sintetizarla. Debido a ello, la lisina es considerada un aminoácido estrictamente esencial. Consecuentemente, todos los animales necesitan la presencia de lisina en la alimentación, sea ella suministrada a través de materias primas como el maíz y la soja o en forma pura, producida a través de la fermentación.

2.4.2 Estructura química

Actúa químicamente como una base, al igual que la arginina y la histidina, ya que su cadena lateral contiene un grupo amino protonable y a menudo participa en la formación de puentes de hidrógeno o en enlaces de tipo iónico en las cadenas de proteína, estabilizando las estructuras terciaria y cuaternaria. Dado que su grado de ionización depende del pH, estos enlaces son sensibles a cambios en él.

Este grupo amino, además de proveer de carga positiva a las proteínas cuando está protonado, es acetilable por enzimas específicas, conocidas como acetiltransferasas.

El colágeno contiene hidroxilisina, que se deriva de la lisina a través de la lisil hidroxilasa. La O-glicosilación de los residuos de lisina en el retículo endoplasmático o en el aparato de Golgi se utiliza para marcar ciertas proteínas para la secreción de la célula. En la figura 2.1. se muestra la estructura química de la lisina.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

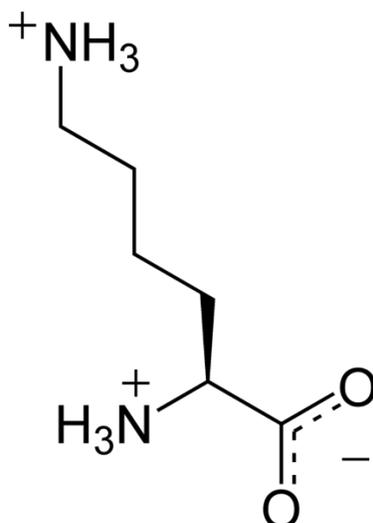


Figura 2.1. Estructura química de la Lisina.

2.4.3 Biosíntesis

Como aminoácido esencial, la lisina no se sintetiza en el organismo de los animales y, por consiguiente, estos deben ingerirlo como lisina o como proteínas que contengan lisina. Existen dos rutas conocidas para la biosíntesis de este aminoácido:

- La primera se lleva a cabo en bacterias y plantas superiores, a través del ácido diaminopimélico.
- La segunda en la mayor parte de hongos superiores, mediante el ácido α -aminoadípico.

La lisina se sintetiza en las plantas y microorganismos a partir del aminoácido aspartato, el cual pasa por una serie de cambios. Así mismo, es de destacar que una gran cantidad de enzimas participan en esta biosíntesis. Entre algunas de ellas están la aspartoquinasa, diaminopimelato epimerasa, entre otras. (RABASSA OLAZÁBAL, 2015)

2.4.4 Propiedades

Según ARAGÓN (2008) las propiedades de este aminoácido son:

- Participa en la construcción de proteína en el tejido muscular y ayuda a la recuperación de tejidos blandos, tendones, entre otros.
- Colabora en el crecimiento de niños y jóvenes ya que puede incrementar, junto al aminoácido arginina, la producción de la hormona de crecimiento.
- Debe ser tenida en cuenta en casos de osteoporosis, ya que ayuda (junto con la vitamina C) a producir colágeno.
- Es un factor importante en la fijación de hierro, a nivel de ferritina sérica.
- Ayuda a sintetizar, junto con la metionina, el aminoácido carnitina; ambos disminuyen los niveles de colesterol en sangre.
- Reduce la adherencia de lipoproteínas asociadas con el riesgo de enfermedades cardíacas, con lo cual es preventivo y también útil en el tratamiento de la aterosclerosis.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Participa en la producción de anticuerpos.

2.4.5 Importancia de la lisina

El consumo de alimentos ricos en lisina es fundamental para el correcto funcionamiento del organismo. Si el cuerpo tiene deficiencia de este aminoácido esencial, es posible que se presenten los siguientes síntomas: mareos, náuseas o vómitos, cansancio o fatiga, falta de concentración, defensas bajas o un sistema inmunológico deficiente, reducción del crecimiento e infertilidad. (ARAGÓN, 2008)

Si bien la deficiencia de este aminoácido no es muy frecuente, puede presentarse en personas que consuman pocas cantidades (o nada) de carne, como, por ejemplo, los veganos. Es allí donde surge la necesidad de ingerir suplementos de lisina, ya sea en jarabe, capsulas, comprimidos, etc.

Fórmula: $C_6H_{14}N_2O_2$

Masa molar: 146.19 g/mol

Punto de fusión: 224 °C

Símbolo químico: Lys, K

Número CAS: 70-54-2 (isómero L)

CAPÍTULO III: ESTUDIO DE MERCADO

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

3.1 Introducción

En el presente estudio de mercado debe determinarse y cuantificarse la oferta y demanda de L-lisina, como así también de la melaza, principal materia prima que se utiliza para elaborarla. En esta etapa también es importante analizar los precios de ambos elementos (estimar el precio de venta futuro), analizar si existe demanda insatisfecha de L-lisina en nuestro país y cómo variará la misma en los próximos años (es decir, su crecimiento o disminución).

Un análisis de estas características es la primera barrera que todo proyecto debe superar para poder llevarse a cabo, dado que establece (con un mínimo nivel de incertidumbre posible) los riesgos a correr (si bien cueste cuantificarlos) y la posibilidad de éxito con la concreción del mismo. El objetivo ulterior en este caso es la determinación de la capacidad real de penetración en el mercado nacional de L-lisina HCl en caso de lograr identificarse un mercado insatisfecho (lo que facilitaría el objetivo).

Con este fin, el capítulo se divide en dos partes: en la primera se estudia el mercado del producto (a nivel nacional e internacional) y se determina la demanda del mismo; en la segunda parte se analiza la materia prima principal que se utiliza a nivel mundial para elaborar este aminoácido. Por último, se realiza un estudio FODA como método para resumir las fortalezas y debilidades del proyecto, y se adjuntan las conclusiones del capítulo.

3.2 Mercado del producto

3.2.1 Mercado mundial de aminoácidos

Los aminoácidos tienen una amplia gama de aplicaciones industriales, como se indica en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Aplicaciones de los aminoácidos

Aminoácidos	Aplicación
Glicina	Edulcorante, nutrición humana, agente terapéutico (distrofia muscular) y en cosméticos.
Alanina, prolina y serina	Edulcorante, nutrición humana y cosméticos.
Valina, leucina, isoleucina y fenilalanina	Saborizante amargo y nutrición humana.
Metionina	Nutrición humana y animal, usos terapéuticos en hepatitis, intoxicaciones y como agente lipotrópico.
Triptófano	Nutrición humana y animal, saborizante amargo.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Argilina	Saborizante amargo, nutrición, agente terapéutico en hiperamonemia y en desordenes hepáticos.
Histidina	Nutrición humana, agente en úlceras duodenales y gástricas, indispensable en la regeneración de hemoglobina.
Lisina	Nutrición humana y animal.
Ácido aspártico y glutámico	Nutrición humana, agente terapéutico, saborizante ácido, cosméticos.
Aspartato y glutamato de sodio	Acentuadores del sabor.
Cistina y cisteína	Nutrición humana, agente terapéutico, cosméticos.
Ácido aspártico y fenilalanina	Edulcorante (aspartamo).

Tradicionalmente han sido usados en la industria de los alimentos como potenciadores del sabor y en la alimentación animal y humana como aditivos. En años recientes se ha incrementado el uso de aminoácidos de grado farmacéutico en sueros y soluciones intravenosas.

Aproximadamente el 60% de los aminoácidos producidos se destinan a la industria de los alimentos, en la cual se usan individualmente o en combinación para acentuar el sabor.

En alimentación animal los aminoácidos juegan un papel complementario de gran importancia. Debido a que las proteínas vegetales a menudo son deficientes en algunos aminoácidos esenciales tales como L-lisina, L-metionina, L-treonina o L-triptófano, es necesario añadir aminoácidos para mejorar su calidad nutritiva. La L-lisina y la L-metionina se usan comúnmente en la formulación de alimentos balanceados para cerdos y aves. Los aminoácidos destinados al consumo animal representan un poco más del 30%.

Los aminoácidos están teniendo una creciente demanda en la industria química. A medida que sus precios bajan, su uso es más diversificado, en la manufactura de polímeros sirven como materias primas, tal es el caso de las fibras de polialanina o bien las resinas de isocianato de lisina; el poli-gama-metilglutamato es usado como capa superficial de la piel sintética; la glicina es la materia prima inicial para la producción del herbicida glifosato y la treonina para el aztreonam (antibiótico). En medicina, soluciones de aminoácidos esenciales se usan como sueros intravenosos para tratamientos post operatorios. (GARIBAY, 2004).

3.2.2 Dinámica y perspectivas del mercado

- Los aminoácidos globales se estimaron en 6.58 millones de toneladas en 2014 y se espera que registren 10.1 millones de toneladas para 2022 creciendo con una tasa de crecimiento anual estimada de 5.6% de 2015 a 2022, esto se traduce en un valor de USD 35.4 mil millones.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Asia Pacífico dominó la demanda regional con una cuota de mercado estimada del 49,4% en 2014. Se espera que Europa sea testigo de tasas de crecimiento inferiores al promedio del 4,4% entre 2015 y 2022.
- La aplicación de alimentos para animales dominó la demanda con una cuota de mercado estimada del 52.5% en 2014. La lisina, la metionina, la treonina y el triptófano se utilizan principalmente como ingredientes en aditivos de alimentos para animales para la producción ganadera. Es probable que los suplementos alimenticios y dietéticos crezcan a una tasa compuesta anual de 4.7% hasta 2022.
- La fuente vegetal dominó el segmento de materia prima y representó el 86.0% de la demanda en 2014. Se espera que las materias primas basadas en animales, como el ensilaje de pescado, presenten tasas de crecimiento por debajo del promedio de 4.0% hasta 2022 debido a la prohibición de la harina de carne y huesos en Regiones europeas.

3.2.3 Principales productores mundiales

La producción de aminoácidos está muy fragmentada y los cinco principales fabricantes dominan el 70% de la cuota de mercado en la producción de cada uno de los productos de aminoácidos. Los principales fabricantes destacados incluyen Ajinomoto Co., Cargill Inc., ADM, Royal DSM, Prinova US LLC y Evonik Industries AG. Los participantes como Royal DSM y Kemin Europa están completamente integrados en toda la cadena de valor, utilizando harina de soja, semillas de sésamo y otros ingredientes para la producción de aminoácidos. Beijing FortuneStar S&T Development Co., Ltd. utiliza aminoácidos para la producción adicional de quelatos. (AMINO ACIDS MARKET, 2015).

Los métodos de biotecnología son ampliamente utilizados en la producción de aminoácidos. A pesar de que algunos de los aminoácidos no se pueden producir de manera rentable a través de la biotecnología, desempeña un papel importante en la producción de aminoácidos. Las empresas están invirtiendo en actividades de I + D para producir aminoácidos a través de la biotecnología.

3.2.4 Mercado mundial de lisina

El desarrollo continuo de un mayor consumo de carne blanca en varios países del mundo occidental y oriental ha llevado a un enorme crecimiento del mercado de la lisina durante las últimas décadas. En la Figura 3.1 se muestra la producción mundial de L-lisina.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

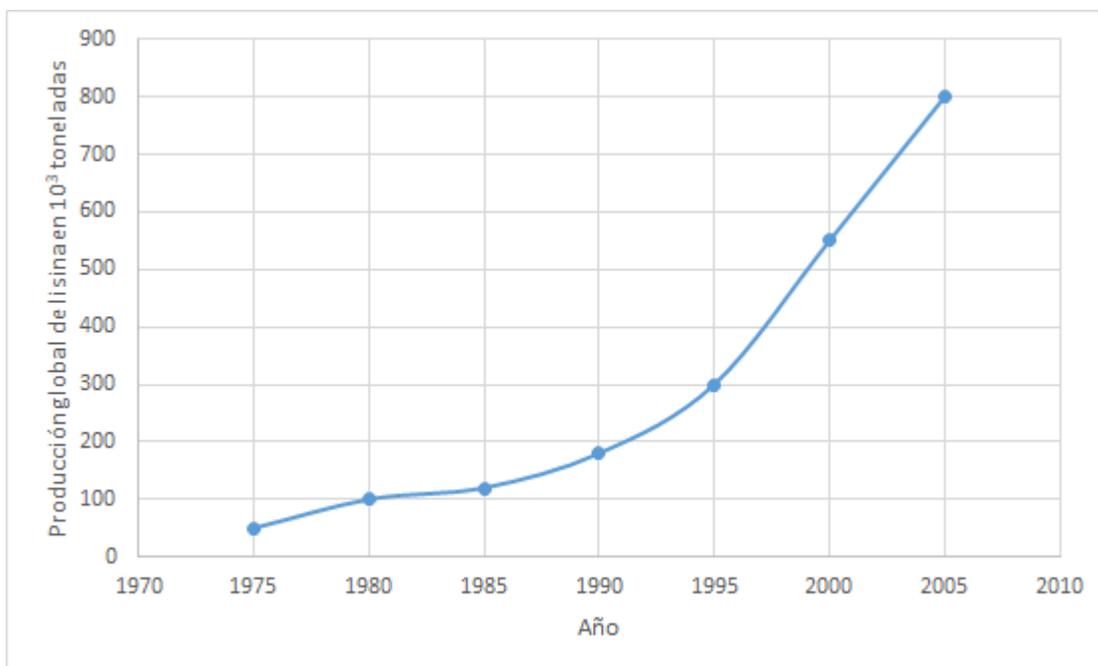


Figura 3.1. Producción mundial de Lisina. Fuente: OEC

Actualmente, la producción mundial de lisina es de aproximadamente 2,518 millones de toneladas con un crecimiento previsto del mercado en los próximos años de aproximadamente el 8%. Dado que solo el isómero L de la lisina es eficaz como suplemento alimenticio, todos los procesos de fabricación utilizan productos fermentativos. La cuna de la producción biotecnológica de lisina se encuentra en Japón. (WITTMANN, 2007).

Una optimización continua de la producción de cepas y procesos ha llevado a la fabricación eficiente de lisina a partir de recursos renovables que cubren la alta demanda de este compuesto que se requiere hoy en día.

El siguiente gráfico, Figura 3.2, muestra la evolución del precio de la lisina y su estimación para los próximos años.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

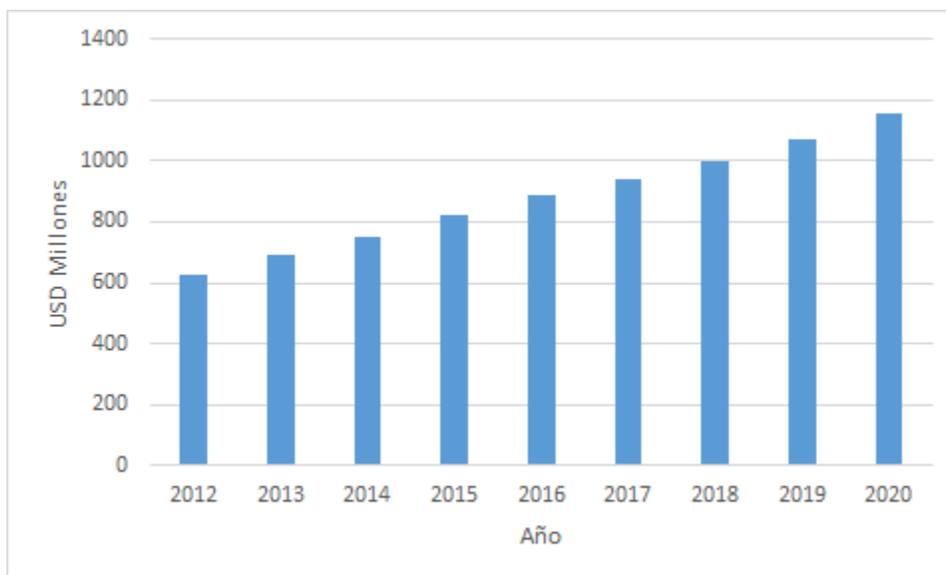


Figura 3.2. Mercado mundial de Lisina. Fuente: OEC (2017)

El mercado se concentra con los cuatro principales fabricantes: Global Bio-Chem Tech, Ajinomoto Ltd., Cheil Jedang Corp. y Archer Daniel Midland (ADM) que capturan más del 60.0% de la cuota de mercado en términos de capacidad de producción. Otros participantes que representan el 40.0% de participación incluyen Evonik Industries, COFCO Biochemical (Anhui) Co. Ltd., Shandong Shaouguang Juneng Golden Corn Co. Ltd. y Changchun Dacheng Group.

Como puede observarse en la Figura 3.3, la mayor parte de este aminoácido se utiliza para alimentación animal y humana, seguida de insumos farmacéuticos y otras aplicaciones.

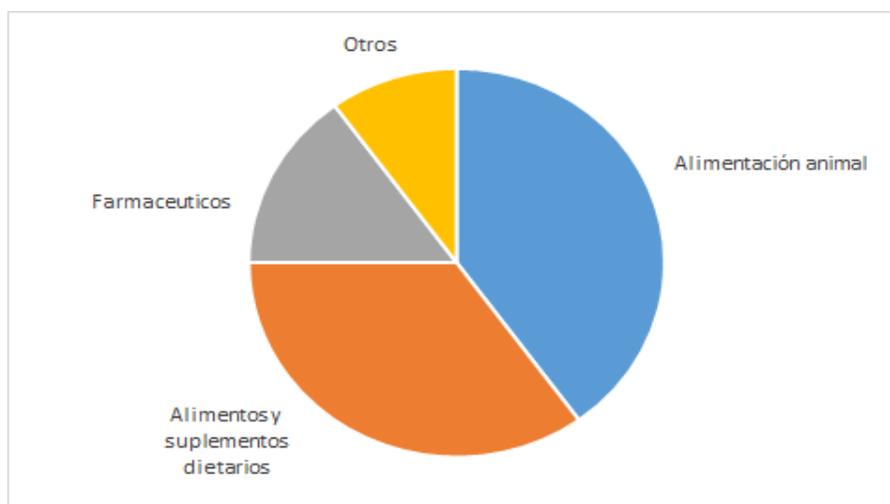


Figura 3.3. Mercado mundial de L-lisina por aplicación. Fuente: OEC (2017)

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

3.3 Producción nacional de lisina

En Argentina no existe ninguna industria productora de L-lisina, por lo tanto, toda la demanda se cubre a través de las importaciones; se producen pequeñas cantidades a escala laboratorio con fines de investigación, las cuales se exportan con el fin de ser analizadas.

3.3.1 Importaciones

Tabla 3.2. Importaciones de L-lisina

Año	Cantidad (t)
2008	654,26
2009	600,18
2010	726,38
2011	800,10
2012	772,01
2013	900,19
2014	935,30
2015	1000,08
2016	1080,31
2017	714,10
2018	563,20

A partir de los datos obtenidos de la Tabla 3.2, se presume que las cantidades importadas de L-lisina varían a lo largo de los años. Esta conclusión se puede visualizar mejor en la Figura 3.4.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

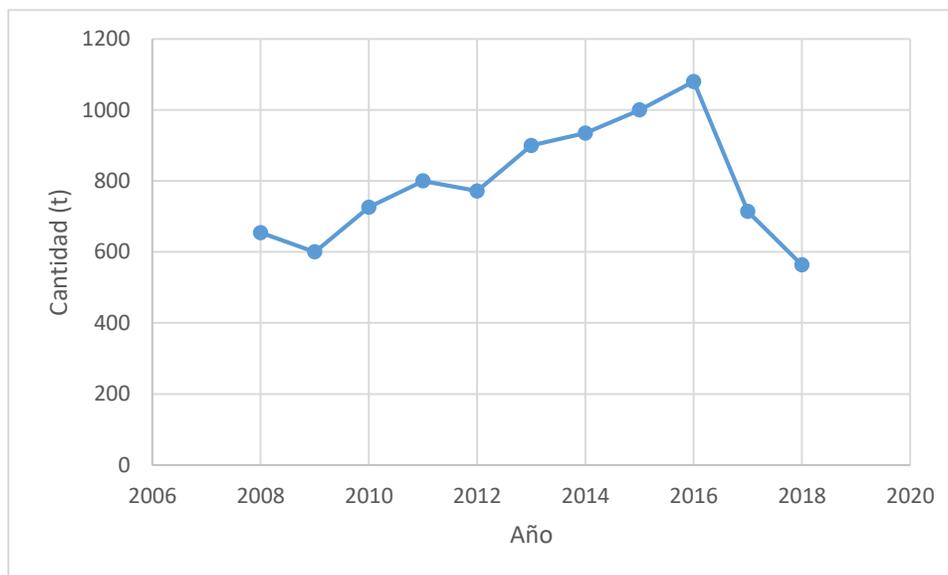


Figura 3.4. Importaciones de L-lisina. Fuente: elaboración propia.

Los principales países que exportan este aminoácido a la Argentina son Estados Unidos, China, Japón, Francia, Italia y Brasil.

3.3.2 Exportaciones

Tabla 3.3. Exportaciones de L-lisina

Año	Cantidad (t)
2008	3,91
2009	0,14
2010	0,06
2011	0,1
2012	0,11
2013	0,19
2014	0,1
2015	0,08

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

2016	0,06
2017	0,13
2018	0,11

En la Tabla 3.3, se observa que las exportaciones son muy bajas; siendo en 2008, considerablemente mayor que en los años siguientes. El gráfico de las exportaciones se observa en la Figura 3.5.

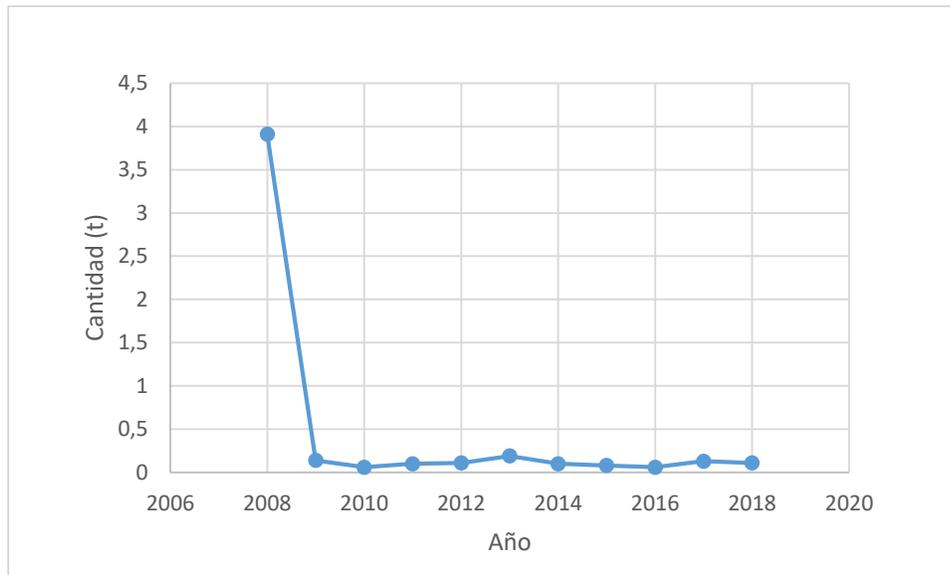


Figura 3.5. Exportaciones de L-lisina. Fuente: elaboración propia.

Las muestras a analizar se envían a diversos países.

3.4 Demanda insatisfecha

$$\text{Demanda Insatisfecha} = \text{Importaciones} - \text{Exportaciones}$$

En la Tabla 3.4 se observan los valores encontrados en toneladas de la demanda insatisfecha de L-lisina desde el año 2008 al 2018.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 3.4. Demanda Insatisfecha de L-lisina

Año	Cantidad (t)
2008	650,35
2009	600,04
2010	726,32
2011	800,00
2012	771,90
2013	900,00
2014	935,20
2015	1000,00
2016	1080,25
2017	713,97
2018	563,09

Tras analizar los datos del mercado, se observa que las importaciones de L-lisina en Argentina son muy superiores a las exportaciones; se podría concluir que el mercado interno se abastece únicamente con las importaciones.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

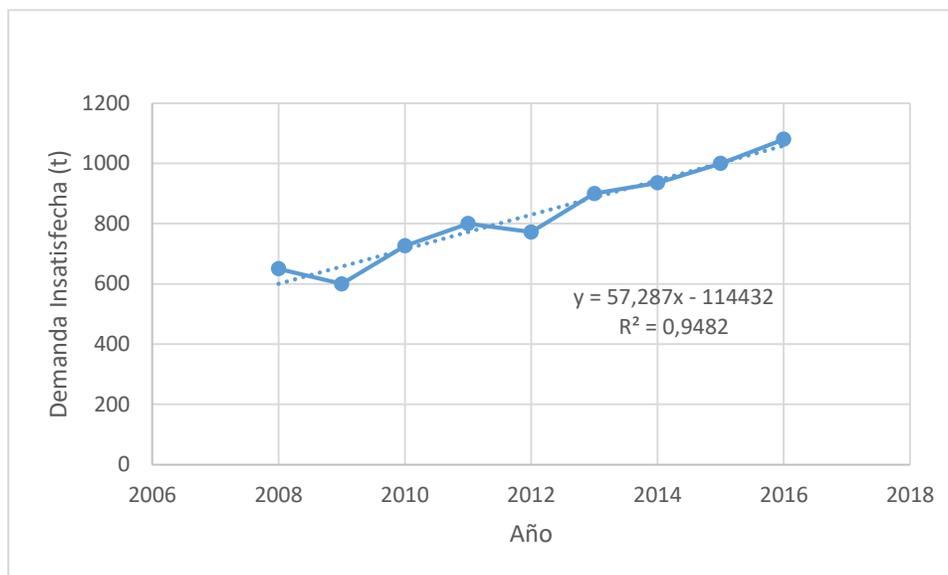


Figura 3.6. Demanda Insatisfecha de L-lisina. Fuente: elaboración propia.

La gráfica elaborada de la Demanda Insatisfecha, visualizada en la Figura 3.6, refleja que existe una tendencia lineal, con un valor de $R^2 = 0,9482$.

Los valores correspondientes a los años 2017 y 2018 fueron omitidos para realizar la curva de demanda insatisfecha; en este período las importaciones disminuyeron debido a una crisis económica, por lo que los datos se desvían de la tendencia y no se consideran representativos.

3.4.1 Proyección de la demanda nacional de L-lisina

El cálculo de la proyección de la demanda argentina se hace teniendo en cuenta los datos de la demanda insatisfecha (tabla 3.4.) y utilizando el método de regresión lineal.

A partir de la recta de regresión ($y=57,287x-114432$) se puede obtener una proyección en 10 años de la demanda de L-lisina expresada en toneladas. A continuación, se muestra una tabla con los valores proyectados (2017 a 2026).

Tabla 3.5. Proyección de la demanda de L-lisina en Argentina. Fuente: Elaboración propia.

Año	Cantidad (t)
2017	1115,88
2018	1173,17
2019	1230,45
2020	1287,74
2021	1345,03
2022	1402,31
2023	1459,60
2024	1516,89

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

2025	1574,17
2026	1631,46

La tasa de crecimiento anual es de 4% aproximadamente.

3.5 Mercado de la materia prima

Los medios de cultivo utilizados en las fermentaciones industriales deben contener todos los elementos necesarios para la síntesis de material celular y para la formación de productos, al tiempo que deben satisfacer los objetivos técnicos del proceso. La materia prima a utilizar, melaza, constituye una buena fuente de hidratos de carbono y aporta otros componentes como proteínas, vitaminas y minerales.

3.5.1 Melaza

En la producción de azúcar de caña se obtienen diversos co-productos en la etapa industrial, pudiéndose obtener por cada 100 toneladas de caña los definidos en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Co-productos de la producción de caña de azúcar

Co-producto	De caña limpia en el ingenio (t)
azúcar	12
bagazo 50% de humedad	26
melaza	3,4
cachaza 77% de humedad	3,3

3.5.1.1 Mercado Mundial

La Tabla 3.6 muestra datos de producción mundial de melaza provenientes de la FAO.

Tabla 3.6. Producción mundial de melaza. Fuente: FAO

Año	Producción (millones de toneladas)
2000	45,1
2001	45,9

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

2002	50,5
2003	52,2
2004	49,7
2005	48,2
2006	53,0
2007	59,7
2008	62,1
2009	64,6
2010	67,3

Actualmente, los principales exportadores de melaza procedente de la extracción o del refinado del azúcar son Rusia, Australia, Indonesia, Egipto y Guatemala. Mientras que los principales importadores son Estados Unidos, Reino Unido, Corea del Sur, Bélgica-Luxemburgo y Filipinas.

3.5.1.2 Mercado Nacional

La producción de melaza está directamente relacionada con la producción de azúcar de caña.

En Argentina, la distribución territorial de la producción se concentra en:

- Tucumán (67,7%)
- Jujuy (23,3%)
- Salta (8,4%)
- Litoral (Santa Fe y Misiones) (0,6%)

En la Tabla 3.7, se exponen datos del 2017, sobre los ocho grupos económicos que representan el 80% de la producción de azúcar. Y en la Figura 3.7 se muestra la distribución de los mismos.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 3.7. Datos de empresas productoras de azúcar en el país

Provincia	Empresa	Ingenio	Miles de toneladas	% en total provincial	% en total nacional
Tucumán	Grupo Luque	Concepción	325	26%	18%
		Marapa	57		
	José Minetti	La Fronterita	108	13%	9%
		Bella Vista	84		
	Grupo Colombres	Ñuñorco	68	12%	8%
		Santa Barbara	60		
		Aguilares	48		
	Grupo Arcor	La Providencia	161	11%	7%
	Azucarera del Sur	La Trinidad	149	10%	7%
	Compañía Azucarera Los Balcanes	La Florida	83	10%	7%
		Cruz Alta	63		
	Cia. Inversora Industrial	Leales	112	8%	5%
Las Dulces Norte	Santa Rosa	73	5%	3%	
Azucarera	La Corona	46	3%	2%	

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

	Argentina				
	Ingenio San Juan	San Juan	21	1,5%	1%
Total Tucumán			1456	100%	68%
Jujuy	Ledesma	Ledesma	374	75%	17%
	Ingenio Río Grande	Río Grande	81	16%	4%
	En proceso de adjudicación	La Esperanza	46	9%	2%
Total Jujuy			501	100%	23%
Salta	Seaboard Corporation	San Martín del Tabacal	117	65%	5%
	En Concurso de Acreedores	San Isidro	63	35%	3%
Total Salta			180	100%	8%
Otras	La Toscas (Santa Fe)		6	100%	0,3%
	San Javier (Misiones)		7	100%	0,3%
Total Otras			13		0,6%
Total País			2151		100%

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

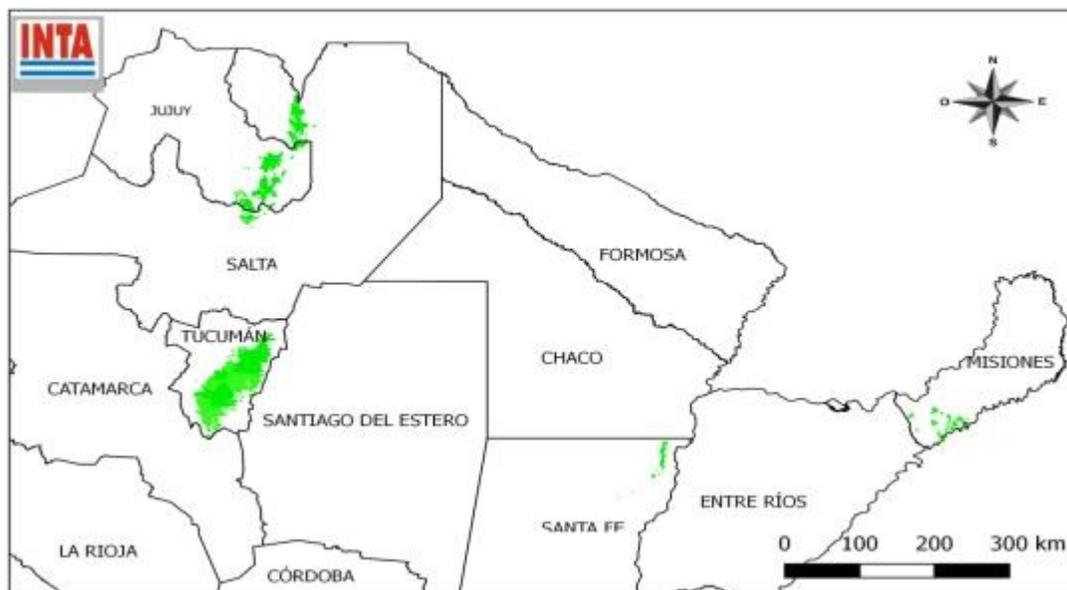


Figura 3.7. Distribución de la producción de azúcar

Como consecuencia del alto volumen de producción, Argentina exporta el excedente de melaza a Chile, Estados Unidos, Paraguay, Brasil y Uruguay. Los datos se presentan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Exportaciones de melaza

Año	Exportaciones (t)
2008	25181,07
2009	23915,82
2010	14089,62
2011	1866,72
2012	1766,90
2013	2519,66
2014	3431,22

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

2015	3229,82
2016	3101,30
2017	2125,10
2018	1692,22

En la Figura 3.8 se exhiben gráficamente los datos de la Tabla anterior.

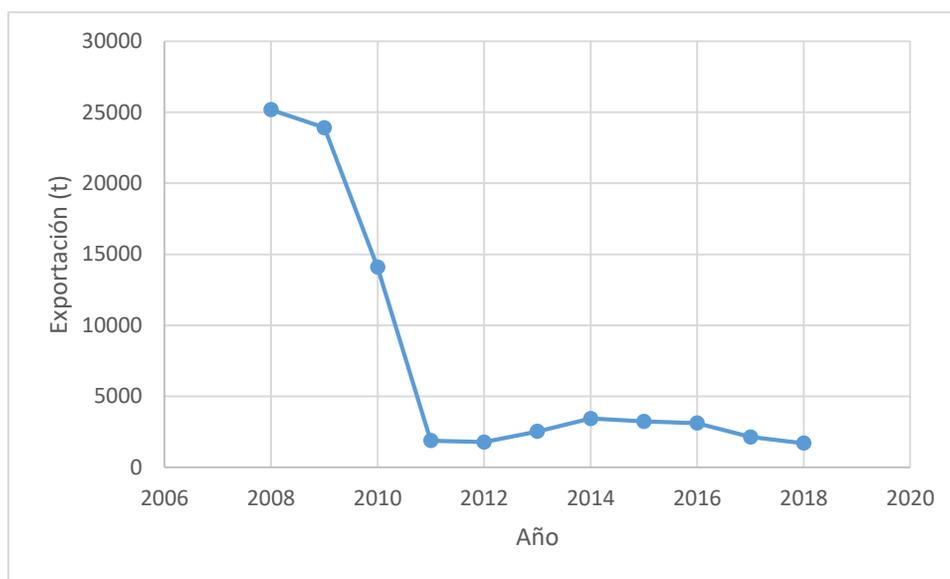


Figura 3.8. Exportaciones de melaza. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, la exportación fue disminuyendo abruptamente entre los años 2008 y 2011; esto puede deberse a la aparición de destilerías para producción de bioetanol y otras empresas dedicadas a biocombustibles.

Sin embargo, el volumen de exportación en los últimos años sigue siendo considerable, es decir, sigue habiendo un gran exceso de melaza que no es aprovechada en el mercado nacional; por lo que constituye una oportunidad viable para utilizarla en procesos de fermentación.

3.6 Mercados Previstos

La L-lisina HCl producida se obtendrá en estado sólido granular, con una pureza del 98%.

La misma se destinará principalmente a cubrir el mercado interno; no está destinada al consumidor final, sino a la industria farmacéutica y elaboradora de piensos de animales.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

3.7 Análisis FODA

El análisis FODA permite analizar las características internas y la situación externa del proyecto, concluido el estudio de mercado del producto y de las materias primas.

Fortalezas

- Inexistencia de un producto similar de fabricación nacional.
- Utilización de subproducto de la industria azucarera.
- Existen vías de abastecimiento de las materias primas en el país.
- En el territorio nacional se cuenta con la infraestructura necesaria para la instalación del proyecto, ya sea tanto el espacio físico como disponibilidad de servicios.

Oportunidades

- Promoción de la industrialización por sustitución de importaciones.
- Fortalecimiento del sector biotecnológico en producción de aminoácidos por vía fermentativa.
- Es un producto competitivo, ya que la incidencia del costo de las materias primas sobre el producto es baja.
- Los productos abarcan grandes campos de aplicación en la actualidad, y se están desarrollando nuevos campos.

Debilidades

- Falta de I&D nacional en biotecnología, especialmente en procesos de fabricación de aminoácidos.
- Competencia con productos internacionales altamente establecidos en el mercado y de alta calidad.
- Dosificación moderada (se emplea en pequeñas cantidades).
- Existen desequilibrios económicos-financieros dentro del país que podrían perjudicar a la industria en cuestión.

Amenazas

- En la actualidad es difícil conseguir un buen financiamiento.
- Volatilidad e incertidumbre de los mercados, productos de las recurrentes crisis nacionales e internacionales.
- Factores climáticos que afectan los cultivos de caña de azúcar que impacte en la cantidad de melaza disponible.

Conclusiones

Del análisis de la información recopilada y del FODA, pueden formularse las siguientes conclusiones:

- Para producir este aminoácido se utiliza un subproducto que tiene bajo valor comercial, que se produce en nuestro país y que evidencia existencia por encima de la demanda. Mediante este emplazamiento se aprovecharía este recurso para agregar aún más valor agregado a la cadena.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- El uso de L-lisina en nutrición animal se encuentra en alza dado el buen aprovechamiento de los nutrientes vegetales que realiza; como así también en la industria farmacéutica y nutrición humana. En nuestro país se utiliza a nivel pleno hace un par de años, pero no es fabricada en nuestro territorio, sino que se importa. La creación de una planta de producción de L-lisina permitirá satisfacer la demanda insatisfecha en el país.
- Los desequilibrios económicos-financieros que pueden generarse tanto a nivel mundial como nacional, son obstáculos que deben superarse en cualquier rubro y constituyen parte de los riesgos en los que se incurre cuando se realiza una inversión.

CAPÍTULO IV: LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE LA PLANTA

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

4.1 Introducción

La elección de la localización de la planta constituye un factor clave para su posterior éxito. Esta etapa es de suma importancia, ya que el correcto emplazamiento de la misma contribuye en mayor medida a que se logre la mayor tasa de rentabilidad sobre el capital (criterio privado), u obtener el costo unitario mínimo (criterio social).

Entre los factores a considerar para la localización óptima de la planta de fabricación industrial se encuentran:

- Localización de las fuentes de abastecimiento de materias primas.
- Localización de los clientes o compradores.
- Localización de la competencia.
- Mano de obra calificada.
- Calidad de vida.
- Acceso a los suministros y servicios básicos.
- Medios de transporte.
- Condiciones climatológicas de la zona.
- Marco jurídico.
- Impuestos y servicios públicos.
- Acceso al terreno y construcción.

4.2 Macrolocalización

Consiste en la selección de la región o zona más adecuada, evaluando las regiones que preliminarmente presenten ciertos atractivos para la industria. El producto a desarrollar está pensado para su comercialización dentro del territorio argentino, tiene aplicabilidad en la industria farmacéutica, nutrición animal y consumo humano.

Por otra parte, la materia prima procede de ingenios azucareros, por lo que para realizar la macrolocalización, se buscará la cercanía a los mismos.

En el territorio argentino todos los ingenios azucareros se encuentran concentrados en tres provincias: Tucumán, Jujuy y Salta. En la Tabla 4.1 se muestran las características de los mismos. Cabe destacar que los ingenios que poseen destilerías emplean la melaza como materia prima para producir alcohol.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 4.1. Características de los Ingenios

Provincia	Empresa	Ingenio	Miles de TMVC	Destilería de alcohol
Tucumán	Grupo Luque	Concepción	325	Si
		Marapa	57	Si
	José Minetti	La Fronterita	108	Si
		Bella Vista	84	Si
	Grupo Colombres	Ñuñorco	194	No
		Santa Barbara	60	Si
		Aguilares	48	Si
	Grupo Arcor	La Providencia	161	No
	Azucarera del Sur	La Trinidad	149	Si
	Compañía Azucarera Los Balcanes	La Florida	83	Si
		Cruz Alta	189	No
	Cia. Inversora Industrial	Leales	112	Si
	Las Dulces Norte	Santa Rosa	73	Si
	Azucarera	La Corona	46	Si

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

	Argentina			
	Ingenio San Juan	San Juan	21	Si
Total Tucumán			1456	
Jujuy	Ledesma	Ledesma	374	Si
	Ingenio Río Grande	Río Grande	81	Si
	En proceso de adjudicación	La Esperanza	46	Si
Total Jujuy			501	
Salta	Seaboard Corporation	San Martín del Tabacal	117	Si
	En Concurso de Acreedores	San Isidro	63	Si
Total Salta			180	

Como puede observarse hay tres ingenios que no poseen destilería, todos ellos situados en la provincia de Tucumán. A su vez, Grupo Arcor utiliza toda la melaza obtenida en su cadena de procesos industriales, por lo que se descarta esta empresa como proveedor de materia prima.

Teniendo en cuenta lo anterior, la macrolocalización elegida para la fábrica es la provincia de Tucumán.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

4.3 Microlocalización

Consiste en la selección específica del sitio o terreno que se encuentra en la región que ha sido evaluada como la más conveniente.

Para definir la ubicación de la planta dentro de la provincia de Tucumán, se aplica un método de ponderaciones entre las opciones a considerar; éstas son:

- Municipio de Colombres
- Municipio de Monteros
- San Miguel de Tucumán

Las opciones uno y dos se consideran debido a que en ellas se encuentran los dos ingenios de los que se adquiere la materia prima.

La ciudad capital se considera ya que es el polo productivo de la provincia, tiene fácil acceso, está situada entre los dos ingenios de interés y a diferencia de las opciones anteriores, posee un parque industrial.

4.4 Método de ponderaciones

Consiste en asignar factores cuantitativos a una serie de factores que se consideran relevantes para la localización. Esto conduce a una comparación cuantitativa de diferentes sitios.

- Distancia a materia prima

Es un factor relativamente importante debido al costo de transporte de melaza. San Miguel de Tucumán se encuentra en un punto medio entre los dos ingenios.

- Distancia a mercados

Este factor afecta a los costos de distribución del producto.

Teniendo en cuenta que los destinos de la Lisina son industrias farmacéuticas (localizadas mayoritariamente en Buenos Aires) e industrias de nutrición animal y humana (localizadas principalmente en Buenos Aires, aunque también en Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos), las tres opciones a evaluar se encuentran a relativamente la misma distancia de los mercados consumidores; por lo que las tres alternativas reciben aproximadamente la misma calificación.

Con respecto a la ponderación de la distancia a la materia prima es menor, ya que, a diferencia de la melaza, el aminoácido se puede transportar en mayor cantidad, siendo de esta manera el costo del flete menor.

- Mano de obra disponible

La calificación de este factor se ha analizado teniendo en cuenta el tamaño de población y el índice de desocupación, los cuales se observan en la tabla 4.2. La ciudad de San Miguel de Tucumán es la que presenta mayor población y un índice de desocupación superior a Monteros y Colombres, por lo cual se le ha asignado una calificación mayor.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Otro factor que se tuvo en cuenta en este punto es la calidad de vida que la ciudad ofrece. San Miguel de Tucumán es la capital provincial. En cuanto al ámbito académico, posee todos los niveles educativos, teniendo sede de la Universidad Nacional de Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional, Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino y Universidad San Pablo - T, lo cual supone una ventaja a la hora de contar con mano de obra capacitada.

El Municipio de Monteros y la Comuna rural de Colombres no cuentan con universidades radicadas físicamente en su área.

Tabla 4.2. Cantidad de habitantes e índice de desempleo

Ciudad	Habitantes	Índice de desempleo
San Miguel de Tucumán	694.327	10,6 %
Monteros (Ñuñorco)	25.469	6,3%
Colombres (Cruz Alta)	5.086	4,8%

- Características del Terreno y disponibilidad de Servicios
 - San Miguel de Tucumán

El PIT (Parque Industrial Tucumán) ofrece servicios a compañías con procesos productivos de baja y mediana complejidad. Los lotes son de 2000 m².

Se encuentra sobre la autopista circunvalación, en el kilómetro 1294 de la ruta nacional 9; hay conexiones con las rutas 9, 38 y 34.

El espacio cuenta con red eléctrica privada, estación transformadora propia de media tensión (13,4 Kw), red privada de agua corriente y la posibilidad de concretar perforaciones para extraer agua de uso industrial. Además, con el propósito de facilitar el desplazamiento de vehículos de carga, las calles internas del complejo están pavimentadas y alumbradas. En la única entrada, hay un puesto de seguridad que funciona las 24 horas. Cuenta con sala de reuniones disponible para todas las empresas, desagüe cloacal, gas natural, escrituras con entrega inmediata y posibilidad de central de cargas de ferrocarril dentro del predio.

- Monteros

La localidad de Monteros es la ciudad cabecera del departamento homónimo. Se accede por la ruta nacional 38 o por la ruta provincial 325 y se encuentra a 48 km de San Miguel de Tucumán.

No cuenta con parque industrial, por lo que los lotes son independientes.

Los servicios con que cuenta son: alumbrado público, cordón cuneta, agua potable, luz, cloacas; no cuenta con gas natural.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Colombres

Es una comuna rural situada 15 km al este de la capital, en el departamento Cruz Alta.

No cuenta con parque industrial, por lo que los lotes son independientes.

Los servicios con que cuenta son: alumbrado público, cordón cuneta, agua potable, luz, cloacas; no cuenta con gas natural.

En la tabla 4.3 se observa el puntaje que se le adjudicó a cada ciudad para los distintos factores y el puntaje final obtenido. San Miguel de Tucumán obtuvo el mayor puntaje, razón por la cual la empresa se emplazará en su parque industrial.

Tabla 4.3.Método de Ponderaciones

Criterio y ponderación		Monteros		Colombres		San Miguel de Tucumán	
Factores relevantes	Ponderación	C	CP	C	CP	C	CP
Distancia a materia prima	0,2	8	1,6	8	1,6	6	1,2
Distancia a mercados	0,1	9	0,9	8	0,8	8	0,8
Mano de obra disponible	0,3	7	2,1	5	1,5	10	3
Disponibilidad de servicios	0,4	6	2,4	6	2,4	10	4
Total	1	-	7	-	6,3	-	9

Dónde: C: Calificación adjudicada - CP: Calificación ponderada

4.5 Ubicación definitiva de la planta

El Parque Industrial Tucumán se inauguró en 2008, hasta la actualidad, 26 firmas adquirieron terrenos, de las cuales 21 ya operan con galpones de depósito o cámaras de frío, entre otras instalaciones. En la Figura 4.1 se visualiza la ubicación del Parque Industrial Tucumán; y en la Figura 4.2, una vista satelital del mismo.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

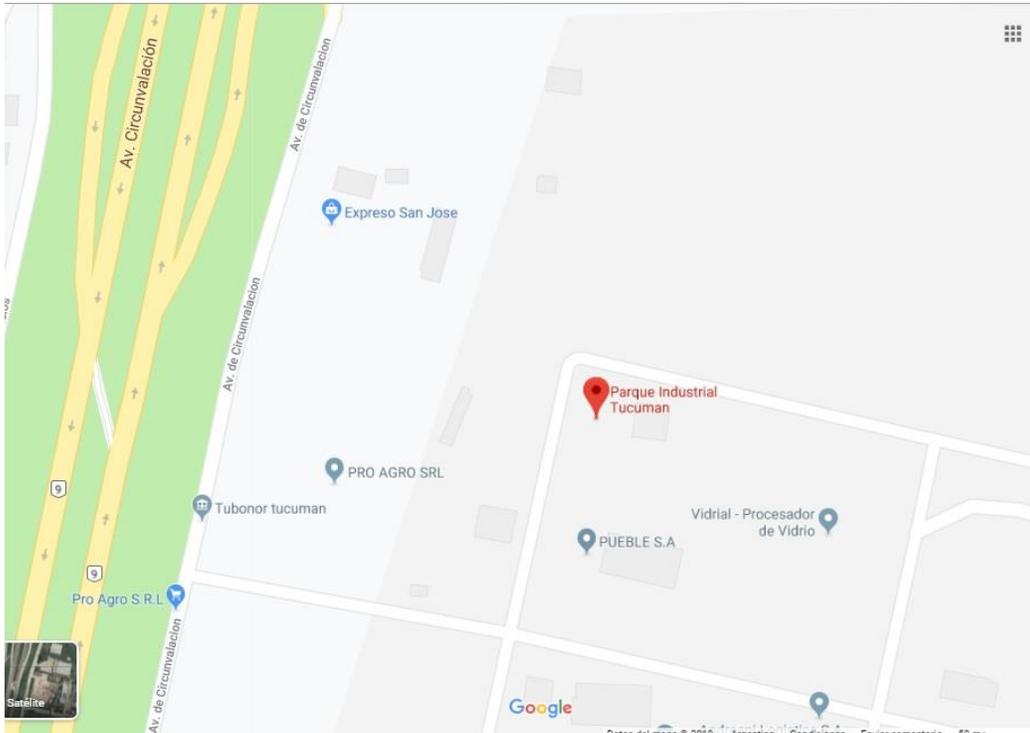


Figura 4.1. Ubicación del Parque Industrial Tucumán



Figura 4.2. Vista satelital del Parque Industrial Tucumán

CAPÍTULO V: SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

5.1 Introducción

En el presente capítulo se determina el proceso adoptado para la producción de L-lisina HCl de acuerdo al destino de la misma, suplementación en las dietas animales y humanas y como materia prima en la industria farmacéutica. Para ello, el mismo se divide en dos partes: en la primera, se describen los procesos empleados antiguamente; y en la segunda, se describe el proceso actual y se detallan las operaciones del mismo, y se confecciona el diagrama de flujo del proceso completo con las condiciones en cada etapa.

5.2 Métodos de obtención

- Reacción enzimática

Se usan uno o dos tipos de enzimas para convertir un precursor de aminoácidos en el aminoácido correcto. En este método no hay necesidad de multiplicar microorganismos mediante la conversión del aminoácido específico, y no hay un proceso largo que comience a partir de glucosa. El proceso de reacción enzimática es ideal si la sustancia precursora tiene un bajo costo. En la Figura 5.1 se muestra este proceso.

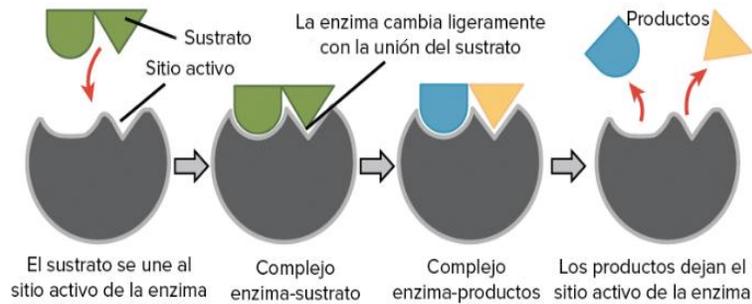


Figura 5.1. Proceso de reacción enzimática

- Método de extracción

Los aminoácidos se pueden producir al descomponer las proteínas. Sin embargo, la cantidad de los mismos en la proteína fuente limita la cantidad de aminoácidos producidos. La extracción no es buena para producir cantidades en masa de aminoácidos específicos.

- Síntesis química

La síntesis utiliza reacciones químicas para producir aminoácidos. El problema con la síntesis es que las reacciones químicas producen cantidades iguales de aminoácidos L y D. Como resultado, los D-aminoácidos que se producen deben convertirse en L-aminoácidos. Por lo tanto, este método es más costoso y requiere pasos y equipos de procesamiento adicionales, por lo que se eliminó gradualmente de la producción. Sin embargo, todavía se usa para hacer glicina, que no ocurre en las formas D y L, y para los aminoácidos donde no hay diferencia si son formas D o L cuando se usan.

- Obtención de lisina a partir del ácido ϵ -caprolactama

La ϵ -caprolactama se emplea predominantemente para la obtención de nylon. El nylon es el producto de partida para la obtención de fibras con aplicaciones versátiles, por ejemplo, en el sector textil y en el industrial.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Solo una pequeña parte de ϵ -caprolactama se emplea como producto intermedio para la obtención de L- lisina, uno de los aminoácidos esenciales para el organismo humano y de los animales que no pueden sintetizar por si solos.

La lisina como el ácido α , ϵ -diaminocaprónico se obtiene por la introducción de un grupo amino en posición α del ácido ϵ -aminocaprónico o en su amida cíclica, la ϵ -caprolactama.

Excepto la glicina, todos los α -aminoácidos contienen un átomo de carbono quiral en posición α . Cuando se aíslan de las proteínas, los aminoácidos son especies enantioméricamente puras con idéntica configuración absoluta. Dicha configuración está relacionada con la del L-gliceraldehído, por lo que se las considera pertenecientes a la serie L. En la Figura 5.2 se presenta este método de obtención.

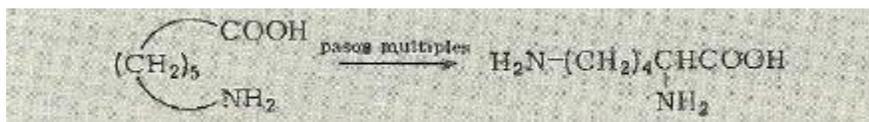


Figura 5.2. Obtención de lisina a partir del ácido ϵ -caprolactama.

Esto ocurre, después de proteger el grupo amino libre, en varios pasos con halogenación e intercambio con amoníaco.

La vía histórica se ha variado de muchas formas, por ejemplo, con la introducción del grupo NH_2 en α en forma de grupo nitro o azo. Así, la obtención industrial de lisina en una planta de 3000 toneladas anuales de la DSM, parada en 1969, se basaba en una reacción compleja de ϵ -caprolactama con fosgeno y un paso de nitración-hidrogenación. (WEISSERMEL, 1980).

Este último proceso con fosgeno dejó de usarse ya que, a temperatura ambiente, es un gas venenoso.

- Cianoetilación

Una vía de síntesis desarrollada por la Stamicarbon, que lleva al abandono de la caprolactama como materia de partida, consiste en la adición de acetaldehído al acrilonitrilo en su primer paso de una serie de reacciones.

Primeramente, el acetaldehído se adiciona al acrilonitrilo en presencia de un catalizador alcalino. En la Figura 5.3 se esquematiza este proceso.

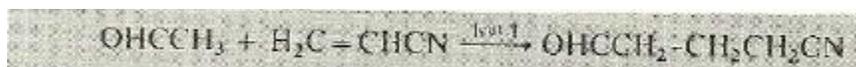


Figura 5.3. Proceso de Cianoetilación.

La síntesis de lisina hasta la obtención del racemato comprende otros tres pasos de reacción: la formación de 5-(3-cianopropil)-hidantoína por reacción con $\text{HCN}/\text{CO}_2/\text{NH}_3$, la hidrogenación y la hidrólisis. (WEISSERMEL, 1980).

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Síntesis de Gabriel

La síntesis de Gabriel es un procedimiento químico que permite obtener con buenos rendimientos aminas primarias a partir de halogenuros de alquilo utilizando ftalimida de potasio. Da lugar a un producto racémico con el mismo número de átomos de carbono que el haloácido de partida.

Mecanismo de reacción

A) Formación de la ftalimida de potasio

La ftalimida al reaccionar con hidróxido de potasio con etanol produce la ftalimida de potasio mediante una reacción ácido-base. En la Figura 5.4 se desarrolla el primer mecanismo.

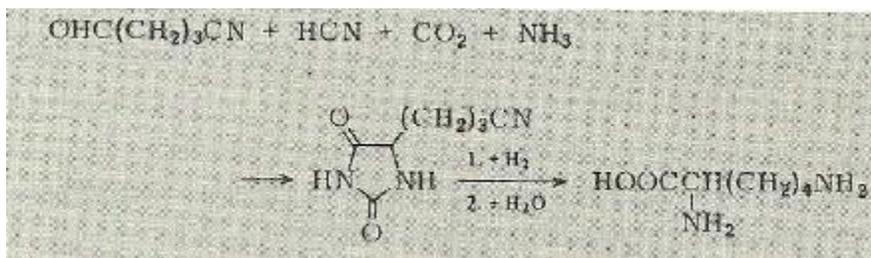


Figura 5.4. Formación de la ftalimida de potasio.

B) Alquilación de la ftalimida de potasio

La ftalimida de potasio reacciona con un halogenuro de alquilo primario o secundario mediante un mecanismo de reacción SN2. La reacción ocurre en un solo paso sin intermediarios de reacción, como se visualiza en la Figura 5.5.



Figura 5.5. Alquilación de la ftalimida de potasio.

C) Hidrólisis o tratamiento con hidracina

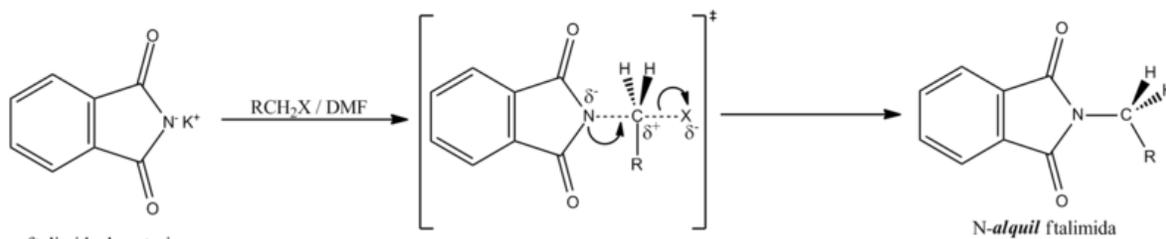
La separación de la amina primaria puede ocurrir de diferentes formas, la elección del método adecuado dependerá de las necesidades del protocolo experimental (Figura 5.6):

- 1- Hidrólisis básica con una base fuerte como NaOH: en este caso se obtendrán como productos ftalato de sodio (soluble en agua) y alquilamina (su solubilidad en agua depende del número de carbonos del resto alquilo).

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- 2- Hidrólisis ácida con un ácido fuerte como HCl: como productos de la reacción se obtendrán ácido ftálico (insoluble en agua) y cloruro de alquilamonio (soluble en agua).
- 3- Tratamiento con NH_2NH_2 : los productos de reacción, en este caso, serán ftalilhidrazina y alquilamina.



- Síntesis de Strecker

Es un método para la síntesis de aminoácidos mediante la reacción de un aldehído con cloruro de amonio en presencia de cianuro de potasio. La reacción de condensación produce un α -aminonitrilo, que posteriormente se hidroliza para dar el aminoácido deseado.

Origina un producto racémico pero con un átomo de carbono más que el aldehído de partida.

Mecanismo de reacción

En la primera parte de reacción, el oxígeno carbonílico de un aldehído es protonado, seguido de un ataque nucleofílico de amoníaco al carbono carbonílico. Después del posterior intercambio de protones, el agua se separa del intermedio de ion iminio. Luego, un ion cianuro ataca el carbono del iminio produciendo aminonitrilo.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

El ion cianuro es un excelente nucleófilo que puede reaccionar con una amplia variedad de electrófilos, lo que resulta en un nuevo enlace carbono-carbono que termina en un grupo funcional (nitrilo) que puede elaborarse de muchas maneras diferentes. Sin embargo, es importante mencionar que es una sustancia muy toxica, potencialmente mortal. En la Figura 5.7 se esquematiza esta primer parte de la síntesis.

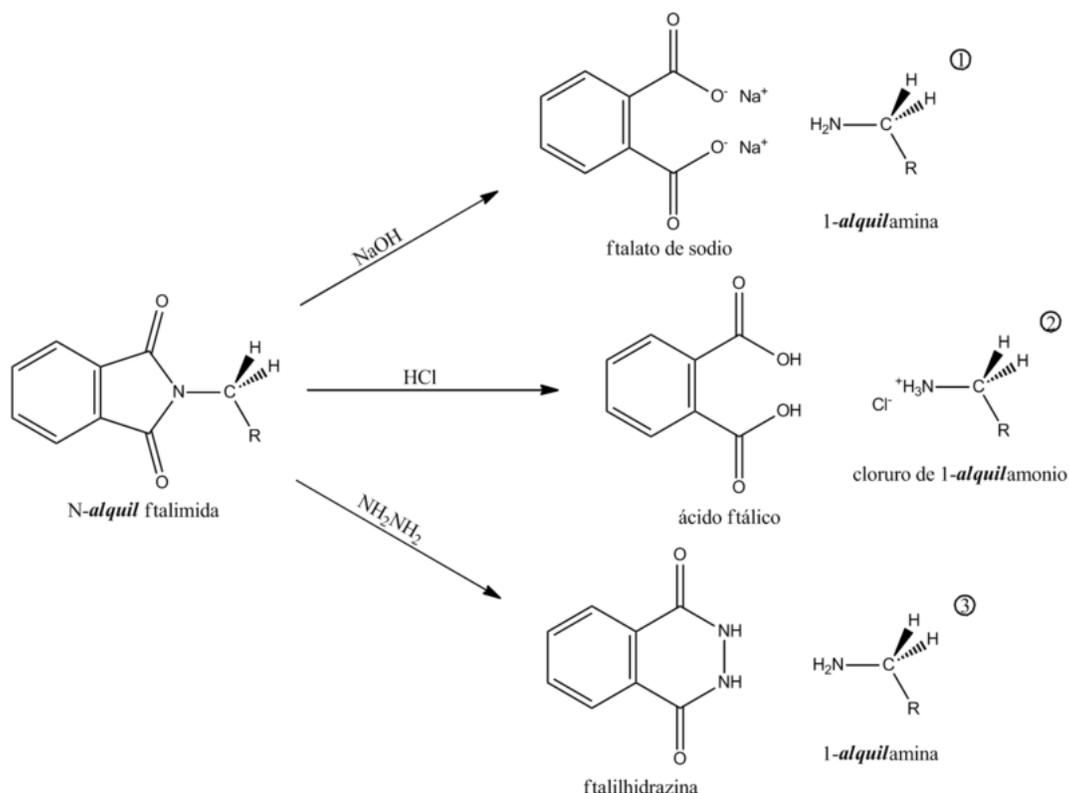


Figura 5.7. Primer parte de la síntesis de Strecker.

En la segunda parte de la síntesis de Strecker, el nitrógeno nitrilo del aminonitrilo está protonado, y el carbono nitrilo es atacado por una molécula de agua. Luego se forma un 1,2-diamino-diol después del intercambio de protones y un ataque nucleofílico de agua al antiguo carbono nitrilo. El amoníaco se elimina posteriormente después de la protonación del grupo amino, y finalmente la desprotonación de un grupo hidroxilo produce un aminoácido. Este segundo paso se muestra en la Figura 5.8.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

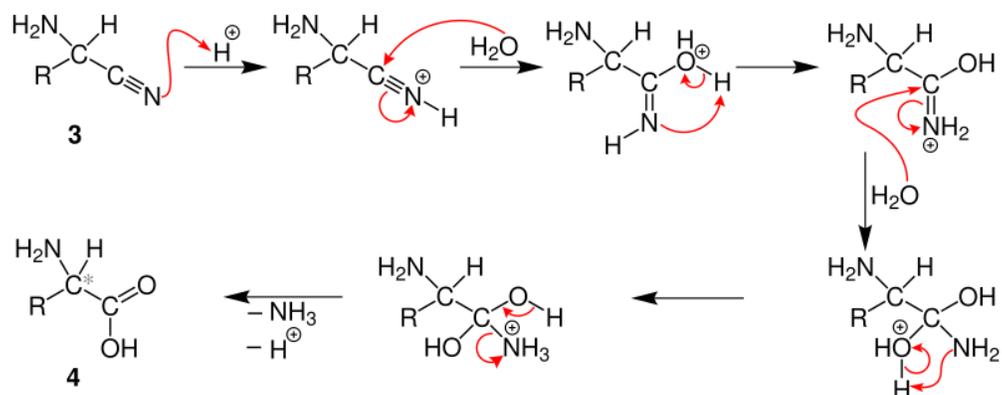


Figura 5.8. Segunda parte de la síntesis de Strecker.

Dependiendo del grupo R de la imina, se puede sintetizar una amplia variedad de aminoácidos usando este método.

- Síntesis de Hell-Volhard-Zelinsky

Es una reacción de sustitución en la que átomos de hidrógeno unidos al carbono α de un ácido carboxílico son sustituidos por átomos de halógeno.

Los aminoácidos se pueden obtener por halogenación de ácidos carboxílicos, seguida de sustitución nucleófila con amoníaco. La halogenación de la posición α del ácido carboxílico se realiza por medio de este mecanismo.

Mecanismo de reacción

Además de la formación del haluro de acilo, enolización, halogenación e hidrólisis, el mecanismo es algo más complejo, con más estados intermedios.

A diferencia de otras reacciones de halogenación, esta tiene lugar en ausencia de un transportador de halógenos. La reacción es iniciada por la adición de una cantidad catalítica de PBr_3 , sobre la cual se agrega un equivalente molar de Br_2 . En la Figura 5.9 se esquematiza el mecanismo de reacción.

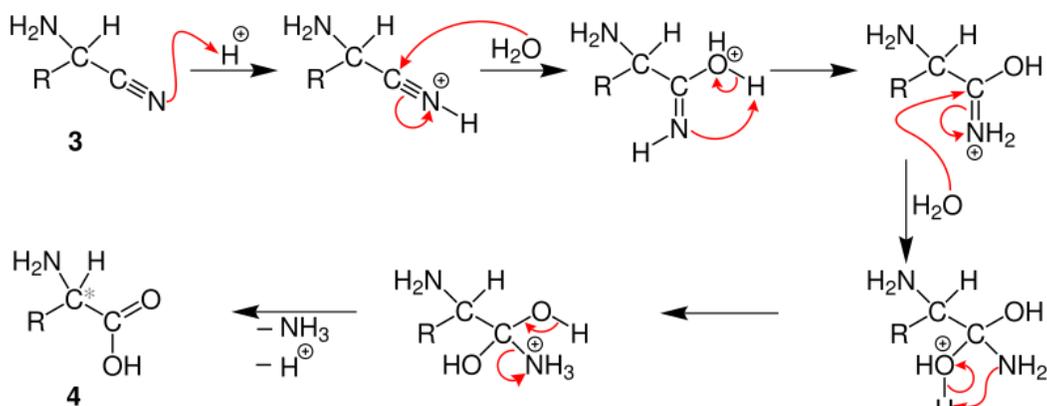


Figura 5.9. Mecanismo de reacción de la síntesis de Hell-Volhard-Zelinsky.

En el caso de que se use una solución acuosa durante la reacción, se necesita un equivalente molar de PBr_3 para interrumpir el proceso catalítico. Si existe una pequeña

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

cantidad de solvente nucleofílico, la reacción del bromuro de α -bromo acilo con el ácido carboxílico nos da el ácido α -bromo carboxílico y regenera el bromuro de acilo intermedio. En la práctica, se usa un equivalente molar de PBr_3 para poder aumentar la cinética de la reacción que es lenta.

En la Figura 5.10, se encuentra el mecanismo descrito para el intercambio entre el bromuro de alcanoilo o acilo carboxílico. El bromuro de α -bromoalcanoilo posee un grupo carbonilo fuertemente electrofílico debido al efecto electroatrayente de los bromuros. El ácido carboxílico actúa como un nucleófilo donde el oxígeno carbonílico del ácido carboxílico posee una carga parcial negativa.

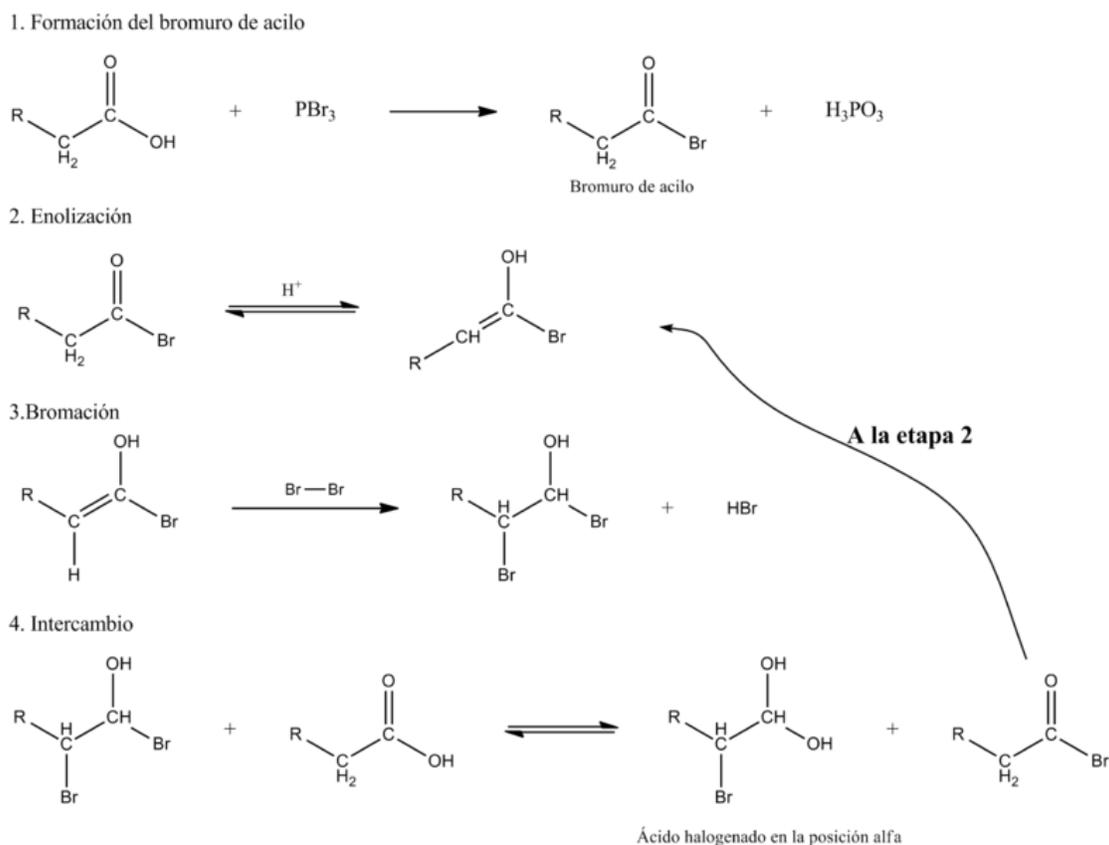


Figura 5.10. Mecanismo de intercambio entre el bromuro de alcanoilo o acilo carboxílico.

- Síntesis Malónica

Se trata de un método muy utilizado. Se hace reaccionar el amidato de la etanamida con el éster malónico halogenado, obteniéndose el compuesto que se alquila e hidroliza dando un diácido, que descarboxila para formar el aminoácido. Este proceso se puede visualizar en la Figura 5.11.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

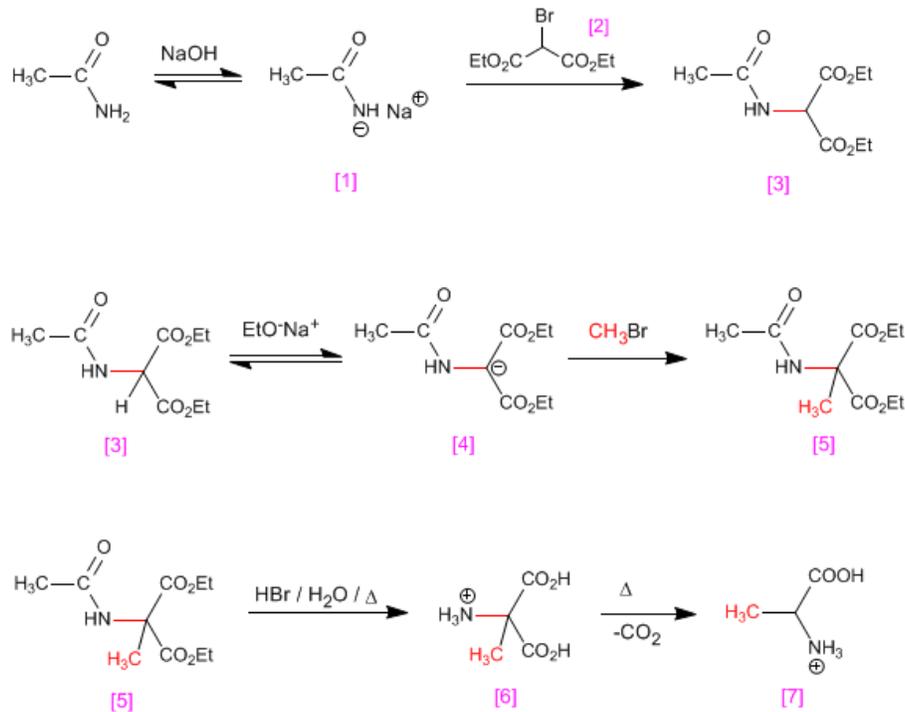


Figura 5.11. Síntesis Malónica.

- Síntesis de Erlenmeyer – Plöchl

La síntesis de aminoácidos de Erlenmeyer – Plöchl fue descubierta en 1893 por el químico alemán Friedrich Erlenmeyer que condensó el benzaldehído con N-acetilglicina en presencia de anhídrido acético y acetato de sodio. La reacción va vía condensación de Perkin seguida de la ciclación de la N-acetilglicina produciendo las llamadas azlactonas de Erlenmeyer.

Por la síntesis de Erlenmeyer de azlactonas se pueden sintetizar a partir de la reacción de un aldehído aromático con un ácido carboxílico aromático en presencia de anhídrido acético.

Mecanismo de reacción

El mecanismo se trata de dos reacciones acopladas: reacción de Perkin + ciclación del ácido aromático correspondiente, descrito en la Figura 5.12.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

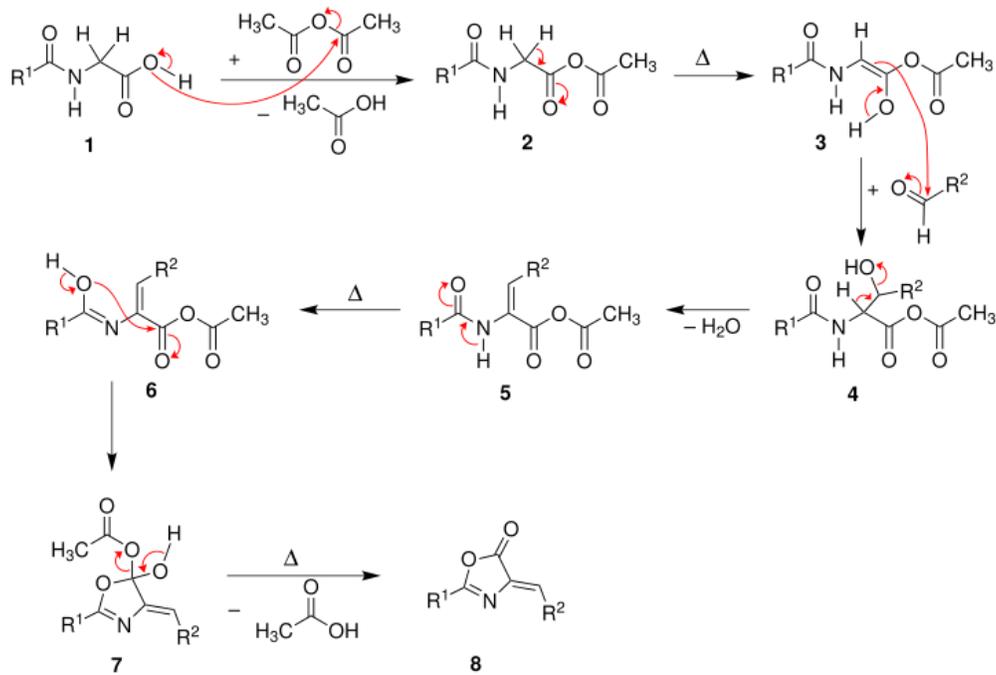


Figura 5.12. Mecanismo de reacción de la Síntesis de Erlenmeyer – Plöchl

Hasta aquí se describe la obtención de la azlactona u oxazolona.

- A) Preparación de α -cetoácidos: a partir de la oxazolona puede producirse por hidrólisis los α -cetoácidos correspondientes. (Figura 5.13).

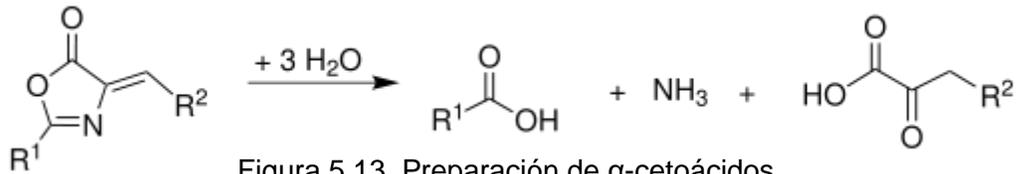


Figura 5.13. Preparación de α -cetoácidos.

- B) Preparación de α -aminoácidos: si antes de la hidrólisis se hace una reducción con hidrógeno se obtienen los correspondientes aminoácidos. (Figura 5.14).

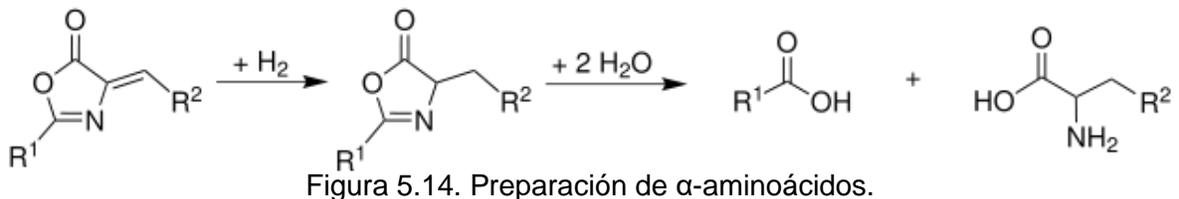


Figura 5.14. Preparación de α -aminoácidos.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Síntesis biotecnológica

Actualmente existen dos rutas fundamentales mediante las cuales se obtiene L-lisina a escala industrial por vía fermentativa (BERNAL, 1974) (BLANCO Y HERRYMAN, 1999):

- A) Proceso del ácido diaminopimérico: es un proceso ya obsoleto que ocurre en dos etapas. Generalmente se obtienen menores rendimientos en comparación con el segundo proceso.
- B) Proceso de Kinoshita: mediante este método se obtiene la L-lisina de forma directa, es decir, utilizando un solo paso de fermentación. En este proceso se emplean microorganismos auxótrofos tales como *Micrococcus Glutamicus*, *Brevibacterium Flavum* o *Corynebacterium Glutamicum*, modificados genéticamente. Es el proceso más utilizado hoy en día, y para obtener altos rendimientos del aminoácido el medio de fermentación deberá tener cantidades importantes de biotina y tiamina. Es por ello que una de las materias primas más utilizadas en este proceso es la miel final de caña, aunque también se deberá agregar harina de soja o extracto de licor de maíz.

En la producción de L-lisina por vía fermentativa existen dos formas fundamentales de presentación del producto de acuerdo con el grado de pureza final que se necesite. El denominado bioconcentrado, con una pureza del 15-25% y la L-lisina hidroclicida cristalina (L-lisina HCl), con una pureza del 98%.

El proceso de producción de L-lisina a partir de glucosa ha sido previamente estudiado por HEINZLE (2007), donde se realizaron simulaciones utilizando una reacción estequiométrica adaptable basada en el rendimiento y la productividad del producto. Por otro lado, BÜCHS (1994) ha informado sobre la cinética y el modelado del reactor de fermentación de lisina. El proceso de producción tiene dos secciones: la sección de reacción (que incluye los pasos de premezcla, esterilización y fermentación) y la sección de purificación (que incluye filtración de biomasa, evaporación de agua y secado del producto).

Debido a la gran importancia de la L-lisina, se realizan constantemente esfuerzos para mejorar los procesos de fermentación, que comprenden la cepa (por ejemplo, aumento de las características de productividad intrínseca del microorganismo por mutagénesis clásica e ingeniería genética) y desarrollo del proceso (por ejemplo, efecto de agitación y suministro de oxígeno, temperatura, pH y CO₂), así como la optimización de los medios (influencia de la concentración de azúcar inicial y operativa, nutrientes y aditivos importantes) y procesamiento posterior (cromatografía de intercambio iónico) (KREUTZER, C. et al. 2006).

5.3 Selección del proceso

El proceso elegido para la producción de L-lisina es por vía fermentativa, debido a que es el único método industrial usado en la actualidad. Es una técnica poco costosa y con la cual se obtienen altos rendimientos.

La bacteria utilizada es *Corynebacterium Glutamicum* y la cepa seleccionada es ATCC 13032, ya que es la más eficiente y empleada del género para este producto.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

5.4 Descripción del proceso

5.4.1 *Corynebacterium Glutamicum* - ATCC 13032

El microorganismo fermentador utilizado es la cepa bacteriana *Corynebacterium Glutamicum* ATCC 13032, cuyas características generales se indican en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Características de *Corynebacterium Glutamicum*.

Organismo	<i>Corynebacterium Glutamicum</i>
ATCC	13032
Designación de la cepa	534 [NCIB 10025]
Nivel de bioseguridad	1
Forma de envío	Vial liofilizado
Medio	ATCC medio 3: agar nutritivo o caldo nutritivo
Condiciones de crecimiento	Temperatura: 37°C Ambiente: aeróbico
Condiciones de almacenaje	Congelado: -80°C o menos Liofilizado: 2°C a 8°C
Aplicaciones	Produce L-lisina

Fuente: American Type Culture Collection [ATCC]. 2014

5.4.1.1 Activación

La cepa bacteriana de *Corynebacterium Glutamicum* ATCC 13032 se activa bajo condiciones asépticas en el laboratorio; para ello se hidrata con 1 ml de caldo nutritivo (cuya composición se detalla en la Tabla 5.2), se agita fuertemente hasta total disolución y se transfiere a un tubo de ensayo con 9 ml del caldo, formando la solución madre.

Tabla 5.2. Composición de caldo nutritivo.

Fórmula	g/l
Polvo de extracto de carne "Lab-Lemco"	1.0
Extracto de levadura	2.0
Peptona	5.0
Cloruro de sodio	5.0
Ph 7,4 ±0.2 a 25°C	

5.4.1.2 Conservación del microorganismo

Para la conservación del microorganismo se utiliza el método de siembra por agotamiento o estría. (ROJAS, 2011). Para ello, de la solución madre se toma una alícuota del cultivo bacteriano con hisopo estéril y se realizan siembras en la superficie del medio sólido preparado previamente en diferentes placas de Petri. Las siembras se llevan a incubación por 24 horas a 37°C y, posteriormente, se conservan en refrigeración a 4°C. Para mantener activa la bacteria, se hacen repiques cada 8 días en agar y caldo nutritivo, bajo las condiciones de incubación antes mencionadas y se almacenan a 4°C bajo condiciones asépticas.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

5.4.1.3 Determinación del perfil cinético de la cepa *Corynebacterium glutamicum* ATCC 13032

Para determinar el perfil de la cinética del crecimiento bacteriano y el tiempo de incubación necesario para alcanzar el número de bacterias suficientes que garanticen un proceso de producción eficiente de L-lisina, se llevan a cabo diferentes mediciones turbidimétricas bajo condiciones adecuadas de crecimiento, cuya grafica se muestra en la Figura 5.15.

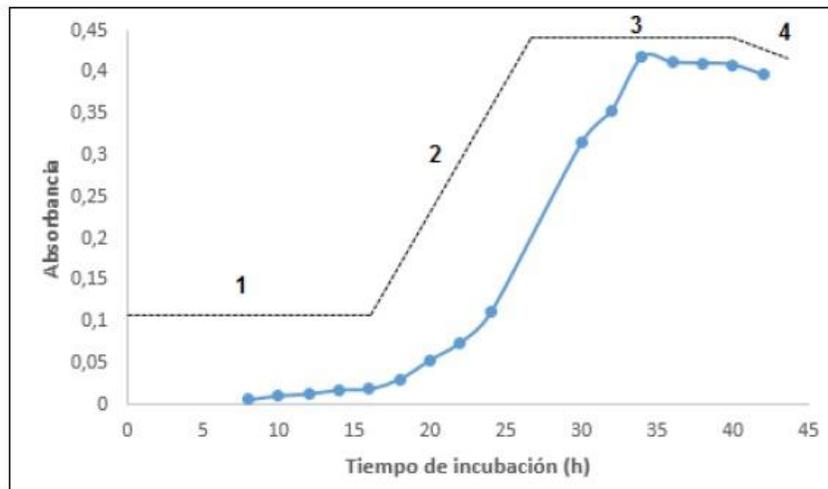


Figura 5.15. Gráfica de crecimiento de *Corynebacterium Glutamicum*.

Se puede observar claramente que la curva de cinética presenta cuatro zonas características:

- 1- Fase de latencia: la cual inicia desde el momento de inoculación hasta aproximadamente las 12 a 14 primeras horas, en donde únicamente se produjo el reacomodo de la composición macromolecular al nuevo ambiente de los microorganismos inoculados.
- 2- Fase exponencial o logarítmica: se produce a partir de las 15 a las 34 horas en donde se alcanza un valor máximo de absorbancia por no existir limitación de nutrientes igual a 0,418 y equivalente a $1,72 \times 10^7$ cel/ml.
- 3- Fase estacionaria: se presenta desde las 35 a las 40 horas posteriores a la inoculación, en donde se detuvo el crecimiento debido al agotamiento de nutrientes.
- 4- Fase de muerte: se presenta en tiempos posteriores a las 42 horas y producida posiblemente por la inducción de enzimas autolíticas que causan la muerte de los microorganismos (QUIJANO, Op. Cit., p. 49).

El análisis del perfil cinético de la cepa bacteriana permite visualizar uno de los parámetros determinantes en la producción de L-lisina, ya que se encuentra que a las 34 horas la cinética indica que se alcanza un máximo de absorbancia y con ello la concentración más alta de células para conformar un cultivo previo (prefermentador) antes de pasar al biorreactor donde se lleva a cabo la producción del aminoácido.

Teniendo en cuenta lo anterior, los medios de fermentación son inoculados con cultivos prefermentados de *Corynebacterium Glutamicum* ATCC 13032 a 34 horas.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

5.4.1.4 Esterilización

A escala industrial la esterilización de medios, recipientes, etc. Se logra generalmente con vapor, mientras que el aire suministrado es esterilizado por la temperatura elevada alcanzada en el compresor, seguido por el paso a través de un medio filtrante fibroso. Esta última operación sobre el aire suministrado implica una filtración, en contraste con la eliminación total de microorganismos que se alcanzaría usando una membrana. Es normal utilizar un filtro adicional a la salida del aire para evitar la contaminación en el caso de que parte de dicho aire fuera aspirado de nuevo a la instalación.

5.4.2 Medio de cultivo

Los medios de cultivo deben contener los elementos necesarios tanto para la síntesis de material celular como para permitir la formación de producto, satisfacer los objetivos técnicos del proceso brindando un medio ambiente adecuado y ser económicamente rentable.

El proceso de fermentación se desarrolla en varias etapas, cada una teniendo objetivos técnicos específicos y necesidades particulares de los medios:

- La primera etapa comprende el desarrollo a pequeña escala y crecimiento del inóculo. El objetivo es conseguir velocidades de crecimiento altas, para disponer de niveles elevados de biomasa viable y en una forma fisiológicamente adecuada para poder usarse como inóculo en la etapa siguiente.
- La segunda etapa comprende el crecimiento microbiano.
- En la última etapa se pretende la formación del producto.

5.4.2.1 Factores nutricionales

El medio de cultivo para la mayoría de los microorganismos tiene que contener una fuente de carbono, de nitrógeno, ciertos factores de crecimiento, sales minerales y agua. Al ser microorganismos aeróbicos necesitan oxígeno para formar su biomasa y como fuente de energía para la biosíntesis y mantenimiento celular.

Las diferentes concentraciones de cada componente son un factor clave, pudiendo aumentar la producción o provocar la inhibición.

5.4.2.2 Fuente de carbono

En las fermentaciones industriales el carbono suministra prácticamente la energía para el crecimiento, así como los átomos de carbono para la biosíntesis. La melaza es una fuente de carbono apropiada, fácilmente asimilable por el metabolismo de la bacteria, siendo su concentración óptima diferente, dependiendo de los demás ingredientes del medio.

5.4.2.3 Fuente de nitrógeno

El aporte de nitrógeno al medio de cultivo puede ser desde una fuente orgánica o inorgánica.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

5.4.2.4 Composición del medio

El medio empleado tanto en el prefermentador de laboratorio, los prefermentadores industriales y el fermentador se detalla en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Composición del medio de cultivo.

Componente	Concentración (g/l)	Composición fraccional (%)
Melaza	102,3	10,07
Treonina	0,91	0,10
NH ₄ OH	14,97	1,47
KH ₂ PO ₄	1,28	0,13
Agua	-	88,23

5.4.3 Preparación del inóculo

La preparación del inóculo se realiza tomando con un asa micológica una colonia de siete días de edad de la placa de Petri, teniendo precaución de no tomar agar y colocándola en un tubo con 10 ml de solución salina. Se homogeniza en un vortex. Posteriormente se incuba a 35°C, 180 rpm, durante 34 horas. Se debe lograr una concentración de células de $1,72 \times 10^7$ cel/ml.

5.4.4 Prefermentación

La Prefermentación, esto es la fermentación que se lleva a cabo en forma previa a la fermentación principal, se realiza en un total de tres etapas de acuerdo a los requisitos de la fermentación global de inocular al 1%. La primera se considera de laboratorio debido al tamaño del reactor necesario, mientras que las dos restantes tienen lugar en la planta (la etapa siguiente es la fermentación principal).

5.4.5 Régimen de trabajo

Implica seleccionar entre una producción en modo continuo o discontinuo. Un sistema discontinuo o batch supone un ciclo compuesto por la carga del fermentador, esterilización in situ, desarrollo de biomasa y producción de L-lisina, vaciado y lavado. Este ciclo se repite tantas veces sea necesario anualmente para alcanzar la producción necesaria. Suena lógico el empleo de más de un reactor para acortar este ciclo y reducir los tiempos muertos.

Un proceso continuo, por otro lado, implica un conjunto de reactores funcionando en serie o paralelo (dependiendo de las características del microorganismo y de la producción deseada) generando biomasa y aminoácido en forma constante, durante un período anual establecido (debe tenerse en cuenta un tiempo de parada para mantenimiento). Para que esto sea posible es necesario determinar la etapa de mayor producción y mantenerla estable.

En la Tabla 5.4 se resumen las principales características de estos dos regímenes, las cuales serán tenidas en cuenta más adelante para su selección.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 5.4. Características de regímenes de trabajo.

Aspecto	Discontinuos	Continuos
Comunicación con el medio ambiente	Sistema cerrado excepto por aireación.	Sistema abierto.
Tamaño de la instalación	Instalaciones relativamente grandes. Gran inversión en terreno e instalaciones.	Instalaciones relativamente pequeñas. Ahorros en terreno e instalaciones.
Reactor	Concentración de los sustratos y productos varían con el tiempo.	En todo el reactor, las concentraciones son constantes.
Control del conjunto de acciones en el sistema	Control simple. Es más fácil de controlar las condiciones del reactor (Ph, presión y temperatura). Puede realizarse control manual.	Control complejo. Debe emplearse control automático dado que el control del reactor es más difícil. El control debe ejercitarse sobre el flujo de los materiales.
Medio	Contiene una cantidad limitada de medio. El sustrato se añade al principio.	El medio se va añadiendo continuamente al reactor y se elimina igual volumen de producto.
Latencia del inóculo	El inoculado pasa a través de todas las fases de crecimiento.	El inoculado se mantiene estable en la etapa de máximo crecimiento.
Formación de producto	Para productos asociados al crecimiento la formación eficiente del producto se da solamente durante una fracción del ciclo de fermentación.	Adaptados para cuando el producto se forma después de la fase de crecimiento exponencial.
Cantidades producidas	Es preferente para pequeñas cantidades de un material específico.	Preferible para la producción a gran escala.
Extracción del producto	La recuperación del producto solo es posible cuando la fermentación finaliza.	El producto se extrae continuamente.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Variedad del producto en la planta	Preferible cuando la planta produce una amplia gama de productos y cuando es factible que el producto cambie en el futuro, usando el mismo reactor.	Preferible para la producción de un producto central y constante.
Etapas de desarrollo del producto	Preferible cuando el proceso es relativamente nuevo y aún desconocido. En este caso la inversión inicial es más pequeña y, por lo tanto, el riesgo económico es menor.	Preferible después de la conclusión de todas las etapas de la taquillera en marcha y pruebas de factibilidad económica.
Solución de problemas	Un fallo o hacer frente a un lote que requiere “reparación” no causan problemas en las otras etapas. Pruebas adecuadas se llevan a cabo después de cada etapa.	Las instalaciones están interconectadas, por lo que un fallo en una causa un paro en todas las demás. El material que ha sido dañado no puede ser reparado en las mismas condiciones de trabajo. Debe ser aislado y el proceso se reinicia.

Existe además una opción intermedia entre las anteriores, denominada discontinua alimentada a intervalos que se identifica por:

- Sistema abierto.
- El sustrato se añade a intervalos a lo largo del proceso.
- Hace que la etapa de formación del producto sea lo más larga posible.

En la mayoría de las fermentaciones industriales se utiliza el método discontinuo. En algunos casos y con volúmenes de salida de producto elevados pueden ser más eficaces, en términos de productividad del fermentador, los sistemas continuos. Sin embargo, este sistema de fermentación presenta desventajas críticas en la estabilidad del proceso, la que en caso de no conseguirse significa pérdidas elevadas en volumen.

Además, una contaminación externa, esto es la pérdida de las condiciones de asepsia, supone pérdidas adicionales en la producción.

5.4.6 Diseño y tipo de reactor

Los distintos tipos de fermentadores que se conocen pueden encuadrarse de acuerdo a la terminología establecida para reactores químicos (DENBIGH Y TURNER, 1971) en:

- Fermentador intermitente (batch).
- Fermentador continuo de tanque agitado.
- Fermentador tubular.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Fermentador de lecho fluidizado.

En la Tabla 5.5 se resumen las principales características de funcionamiento de estos fermentadores a modo de que puedan ser comparados para destacar el más indicado para la producción de L-lisina. En dicha tabla el fermentador tubular se detalla en dos versiones, una que contiene flóculos microbianos y una versión posterior que facilita la retención de los microorganismos en el fermentador. De todas las opciones, las últimas tres presentan inconvenientes en el control del pH, lo que es indispensable en el crecimiento de bacterias y sobre todo en la estabilidad del producto.

Tabla 5.5. Características del funcionamiento de distintos fermentadores.

Fermentador	Control de pH	Control de la temperatura	Características de importancia industrial
Discontinuo	Es posible.	Es posible.	Mucha mano de obra.
FCTA	Es posible.	Es posible.	Caudal limitado por el arrastre.
Fermentador tubular conteniendo flóculos microbianos	Difícil de controlar salvo con gran recirculación.	Es posible.	Requiere una alimentación constante de microorganismos.
Fermentador tubular conteniendo películas microbianas	Difícil de controlar.	Es posible.	Difícil de controlar la retención de microorganismos dentro del fermentador.
Fermentador de lecho fluidizado	Difícil de controlar.	Es posible.	Caudal limitado por el arrastre.

El reactor de mezcla completa tipo tanque con agitación es el biorreactor más utilizado en las fermentaciones aireadas debido a su fiabilidad y flexibilidad, aunque presenta costos de mantenimiento e inversión relativamente grandes.

El reactor seleccionado es el de tanque agitado batch, ya que se destaca la simplicidad del mismo, a la vez que permite un control más fehaciente de las condiciones del reactor. Por otro lado, al operarlo por lotes se evitan problemas asociados con la estabilidad del cultivo, la cual es muy difícil de lograr, y por otro lado se evitan problemas de contaminación que ocasionan pérdidas significativas de producto.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

5.4.7 Concentración y purificación

Luego de realizar la fermentación se debe obtener del medio de cultivo el producto deseado. El objetivo es recuperar y refinar el producto hasta lograr las especificaciones deseadas, sin perder de vista la relación entre rendimientos y costos. El método empleado se elige de acuerdo a los siguientes factores:

- El tipo y la estabilidad del producto.
- La concentración del producto en la corriente de salida.
- La presencia y la naturaleza de otras sustancias en el caldo de fermentación.
- El grado de purificación mínimo requerido.
- La localización del producto con respecto a la célula.
- El uso que se le va a dar al producto y su precio de venta.

Los productos del proceso de fermentación incluyen gases, moléculas solubles extracelulares secretadas en el medio de fermentación y sólidos, pudiendo ser los mismos constituyentes del medio o biomasa. Los gases pueden ser recogidos, purificados y comprimidos para uso comercial. Los sólidos, células incluidas, pueden prensarse hasta formar bloques o tortas, secarse al aire libre o liofilizarse.

La mayor parte de los principios que se consideran a escala laboratorio pueden adaptarse para operar a gran escala, si bien la metodología en algunos casos puede ser bastante diferente. Algunos problemas más bien técnicos, tales como el flujo de fluidos, transferencia de masa y calor, que no presentan consecuencias en el laboratorio, pueden significar una importante resistencia en procesos a gran escala. Esto significa, que en muchas ocasiones el número de opciones sean limitadas.

Se realizan las siguientes operaciones, teniendo en cuenta lo sugerido por Bernal (1974) para la obtención de aminoácidos:

- Centrifugación: El objetivo de esta etapa es obtener una solución libre de componentes celulares.
- Columna de intercambio iónico: Se emplea una resina de intercambio catiónico primaria, basada en el punto isoeléctrico de la L-lisina, pasando la solución a un pH de 1.5 – 4 y eluyendo la L-lisina de la resina con un eluyente (por ejemplo hidróxido de amonio) con un pH mayor a 9.59, más alto que el punto isoeléctrico. La columna se regenera con ácido sulfúrico o clorhídrico al 5 – 10% y luego se lava con varios volúmenes de lecho de agua desmineralizada. (FECHTER, 1997).
- Evaporación: La evaporación se realiza en vacío hasta obtener una concentración de 50 – 55%.
- Cristalización: La corriente de entrada al cristalizador es enfriada de 50 a 25°C y acidificada con ácido clorhídrico al 37% con el fin de obtener la forma salina de la lisina, la cual es fácilmente cristalizable. El cristalizador está provisto de agitación lenta.
- Centrifugación: Terminado el proceso de cristalización, los cristales formados son separados del licor madre empleando una centrífuga, mediante la cual se obtienen cristales húmedos que son enviados hacia un secador.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Secado: Éste se realiza utilizando el método spray; permite eliminar la humedad residual de los cristales hasta alcanzar una pureza del 99.8%.

5.4.8 Envasado

En esta etapa se realiza la dosificación y palletizado del producto; como así también, los controles de calidad para que el producto pueda ser expedido. Los mismos se describen en el capítulo correspondiente.

5.5. Diagrama de Flujo

En la Figura 5.16 se aprecia el diagrama de flujo del proceso resultante de la selección de las etapas óptimas para la producción de L-lisina. Las condiciones de operación de las etapas se determinan durante el diseño y la adopción de equipos.

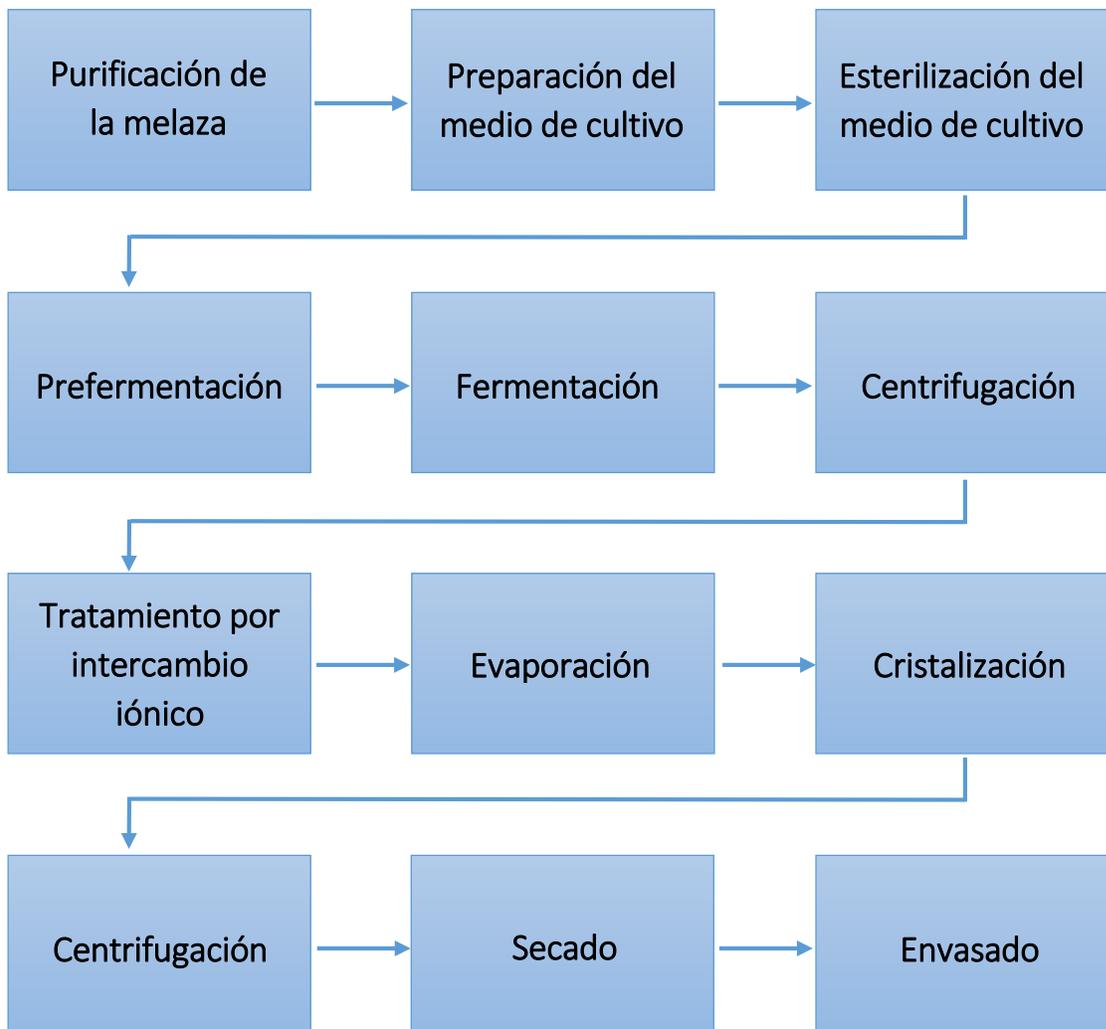


Figura 5.16. Diagrama de flujo del proceso.

CAPÍTULO VI: CAPACIDAD DE LA PLANTA

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

6.1 Introducción

En el siguiente capítulo se va a determinar el tamaño de la planta, que es uno de los aspectos fundamentales en el desarrollo del proyecto. El estudio de mercado permite estimar la demanda futura del producto sirviendo como base para fijar la capacidad de ésta. La misma depende también de la disponibilidad de materias primas, la tecnología disponible, el financiamiento y los equipos, debiendo realizarse un balance entre estos factores para obtener la capacidad óptima y con ello, el menor costo de producción, el mayor beneficio y la máxima rentabilidad del proyecto.

6.2 Proyección de producción óptima

Ahora bien, se considera la proyección de la producción de L-lisina, como una situación dinámica en el tiempo. Como se puede observar en los análisis anteriores del capítulo de estudio de mercado, la demanda crece año tras año, y por lo tanto la producción deberá hacerlo al mismo ritmo. Al presentarse tal comportamiento de crecimiento no existe un tamaño óptimo de planta, sino una estrategia óptima de ampliación que puede definirse con anticipación.

El método aproximado que se expone a continuación permite tener una primera idea del tamaño óptimo aconsejable y lo es mucho mejor en la medida en que sea mayor la certeza en la estimación de los parámetros que lo determinan. Debe considerarse como un elemento más de ayuda para la toma de la decisión final en cuanto al tamaño del proyecto. Para poder aplicarlo se deben conocer o estimar previamente los siguientes parámetros:

- D_0 : magnitud de la demanda actual que satisface el proyecto.
- r : tasa de crecimiento de la demanda que satisface el proyecto.
- N : vida útil de la maquinaria y equipos.
- α : factor de escala.

En aquellos mercados en los que el consumo del producto presenta una tendencia creciente, como en el caso de este proyecto, se comienza por estimar el período óptimo “ n ”, al que corresponde el tamaño óptimo del proyecto. Para esto se emplea la ecuación que se presenta a continuación (SAPAG CHAIN, 1995):

$$\frac{1}{R^n} = 1 - 2 \times \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right) \times \left(\frac{R-1}{R+1}\right)^{N-n} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

El desarrollo porcentual de la demanda, R , es una función de la tasa de crecimiento estimada del mercado, r , que se puede expresar de la siguiente manera (SAPAG CHAIN, 1995):

$$R = 1 + r \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Para estimar el valor de “ r ”, se emplearon los datos obtenidos anteriormente en el estudio de mercado, correspondiente a la proyección de la demanda a satisfacer de la L-lisina, que se considera como la base para el cálculo de la capacidad de la planta.

Se calcula la demanda anual de este producto y la tasa de crecimiento anual promedio, la cual resultó 4.21%. Por lo tanto, “ R ” toma un valor igual a 1.0421.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

El exponente de escala, α , tiene un valor de 0.65 de acuerdo a la lista de factores calculados para las industrias químicas, de alimentos, fármacos, petroquímicas y automovilísticas, publicada por las Naciones Unidas en el Boletín N°20 "Industrialización y Productividad".

Por último, la vida útil de los equipos, "N", se estima en diez años por convención, que por otra parte coincide con los años que se supone que dura el presente proyecto.

A partir de estos valores y de la ecuación 5.1, se obtuvo, a través de un método de aproximaciones sucesivas, un valor de período óptimo, "n", correspondiente a 9.33 años aproximadamente.

Una vez calculado "n óptimo", según el método propuesto, se lo incorpora en la ecuación 5.3 para determinar D_n , tamaño óptimo del proyecto (pág. 173. Preparación y Evaluación de Proyectos. Sapag Chain).

$$D_n = D_0 \times (1 + r)^n \text{ Ecuación 5.3}$$

Las expresiones anteriores se deducen al suponer que el tamaño óptimo del proyecto es aquel que permite mantener al mínimo los costos totales durante la vida útil estimada.

En este caso D_0 corresponde al valor actual de la demanda de L-lisina, 1080.2533 toneladas/año.

Esto señala que el tamaño óptimo en función de las expectativas de crecimiento del mercado debe programarse para satisfacer una demanda de 1587.16 toneladas de L-lisina. Adoptando una capacidad de planta de 1600 toneladas anuales.

6.3 Estimación de la materia prima disponible

El abastecimiento suficiente en cantidad y calidad de materia prima es un aspecto vital que condiciona el tamaño de un proyecto.

Como se describe en el capítulo correspondiente al estudio de mercado, la cantidad de melaza producida en el país y exportada es superior al total anual requerido en este proyecto; por lo que se puede decir que la melaza no es un factor limitante en el mismo.

6.4 Conclusión

Se concluye con lo expuesto anteriormente, que se abarca el 100% de la demanda insatisfecha de L-lisina debido a la disponibilidad de melaza, a la falta de competidores en el terreno nacional y a la disponibilidad del microorganismo productor. Cabe destacar que éste último se lo adquiere una sola vez por importación y luego se mantiene por cultivo.

CAPÍTULO VII: BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

7.1 Introducción

En esta etapa se describen los balances de masa y energía inherentes al proceso en su totalidad, como así también para cada etapa del proceso. Para llevar a cabo este objetivo, se analizan las corrientes másicas entrantes y salientes de cada etapa, la composición de las mismas, requerimientos energéticos y cantidad de L-lisina que presenta cada una de ellas.

Para el cálculo de estas corrientes y sus características se toma como base de cálculo la producción necesaria para cubrir el mercado, de acuerdo al estudio realizado previamente y considerando un ciclo productivo de 350 días por año en el que se suceden tres turnos diarios para cubrir las respectivas 24 horas. Los días restantes se aglutinan en una única parada de planta para realizar tareas de mantenimiento. Debido a que el proceso productivo tiene una duración de 3 días se trabaja con 4 fermentadores; por lo que se tiene 347 batch al año. Se considera un 5% de pérdidas globales en el proceso, preferentemente en las etapas de purificación.

La L-lisina sale del fermentador con una concentración de 49 g/l; con este dato es posible calcular el volumen de cada fermentador. El producto obtenido en esta etapa no es el final, ya que en la etapa de cristalización se adiciona una gran cantidad de ácido clorhídrico para lograr el producto terminado, L-lisina HCl.

Por lo tanto, para calcular el volumen del fermentador, se tiene en cuenta que el producto que sale del mismo representa el 70% del producto final.

Si bien la demanda a satisfacer para el año 10 del proyecto arrojado en el capítulo 6 es de 1600 toneladas anuales, se considera una sobreproducción del 4%, utilizando para los cálculos 1660 toneladas. Esto es así, debido a que se tiene en cuenta un margen de pérdidas por razones de calidad, contaminación, etc.

En el diagrama de Gantt de la Figura 7.1, se observa la distribución por día de la producción durante un mes; cabe destacar que esta planta trabaja con cuatro fermentadores y, para cada uno de ellos, un prefermentador.

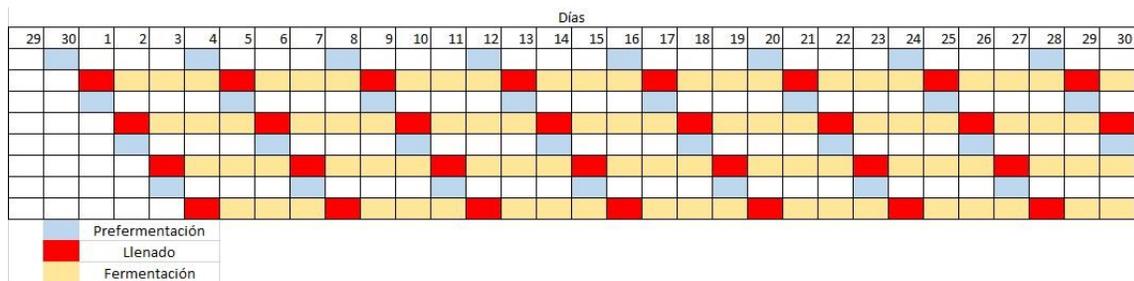


Figura 7.1. Diagrama de Gantt. Distribución de la producción por día en un mes.

Con el resultado de estos balances es posible el dimensionamiento y adopción de los equipos necesarios.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

7.2 Balance de masa

Para los cálculos del balance de masa se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se parte de la premisa de que se opera en estado estacionario, es decir, no hay acumulación en el sistema.
- Cada una de las etapas involucradas en el proceso de producción conlleva un rendimiento asignado.
- El proceso de producción de L-lisina presenta etapas discontinuas o batch y continuas.
- En el caso de etapas que suponen separación de corrientes se le atribuye a cada una un determinado rendimiento y, por consiguiente, un porcentaje de pérdidas.

7.2.1 Balance general

En la Tabla 7.1 se evidencia el balance global para el proceso en su totalidad (considerando al mismo como una caja negra y teniendo en cuenta las corrientes externas), balance que surge del diagrama de flujo completo que se muestra en la Figura 7.2.

Tabla 7.1. Balance Global

BALANCE GLOBAL
Tipo de proceso: batch con etapas continuas.
$A'+A+B+C+D+E+H+J+L+U+Y=AB'+H'+L'+P+R+T'+W+Y'+Z$

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

En la Tabla 7.2 se describe la función de los equipos que aparecen en el diagrama.

Tabla 7.2. Detalles de los equipos del proceso.

Equipo	Nomenclatura	Descripción
ETAPA DE PRETRATAMIENTO		
1	MD-01	Tanque mezclador
2	FIL-01	Filtro
3	MD-02	Tanque mezclador
4	MD-03	Tanque mezclador
5	I-01 – I-02 – I-03	Intercambiadores de calor para esterilizar (precalentamiento – calentamiento y enfriamiento)
6		Divider
ETAPA DE FERMENTACIÓN		
7	P-01	Prefermentador
8	R-01	Fermentador
ETAPA DE EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN		
9	T-02	Tanque de almacenamiento del producto de fermentación
10	S-01	Centrifuga
11	C-01	Adsorción
12	E-01	Evaporador
13	I-04	Intercambiador de calor para enfriar
14	CR-01	Cristalizador
15	S-02	Centrifuga
16	D-01	Secador

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Mezclado

En la Figura 7.3 se exhibe un esquema representativo del proceso, en la Tabla 7.3 se muestra el balance general para esta etapa, mientras que en la Tabla 7.4 se detallan las corrientes involucradas y sus composiciones.

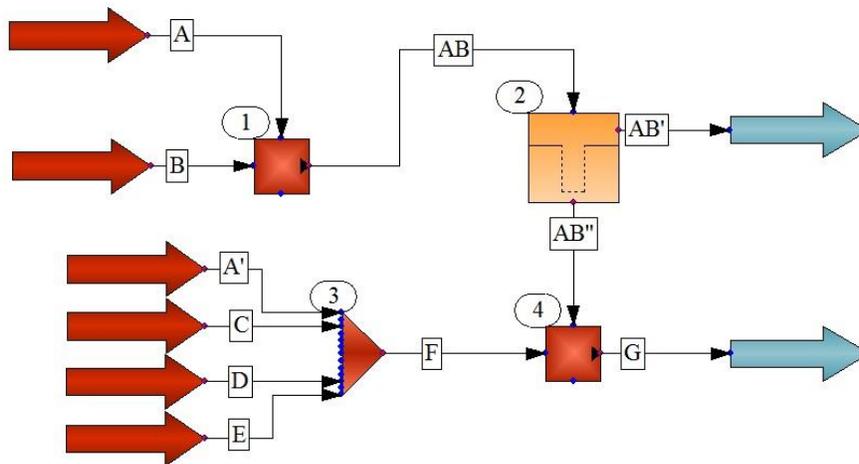


Figura 7.3. Esquema representativo del mezclado.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.3. Balance general de mezclado.

BALANCE GENERAL	$A'+A+B+C+D+E=AB'+G$
Balance de agua (W)	$X_{WA}A'+X_{WA}A=X_{WG}G$

Antes de ingresar al tercer mixer, la melaza pasa por un filtro en el cual se retiene un 1% de impurezas.

Consideraciones para esta etapa

- Se considera que en los mezcladores no hay pérdidas (supuesto).
- Se estima que no hay interacciones entre las sales que justifiquen un estudio posterior.

Tabla 7.4. Corrientes involucradas en el mezclado.

Corriente	Entrada/Salida	Denominación	Caudal Másico (kg/h)
A'	Entrada	Treonina	3,49
A	Entrada	Melaza	394,88
B	Entrada	Agua	169,24
C	Entrada	NH ₄ OH	57,24
D	Entrada	KH ₂ PO ₄	4,89
E	Entrada	Agua	3257,11
AB'	Salida	Impurezas	3,91
G	Salida	Medio de cultivo	3882,94

7.2.3 Esterilización

En la Figura 7.4 se representa esta etapa. Dado que las corrientes se encuentran en forma indirecta, no existe un intercambio de masa que justifique análisis en esta sección. Esta etapa, sin embargo, se detalla en el balance de energía correspondiente.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

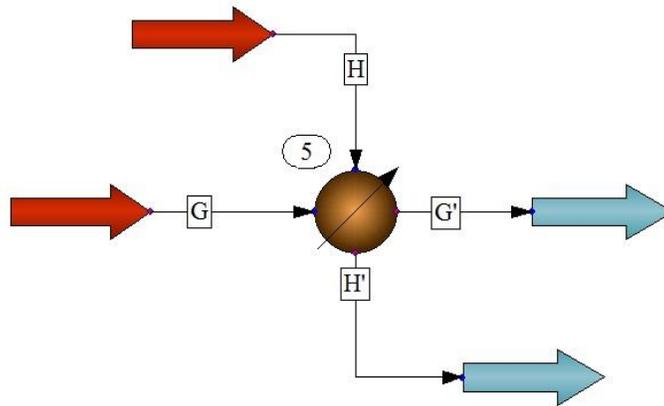


Figura 7.4. Esquema representativo de la esterilización.

Consideraciones para esta etapa

- Las pérdidas de materia prima (composicionalmente) por calor en esta etapa se desprecian (supuesto).

7.2.4 Fermentación

Crecimiento celular

El crecimiento de los microorganismos es una parte integral de casi todos los procesos de fermentación. Como se explica en capítulos anteriores, las bacterias experimentan una serie de fases una vez inoculadas entre las que se encuentran una fase de latencia, en la que el microorganismo se adapta a las condiciones del medio; posteriormente tiene lugar un período de tiempo en el que la velocidad de crecimiento de las células aumenta gradualmente y las mismas crecen a una velocidad constante máxima, etapa que se denomina exponencial o logarítmica. A medida que el crecimiento continúa, los nutrientes se van agotando y los productos son excretados por el organismo, la velocidad de crecimiento consecuentemente disminuye y finalmente cesa, en una etapa que se conoce como estacionaria. Por último, existe una fase de muerte si se produce un agotamiento significativo de los nutrientes o una acumulación de algún producto tóxico.

La fase de adaptación no será tenida en cuenta para los cálculos (se supone que la bacteria se encuentra siempre en estado logarítmico hasta el estado estacionario).

El crecimiento puede ser medido en función del incremento de la masa celular según la ecuación 7.1:

$$\frac{dx}{dt} = \mu x - \alpha x \quad \text{Ecuación 7.1.}$$

En la que x se refiere a la concentración celular (mg/cm^3), t al tiempo de incubación (h), μ a la velocidad de crecimiento específica (h^{-1}) y α a la velocidad específica de lisis o metabolismo endógeno (h^{-1}). De la forma integrada de esta ecuación (ecuación 7.2.), despreciando la etapa de lisis dado que se concentra la producción de biomasa en la etapa

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

exponencial y con el dato de μ para el microorganismo aplicado, puede calcularse el crecimiento de biomasa en los prefermentadores y subsecuentemente en la fermentación principal.

$$x_t = x_0 e^{\mu t} \text{ Ecuación 7.2.}$$

Corynebacterium Glutamicum presenta las primeras etapas bien diferenciadas, esto es una etapa de adaptación que dura 14 horas y una etapa exponencial (con una extensión adicional de 20 horas) cuya tasa de crecimiento es de $0,028 \text{ h}^{-1}$ (BÜCHS, 1994).

Estimación de la masa celular

La medida de la masa de los constituyentes de las bacterias es utilizada frecuentemente como base para medir el metabolismo de estos organismos. Un método eficiente para cuantificar la biomasa es la medición del peso seco (contenido de sólidos) de las células que se encuentran en una suspensión se obtiene, generalmente, por el secado de un volumen en un horno a 105°C hasta peso constante.

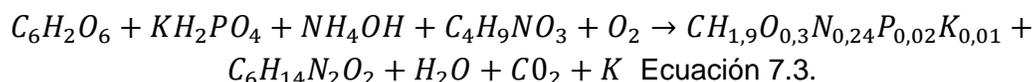
En la medición del peso seco inicial de un inóculo de *Corynebacterium Glutamicum* con una concentración de $1,72 \times 10^7 \text{ cel/ml}$, se encuentra que el peso seco correspondiente es de $1,72 \times 10^{-3} \text{ g/ml}$. Con estos datos se puede hacer una estimación de la masa inoculada en casa reactor. (GÓMEZ Y LAGOS, 2013).

Metabolismo celular

Todos los microorganismos pueden expresarse como una fórmula química condensada para realizar un análisis del metabolismo del mismo a través de una relación estequiométrica involucrando las fuentes de carbono que consume, el oxígeno que requiere y el dióxido de carbono y el agua que excreta. Para *Corynebacterium Glutamicum* la fórmula condensada es $\text{CH}_{1,9}\text{O}_{0,33}\text{N}_{0,24}\text{P}_{0,02}\text{K}_{0,01}$ (HEINZLE, 2007).

Con dicha estequiometría y los datos de crecimiento celular es posible predecir el consumo de los componentes del medio de cultivo durante la fermentación.

La relación estequiométrica correspondiente al metabolismo de *Corynebacterium Glutamicum* es la que se exhibe a continuación (Ecuación 7.3)



7.2.4.1 Prefermentación

La Prefermentación, esto es la fermentación que se lleva a cabo en forma previa a la fermentación principal, se realiza en un total de dos etapas de acuerdo a los requisitos de la fermentación global de inocular al 1%. La primera se considera de laboratorio debido al tamaño del reactor necesario, mientras que la restante tiene lugar en la planta.

Consideraciones para esta etapa

- La prefermentación tienen una duración de 34 horas. Se considera que en este tiempo la multiplicación celular es suficiente para inocular.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Se inocula en el instante en el cual la bacteria se encuentra en la fase de crecimiento exponencial.
- La inoculación se realiza al 1% v/v. En la estimación del crecimiento de la bacteria se utilizan los datos de Rosero Bernal (2017).
- El medio de cultivo de la prefermentación es el mismo de la fermentación principal y fue establecido en el capítulo correspondiente de acuerdo a los mayores rendimientos de lisina.
- Para la estimación del aire necesario a utilizar se tomó como valor de aireación 0,2 vvm (volúmenes de aire por volumen de medio por minuto) de acuerdo a Shah et al (2008).

Prefermentador industrial

En la Figura 7.5 se aprecia un esquema de este equipo. En la Tabla 7.5, por su parte, se detalla el balance general y de componentes correspondiente al mismo.

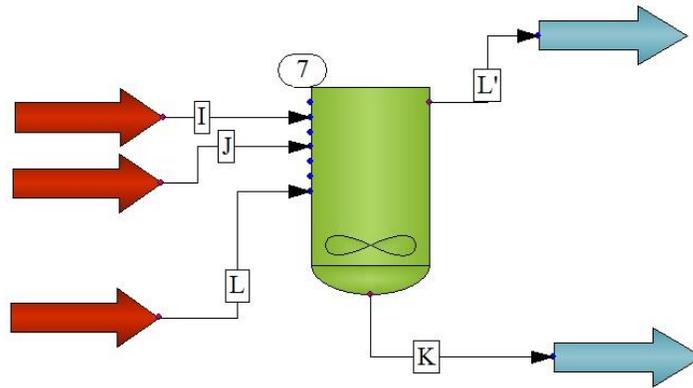


Figura 7.5. Esquema representativo de la prefermentación.

Tabla 7.5. Balance general y de componentes para la prefermentación

BALANCE GENERAL	$I+J+L=L'+K$
Balance de agua (W)	$X_{wI}=X_{wK}K$

En la Tabla 7.6 se analizan las corrientes involucradas en este prefermentador.

Tabla 7.6. Corrientes involucradas en el prefermentador.

Corriente	Entrada / Salida	Denominación	Caudal másico (kg/h)	Componente	Composición porcentual	Caudal másico de la fracción (kg/h)
I	Entrada	Medio de cultivo	473,93	Melaza	10,08%	47,73
				Agua	88,24%	418,19
				Treonina	0,09%	0,43
				NH ₄ OH	1,47%	6,99
				KH ₂ PO ₄	0,12%	0,59

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

J	Entrada	Inóculo proveniente del laboratorio	4,05	Biomasa	48,40%	1,96
				Medio agotado	51,60%	2,09
L	Entrada	Aire filtrado	9,91	Aire	100%	9,91
L'	Salida	Aire filtrado agotado	9,91	Aire agotado	100%	9,91
K	Salida	Inóculo que va al siguiente prefermentador	42,17	Biomasa	36,97%	265,08
				Medio agotado	63,03%	451,90

7.2.4.2 Fermentación

En la Figura 7.6 se esquematiza el proceso, mientras que en la Tabla 7.7 se detalla el balance general y de los componentes para esta etapa.

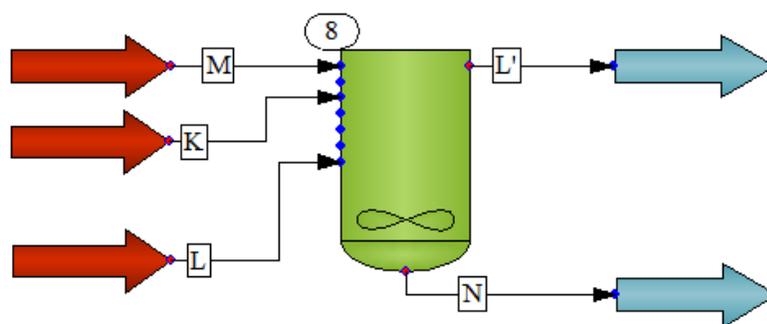


Figura 7.6. Esquema representativo de la fermentación principal.

Tabla 7.7. Balance general y de componentes para la fermentación principal.

BALANCE GENERAL	$M+K+L=L'+N$
Balance de agua (W)	$X_{WM}M + X_{WK}K = X_{WN}N$

Consideraciones para esta etapa

- La fermentación tiene una duración de 72 horas.
- La inoculación se realiza al 1% v/v. En la estimación del crecimiento de la bacteria se utilizan los datos de Rosero Bernal (2017).
- El medio de cultivo fue establecido en el capítulo correspondiente de acuerdo a los mayores rendimientos de lisina.
- Para la estimación del aire necesario a utilizar se tomó como valor de aireación 0,2 vvm (volúmenes de aire por volumen de medio por minuto) de acuerdo a Shah et al (2008).

En la Tabla 7.8 se detallan las corrientes involucradas en esta etapa.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.8. Corrientes involucradas en la fermentación principal.

Corriente	Entrada / Salida	Denominación	Caudal másico (kg/h)	Componente	Composición porcentual	Caudal másico de la fracción (kg/h)
M	Entrada	Medio de cultivo	4181,91	Melaza	10,07%	421,12
				Agua	88,24%	3690,12
				Treonina	0,09%	3,76
				NH ₄ OH	1,47%	61,47
				KH ₂ PO ₄	0,13%	5,44
K	Entrada	Inóculo proveniente del prefermentador anterior	42,17	Biomasa	36,97%	15,59
				Medio agotado	63,03%	26,58
L	Entrada	Aire filtrado	991,2	Aire	100%	991,2
L'	Salida	Aire filtrado agotado	991,2	Aire agotado	100%	991,2
N	Salida	Producto de la fermentación	17952,35	Lisina	4,77%	857,20
				Biomasa	3,34%	599,82
				Medio agotado	91,89%	16495,33

7.2.5 Tanque pulmón

En la Figura 7.7 se esquematiza esta etapa. Dado que no hay cambios en la masa de las corrientes de entrada y de salida, no se realiza un balance para la misma.

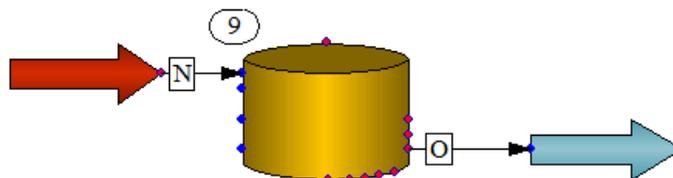


Figura 7.7. Esquema representativo del tanque pulmón.

7.2.6 Centrifugación

En la Figura 7.8 se aprecia una representación de la etapa, mientras que en la Tabla 7.9 se detalla el balance general y de componentes. En la Tabla 7.10 se muestran las corrientes y sus composiciones.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

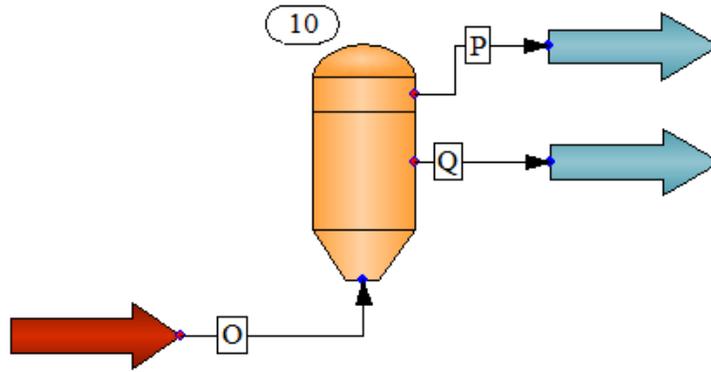


Figura 7.8. Esquema representativo de la centrifugación.

Tabla 7.9. Balance general y de componentes para la centrifugación.

BALANCE GENERAL	$O=P+Q$
Balance de agua (W)	$X_{WO}O = X_{WP}P + X_{WQ}Q$
Balance de L-lisina	$X_{LO}O = X_{LP}P + X_{LQ}Q$

Consideraciones realizadas para esta etapa (supuestos)

- Se considera una pérdida de masa del 2,2% para la lisina.
- La biomasa se separa al 100% de la corriente que contiene lisina.

Tabla 7.10. Corrientes involucradas en la centrifugación.

Corriente	Entrada / Salida	Denominación	Caudal másico (kg/h)	Componente	Composición porcentual	Caudal másico de la fracción (kg/h)
O	Entrada	Producto de la fermentación	2992,06	Lisina	4,77%	142,87
				Biomasa	3,34%	99,97
				Medio agotado	91,89%	2749,23
Q	Salida	Solución con lisina	2855,41	Lisina	4,90%	139,73
				Medio agotado	95,10%	2715,68
P	Salida	Masa microbiana, restos de agua y medio agotado	136,65	Biomasa	73,16%	99,97
				Agua	22,17%	30,29
				Lisina	2,30%	3,14
				Medio agotado	2,37%	3,25

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAÇA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

7.2.7 Adsorción

La adsorción es representada en la Figura 7.9, mientras que en la Tabla 7.11 se divide el balance general para esta etapa. Por último, en la Tabla 7.12 se añaden los balances de componentes.

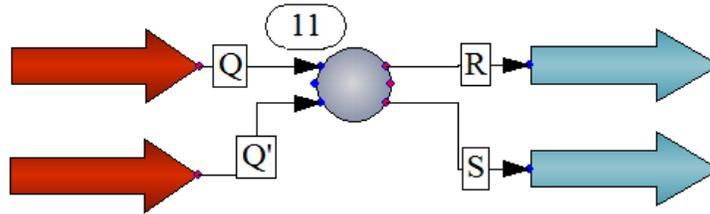


Figura 7.9. Esquema representativo de la adsorción.

Tabla 7.11. Balance general y de componentes para la adsorción.

BALANCE GENERAL	$Q + Q' = S + R$
Balance de agua (W)	$X_{WQ}Q + X_{WQ'}Q' = X_{WS}S + X_{WR}R$
Balance de L-lisina (L)	$X_{LQ}Q = X_{LS}S + X_{LR}R$

Se incluye para esta etapa una torre de adsorción compuesta por una resina de intercambio catiónico primaria basada en el punto isoeléctrico de la L-lisina pasando la solución a un pH de 1.5 a 4 y eluyendo el aminoácido de la misma con un eluyente; en este caso se utiliza hidróxido de amonio, el cual tiene un pH superior a 9.59 (punto isoeléctrico de la L-lisina). (US Patent 5, 684, 190).

La resina se regenera con ácido sulfúrico o clorhídrico al 5-10% y luego se lava con varios volúmenes de lecho de agua desmineralizada. (TANAKA, 1987).

Consideraciones para esta etapa (supuestos).

- Se pierde el 0.63% de lisina entrante.
- Todas las impurezas quedan retenidas en la resina con el medio agotado.

Tabla 7.12. Corrientes involucradas en la adsorción.

Corriente	Entrada / Salida	Denominación	Caudal másico (kg/h)	Componente	Composición porcentual	Caudal másico de la fracción (kg/h)
Q	Entrada	Solución semiconcentrada de L-lisina	2855,4	L-lisina	4,89%	139,72
				Medio Agotado	95,11%	2715,68
Q'	Entrada		2855,4	Amoníaco	99,939	3,5

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

		Solución de amoníaco en agua		Agua	2755,461	96,5
R	Salida	Permeado	1806,74	L-lisina	0,05%	0,88
				Medio Agotado	99,95%	1805,86
S	Salida	Retenido	1048,66	L-lisina	13,24%	138,84
				Agua	86,76%	909,82

7.2.8 Evaporación

La evaporación se representa en la Figura 7.10, mientras que en la Tabla 7.13 se bosqueja el balance general para esta etapa. No se tiene en cuenta el vapor necesario en el equipo, ya que éste se encuentra con la corriente principal de forma indirecta. Los requerimientos de agua en estado gaseoso se analizan en la sección correspondiente a balances de energía.

Por último, en la Tabla 7.14 se añaden las composiciones de las corrientes involucradas.

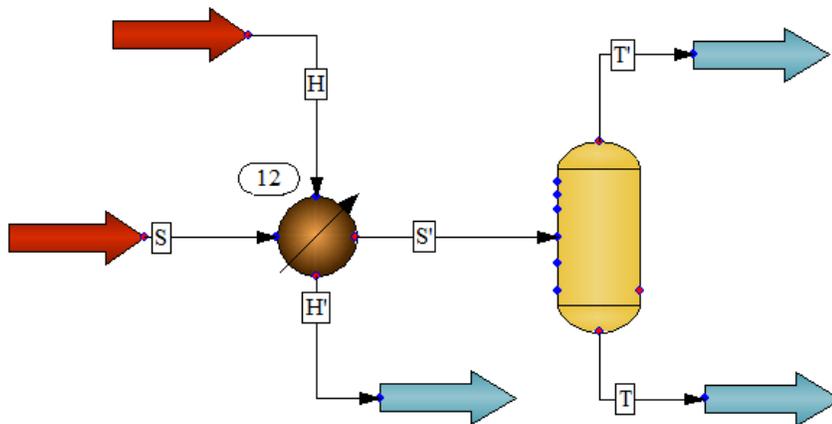


Figura 7.10. Esquema representativo de la evaporación.

Tabla 7.13. Balance general y de componentes para la evaporación.

BALANCE GENERAL	$S = T' + T$
Balance de Agua (W)	$X_{WS}S = X_{WT}T' + X_{WT}T$
Balance de L-lisina (L)	$X_{LS}S = X_{LT}T'$

Consideración para esta etapa

- Se evapora el 85,08% de la masa de agua presente a la entrada del evaporador.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.14. Corrientes involucradas en la evaporación.

Corriente	Entrada / Salida	Denominación	Caudal másico (kg/h)	Componente	Composición porcentual	Caudal másico de la fracción (kg)
S	Entrada	Solución concentrada de L-lisina, amonio y agua	3904,06	L-lisina	3,55%	138,84
				Agua	93,88%	3665,281
				Amonio	2,57%	99,939
T	Salida	Concentrado de L-lisina	694,21	L-lisina	20%	138,84
				Agua	80%	555,37
T''	Salida	Vapor obtenido de la solución	3218,37	Agua	96,9%	3118,62
				Amonio	3,1%	99,75

7.2.9 Enfriamiento

En la Figura 7.11 se representa esta etapa. Dado que las corrientes se encuentran en forma indirecta, no existe un intercambio de masa que justifique el análisis en esta sección. Esta etapa, sin embargo, se detalla en el balance de energía correspondiente.

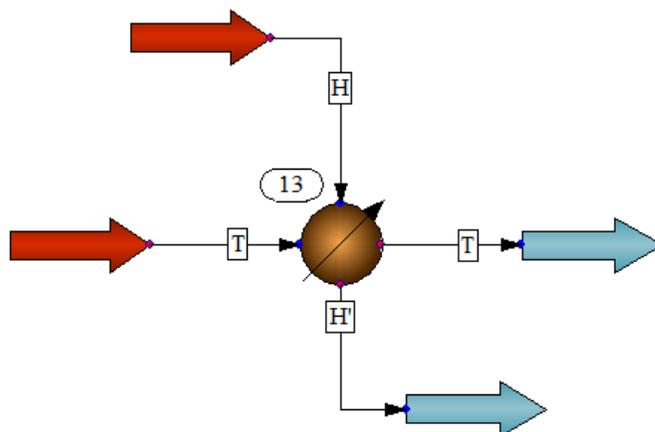


Figura 7.11. Esquema representativo del enfriamiento.

Consideración para esta etapa

- Las pérdidas de concentrado de L-lisina en esta etapa se desprecian.

7.2.10 Cristalización

Esta etapa se realiza en un tanque agitado con agregado de una solución de ácido clorhídrico al 37% en volumen con el fin de obtener la forma salina de la L-lisina, la cual es fácilmente cristalizabile.

En la Figura 7.12 se ve representada esta etapa. En la Tabla 7.15 se muestra el balance global para la cristalización y en la Tabla 7.16, las características composicionales de las corrientes involucradas.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

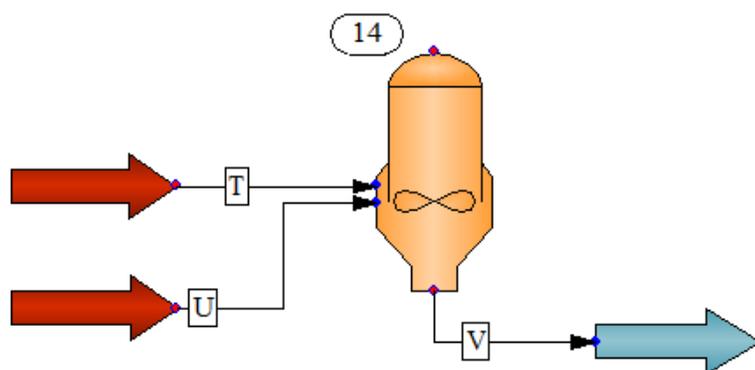


Figura 7.12. Esquema representativo de la cristalización.

Tabla 7.15. Balance general y de componentes para la

BALANCE GENERAL	$T+U=V$
Balance de agua (W)	$X_{WT}T+X_{WU}U=X_{WV}V$
Balance de L-lisina (L)	$X_{LT}T=X_{LV}V$

Consideraciones para esta etapa

- El 1,96 % de la L-lisina entrante no se cristaliza.
- El 4,27% del ácido entrante no cristaliza con la L-lisina.

Tabla 7.16. Corrientes involucradas en la cristalización.

Corriente	Entrada / Salida	Denominación	Caudal másico (kg/h)	Componente	Composición porcentual	Caudal másico de la fracción (kg/h)
T	Entrada	Concentrado de L-lisina	694,21	L-lisina	20%	138,84
				Agua	80%	555,37
U	Entrada	Ácido clorhídrico 37%	212,19	Ácido clorhídrico	100%	212,19
V	Salida	Solución con L-lisina cristalizada	904,40	L-lisina HCl	22,50%	203,49
				Agua	76,20%	689,15
				L-lisina	0,30%	2,71
				HCl	1%	9,05

7.2.11 Centrifugación

En la Figura 7.13 se aprecia una representación de la etapa, mientras que en la Tabla 7.17 se detalla el balance general y de componentes. En la Tabla 7.18 se muestran las corrientes involucradas y sus composiciones.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

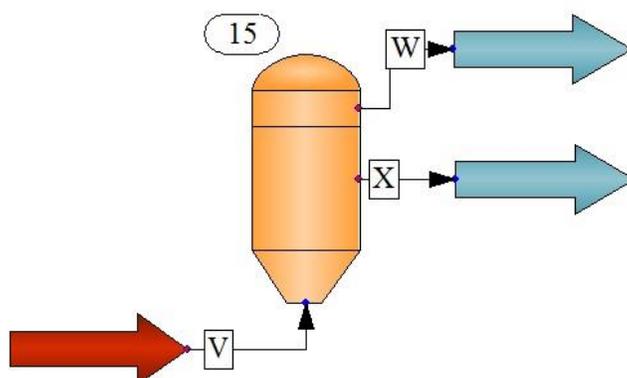


Figura 7.13. Esquema representativo de la centrifugación.

Tabla 7.17. Balance general y de componentes para la centrifugación.

BALANCE GENERAL	$V=W+X$
Balance de agua (W)	$X_{WV}V=X_{WW}W+X_{WX}X$
Balance de L-lisina (L)	$X_{LV}V=X_{LW}W+X_{LX}X$

Consideraciones para esta etapa (supuestos)

- Pérdida de L-lisina HCl del 2,17%.
- La corriente de salida útil en este proceso contiene un 97% de L-lisina HCl.
- La L-lisina no cristalizada y el ácido clorhídrico se eliminan completos.

Tabla 7.18. Corrientes involucradas en la centrifugación.

Corriente	Entrada / Salida	Denominación	Caudal másico (kg/h)	Componente	Composición porcentual	Caudal másico de la fracción (kg/h)
V	Entrada	Solución con L-lisina cristalizada	906,40	L-lisina HCl	22,50%	203,49
				Agua	76,20%	689,15
				L-lisina	0,30%	2,71
				HCl	1%	9,05
X	Salida	Concentrado de L-lisina cristalizada	205,69	L-lisina HCl	97%	199,51
				Agua	3%	6,18
W	Salida	Corriente de desecho	700,71	HCl	1,3%	9,11
				L-lisina	0,39%	2,73
				Agua	97,68%	684,45
				L-lisina HCl	0,63%	4,42

7.2.12 Secado

El secado se esquematiza en la Figura 7.13 y se analizan las corrientes en forma global en la Tabla 7.19, mientras que en la Tabla 7.20 se dan las composiciones de las mismas.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

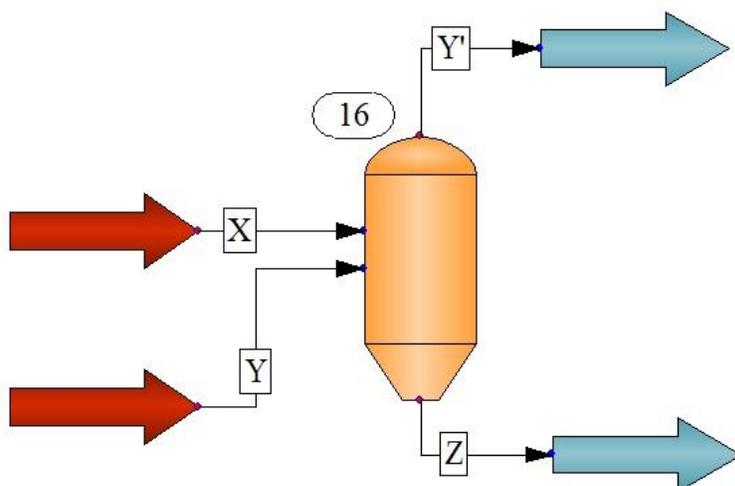


Figura 7.13. Esquema representativo del secado.

Tabla 7.19. Balance general y de componentes para el secado.

BALANCE GLOBAL	$X+Y=Y'+Z$
Balance de agua (W)	$X_{Wx}X=X_{WY'}+X_{WZ}$
Balance de L-lisina (L)	$X_{Lx}X=X_{LZ}$

Consideraciones para esta etapa

- El caudal másico del producto final es el punto de partida para el balance de masa (de atrás hacia adelante), y es fijado de acuerdo al estudio de mercado realizado con anterioridad y estableciendo un calendario de trabajo de 350 días.
- El producto final tiene un 0,20% de humedad.
- La L-lisina HCl tiene un 99,8% de pureza.

Tabla 7.20. Corrientes involucradas en el secado.

Corriente	Entrada / Salida	Denominación	Caudal másico (kg/h)	Componente	Composición porcentual	Caudal másico de la fracción (kg/h)
X	Entrada	Concentrado de L-lisina cristalizada	205,69	L-lisina HCl	97%	199,51
				Agua	3%	6,18
Y	Entrada	Aire recalentado	213,33	Aire	100%	213,33
Y'	Salida	Mezcla aire/agua	219,11	Aire	97,36%	213,33
				Agua	2,64%	5,78
Z	Salida	Producto final	199,91	L-lisina HCl	99,80%	199,51
				Agua	0,20%	0,4

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

7.3 Balances de energía

Se tendrán en cuenta las etapas en las que se justifique un análisis de estas características. Éstas son:

- Esterilización
- Prefermentación y fermentación
- Evaporación
- Enfriamiento
- Secado

7.3.1 Esterilización

En la Tabla 7.21 se realiza un balance energético para la esterilización y el enfriamiento. Las pérdidas se desprecian.

Tabla 7.21. Balance energético de la esterilización y enfriamiento.

BALANCE ENERGÉTICO DE ESTERILIZACIÓN	$G.H_G + H.H_H = G.H_{G'} + H.\lambda_H$
BALANCE ENERGÉTICO DE ENFRIAMIENTO	$G.H_{G'} + H_2O.H_{H_2O} = G.H_G + H_2O.H_{H_2O'}$

Para la esterilización deben determinarse las características del vapor a emplear con el fin de realizar el análisis energético. Dado que la temperatura de esterilización estándar es de 140°C, la cual se retiene un período de entre 30 y 120 segundos, el vapor debe estar por encima de este valor final.

De acuerdo a las curvas de vapor de agua, el valor más próximo al requerido, y cuya presión sea reproducible en una caldera, se encuentra a 144°C con una presión de 4 atmósferas.

Se adopta un valor de capacidad calorífica para la melaza de 0,515 kcal/kg °C; 1 kcal/kg °C y 0,47 kcal/kg °C para el agua en estado líquido y vapor respectivamente.

Las características del vapor de agua a emplear y del condensado se resumen en la Tabla 7.22.

Tabla 7.22. Características del vapor de agua y condensado empleado.

Corriente	Descripción	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Entalpía específica (kcal/kg)	Calor latente de vaporización (kcal/kg)	Fuente
H	Vapor sobrecalentado	150	4	656,29	505,28	Chemical Logic Steam Tab
H'	Líquido saturado	144	4	151,01		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Con el calor latente de vaporización de la corriente, y conociendo el caudal volumétrico de medio de cultivo a esterilizar, puede calcularse la cantidad de vapor necesario para suplir el cambio total de entalpía de la corriente. Para reducir este requerimiento, y para facilitar el enfriado hasta la temperatura de fermentación, en simultáneo, se diseña un sistema de esterilización compuesto de tres etapas:

- Precalentamiento: Se precalienta el medio de cultivo crudo con el medio saliente de la retención.
- Calentamiento y retención: Se calienta el medio con vapor vivo hasta la temperatura de esterilización y se procede a su retención el tiempo establecido.
- Enfriamiento: El medio saliente del precalentamiento, luego de entregar parte de su energía al medio entrante, se enfría con agua de pozo hasta la temperatura de fermentación.

De acuerdo a este esquema, la primera y la tercera etapa pueden ocurrir en circuito cerrado y, por lo tanto, no fueron tenidas en cuenta en el balance de masa. Un balance de energía para el precalentamiento determinará las temperaturas intermedias para cada corriente. Despreciando las pérdidas de calor, se tiene que:

$$\sum_{i=m}^n m_i C p_i \Delta T_i \quad \text{Ecuación 7.4}$$

Dado que dicho intercambio ocurre entre dos corrientes cuyo caudal y calor específico es el mismo, por lo tanto, el ΔT para ambas también será el mismo. Conociendo dos de las temperaturas y suponiendo el ΔT , se calculan las otras dos temperaturas como se resume en la Tabla 7.23. Para los cálculos se supuso un ΔT de 58°C.

Tabla 7.23. Características de las corrientes intermedias.

Corriente ¹	Descripción	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)
G/G ₁	Medio de cultivo crudo	20	78
G ₂ /G ₃	Medio de cultivo esterilizado	140	82

Establecidas las temperaturas intermedias se procede a estimar los caudales restantes (vapor vivo y agua de pozo). Los cálculos se resumen en la Tabla 7.24.

Tabla 7.24. Características de las corrientes involucradas en la esterilización.

Corriente ¹	Descripción	Caudal másico (kg/h)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	Entalpía específica (kcal/kg)	Δ Entalpía (kcal)
Etapa: Enfriamiento						
G/G ₃	Medio de cultivo enfriado	3882,94	82	30	78,02	-2,29x10 ⁵
					19,03	
W ₁ /W ₁ '		6271,31	20	50 ²	20	2,29x10 ⁵

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

	Agua del circuito de refrigeración				50	
Etapa: Pre calentamiento						
G/G ₁	Medio de cultivo crudo	3882,94	20	78	19,03 74,22	2,14x10 ⁵
G ₂ /G ₃	Medio de cultivo precalentado	3882,94	140	82	133,21 78,02	-2,14x10 ⁵
Etapa: Calentamiento y retención						
G ₁ /G ₂	Medio de cultivo esterilizado	3882,94	78	140	74,22 133,21	2,29x10 ⁵
H/H'	Vapor sobrecalentado	442,95	150	144	654,53 144,91	-2,29x10 ⁵

¹Se separan con barras las corrientes cuya composición es la misma, pero difiere su temperatura debido a la etapa en cuestión (entrada y salida). La temperatura de entrada corresponde a la primera de ellas, mientras que la de salida a la segunda. Las entalpías se acomodan de manera análoga.

²Temperatura supuesta.

7.3.2 Prefermentación y fermentación

En los reactores biológicos, si el calor que es generado durante la conversión del sustrato es inadecuado para que el reactor se mantenga en niveles aceptables de temperatura, el calor debe ser agregado o removido.

Dada la magnitud del fermentador en comparación con el prefermentador, se considera en primera instancia el reactor principal y con el orden de importancia que signifique cada factor se realiza el mismo análisis en el reactor de dimensiones menores.

7.3.2.1 Balance global para el fermentador

En un sistema que se mantiene a presión constante y con cambios despreciables en la energía cinética y potencial, el balance de energía se expresa como cambios de entalpía (calores de transformaciones químicas), flujo de calor sensible y transferencias al fluido. Éste se plasma en la Tabla 7.25.

Tabla 7.25. Balance de energía y enfriamiento para el fermentador.

BALANCE GENERAL DE ENERGÍA	$Q_{met} + Q_{agit} - Q_{air} - Q_{per} = Q_{ac}$
Balance de enfriamiento	$Q_{ac} = Q_{enf}$

Donde:

Q_{met} : generación de calor por crecimiento celular y mantenimiento.

Q_{agit} : generación de calor por agitación mecánica.

Q_{air} : generación de calor por aireación.

Q_{per} : velocidad de pérdidas de calor por geometría y conductividad térmica.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Q_{ac} : velocidad de acumulación de calor.

Q_{enf} : calor de enfriamiento.

Calor metabólico y cálculo del coeficiente de generación de calor Y_H

La célula utiliza la energía química muy eficientemente, pero como en cualquier proceso real, parte de esa energía contenida en los sustratos, se libera como calor. La generación de calor metabólico o de mantenimiento se define como el calor celular procedente del metabolismo energético y de crecimiento celular, y supone el principal factor a tener en cuenta para el intercambio en el biorreactor.

En el cálculo de esta característica, se define un coeficiente Y_H denominado coeficiente de generación de calor (gramos de masa celular por kilocaloría de calor entregado al medio):

$$Y_H = \frac{Y_{X/S}}{\Delta H_S} \quad \text{Ecuación 7.5.}$$

Donde:

$Y_{X/S}$: gramos de masa celular producida por gramo de sustrato consumido. En este caso el valor utilizado es 0,52 g/g.

ΔH_S : calor de combustión por masa de sustrato. Se utiliza un valor de 3,72 kcal/gramo de sustrato

$$Y_H = \frac{0,52 \frac{g}{g}}{3,72 \frac{kcal}{g}} = 0,14 \frac{g}{kcal} \quad \text{Ecuación 7.6.}$$

Según la Ecuación 7.6, el valor que se utiliza de Y_H es 0,14 g/kcal.

Cálculos de los diferentes tipos de calor inherentes a la fermentación

En la Tabla 7.26 se muestran los distintos tipos de calor involucrados en la fermentación y sus valores finales.

Tabla 7.26. Calores involucrados en la fermentación.

Tipo de calor	Relación para el cálculo	Parámetros solicitados	Valor calculado (kcal/h)	Fuente
Calor de mantenimiento (Q_{met})	$Q_{met} = \frac{\mu X V}{Y_H}$	μ : 0,028 h ⁻¹	479853,92	Apuntes de cátedra Biotecnología
		X: 34275,28 g/m ³		
		V: 70 m ³		
		Y_H : 0,14 g/kcal		
Calor de agitación (Q_{agit})	$P = N_p \rho N^3 D_a^5$	N_P : 1,1	2058,21	Geankoplis (1998)
		N: 52,8 rpm		
		D_a : 1,24 m		
		NRe : 9,83x10 ⁵		
Calor de aireación (Q_{air})	$Q_{air} = L'h_{L'} - Lh_L$	h_L : 7,09 kcal/kg	1050,67	Figuroa – Montero (2007)
		h_L : 6,03 kcal/kg		
		A: 96,20 m ²		
				Kern (1999)

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Pérdidas de calor por geometría y transferencia (Q_{per})	$Q_{per} = A Q_t \Delta T$	Q_i : 2,54 kcal/hm ² °C	1221,74	
		ΔT : 5°C		

Resultados del balance global para el fermentador

En la Tabla 7.27 se exhiben los resultados del balance, con el fin de calcular el calor que debe removerse y el caudal de agua asignado para tal fin.

Tabla 7.27. Resumen del balance de energía del fermentador.

Velocidad de acumulación de calor (Q_{ac}) (kcal/h)	479639,72
Calor de enfriamiento (Q_{enf}) (kcal/h)	479639,72
$Q_{enf} = m_{H_2O} C_p \Delta T$	ΔT : 10°C
	m_{H_2O} : 47963,97 kg/h (47,96 m ³ /h)

7.3.2.2 Balance global para el prefermentador

En las Tablas 7.28 y 7.29 se muestran los resultados del balance para el prefermentador que se utiliza.

Tabla 7.28. Calores involucrados en la prefermentación.

Tipo de calor	Relación para el cálculo	Parámetros solicitados	Valor calculado (kcal/h)
Calor de mantenimiento (Q_{met})	$Q_{met} = \frac{\mu X V}{Y_H}$	μ : 0,028 h ⁻¹	53016
		X: 378685,71 g/m ³	
		V: 0,7 m ³	
		Y_H : 0,14 g/kcal	
Calor de agitación (Q_{agit})	$P = N_p \rho N^3 D_a^5$	N_p : 1,1	320,59
		N: 370 rpm	
		D_a : 0,27	
		NRe: 3,26x10 ⁵	
Calor de aireación (Q_{air})	$Q_{air} = L' h_L - L h_L$	h_L : 7,09 kcal/kg	10,51
		h_L : 6,03 kcal/kg	
Pérdidas de calor por geometría y transferencia (Q_{per})	$Q_{per} = A Q_t \Delta T$	A: 4,42 m ²	56,134
		Q_i : 2,54 kcal/hm ² °C	
		ΔT : 5°C	

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.29. Resumen del balance de energía del prefermentador.

Velocidad de acumulación de calor (Q_{ac}) (kcal/h)	53269,94
Calor de enfriamiento (Q_{enf}) (kcal/h)	53269,94
$Q_{enf} = m_{H_2O} C_p \Delta T$	ΔT : 10°C
	m_{H_2O} : 5327 kg/h (5,3 m ³ /h)

7.3.3 Evaporación

Antes de desarrollar el balance energético para esta etapa, se exhiben las características del vapor que se adiciona al sistema y de las condiciones a las que se evapora el sistema (Tabla 7.30), junto al resumen del balance de masa con el agua que se evapora, el cual se muestra en la Tabla 7.31. Por último, en la Tabla 7.32 se detallan las presiones y temperaturas de entrada y salida de la solución de L-lisina.

Cabe destacar que este equipo debe evaporar también la corriente de eluyente de la adsorción (2855,4 kg/h de agua amoniacal al 3,5%). El amoníaco disuelto en esta corriente se evapora completo.

Tabla 7.30. Características del vapor utilizado y condiciones de evaporación.

Corriente	Descripción	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Entalpía específica (kcal/kg)	Fuente
H	Vapor saturado	133,976	3	651,40	Chemica Logic Steam
H'	Líquido saturado	133,974	3	134,64	

Tabla 7.31. Resumen del balance de masa para la evaporación.

	Total (kg/h)	L-lisina (kg/h)	Agua (kg/h)
Solución diluida	1048,66	138,84	909,82
Solución concentrada	694,21	138,84	555,37
Agua evaporada	354,45		

Tabla 7.32. Características de la corriente de entrada y salida de L-lisina

	Entrada	Salida
Presión (atm)	1	1
Temperatura (°C)	25	99,97

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Aplicando el balance de energía para calcular el caudal de vapor para llevar la solución con lisina desde la concentración inicial hasta la necesaria para el equipo de secado, se utiliza la Ecuación 7.7.

$$S_E = \frac{T\lambda_T + QC_{PQ}(T_{Q2} - T_{Q1})}{\lambda_{ES}} \text{ Ecuación 7.7}$$

De acuerdo a esta igualdad, se necesita incluir un caudal de vapor vivo de 3757,013 kg/h.

7.3.4 Enfriamiento

El objetivo de dicha etapa es enfriar la solución concentrada de lisina para poder introducirla en el cristizador.

En la Tabla 7.33 se detallan las características de las corrientes involucradas, y posteriormente se calcula la masa de agua a utilizar.

Tabla 7.33. Características de las corrientes involucradas en el enfriamiento.

Corriente	Descripción	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Entalpía específica (kcal/kg)	Fuente
H	Agua de enfriamiento	20	1	20	Chemcad 7.1.2
H'	Agua de salida del enfriamiento	40	1	40	Chemcad 7.1.2
T	Solución de lisina caliente	99,97	1	42,98	Chemcad 7.1.2
T'	Solución de lisina fría	30	1	12,9	Chemcad 7.1.2

El caudal de agua necesaria es de 2,133 m³/h.

7.3.5 Cristalización

La solución de lisina procedente del enfriador ingresa a un cristizador provisto de agitación, donde se mezcla con una corriente de HCl al 37% v/v.

Para que se produzca la formación de cristales, es necesario mantener la temperatura del cristizador en 15 °C; para esto se emplea una chaqueta de enfriamiento por la cual circula agua fría.

En la siguiente tabla se describen las características de las corrientes involucradas y posteriormente se calcula el caudal de agua necesario.

Tabla 7.34. Características energéticas de las corrientes involucradas en la cristalización.

Corriente	Descripción	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Entalpía específica (kcal/kg)	Fuente
H	Agua fría	5	1	5	Chemcad 7.1.2

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

H'	Agua fría de salida	10	1	10	Chemcad 7.1.2
T'	Concentrado de L-lisina	30	1	12,9	Chemcad 7.1.2
U	Ácido clorhídrico 37%	30	1	17,4	Chemcad 7.1.2
V	Solución con L-lisina cristalizada	15	1	6,45	Chemcad 7.1.2

Se necesitan 1774,25 kg/h de agua fría.

7.3.6 Secado

Es la última etapa del proceso. En ella se obtiene L-lisina HCl con una pureza del 99,8%. Las características energéticas de las corrientes involucradas se detallan en la Tabla 7.35.

Tabla 7.35. Características energéticas de las corrientes involucradas en el secado.

Corriente	Descripción	Temperatura (°C)	Entalpía específica (kcal/kg)
X	Concentrado de L-lisina cristalizada	22	9,62
Y	Aire recalentado	180	50
Y'	Mezcla aire / agua	80	46,66
Z	Producto final	40	17,22

El caudal másico de aire necesario es 213,33 kg/h.

CAPÍTULO VIII: DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.1 Introducción

En el presente capítulo se desarrollan los cálculos y criterios a tener en cuenta para el diseño y la adopción de equipos que van a ser utilizados en el proceso de producción. El orden seguido es el que presenta el diagrama de flujo.

Esta sección se ha realizado conjuntamente con el capítulo 7, ya que para dimensionar los equipos es necesario conocer la capacidad que el mismo debe poseer, datos que se extraen de los balances de masa y energía de las diferentes operaciones del proceso.

A continuación, en la Tabla 8.1, se detallan los equipos a diseñar y a adoptar.

Tabla 8.1. Equipos a diseñar y adoptar.

Diseño	Adopción
Tanques de almacenamiento	Filtro de impurezas para la melaza
Tanques mezcladores	Centrífugas
Intercambiadores de calor para esterilización	Columna de adsorción
Fermentador y prefermentador, agitación, aireación y enfriamiento	Secador
Tanque pulmón	Bombas
Evaporador	Filtro para esterilización de aire
Enfriador	Impulsores para el transporte de aire
Cristalizador	

8.2 Sección de pretratamiento

En esta sección se encuentra el acondicionamiento de la melaza por medio de una filtración, la elaboración del medio de cultivo y su esterilización.

8.2.1 Tanque mezclador MD-01

En este tanque se encuentra la melaza total que se va a utilizar en un batch. A la misma se le adiciona agua con el fin de mezclarla y diluirla para que pueda pasar por el filtro de retención de impurezas sin ningún problema. El tanque es de acero inoxidable con fondo redondeado y se toma un sobredimensionamiento del 15% como factor de seguridad. El volumen del tanque se calcula como sigue:

$$V_{Tanque} = V_{Cilindro} + 2V_{Cabeza}$$

$$V_{Cilindro} = \frac{\pi D^2}{4} H$$

$$V_{Cabeza} = \frac{\pi D^2 h_{cabeza}}{6}$$

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Donde:

D: Diámetro del cilindro (m)

H: Altura del cilindro (m)

h: Altura de la cabeza (m), siendo igual a D/4

Considerando una relación de esbeltez H/D=3, se calculan las dimensiones restantes.

En la Tabla 8.2 se muestran las características del mismo.

Tabla 8.2. Características de MD-01.

Fabricante	VM Acero S.R.L
Material	SS304
Densidad (kg/m ³)	8000
Relación de esbeltez	3
Volumen del cilindro (m ³)	11,5
Diámetro del cilindro (m)	1,69
Altura del cilindro (m)	5,07
Volumen del cabezal (m ³)	0,63
Altura del cabezal (m)	0,42
Volumen total del tanque (m ³)	12,76
Altura total del tanque (m)	5,91

Este tanque está provisto de agitación; por lo que se procede a calcular las dimensiones del agitador y su potencia para adoptar un motor eléctrico y caja reductora apropiada.

El sistema de agitación que se utiliza es una turbina tipo Rushton de 6 palas inclinadas a 45°. Se debe calcular el número de Reynolds y, mediante la Ecuación, la potencia. (GEANKOPLIS, 1998)

$$P = N_p \rho N^3 D_a^5 \text{ Ecuación 8.1}$$

En la Tabla 8.3 se muestran los resultados obtenidos y en la Tabla 8.4, las características del motor y del reductor adoptadas.

Tabla 8.3. Características de la agitación.

Diámetro del agitador D _a (m)	0,56
Número de Reynolds	454772
Velocidad de giro (RPM)	154
Viscosidad (kg/ms)	0,002
Número de potencia	1,1
Densidad (kg/m ³)	1130
Potencia (Hp)	1,55

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.4. Características del motor y reductor adoptados.

Motor	
Fabricante	WEG S.A
Serie	W22 Super Premium Efficiency IC411
Carcasa	182/4T
Potencia mecánica (HP)	3
Rendimiento (%)	91
Rotación nominal (rpm)	1765
Número de polos	4
Frecuencia (Hz)	60
Masa (kg)	45,1
Tensión nominal (V)	230/460
Caja Reductora	
Fabricante	LENTAX S.A
Tipo	Moto reductor a engranajes coaxiales
Modelo	C1T2
Relación de reducción (i)	11,45
Factor de servicio (fs)	1,3
Factor de seguridad (fz)	3,60
Momento útil (Nm)	169
Rendimiento (%)	98,5
Potencia de entrada (HP)	3
Potencia equivalente (HP)	3,9
Potencia nominal (HP)	10,8
Masa (kg)	52

8.2.2 Tanque mezclador MD-02

En este tanque se adiciona agua y, posteriormente, todos los nutrientes necesarios para la conformación del medio de cultivo. Los mismos se disuelven y se mezclan en agua. El tanque es de acero inoxidable con fondo redondeado y se toma un sobredimensionamiento del 15% como factor de seguridad.

En la Tabla 8.5 se exhiben las características del mismo.

Tabla 8.5. Características de MD-02

Fabricante	VM Acero S.R.L
Material	SS304
Densidad (kg/m ³)	8000
Relación de esbeltez	3
Volumen del cilindro (m ³)	71,3
Diámetro del cilindro (m)	3,11
Altura del cilindro (m)	9,33
Volumen del cabezal (m ³)	3,89
Altura del cabezal (m)	0,77

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Volumen total del tanque (m ³)	79
Altura total del tanque (m)	10,87

Este tanque está provisto de agitación mecánica con el fin de disolver y mezclar bien todos los nutrientes y el agua. El sistema de agitación que se utiliza son dos turbinas tipo Rushton de 6 palas inclinadas a 45°.

En la Tabla 8.6 se muestran los resultados obtenidos y en la Tabla 8.7, las características del motor y del reductor adoptadas.

Tabla 8.6. Características de la agitación.

Diámetro del agitador D _a (m)	1,03
Número de Reynolds	1208188
Velocidad de giro (RPM)	68,33
Viscosidad (kg/ms)	0,001
Número de potencia	1,1
Densidad (kg/m ³)	1000
Potencia (HP)	2,52

Tabla 8.7. Características del motor y reductor adoptados.

Motor	
Fabricante	WEG S.A
Serie	W22 Super Premium Efficiency
Carcasa	182/4T
Potencia mecánica (HP)	3
Rendimiento (%)	91
Rotación nominal (rpm)	1765
Número de polos	4
Frecuencia (Hz)	60
Masa (kg)	45,1
Tensión nominal (V)	230/460
Caja Reductora	
Fabricante	LENTAX S.A
Tipo	Moto reductor a engranajes coaxiales
Modelo	C2T2
Relación de reducción (i)	25,83
Factor de servicio (fs)	1,15
Factor de seguridad (fz)	2,40
Momento útil (Nm)	382
Rendimiento (%)	98,5
Potencia de entrada (HP)	3
Potencia equivalente (HP)	3,45
Potencia nominal (HP)	7,2

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Masa (kg)	64
-----------	----

8.2.3 Filtro FIL-01

Para eliminar las impurezas que contiene la melaza, se selecciona un filtro prensa de placas y marcos, ya que el mismo cuenta con una elevada eficiencia en su accionar.

Este tipo de filtro contiene placas diseñadas para formar una serie de cámaras o compartimientos, en los cuales pueden recogerse los sólidos; las placas están recubiertas con un medio filtrante determinado. La suspensión ingresa a presión en cada compartimiento, el líquido pasa a través del medio y sale por un tubo de descarga, dejando atrás una torta de sólidos cristalinos. Se emplean por lo general, placas cuadradas de 15 a 140 cm con un espesor de 0,6 a 5 cm, alternadas con marcos abiertos de 0,6 a 12 cm. Las placas y marcos están colocados verticalmente en un canal metálico, estando cubiertas las caras de las placas con las telas filtrantes muy apretadas entre sí por medio de un tornillo o una prensa hidráulica. Una vez montado el filtro prensa, la suspensión se introduce mediante una bomba; se continúa la filtración hasta que no salga líquido por la descarga o hasta que la presión de filtración de eleve repentinamente (esto ocurre cuando los marcos están llenos de sólidos y no puede entrar más suspensión).

En algunos filtros prensa estas operaciones junto con las de lavado y mantenimiento, se realizan automáticamente.

Se adopta un filtro prensa de placas verticales MCRO del proveedor METPOR S.A. El mismo cuenta con apertura hidráulica del tanque y opera de forma totalmente automatizada.

En la Tabla 8.8 se detallan las características del equipo adoptado y en la Figura 8.1 se aprecia un esquema del mismo.

Tabla 8.8. Descripción del filtro FIL-01 adoptado.

Fabricante	Metpor S.A
Descripción del equipo	Filtro Sparkler de placas MCRO
Fabricante	METPOR S.A.
Material de construcción	AISI- 304
Material del medio filtrante	Polipropileno
Caudal másico (kg/h)	2087,24
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2
Longitud del equipo (m)	2,7
Ancho del equipo (m)	0,8
Altura del equipo (m)	0,9
Área de filtrado (m ²)	7
Espesor de la torta (cm)	3
Tamaño de placas (cm)	50 x 50
Cantidad de placas	19
Cantidad de marcos	20
Presión de filtración (kg/cm ²)	5

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Volumen de la cámara de filtración (m ³)	4,97
--	------



Figura 8.1. Esquema representativo de un filtro prensa automático.

8.2.4 Tanque mezclador MD-03

En este tanque se mezcla la melaza previamente filtrada con el agua y los nutrientes y así conformar el medio de cultivo apropiado para este proceso. El tanque es de acero inoxidable con fondo redondeado y se toma un sobredimensionamiento del 15% como factor de seguridad.

En la Tabla 8.9 se resumen las características del tanque a utilizar.

Tabla 8.9. Características de MD-03.

Fabricante	VM Acero S.R.L
Material	SS304
Densidad (kg/m ³)	8000
Relación de esbeltez	3
Volumen del cilindro (m ³)	82,3
Diámetro del cilindro (m)	3,26
Altura del cilindro (m)	9,80
Volumen del cabezal (m ³)	4,50
Altura del cabezal (m)	0,81
Volumen total del tanque (m ³)	91,3
Altura total del tanque (m)	11,42

Este tanque está provisto de agitación mecánica; el principal objetivo de la misma es lograr un líquido homogéneo y que sus componentes estén distribuidos en toda su masa. El sistema de agitación que se utiliza son tres turbinas tipo Rushton de 6 palas inclinadas a 45°.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

En la Tabla 8.10 se muestran los resultados obtenidos y en la Tabla 8.11, las características del motor y del reductor adoptadas.

Tabla 8.10. Características de la agitación.

Diámetro del agitador D_a (m)	1,08
Número de Reynolds	895613
Velocidad de giro (RPM)	63,4
Viscosidad (kg/ms)	0,0015
Número de potencia	1,1
Densidad (kg/m ³)	1090
Potencia (HP)	2,78

Tabla 8.11. Características del motor y reductor adoptados.

Motor	
Fabricante	WEG S.A
Serie	W22 Super Premium Efficiency IE1
Carcasa	100L
Potencia mecánica (HP)	4
Rendimiento (%)	91
Rotación nominal (rpm)	1500
Número de polos	4
Frecuencia (Hz)	50
Masa (kg)	35
Tensión nominal (V)	220/380
Caja Reductora	
Fabricante	LENTAX S.A
Tipo	Moto reductor a engranajes coaxiales
Modelo	C2T2
Relación de reducción (i)	21,96
Factor de servicio (fs)	1,15
Factor de seguridad (fz)	2,75
Momento útil (Nm)	325
Rendimiento (%)	98,5
Potencia de entrada (HP)	3
Potencia equivalente (HP)	3,45
Potencia nominal (HP)	8,25
Masa (kg)	64

8.2.5 Sistema de esterilización para el medio de cultivo

Para poder llevar a cabo una fermentación con éxito es imprescindible y obligatorio tener en todas las etapas cultivos libres de contaminantes, desde el cultivo preliminar hasta el fermentador principal. Por lo tanto, el fermentador y su equipamiento, así como el medio de cultivo deben estar estériles antes de la inoculación.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

El medio de cultivo que se prepara inicialmente contiene células vegetativas y esporas que provienen de los componentes que lo forman y de los recipientes. El medio debe encontrarse estéril para realizar con éxito la fermentación, por lo que dichos contaminantes deben removerse con un procedimiento adecuado. Existen diferentes procedimientos para realizar la esterilización, sin embargo, en la práctica, para instalaciones a gran escala, el calor es el principal mecanismo utilizado.

La esterilización puede ser llevada a cabo mediante inyección de vapor o a través de intercambiadores de calor. La inyección de vapor genera condensados que luego deben ser retirados, es muy sensible a cambios de viscosidad del medio y variaciones en la presión, y no logra penetrar el interior de partículas en un tiempo tan corto de exposición. Por otro lado, con un diseño adecuado los intercambiadores de calor permiten recuperar la energía aportada, evitan la formación de espuma en el caldo y no producen dilución del medio de cultivo, por lo cual se elige este último sistema.

Existen diversos tipos de intercambiadores de calor, pero los más comunes son de coraza y tubos o los de placas. Observando las diferencias en las características de estos dos tipos de intercambiadores, se decide utilizar intercambiadores a placas ya que resultan convenientes para este proceso.

El sistema para llevar a cabo la esterilización se divide en tres secciones principales: precalentamiento, calentamiento y retención y enfriamiento. En la Figura 8.2 pueden observarse las corrientes involucradas.

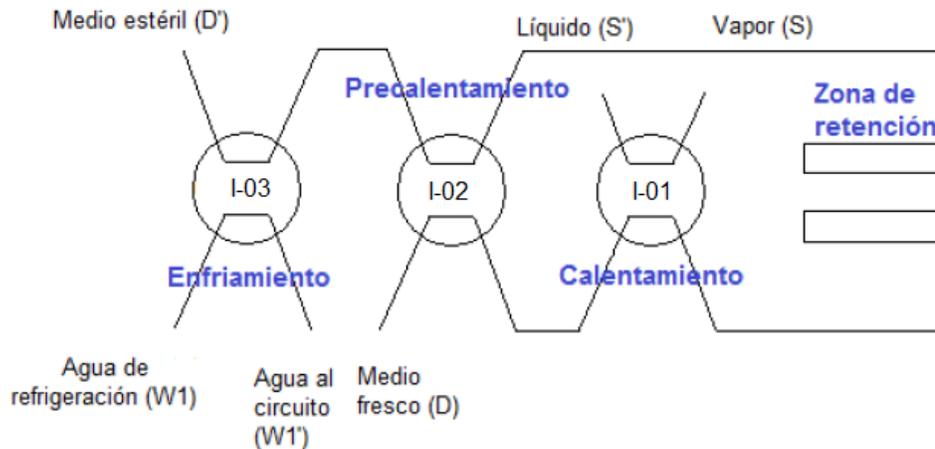


Figura 8.2. Disposición de corrientes para la esterilización.

El medio que ingresa fresco se precalienta en el primer intercambiador a 78°C durante 30 s por la solución nutritiva previamente esterilizada que sale. En el segundo intercambiador de calor, se calienta indirectamente con vapor a 150°C. Esta temperatura se mantiene durante 30 s en una tubería de retención, antes de que sea colocada en el primer intercambiador para realizar el enfriamiento preliminar, y posteriormente en un tercer intercambiador llegar a la temperatura del fermentador. La fase de enfriamiento dura también solo 30 s.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Teniendo en cuenta el volumen necesario para llenar un fermentador y su prefermentador correspondiente, se determinan los caudales a esterilizar, y con la ayuda del software ChemCad 7.1.2 se obtiene el diseño de los equipos necesarios.

Calentamiento y retención

En la Tabla 8.12 se visualizan las características de este intercambiador de calor.

Tabla 8.12. Características de I-01.

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Discontinuo
Tiempo de operación (h)	18,5
Número de placas	32
Ancho de placas (m)	0,2
Alto de placas (m)	1,9
Espacio entre placas (m)	0,003
Número de pasos lado frío	1
Número de pasos lado caliente	4
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,025
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,025
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,025
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,025
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	12,1
Área calculada (m ²)	11,6
Área en exceso (%)	4,5
ΔT _{ML}	27
U calculado/U servicio (BTU/h.pie ² .°F)	149/143
Factor de Fouling lado frío (h.pie ² .°F/BTU)	0,002
Factor de Fouling lado caliente (h.pie ² .°F/BTU)	0,001
Coeficiente de película para el lado caliente (BTU/h.pie ² .°F)	610,6
Coeficiente de película para el lado frío (BTU/h.pie ² .°F)	839,8
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,054
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,105
NRe del fluido caliente	1593,3
NRe del fluido frío	2026,6

Para lograr el tiempo de retención (τ_{ret}) de 30 s en la esterilización, se calcula el largo de la tubería de retención teniendo en cuenta la Ecuación 8.2, en donde u es la velocidad promedio a la que se mueven las partículas.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

$$L_{ret} = \tau_{ret} \cdot u \quad \text{Ecuación 8.2.}$$

Esta velocidad depende del área de flujo de la tubería adoptada, siendo sus dimensiones las que se muestran en la Tabla 8.13.

Tabla 8.13. Dimensiones de tubería de acero (IPS) adoptada.

Tamaño nominal del tubo 2 in. Cédula No. 40	de(m)	di(m)	Área de flujo (m ²)
	6,04 x10 ⁻²	5,25 x10 ⁻²	2,2 x10 ⁻³

Finalmente, en la tabla se detallan las características de la tubería de retención.

Tabla 8.14. Características de la tubería de retención.

Parámetro	Valor
Caudal másico (kg/h)	3883
Caudal volumétrico (m ³ /h)	3,6
Tiempo de retención (s)	30
Área de flujo (m ²)	2,2 x10 ⁻³
Velocidad= q/A (m/s)	0,45
Longitud (m)	13,6

Esta tubería cuenta con dos empalmes de 180°. En la Tabla 8.15 se resumen los cálculos de la caída de presión.

Tabla 8.15. Cálculos de la caída de presión.

Parámetro	Valor
NRe	17167,5
Rugosidad relativa ϵ/D	0,0009
Factor de Fanning f	0,02
L _{eq} empalmes de 180° (m)	8
L _{eq} total (m)	21,6
h _f (m)	0,08
ΔP (kg/m ²)	87,2

Precaentamiento

En la Tabla 8.16 se muestran las características de este equipo.

Tabla 8.16. Características de I-02.

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Discontinuo

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tiempo de operación (h)	18,5
Número de placas	8
Ancho de placas (m)	0,4
Alto de placas (m)	1,6
Espacio entre placas (m)	0,003
Número de pasos lado frío	1
Número de pasos lado caliente	1
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,025
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,025
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,025
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,025
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	5,1
Área calculada (m ²)	4,7
Área en exceso (%)	8,1%
ΔTML	62,5
U calculado/U servicio (BTU/h.pie ² .°F)	145/134
Factor de Fouling lado frío (h.pie ² .°F/BTU)	0,002
Factor de Fouling lado caliente (h.pie ² .°F/BTU)	0,002
Coeficiente de película para el lado caliente (BTU/h.pie ² .°F)	1292,9
Coeficiente de película para el lado frío (BTU/h.pie ² .°F)	828,4
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,19
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,19
NRe del fluido caliente	3909,7
NRe del fluido frío	1232,9

Enfriamiento

En la Tabla 8.17 se detallan las características del intercambiador de calor para el enfriamiento.

Tabla 8.17. Características de I-03.

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Discontinuo
Tiempo de operación (h)	18,5
Número de placas	20
Ancho de placas (m)	0,4
Alto de placas (m)	1,6
Espacio entre placas (m)	0,003

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Número de pasos lado frío	2
Número de pasos lado caliente	2
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,025
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,025
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,025
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,025
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	12,8
Área calculada (m ²)	12,4
Área en exceso (%)	2,6
ΔT _{ML}	19
U calculado/U servicio (BTU/h.pie ² .°F)	164/159
Factor de Fouling lado frío (h.pie ² .°F/BTU)	0,001
Factor de Fouling lado caliente (h.pie ² .°F/BTU)	0,002
Coeficiente de película para el lado caliente (BTU/h.pie ² .°F)	791,1
Coeficiente de película para el lado frío (BTU/h.pie ² .°F)	1109,7
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,16
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,28
NRe del fluido caliente	1319,3
NRe del fluido frío	2076,6

8.3 Sección de fermentación

En esta sección se encuentra el diseño del prefermentador y fermentador; sus dimensiones, agitación, aireación y enfriamiento.

8.3.1 Sistema de fermentación

Para las fermentaciones previas a la principal, esto es las fermentaciones llevadas a cabo a escala laboratorio, se opta por la adopción de los equipos, debido a su tamaño y que no poseen características particulares con respecto a una fermentación tipo.

El tipo de reactor a utilizar es de tanque agitado con refrigeración. En la Figura 8.3 se observa un esquema del mismo. Opera a 30°C y pH 7. El volumen de fermentación es de 70 m³, valor obtenido teniendo en cuenta el rendimiento de L-lisina y la demanda de ésta por año. El volumen de los prefermentadores es de 0,7 m³ y 7 l (este último se realiza en el laboratorio debido a su pequeño tamaño), según el requisito del proceso de inocular al 1%.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

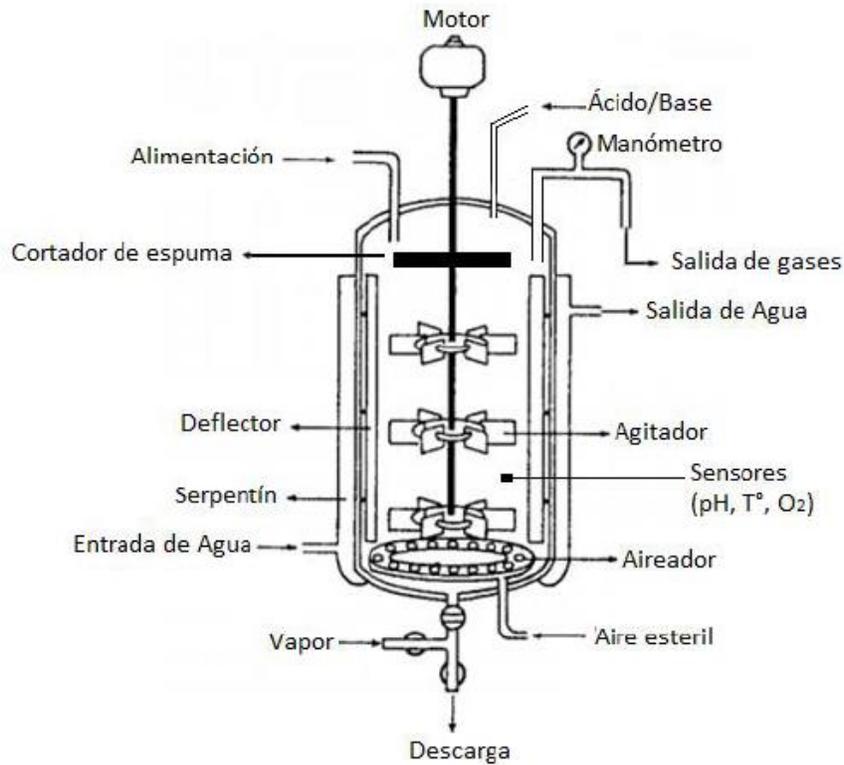


Figura 8.3. Esquema representativo del fermentador.

El sistema consta de un agitador, el cual sirve para dispersar el aire introducido en forma de burbujas y para distribuir éstas, junto con la solución rica en oxígeno producida, por todas las zonas del depósito; además de proporcionar una mezcla completa de los microorganismos en el seno del medio nutriente. Posee además una camisa calefactora para remover los calores generados en el transcurso de la reacción, la cual para volúmenes mayores a 2000 l, se sustituye por un serpentín. De forma perpendicular a la pared del tanque se colocan de 4 a 6 placas deflectoras para evitar la formación de vórtices (STANBURY, 1984).

8.3.1.1 Diseño del reactor

Hay dos aproximaciones que pueden ser adoptadas para el diseño de un fermentador discontinuo. Éstas implican los principios fundamentales de diseño, los cuales requieren una serie completa de parámetros del sistema biológico, que solo es utilizable para sistemas asociados con crecimiento simple, o bien el principio de cambio de escala, el cual puede aplicarse a los sistemas más complejos y consecuentemente éste es el método que se considera más favorable en general.

En un reactor de mezcla completa, los datos obtenidos de un pequeño fermentador de laboratorio se aplican igualmente a unidades mayores geoméricamente similares y pueden calcularse el volumen y las necesidades de oxígeno. El problema del cambio de escala en la fermentación discontinua se encuentra asociado con el problema de absorción de gases y las necesidades de potencia para mantener los niveles de transferencia de oxígeno en recipientes mayores.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Una vez que se haya satisfecho el mezclado completo y la demanda de aireación en un fermentador pequeño, el criterio más sencillo para aplicar el cambio de escala es el de consumo de potencia constante por unidad de volumen (ATKINSON, 1986).

8.3.1.2 Tiempos de fermentación

Los tiempos de prefermentación y fermentación son de 34 y 72 horas respectivamente, a los cuales deben sumarse los tiempos correspondientes al llenado, vaciado y limpieza. En la Tabla 8.18 se muestran los tiempos para estas etapas.

Tabla 8.18. Tiempos involucrados en la prefermentación y fermentación.

Operación	Prefermentación	Fermentación
Llenado (h)	1,5	17
Vaciado (h)	1	4
Limpieza (h)	1,5	1,5
Proceso (h)	34	72
Total (h)	38	94,5

Los tiempos de llenado y vaciado se han calculado teniendo en cuenta el caudal que se dispone a partir del proceso de esterilización continua y de su velocidad.

Cálculo de las dimensiones del prefermentador y fermentador principal

La relación de la altura al diámetro (H/D) es un factor sumamente importante para lograr una transferencia de oxígeno adecuada. El tiempo de permanencia de las burbujas es mayor en recipientes altos que en recipientes más cortos, en los cuales se necesita más volumen de aire para lograr la misma transferencia de oxígeno. La mayoría de los reactores a gran escala utilizan ratios comprendidos entre 2 y 3. Se emplea un factor de 2,2.

El cuerpo del reactor es cilíndrico y, la tapa y el fondo tiene forma elipsoidal. Para el cálculo del volumen del fermentador se considera el volumen a fermentar y se le suma un 30% más como factor de seguridad. De acuerdo a esto, sus dimensiones se determinan de la Ecuación 8.3 (PERRY, 2001).

$$V_T = V_f + 0,3V_f \quad \text{Ecuación 8.3.}$$

Donde:

V_T : Volumen del tanque de reacción

V_f : Volumen de prefermentación

La relación de esbeltez (altura/diámetro del tanque) adoptada se muestra en la Ecuación 8.4.

$$\frac{H}{D} = 2,2 \quad \text{Ecuación 8.4.}$$

Reemplazando H y V_T en la fórmula del volumen de un cilindro se tiene la Ecuación 8.5.

$$V_T = \frac{D^3 \cdot 2,2 \pi}{4} \quad \text{Ecuación 8.5.}$$

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

El diámetro obtenido se reemplaza en la Ecuación 8.4 y se obtiene H. Las dimensiones obtenidas para ambos equipos pueden observarse en la Tabla 8.19.

Tabla 8.19. Dimensiones del prefermentador y fermentador.

Dimensión	Prefermentador	Fermentador
V_T (m ³)	0,9	90
D_t (m)	0,80	3,73
H (m)	2,16	10,07

Para determinar las demás dimensiones se utilizan los factores de forma que se detallan en Stanbury (1984). En las Figuras 8.4 y 8.5 se observa la configuración del fermentador y en la Tabla 8.20 sus respectivos valores. Cabe señalar, que el fermentador a utilizar posee un agitador concéntrico al eje del biorreactor con tres juegos de seis paletas. En las Ecuación 8.6 a 8.14 se detallan las relaciones de sus dimensiones principales.

$$\frac{V_{op}}{V_t} = 0,77 \quad \frac{H}{D_t} = 2,2 \quad \frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{J}{D_t} = 0,095 \quad \frac{W}{D_a} = 0,24 \quad \frac{D_a}{T} = 0,58$$
$$\frac{D_a}{U} = 0,58 \quad \frac{D_a}{E} = 1,22 \quad \frac{f}{D_t} = 0,02$$

Ecuación 8.6 a 8.14 (de izquierda a derecha)

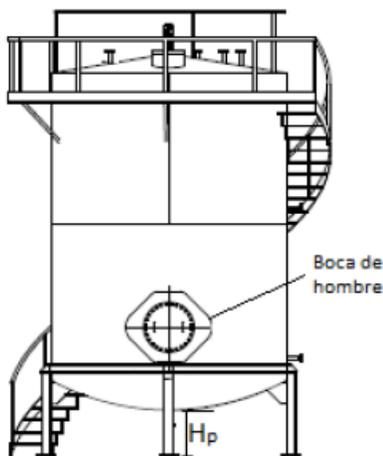


Figura 8.4. Configuración del fermentador.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

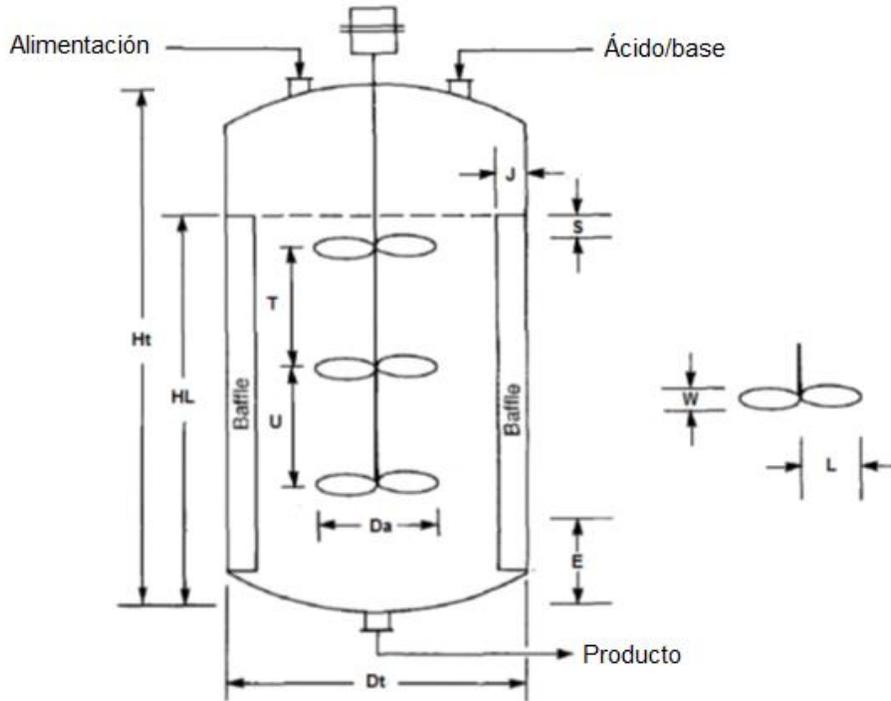


Figura 8.5. Configuración del fermentador.

Tabla 8.20. Características de R-01, R-02, R-03 y R-04.

Volumen de operación (m ³)	70
Volumen del tanque V _t (m ³)	90
Porcentaje de volumen ocupado	77%
Diámetro del tanque D _t (m)	3,73
Altura del cilindro H _T (m)	8,21
Altura del líquido sin airear H _L (m)	6,40
Altura total del tanque (m)	10,07
Área transversal del tanque A _t (m ²)	10,93
Diámetro del rodete del agitador D _a (m)	1,24
Ancho de palas W (m)	0,3
Ancho de defletores J (m)	0,35
Espacio entre la pared y defletores f (m)	0,074
Distancia del piso a la tercera paleta E (m)	1,06
Distancia desde la tercer paleta a la segunda U (m)	2,13
Distancia desde la segunda paleta a la primera T (m)	2,13
Distancia desde la primer paleta a la superficie sin airear S (m)	1,08
Diámetro boca de hombre D _b (m)	0,7

Para lograr la agitación deseada en el prefermentador, se utiliza un único agitador concéntrico al centro del tanque con una sola paleta. Las dimensiones detalladas en la

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.21 se adoptan según lo propuesto por Geankoplis (1998), para un sistema de agitación normal.

Tabla 8.21. Características de P-01, P-02, P-03 y P-04.

Volumen de operación (m ³)	0,63
Volumen del tanque V _t (m ³)	0,9
Porcentaje de volumen ocupado	70%
Diámetro del tanque D _t (m)	0,80
Altura del cilindro H _T (m)	1,76
Altura del líquido sin airear H _L (m)	1,25
Altura total del tanque (m)	2,16
Área transversal del tanque A _t (m ²)	0,50
Diámetro del rodete del agitador D _a (m)	0,27
Ancho de palas W (m)	0,054
Ancho de deflectores J (m)	0,055
Espacio entre la pared y deflectores f (m)	0,016
Distancia del piso a la paleta E (m)	0,65
Distancia desde la paleta a la superficie sin airear S (m)	0,60

8.3.1.3 Selección del material de construcción de los reactores. Determinación del espesor de los equipos.

8.3.1.4 Material de construcción

El material empleado para los fermentadores es acero inoxidable ASTM 240-304L. Su esfuerzo permisible es de 15700 lb/in² para temperaturas entre -20 °F y 100 °F.

8.3.1.5 Tapas y fondos

Para recipientes a presión en un rango de 1,05 a 14,05 kg/cm² se pueden utilizar cabezales y fondos teléptico.

Los mismos están compuestos de tres secciones:

- Un borde cilíndrico o sección cilíndrica.
- Un fondo de plato que es una porción de esfera, o sección de la esfera.
- La unión de estas dos secciones, que proporciona una sección curva o sección del toro.

Mediante las Ecuaciones 8.15 y 8.16 se puede calcular el volumen de la tapa y del fondo; así como también, la altura tope y del fondo. (PERRY, 2001)

$$V_T = V_F = 0,08089D_t^3 \text{ Ecuación 8.15.}$$

$$H_T = H_F = \frac{D_t}{4} \text{ Ecuación 8.16.}$$

Donde:

V_T: Volumen tope

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

V_F : Volumen fondo

H_T : Altura tope

D_t : Diámetro del tanque

H_F : Altura fondo

En la Tabla 8.22 se detallan las dimensiones calculadas con las ecuaciones anteriores; así como la altura final del prefermentador y fermentador.

Tabla 8.22. Dimensiones calculadas para el prefermentador y fermentador.

	Prefermentador	Fermentador
$V_T = V_F$ (m ³)	0,041	4,19
$H_T = H_F$ (m)	0,20	0,93
$V_T + V_F$ (m ³)	0,082	8,38
$H_T + H_F$ (m)	0,40	1,86
Altura final (m)	2,16	10,07

8.3.1.6 Presión de diseño

Para determinar la presión en el fondo del tanque es necesario calcular la presión que se ejerce por altura de líquido alojado, a ésta se le suma la presión externa que se ejerce sobre la parte superior del líquido. Se sobredimensiona la presión de diseño considerando un margen de seguridad del 15%.

Mediante la Ecuación 8.17 se obtiene la presión de diseño.

$$\text{Presión de diseño} = P_D = \text{Presión hidrostática} + \text{Presión externa}$$

$$P_D = (\rho gh + P_e) * 1,12 \quad \text{Ecuación 8.17.}$$

Para el prefermentador, esta presión es de 1,36 atm; mientras que en el fermentador ésta es de 2,14 atm.

8.3.1.7 Espesores

El criterio de cálculo de espesores se basa en los dos tipos de fallas posibles que son: por inestabilidad elástica y por presión hidrostática. Por el primero, se debe tener en cuenta que las planchas no deben perder su figura y soportar el peso propio de las mismas; por el segundo, debe tener el espesor suficiente para resistir la presión del líquido que contiene.

El espesor del cuerpo cilíndrico, de la tapa y del fondo del reactor se determina según los requisitos expuestos en el código ASME (American Society of Mechanical Engineers) para recipientes a presión. En el cálculo de los espesores requeridos para los cuerpos y los cabezales, el radio interior se toma excluyendo el sobreespesor por corrosión. De este modo se puede garantizar que el recipiente cumplirá los requisitos aún en la etapa final de la vida útil cuando esté corroído.

El espesor requerido para el cuerpo cilíndrico es función de la presión interior y puede calcularse a partir del radio interno del recipiente, con la Ecuación 8.18.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

$$e_C = \frac{P_D R_i}{SE - 0,6P_D} \text{ Ecuación 8.18.}$$

El espesor requerido para la tapa y el fondo elíptico puede calcularse a partir de la Ecuación 8.19.

$$e_F = \frac{P_D D_t}{2SE - 0,2P_D} \text{ Ecuación 8.19.}$$

Donde:

P_D : Presión de diseño del tanque

R_i : Radio interno del tanque

D_t : Diámetro interno del tanque

S : Esfuerzo permisible del material

E : Eficiencia de soldadura

En la Tabla 8.23 se muestran las características del fermentador y prefermentador y sus espesores calculados.

Tabla 8.23. Características y espesores del prefermentador y fermentador.

Parámetro	Prefermentador	Fermentador
P_D (psi)	1,36 atm = 19,98	2,14 atm = 31,44
R_i (m)	0,525	2,43
D_t (m)	1,05	4,86
S (psi)	18800	18800
E	0,85	0,85
Espesor calculado		
e_C (mm)	0,50	3,67
e_F (mm)	0,50	3,67

8.3.1.8 Cálculo del Hold-Up

Al adicionar aire a un tanque agitado, las burbujas tienden a arrastrar un volumen de líquido. La altura a la cual es arrastrada se llama Hold-Up, H_0 . Dicho valor es un porcentaje de la altura total de líquido en el tanque. Para determinar este valor se debe aplicar la Ecuación 8.20 (Apuntes Biotecnología).

$$H_0 \% = \left(\frac{P_0}{V} \right)^{0,4} V_s^{0,5} \text{ Ecuación 8.20.}$$

Donde:

P_0/V : potencia por unidad de volumen del sistema sin gasificar (Hp/m^3)

V_s : velocidad lineal del aire en el tanque vacío (m/h)

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

En la Tabla 8.24 se detallan los resultados obtenidos para el prefermentador y el fermentador.

Tabla 8.24. Cálculos del Hold-Up en fermentador y prefermentador.

	Prefermentador	Fermentador
H ₀ (%)	3,73	2,55
Altura equivalente al H ₀ (m)	0,05	0,16

8.3.1.9 Diseño del sistema de agitación

El mezclado es una operación física cuyo objetivo es homogenizar el fluido, eliminando gradientes de concentración y temperatura. Para crear las condiciones ambientales óptimas para la fermentación, los biorreactores deben proporcionar a las células acceso a todos los sustratos, incluyendo el oxígeno. No es suficiente con llenar el fermentador con el medio rico en nutrientes, ya que a menos que el cultivo se encuentre bien mezclado, se forman zonas muertas, este problema aumenta si la mezcla no mantiene en suspensión uniforme la biomasa. La mezcla se puede alcanzar de diferentes maneras, siendo la más común en este tipo de procesos la agitación mecánica mediante un rodete adecuado.

Para determinar las condiciones del agitador a escala industrial se utiliza el método propuesto por Geankoplis (1998). Partiendo de un ensayo de laboratorio y considerando la potencia por unidad de volumen constante para ambos procesos, se calcula el factor de cambio de escala (Ecuación 8.21), el cual permite encontrar las características dinámicas del sistema industrial.

$$\text{Aumento de escala} = R = \left(\frac{V_{r2}}{2 \cdot V_{r1}} \right)^{1/3} = 3,68 \quad \text{Ecuación 8.21.}$$

V_{r1}: Volumen del reactor piloto

V_{r2}: Volumen del reactor industrial

Cálculo de potencia del agitador

Una vez calculadas las dimensiones del reactor se definen las características del sistema de agitación, se adoptan tres agitadores de turbina tipo Rushton con seis aspas planas a 45°, en la Figura 8.6 se muestra este agitador (GEANKOPLIS, 1998); además se dispone de 4 placas deflectoras para evitar la formación de vórtices. Las características del sistema son:

- Se imparte cierto flujo axial, de modo que hay una combinación de flujos radial y axial.
- Permite mantener sólidos en suspensión y homogenizar líquidos viscosos.
- Material de construcción: Acero inoxidable ASTM 304.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química



Figura 8.6. Agitador de turbina tipo Rushton utilizado.

La potencia necesaria para la agitación debe estimarse a partir de la geometría del sistema y las condiciones del fluido, las cuales se resumen a continuación:

- Velocidad de giro de agitación máxima: 0,85 rps
- Número de agitadores: 3
- Diámetro del agitador (D_a): 1,24 m
- Ancho del agitador (W): 0,3 m
- Densidad del fluido: 1090 kg/m³
- Viscosidad del fluido: 0,0015 kg/ms
- Número de Reynolds: 949724,26 (Flujo turbulento)
- Potencia necesaria para la agitación: 2158,66 Watt = 2,89 HP

Cuando se inyecta un gas en un líquido se reduce el consumo de potencia del agitador, producto de la disminución de densidad de la mezcla y la menor resistencia del flujo de fluido; por lo tanto, mediante la correlación empírica de Katho – Yoshida (1985) se calcula la potencia real necesaria, mediante la Ecuación 8.22.

$$\frac{P_g}{P} = 0,10 \left(\frac{F_g}{NV_1} \right)^{-0,25} \left(\frac{N^2 D_a^4}{g W V_1^{2/3}} \right)^{-0,2} \quad \text{Ecuación 8.22.}$$

Donde:

P_g : Potencia de agitación con aire

F_g : Caudal volumétrico de gas

V_1 : Volumen de líquido

N : Velocidad del agitador

La potencia real necesaria es de 1700,43 Watt (2,28 HP).

Selección del motor eléctrico y caja reductora

Para determinar qué motor adoptar se debe tener en cuenta dos parámetros básicos, la potencia nominal requerida y la velocidad máxima de giro del agitador.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- P= 2,28 HP
- N= 51,33 rpm

Esta potencia es la que se debe suministrar directamente al eje del agitador, cabe tener en cuenta el rendimiento global de la transmisión de energía mecánica del motor al agitador. Existen pérdidas de potencia generadas por el reductor, acoplamientos y cierre mecánico, con lo cual el rendimiento habitual para este tipo de transformaciones es de aproximadamente un 95%; con lo que la potencia calculada es de 2,4 HP.

Los motores de corriente alterna de inducción funcionan a un régimen nominal de vueltas y para adaptar dicha velocidad a la velocidad requerida en el proceso es necesario reducirla mediante el uso de un reductor. Para determinar cuál utilizar se decide consultar catálogos y seleccionar, en función de la potencia de entrada y de la relación de reducción, el más adecuado.

$$\text{Relación de reducción} = i = \frac{\text{Velocidad de giro del motor}}{\text{Velocidad de giro del agitador}} = 28,41$$

En la Tabla 8.25 se detallan las características del motor seleccionado, junto a la caja reductora. Para el fermentador se adopta un motor de WEG S.A. La velocidad de giro calculada de 54,3 rpm se tiene en cuenta para la adopción de la caja reductora, la misma se adopta de la firma LENTAX S.A.

Tabla 8.25. Características del motor y reductor adoptados.

Motor	
Fabricante	WEG S.A
Serie	W22 Super Premium Efficiency IE1
Carcasa	100L
Potencia mecánica (HP)	4
Rendimiento (%)	91
Rotación nominal (rpm)	1500
Número de polos	4
Frecuencia (Hz)	50
Masa (kg)	35
Tensión nominal (V)	220/380
Caja Reductora	
Fabricante	LENTAX S.A
Tipo	Moto reductor a engranajes coaxiales
Modelo	C1T3
Relación de reducción (i)	29,22
Factor de servicio (fs)	1,50
Factor de seguridad (fz)	1,60
Momento útil (Nm)	425
Rendimiento (%)	98,5
Potencia de entrada (HP)	3
Potencia equivalente (HP)	4,5

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Potencia nominal (HP)	4,8
Masa (kg)	54

Se cumple que el factor de seguridad sea mayor al factor de servicio y que la potencia nominal sea mayor a la potencia equivalente, requisito solicitado por el fabricante para la correcta adopción del equipo.

8.3.1.10 Diseño del sistema de aireación

El aire se inyecta por la parte inferior del tanque y es distribuido por un difusor de burbuja gruesa, que posee pequeños orificios espaciados regularmente. El chorro de aire que sale de cada orificio es “golpeado” por las paletas del rodete generando de este modo miles de pequeñas burbujas de aire, desde las cuales difunde el oxígeno hacia el seno del líquido.

Dada la importancia de la esterilización del medio de cultivo, para evitar el ingreso de microorganismos indeseados, es sumamente importante que el aire que se suministra al reactor se encuentre también esterilizado, para ello se utiliza un filtro de aire.

8.3.1.11 Adopción de filtros de aire

Un filtro de aire línea es un equipo que se utiliza para el tratamiento del aire comprimido. Su principal misión es retener impurezas de todo tipo, incluyendo partículas, bacterias y virus.

Como puede observarse en la Figura 8.7, un tren de filtros para esterilizar aire consiste en:

- Un elemento filtrante altamente poroso de polietileno para retención de partículas (25 μ m);
- Un elemento filtrante coalescente de microfibra fina afelpada de poliéster (99,99998% eficiencia a 0,01 μ m);
- Un elemento filtrante P-SRF final para esterilizar el aire (99,9999998% eficiencia a 0,22 μ m).

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

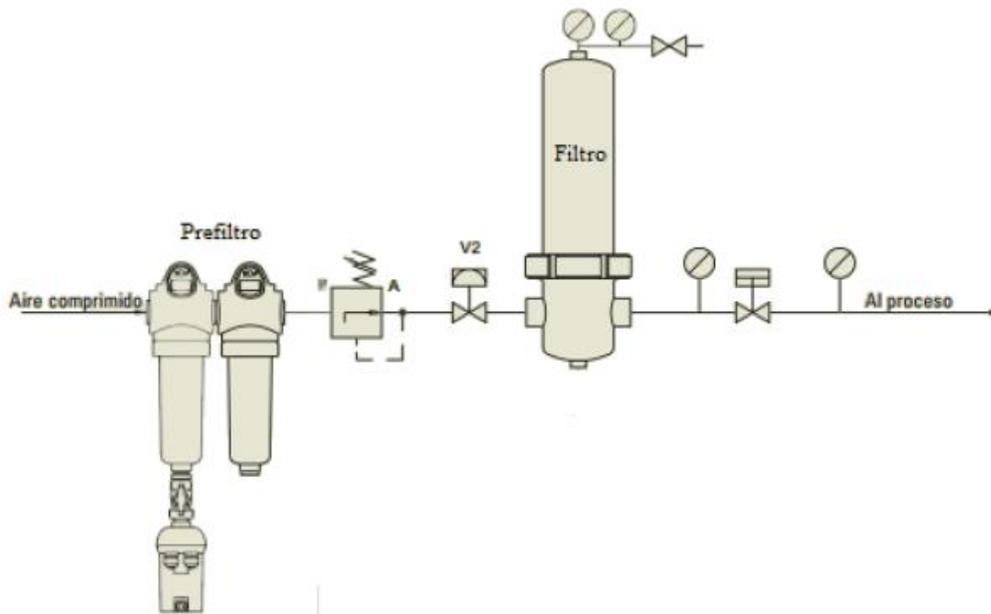


Figura 8.7. Tren de filtros utilizados para esterilizar el aire.

Además de la pre-filtración que se debe realizar para proteger el filtro final, el elemento filtrante y la carcasa deben ser esterilizados de manera rutinaria. Las bacterias que son atrapadas pueden colonizar la superficie exterior del medio filtrante y migrar hacia adentro.

Del catálogo de Donaldson se ha elegido como pre-filtro Ultradepth SMF, el cual garantiza la alta calidad de retención a baja presión diferencial. Está compuesto por microfibras de borosilicato, retiene hasta un tamaño de 0,010 micras. Como filtro de aire principal y como elemento de venteo se ha elegido el elemento filtrante Ultradepth II P-SRF. Es un filtro de profundidad con tapas y núcleos internos y externos de acero inoxidable, elaborado con buenas prácticas de fabricación y pruebas toxicológicas, apto para ser empleado en fermentaciones. Las características principales se detallan en la Tabla 8.26.

Tabla 8.26. Características del elemento filtrante.

Modelo	Ultradepth II P-SRF
Medio filtrante	Borosilicato
Retención bacteriana	LRV > cm^2
Ciclos de esterilización	Mayor de 100
Temperatura de operación	Hasta 200°C
Área efectiva de filtración	0,5 ft^2 por in elemento
Máxima presión diferencial	5 bar (independiente de la dirección de flujo)
Juntas toroidales	Silicona
Tiempo de servicio para suministro de aire	12 meses
Tiempo de servicio para venteo	6 meses

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Otros	No contiene aglomerantes u otros aditivos químicos, no libera fibras de la media filtrante
-------	--

Debido a que la fermentación en este proyecto es batch, la esterilización del filtro no se realiza de manera continua con vapor, se procede retirando el filtro y lavándolo con peróxido de hidrogeno.

Por otro lado, las carcasas a utilizar deben ser de grado sanitario para favorecer su limpieza y mantenerlas libres de suciedad o patógenos que puedan ser perjudiciales. Se ha elegido la carcasa PG-EG, la cual está equipada con conexiones laterales y ofrecen muy poca caída de presión a altos flujos. Las características de las mismas son:

- Acero inoxidable 304.
- Terminado de superficies internas y externas electropulidas.
- Venteo y drenes tipo farmacéutico sanitario.
- Disponible con diferentes conexiones opcionales de entrada/salida.

8.3.1.12 Adopción del difusor de aire

Para la selección del difusor, se tiene en cuenta el caudal de aire necesario, la cantidad de difusores y el espacio interior ocupado por los mismos. El caudal de aire en condiciones normales calculado para el fermentador es de 766,19 m³/h y 7,66 m³/h para el prefermentador. En la Tabla 8.27 se detallan las especificaciones del difusor adoptado, y en la Figura 8.8 se muestra al mismo.

Tabla 8.27. Especificaciones del difusor adoptado.

Fabricante	Diffuser Express
Tipo	Difusor de burbuja gruesa PermaCap
Modelo	00831- Medio de ¾ pulgada
Flujo de aire de diseño (m ³ /h)	1 – 13
Diámetro del difusor (mm)	127
Material de la membrana	EPDM

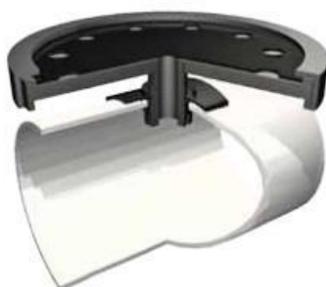


Figura 8.8. Difusor de aire adoptado.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Para determinar el número de difusores necesarios se estima con la Ecuación 8.23. Se supone que cada difusor trabaja con el máximo caudal posible de acuerdo con las especificaciones de fábrica.

$$N^{\circ} \text{ de difusores} = \frac{\text{Caudal necesario}}{\text{Caudal por difusor}} \text{ Ecuación 8.23.}$$

Para el fermentador se necesitan 59 difusores y para el prefermentador, 1.

Mediante un calculador de empaquetamiento de círculos, se verifica si dentro de la circunferencia del fermentador y prefermentador entra la cantidad de difusores calculados (Figura 8.9 y 8.10)

- Número máximo de difusores que ingresan en el fermentador: 669
- Número máximo de difusores que ingresan en el prefermentador: 29

inside diameter of **large** outer circle (in, mm, m ..)

outside diameters of inside **smaller** circles (in, mm, m ..)

Maximum number of smaller pipes or circles inside the larger one: **669**

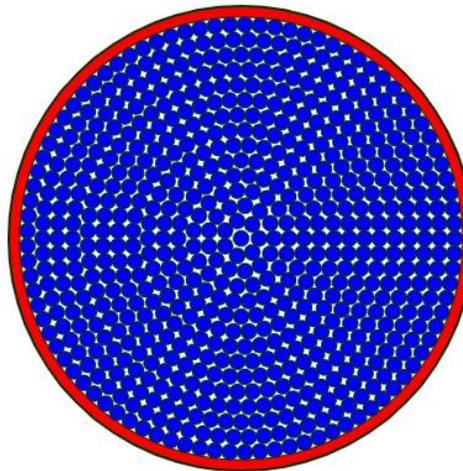


Figura 8.9. Número máximo de difusores que ingresan en el fermentador.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

inside diameter of **large** outer circle (in, mm, m ..)

outside diameters of inside **smaller** circles (in, mm, m ..)

Maximum number of smaller pipes or circles inside the larger one: **29**

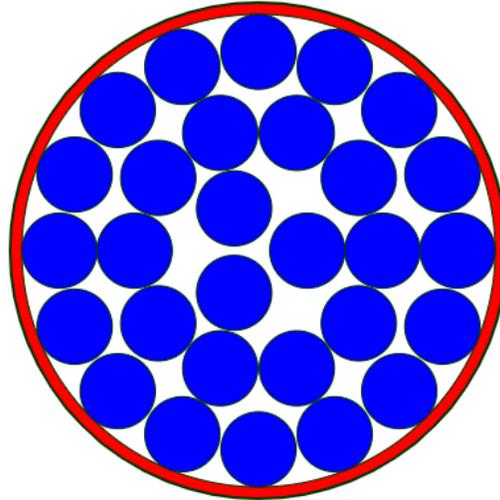


Figura 8.10. Número máximo de difusores que ingresan en el prefermentador.

8.3.1.13 Adopción del compresor de aire

En la adopción de un sistema para el transporte de aire, debe seleccionarse entre un ventilador, un soplante o un compresor. En el caso del fermentador, se requiere una sobrepresión para facilitar la incorporación de aire al sistema, como así también la correcta dispersión de las burbujas en el medio.

Del balance de masa se obtienen las masas totales del suministro de aire. Con la ecuación de gases ideales se convierten en los volúmenes bajo condiciones normales de presión y temperatura (273 K y 1 atm).

En la Tabla 8.28 se muestran las cantidades necesarias del suministro de aire para el prefermentador y fermentador.

Tabla 8.28. Cantidad necesaria de aire para el prefermentador y fermentador.

	Caudal volumétrico (m ³ /h)	Caudal másico (kg/h)	Masa total (kg)
Prefermentador	8,4	9,912	337
Fermentador	840	991,2	71366,4

Mediante la Ecuación 8.24 se calculan los caudales volumétricos normales

$$V = \frac{Q_m RT_N}{pmP_N} \text{ Ecuación 8.24.}$$

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Donde:

Q_m : Caudal másico

T_N : Temperatura en condiciones normales (273 K)

P_N : Presión en condiciones normales (1 atm)

Para dimensionar el sistema de suministro de aire requerido para la prefermentación y fermentación, se suman los caudales volumétricos normales de ambas operaciones. Se toma como margen de seguridad un 5% para compensar cualquier fuga en las conexiones; obteniéndose un caudal total de $Q_t= 812,54 \text{ m}^3/\text{h}$ para el fermentador y de $Q_t=8,098 \text{ m}^3/\text{h}$ para el prefermentador.

Para convertir este caudal en las condiciones de trabajo del compresor utilizando la ecuación de los gases ideales y teniendo en cuenta que la masa de aire es la misma, se obtiene la relación:

$$\frac{Q_t P_N}{T_N} = \frac{Q_{op} P_{op}}{T_{op}} \quad \text{Ecuación 8.25}$$

Despejando Q_{op} :

$$Q_{op} = Q_t \frac{T_{op} P_N}{T_N P_{op}} \quad \text{Ecuación 8.26.}$$

Q_{op} y la presión de trabajo P_{op} se utilizan para la selección del compresor, mientras que T_{op} se adopta como la temperatura ambiente.

Previo a la adopción del equipo, se escoge una tubería para el transporte de aire; en este caso, una de 110 mm del sistema Air-Pro. Con este diámetro pueden estimarse las pérdidas de carga en el transporte y en el ingreso al biorreactor. Las mismas se detallan en la Tabla 8.29

Tabla 8.29. Detalle de la caída de presión a superar.

Presión en la superficie del reactor (atm)	1
Caída de presión en el filtro (atm)	0,59
Caída de presión en el transporte (atm)	0,78
Caída de presión en el ingreso al sistema (atm)	0,58
Presión en el fondo del fermentador (atm)	1,91
Presión a vencer (atm)	4,86

Como se aprecia en la Tabla anterior, la suma de las caídas de presión o pérdidas de carga indican que la presión a vencer será de 4,86 atm. A tal fin, se escoge una presión de salida de 5 atm.

En la estimación de la potencia necesaria para la compresión se utiliza la Ecuación 8.27, la cual se extrae de Mc Cabe & Smith (1991).

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

$$P = \frac{T_a Q_0}{3513,51\eta} \log \frac{P_b}{P_a} \text{ Ecuación 8.27}$$

Donde T_a es la temperatura de admisión en Rankine ($^{\circ}\text{R}$), Q_0 el caudal en ft^3/min , η el rendimiento en porcentaje, mientras que P_b y P_a las presiones de salida y entrada, respectivamente. La potencia se obtiene en CV.

Para el cálculo de la potencia se utilizan los datos de la Tabla 8.30.

Tabla 8.30. Datos para el cálculo de la potencia del fermentador.

Parámetro	Valor
Caudal (ft^3/min)	107,4
Temperatura de admisión ($^{\circ}\text{R}$)	545,67
Rendimiento (supuesto)	75%
Presión de entrada (atm)	1
Presión de salida (atm)	5

De acuerdo a la Ecuación 8.27 y los datos de la Tabla 8.30 y, la potencia necesaria será de 15,42 Hp (15,54 CV).

En la Tabla 8.31 se detallan las especificaciones del compresor adoptado, el cual se muestra en la Figura 8.11.

Tabla 8.31. Especificaciones del compresor adoptado.

Fabricante	Atlas Copco S.A.C.I
Objetivo	Compresión del aire que se utiliza en los biorreactores
Modelo	ZR/ZT (VSD)
Tipo	De uña y tornillo rotativo, exento de aceite
Capacidad (m^3/h)	70,92 – 9021,6
Presión de trabajo (bar)	3,5 – 13
Potencia instalada (kW)	15 – 900
Longitud (m)	2,195
Alto (m)	1,621
Ancho (m)	1,026

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química



Figura 8.11. Compresor adoptado.

8.3.1.14 Diseño del sistema de enfriamiento

Para eliminar el calor generado en la fermentación y mantener la temperatura del reactor en 30°C, se utiliza un serpentín sumergido, en el cual ingresa como fluido refrigerante agua de red a 25°C. Para realizar el diseño del equipo de transferencia de energía se parte de los datos aportados por el Capítulo 7 – Balance de masa y energía, los cuales se resumen en la Tabla 8.32.

Tabla 8.32. Datos del balance de masa y energía.

Calor intercambiado (Q)	1902107,238 BTU/h	
Fluido	Agua	Medio de fermentación
Caudal	105742,32 lb/h	158339,72 lb
T° entrada	41 °F	82,4 °F
T° salida	59 °F	86 °F
ΔT MDL	33,7 °F	
Propiedades		
Densidad (ρ)	62,44 lb/pie ³	68,06 lb/pie ³
Viscosidad (μ)	2,42 lb/pie*h	3,69 lb/pie*h
Calor específico (Cp)	1 BTU/lb*°F	0,515 BTU/lb*°F
Conductividad térmica (K)	0,3461 BTU/h*pie*°F	0,3556 BTU/h*pie*°F

Se utiliza como base teórica de cálculo la bibliografía “Procesos de Transferencia de Calor – Donald Kern, 1999”. Considerando la Ecuación 8.28 para un proceso de convección forzada de transferencia de calor

$$Q = U_d A \Delta T_{MDL} \text{ Ecuación 8.28.}$$

Para determinar el área requerida de transferencia de calor, es necesario conocer el coeficiente global de transferencia de calor (o coeficiente sucio U_d), para ello previamente se calcula el coeficiente limpio de transferencia de calor (U_c) en función de los correspondientes coeficientes de película.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

$$\text{Coeficiente de película exterior de los tubos} = h_c = 123,77 \frac{\text{BTU}}{\text{h} * \text{pie}^2 * ^\circ\text{F}}$$

Para calcular el coeficiente de película en el interior del tubo donde circula el agua de enfriamiento, previamente se adoptan las dimensiones geométricas del tubo del serpentín. (KERN, 1999)

- Material: Acero al carbono (IPS).
- Diámetro externo del tubo (D_{et}): 1 plg = 0,083 pie
- Diámetro interno del tubo (D_i): 0,782 plg = 0,065 pie
- Área de flujo por tubo (a_i): 0,479 plg² = 0,0033 pie²
- Superficie por pie lineal (S_e): 0,2618 pie²/pie
- Diámetro externo de la vuelta del serpentín (De_s): 9,45 pie = 2,88 m
- Velocidad volumétrica de flujo (v): 142,42 pie/s

$$\text{Coeficiente de película dentro del tubo} = h_i = 1700 \frac{\text{BTU}}{\text{h} * \text{pie}^2 * ^\circ\text{F}}$$

$$\text{Coeficiente de película corregido dentro del tubo} = h_{io} = 1331,32 \frac{\text{BTU}}{\text{h} * \text{pie}^2 * ^\circ\text{F}}$$

$$\text{Coeficiente total limpio de transferencia} = U_c = \frac{h_c * h_{io}}{h_c + h_{io}} = 113,24 \frac{\text{BTU}}{\text{h} * \text{pie}^2 * ^\circ\text{F}}$$

$$\text{Coeficiente de ensuciamiento} = R_D = 0,001 \rightarrow h_D = \frac{1}{R_D} = 1000$$

$$U_D = \frac{U_c * h_D}{U_c + h_D} = 101,72 \frac{\text{BTU}}{\text{h} * \text{pie}^2 * ^\circ\text{F}}$$

$$A = \frac{Q}{U_D * \Delta T_{MDL}} = 554,87 \text{ pie}^2$$

El área de transferencia por vuelta de serpentín es:

$$A_s = \pi * De_s * S_e = 7,77 \text{ pie}^2$$

El número de vueltas que tiene el serpentín dentro del tanque se calcula como la razón del área de transferencia requerida y el área de transferencia por vuelta del serpentín:

$$N = \frac{A}{A_s} = 71 \text{ vueltas} \rightarrow N + 2 = 73 \text{ vueltas (márgen de seguridad)}$$

$$\text{Longitud del serpentín} = L_s = \pi * De_s * N = 2167,22 \text{ pie} = 660\text{m}$$

$$\text{Volumen que ocupa el serpentín} = V_s = \pi * \frac{D_e^2}{4} * L_s = 11,72 \text{ pie}^3 = 0,33 \text{ m}^3$$

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.3.1.15 Diseño geométrico del serpentín

Una vez determinado el diámetro de la tubería y la longitud del serpentín, se determinan las demás dimensiones. En la Figura 8.12 se muestran las mismas que definen a un serpentín helicoidal.

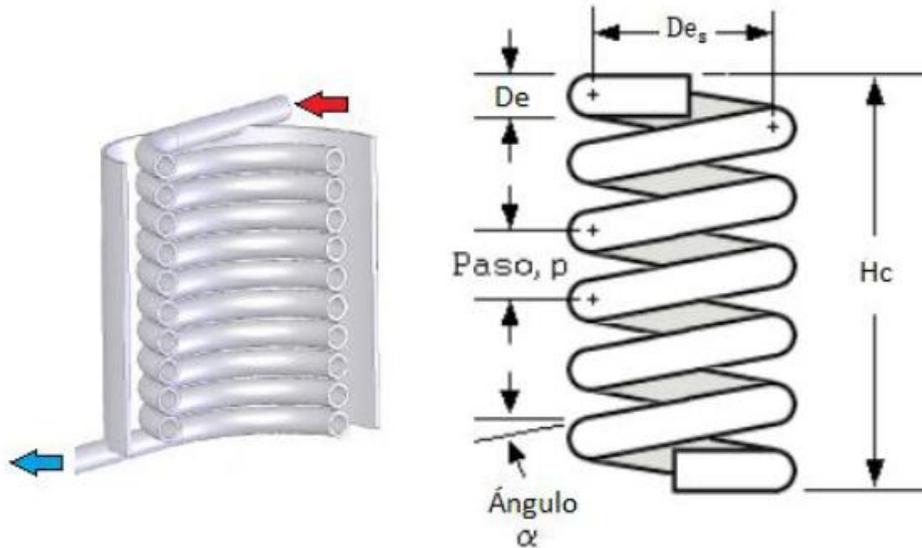


Figura 8.12. Dimensiones del serpentín helicoidal.

La longitud total del serpentín corresponde a la Ecuación 8.29. (ATIEMO-OBENG Y KRESTA, 2004)

$$L_s = N\sqrt{p^2 + (\pi * De_s)^2} \rightarrow p = 0,33 \text{ pie} \quad \text{Ecuación 8.29}$$

La altura de la hélice está sujeta a la Ecuación 8.30.

$$H_c = N * p + D_e = 24,17 \text{ pie} = 7,36 \text{ m} \quad \text{Ecuación 8.30.}$$

El ángulo de la hélice está dado por la Ecuación 8.31.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{p}{\pi * De_s}\right) = 0^\circ 38' 13'' \quad \text{Ecuación 8.31.}$$

En la Tabla 8.33 se resumen los datos utilizados para los cálculos y los parámetros obtenidos.

Tabla 8.33. Parámetros dinámicos de los fluidos.

Fluido	Agua	Medio
Temperatura de entrada	41 °F	82,4 °F
Temperatura de salida	59 °F	86 °F
ΔT MDL		
Calor intercambiado (Q)	33,7 °F	
Coeficiente total de transferencia de calor (U _d)	101,72 BTU/h*pie ² *°F	

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tubos	
Material	Acero al carbón IPS
BWG	12
Diámetro externo (D_{e_t})	1 plg
Superficie por pie lineal (S_e)	0,2618 pie/pie ²
Área de transferencia requerida (A)	554,87 pie ²
Diámetro externo del serpentín (D_{e_s})	9,45 pie
Número de vueltas	73
Área de transferencia por vuelta de serpentín (A_s)	7,77 pie
Paso del serpentín (p)	0,4 pie
Altura del serpentín (H_c)	29,28 pie
Ángulo de la hélice (α)	0°46'93"

8.3.1.16 Accesorios

El fermentador cuenta con una serie de accesorios necesarios para su buen funcionamiento y control durante las 72 horas de esta etapa, siempre manteniendo una barrera estéril entre el contenido del fermentador y su exterior, los mismos se detallan a continuación:

- Cierre hermético y aséptico: evita la contaminación, mantiene hermético el sistema, sirve de amortiguador de fricción, y permite la esterilización in situ del biorreactor mediante una línea de vapor.
- Puerto de alimentación del inóculo y medio de cultivo: las adiciones se realizan a través de tubos de silicona que se autoclavan por separado y se bombean mediante una bomba peristáltica después de la conexión aséptica.
- Filtro de salida de gases.
- Entrada/salida de agua de refrigeración.
- Muestreo de cultivo: la toma de muestras es un dispositivo que permite tomar una muestra del medio para analizarla en el laboratorio. Esto implica un riesgo de contaminación, pero es necesario debido a la necesidad de monitorear el proceso.
- Se coloca una “boca de hombre” para permitir la entrada de operarios al interior para tareas de limpieza y el mantenimiento del mismo.
- El fermentador se equipa con una mirilla para inspeccionar el contenido del reactor.
- Dispone de un rompedor de espuma en la parte superior del tanque.
- Entrada de ácido/base para regular el pH en condiciones desfavorables.

8.4 Sección de extracción y purificación

En esta sección se describe el proceso que se realiza para separar la L-lisina del medio de cultivo y biomasa, el acondicionamiento de la misma y el secado.

8.4.1 Tanque pulmón T-02

Finalizada la fermentación, el producto obtenido se vacía del fermentador y se lo lleva a un tanque pulmón de acero inoxidable con fondo redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes de fluido. Se tiene en cuenta

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

un sobredimensionamiento del tanque del 50% debido a posibles problemas en el fermentador o en la línea de producción subsiguiente.

En la Tabla 8.34 se resumen las características del tanque a utilizar.

Tabla 8.34. Características de T-02.

Fabricante	VM Acero S.R.L
Material	SS304
Densidad (kg/m ³)	8000
Relación de esbeltez	3
Volumen del cilindro (m ³)	105
Diámetro del cilindro (m)	3,54
Altura del cilindro (m)	10,63
Volumen del cabezal (m ³)	5,77
Altura del cabezal (m)	0,88
Volumen total del tanque (m ³)	116,54
Altura total del tanque (m)	12,39

8.4.2 Centrifugación S-01

Para llevar a cabo esta operación se adopta una centrifuga de la empresa Alfa Laval S.A. que se conoce como Culturefuge. Consiste en un sistema de separación de cultivos celulares herméticos, diseñado para la recolección de organismos y materiales biológicos sensibles al cizallamiento en aplicaciones que involucran cultivos de células y proteínas precipitadas. Su diseño exclusivo hueco permite una suave aceleración del líquido de alimentación a la velocidad de rotación del separador, minimizando así la lisis celular. De este modo, los rendimientos se mejoran y las operaciones posteriores se optimizan.

Para mantener las condiciones de funcionamiento higiénicas, esta centrifuga puede limpiarse y desinfectarse automáticamente sin requerir un desmontaje o montaje importante utilizando los sistemas de esterilización en el lugar (SIP) y limpieza en el lugar (CIP).

En cuanto a su funcionamiento, el material biológico que se va a separar ingresa a la centrifuga a través de una entrada de alimentación de husillo hueco y se acelera gradualmente a medida que se desplaza hacia arriba hacia la pila de discos, donde se realiza la separación en el recipiente giratorio de la centrifugadora. La fase líquida separada sale por la parte superior del recipiente, mientras que los sólidos se descargan de forma intermitente desde la periferia del recipiente.

Se adopta el equipo Culturefuge 200, recomendado para capacidades que van desde 1000 hasta 5000 l/h, teniendo en cuenta el caudal de la corriente a tratar (2745 l/h) y una ocupación del equipo aproximada del 60%.

En la Tabla 8.35 se detallan las características de este equipo y en la Figura 8.13 se visualiza un esquema de la misma.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.35. Características de S-01.

Tipo de separador	Centrifugo
Fabricante	ALFA LAVAL S.A.
Consumo eléctrico máximo (kW)	17,5
Líquido de operación	1 litro por descarga
Vapor necesario (a 210 kPa)	20 kg por esterilización
Tiempo del ciclo de esterilización (min)	20/30
Agua de refrigeración total (l/h)	500
Capacidad máxima (m ³ /h)	5
Volumen del bowl (l)	15
Velocidad máxima del bowl (rpm)	7200
Fuerza G máxima	11900
Potencia del motor instalado (kW)	22/25
Presión máxima de entrada y salida (kPa)	50/100
Masa del equipo (kg)	2200
Material del bowl, capuchas y anillo de bloqueo	Acero inoxidable 14501 UNS 32760
Material de la estructura superior	ASME SA-240
Material de la estructura inferior	Hierro fundido, revestido con acero inoxidable 14301 UNS S 30200
Material de las partes externas	Acero inoxidable 14401 UNS S 31600
Material de los sellos (aprobados por FDA)	Poliamida 66, resina impregnada con grafito, carburo de silicio
Ancho del equipo (m)	0,93
Largo del equipo (m)	1,5
Alto del equipo (m)	1,5

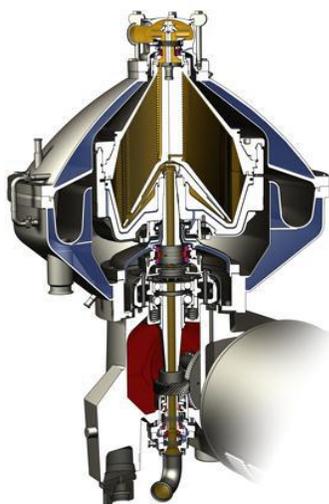


Figura 8.13. Centrífuga Culturefuge.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.4.3 Adsorción C-01

La adsorción es una de las operaciones más utilizadas en la etapa de concentración de caldos acuosos diluidos. Es muy empleada en la obtención de varios tipos de productos biotecnológicos como aminoácidos, antibióticos, vitaminas y proteínas. Mediante esta operación, las moléculas de un soluto se concentran en una superficie sólida por la acción de fuerzas intermoleculares entre el soluto y el sólido, consistiendo en un fenómeno de superficie. Debido a estas fuerzas, el fenómeno es fácilmente reversible. Debe distinguirse de la absorción, lo cual implica la penetración de una sustancia en el cuerpo de otra.

La adsorción es una operación de transferencia de masa en que un soluto disuelto en un fluido se transfiere a un sólido poroso por el cual el soluto tiene afinidad. La solución de partida puede ser líquida o gaseosa. El proceso está controlado por el equilibrio de fases sólido – fluido, de forma que, a tiempo infinito, se alcanza el equilibrio termodinámico. Sin embargo, para un tiempo de contacto finito, la cantidad de soluto adsorbida por el sólido depende de la velocidad de transporte en la capa límite externa, de la velocidad de difusión intrapartícula (en los poros del sólido) y de la velocidad intrínseca de adsorción. La superficie del sólido adsorbente tiene centros activos con afinidad por el soluto. En un centro activo, la velocidad intrínseca de adsorción es, en general, reversible. Como la superficie interna del adsorbente es muy grande (de hasta 1.500 m²/g), potencialmente hay una gran capacidad de capturar soluto (un 20 o 30% del peso del adsorbente). El proceso inverso de la adsorción se denomina desorción y tiene lugar cuando una cantidad de adsorbente cargado de soluto se pone en contacto con un solvente libre de soluto (TEJEDA, MONTESINOS Y GUZMÁN, 2011).

El contacto del sólido con el fluido puede llevarse a cabo mediante una suspensión de las partículas de adsorbente en la disolución a tratar en presencia de agitación. Otra manera de poner en contacto el fluido y el sólido es hacer pasar la disolución del fluido que contiene el soluto a través de un lecho fijo de partículas de adsorbente. Esto puede implicar varios lechos de adsorción (2 o 3), de forma que, mientras un lecho está adsorbiendo, el segundo está en regeneración y el tercero está en espera. A menudo, con dos lechos es suficiente, si se diseñan con una distribución correcta del tiempo en cada uno.

La adsorción en lecho fijo es la operación más empleada a escala industrial para la concentración de caldos biológicos. Por la parte superior de la columna se alimenta la solución que contiene el soluto de interés. Durante su paso por la columna el soluto es adsorbido en el lecho y la solución agotada es obtenida a la salida de la columna. Una vez que la concentración de soluto a la salida alcanza una cierta concentración, se interrumpe la operación y se recupera el soluto concentrado. La concentración de uno o varios solutos de un caldo mediante una operación de adsorción industrial requiere dos pasos fundamentales. Primero el adsorbente y la solución se ponen en contacto. Al efectuarse la adsorción el soluto se une preferentemente a la superficie del adsorbente respecto a otros solutos. Una vez concluida la adsorción, se efectúa la recuperación del soluto utilizando un fluido que favorezca la desorción, operación conocida como elución. Estas columnas de relleno tienen dimensiones muy superiores a las de una columna cromatográfica de laboratorio (ésta de 1-2 cm de diámetro y 1 m de longitud), llegando a tener un diámetro de 80 cm (TEJEDA, MONTESINOS Y GUZMÁN, 2011).

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

La ruta convencional de purificación de L-lisina comienza con el caldo de fermentación que pasa por una resina de intercambio catiónico. La L-lisina se adsorbe sobre la resina a un pH bajo y luego se separa de la misma a un pH alto usando hidróxido de amonio al 3,5% como eluyente. (TOSAKA Y TAKINAMI. US4275157, 1981).

El eluyente que contiene L-lisina y amoníaco, con impurezas como iones de potasio y magnesio, se concentra por evaporación.

La selección del adsorbente es el primer paso para el desarrollo de un proceso de adsorción de purificación. Para el aislamiento de L-lisina se pueden utilizar resinas de intercambio catiónico ácido fuerte, que típicamente son co-polímeros sulfonados de estireno y di-vinil benceno con una capacidad de resina de 1,9 equivalentes/litro. La columna se puede regenerar con ácido sulfúrico, clorhídrico y cloruro de sodio, y luego se lava con varios volúmenes de lecho de agua desmineralizada. (FECHTER Y DIENST. US5684190 1997).

Teniendo en cuenta lo anterior, para llevar a cabo la recuperación de L-lisina se utiliza el adsorbente polimérico Amberlite IR – 120. Se trata de una resina de intercambio catiónico fuertemente ácida tipo gel de poliestireno con DVB (Di-vinil benceno), cuyas propiedades se muestran en la Tabla 8.36.

Tabla 8.36. Características de resina de intercambio catiónico.

Fabricante	Lenntech		
Forma física	Cuentas esféricas ámbar		
Forma iónica	Na +		
Matriz	Co-polímero de di-vinil benceno de estireno		
Grupo funcional	Sulfonato		
Gravedad específica	1,28		
Rango de pH	0-14		
Capacidad de intercambio	2,00 eq/l		
Capacidad de retención de humedad	45 a 50 %		
Densidad aparente (g/l)	840		
Tamaño medio de partícula	0,6 a 0,8 mm		
Porosidad	0,6		
Temperatura máxima de funcionamiento (°C)	135		
Profundidad mínima del lecho	700 mm		
Regeneración			
Regenerante	HCl	H ₂ SO ₄	NaCl
Concentración (%)	5 a 8	0,7 a 6	10
Tiempo mínimo de contacto	30 minutos		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Para lograr la capacidad requerida, y dado que la columna debe regenerarse, se diseñan dos columnas idénticas. En la Tabla 8.37 se detallan las dimensiones de la torre de adsorción así como también los principales parámetros de operación.

Tabla 8.37. Dimensiones y parámetros de operación de la adsorción

Fabricante	Metalúrgica Urbani
Material	AISI SAE-304
Cantidad	2
Volumen de columna (m ³)	11,45
Altura (m)	8,46
Diámetro (m)	1,69
Adsorción	
Caudal másico (kg/h)	2855,4
Densidad (kg/m ³)	1000
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2,85
Concentración de L-lisina en la alimentación (g/l)	48,9
Tiempo de operación (h)	24
Desorción	
Eluyente	Hidróxido de amonio
Caudal másico (kg/h)	3188,35
Densidad (kg/m ³)	970
Caudal volumétrico (m ³ /h)	3,28
Concentración de amoníaco (%)	3,5
Tiempo de operación (min)	20

8.4.4. Evaporación E-01

El evaporador seleccionado para la primera etapa de concentración es un evaporador de película descendente (ver Figura 8.14 para apreciar su funcionamiento).

Entre las ventajas que se tuvieron en cuenta para elegir este evaporador se encuentran:

- Poco tiempo de retención
- Excelente separación de gotas
- Buena capacidad de transmisión de calor con bajo gradiente térmico
- Baja energía de circulación
- Acepta cierta cantidad de sólidos

Los fluidos se disponen en paralelo, esto es líquido y vapor en forma descendente desde el cabezal.

La Tabla 8.38 recoge las propiedades dinámicas de los fluidos involucrados y los datos mecánicos para la construcción del equipo.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.38. Características de E-01.

Tipo de evaporador		Película descendente (tubo y coraza)
Fabricante		SERVINOX S.A.
Material		Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo		Paralelo (natural)
Disposición	Coraza	Vapor de agua
	Tubos	Solución de L-lisina
Régimen de trabajo		Continuo
Propiedades fluido dinámicas de las corrientes		
U calculado/U servicio (BTU/h.pie ² .°F)		198,44/174,31
Caída de presión (atm)	Coraza	0,37
	Tubos	0,05
Especificaciones de construcción		
Área total (m ²)		37,41
Área efectiva de transferencia(m ²)		36,6
Área en exceso (%)		13,84
Tubos		
Longitud (m)		2,44
Diámetro externo (m)		0,019
Diámetro interno (m)		0,016
Número de tubos		257
Número de pasos		1
BWG		16
Tipo de arreglo		Triangular 30°
Coraza		
Diámetro externo (m)		0,46
Diámetro interno (m)		0,44
Número de pasos		1
Número de bafles		3
Espesor de bafles (m)		0,005
Corte del baffle (% área de coraza)		30
Cámara inferior de separación		
Longitud (m)		30% longitud de los tubos

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

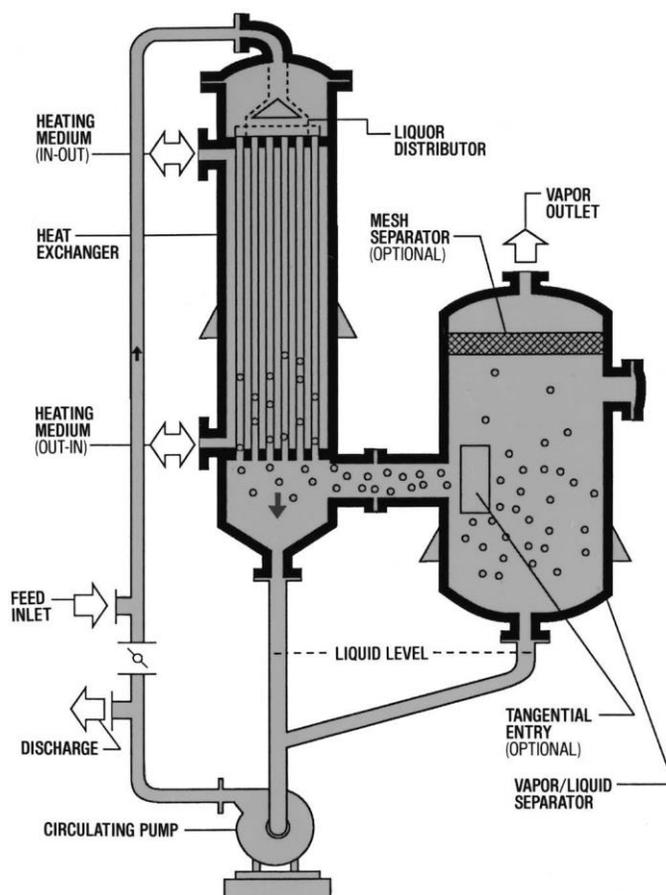


Figura 8.14. Esquema representativo de un evaporador de película descendente.

8.4.5 Enfriamiento I-04

Este equipo tiene la función de llevar la solución de L-lisina concentrada hasta la temperatura adecuada para ingresar al cristalizador. Para ello se elige un intercambiador de placas, cuyas características se detallan en la Tabla 8.39.

Tabla 8.39. Características de I-04.

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (h)	24
Número de placas	6
Ancho de placas (m)	0,35
Alto de placas (m)	1,2
Espacio entre placas (m)	0,003

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Número de pasos lado frío	2
Número de pasos lado caliente	2
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,025
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,025
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,025
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,025
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	2,5
Área calculada (m ²)	2,3
Área en exceso (%)	7,6
ΔTML	28
U calculado/U servicio (BTU/h.pie ² .°F)	135/126
Factor de Fouling lado frío (h.pie ² .°F/BTU)	0,001
Factor de Fouling lado caliente (h.pie ² .°F/BTU)	0,003
Coeficiente de película para el lado caliente (BTU/h.pie ² .°F)	622,8
Coeficiente de película para el lado frío (BTU/h.pie ² .°F)	1202,9
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,1
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,3
NRe del fluido caliente	1135,4
NRe del fluido frío	2261,6

8.4.6 Cristalización CR-01

La cristalización se utiliza para obtener materiales en forma de cristales uniformes y atractivos de buena pureza. Como la formación de cristales consiste en la separación de un soluto de una disolución o de una fase fundida, dejando las impurezas en la fase líquida, se trata de una operación de separación (MCCABE, SMITH Y HARRIOTT, 1998)

Existen dos pasos en la precipitación de los cristales a partir de la solución. Los cristales deben formarse primero y crecer después. La formación de una nueva fase sólida sobre una partícula inerte en la solución o dentro de la solución en sí, se conoce como nucleación. El incremento de tamaño de este núcleo mediante la adición capa por capa de soluto se llama crecimiento. Para que se produzcan las dos etapas de la cristalización la solución debe estar sobresaturada (PERRY, 2001). Por esta razón, la solución pasa por un evaporador antes de ingresar al cristizador.

La solución sobresaturada se puede generar en fracción de segundos, pero el crecimiento de cristales es un proceso de capa por capa, y el tiempo de retención para producir cristales de los tamaños que se desean, normalmente es de 2 a 12 h. De acuerdo al tamaño de cristales requerido, se toma un tiempo de retención en el cristizador de 8 h.

De acuerdo a las características de este proceso se decide utilizar un cristizador de tanque, con agitador de turbina y provisto de camisa para el enfriamiento, debido a que este tipo de equipo es adecuado para la producción de productos químicos y farmacéuticos (PERRY, 2001).

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.4.6.1 Cálculo del volumen del cristalizador

Para el cálculo del volumen del cristalizador se consideran los caudales horarios de las corrientes que ingresan al mismo, solución concentrada de L- lisina y HCl, los cuales se multiplican por la cantidad de horas de retención para obtener la masa a cristalizar. Finalmente, se obtiene el volumen del tanque empleando la siguiente expresión que surge de despejar la ecuación de densidad:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Considerando un factor de seguridad de sobrediseño del 20%, el volumen del cristalizador empleado debe ser $V = 7 \text{ m}^3$.

8.4.6.2 Cálculo de las dimensiones del cristalizador

El cuerpo del cristalizador es cilíndrico y el fondo tiene forma elipsoidal. De acuerdo a esto, sus dimensiones se determinan como sigue:

$$V_{\text{Tanque}} = V_{\text{cilindro}} + 2 \cdot V_{\text{Cabeza}} \quad \text{Ecuación 8.32.}$$

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times H \quad \text{Ecuación 8.33.}$$

$$V_{\text{Cabeza}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h_{\text{Cabeza}}}{6} \quad \text{Ecuación 8.34.}$$

Donde:

D: diámetro del cilindro (m);

H: altura del cilindro (m);

H: altura de la cabeza (m), siendo igual a D/4.

Considerando una relación de esbeltez $H/D = 3$, el diámetro del cilindro se calcula con la Ecuación 8.34.

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{cilindro}} \cdot 4}{\pi \cdot 3}} = 1,44 \text{ m} \quad \text{Ecuación 8.35.}$$

$$H = 3 \cdot D = 4,32 \text{ m}$$

Sabiendo que $h = 0,36 \text{ m}$ y teniendo en cuenta la ecuación (3), el V_{Cabeza} es de $0,39 \text{ m}^3$.

De acuerdo con la ecuación (1), el V_{Tanque} es de $7,78 \text{ m}^3$, siendo el volumen total ocupado por el líquido del 80%.

Cálculo del espesor de las paredes

El espesor requerido para el cuerpo cilíndrico se calcula con la Ecuación 8.35.

$$t_{\text{cilindro}} = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} \quad \text{Ecuación 8.36.}$$

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

El espesor requerido para el fondo elíptico puede calcularse a partir de la Ecuación 8.36.

$$t_{Cabeza} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} \text{ Ecuación 8.37.}$$

En la Tabla 8.40 se detallan los parámetros para el cálculo del espesor del cuerpo y del fondo del cristalizador.

Tabla 8.40. Parámetros utilizados para calcular el espesor del cuerpo y fondo.

Parámetro	Valor
P	1,033 kg/cm ²
R	72 cm
S	1733 kg/cm ²
E	0,85
D	144 cm
t _{Cabeza}	0,05 cm
t _{Cilindro}	0,05 cm

El material de construcción seleccionado es acero inoxidable AISI 304 de espesor estándar de 0,5 mm que posee una carga de ruptura de 2600 kg/cm², debido a su muy buena resistencia mecánica bajo las condiciones de operación y a su resistencia a la corrosión.

8.4.6.3 Cálculo del sistema de agitación

La agitación debe ser suficiente como para suspender las partículas, y así incrementar la nucleación cuando la solución llegue a su punto inicial de cristalización. Una agitación acorde produce homogeneización en el tanque, evita las sobresaturaciones locales y promueve un producto más uniforme.

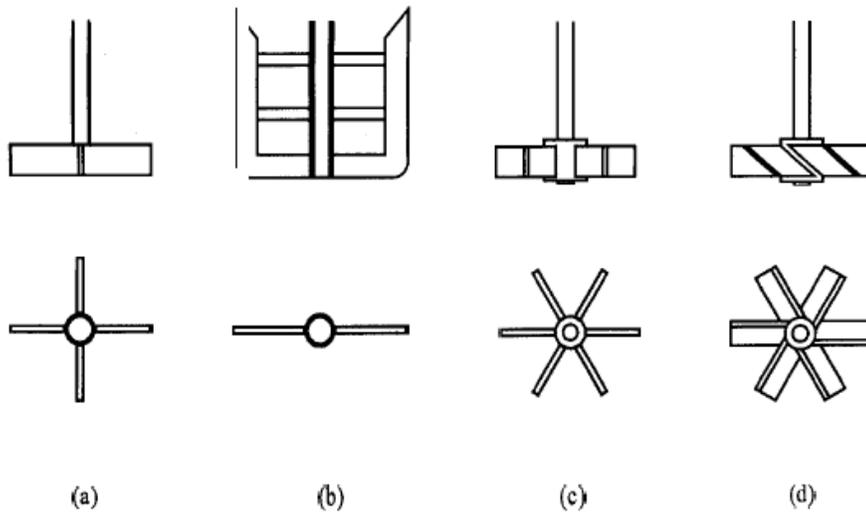
La velocidad mínima de agitación es fijada por la necesidad de mantener en suspensión todos los cristales y mantener la suspensión mezclada mientras el límite superior es fijado por la formación de vórtices y la entrada de aire.

Por las razones antes mencionadas, se selecciona para para el sistema un agitador de turbina abierta de seis palas planas. Este tipo de turbinas producen un flujo radial dentro del cristalizador.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

El agitador (c) de la Figura 8.15 corresponde al seleccionado para el equipo.



Varios tipos de agitadores: a) paleta de cuatro aspas, b) paleta de compuerta o ancla, c) turbina abierta de seis aspas, d) turbina de aspas inclinadas (45°).

Figura 8.15. Tipos de agitadores.

Las proporciones típicas para un rodete de estas características son las siguientes (GEANKOPLIS, 2008):

$$\frac{D_a}{D_c} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{C}{D_c} = \frac{1}{3}$$

Siendo:

Da: diámetro del agitador

Dc: diámetro del tanque

W: ancho del agitador

L: distancia del agitador a la pared del equipo

C: distancia del agitador al fondo del tanque

La Figura 8.16 muestra las dimensiones para un tanque agitado; y en la Tabla 8.41 se exhiben los parámetros característicos del sistema de agitación.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

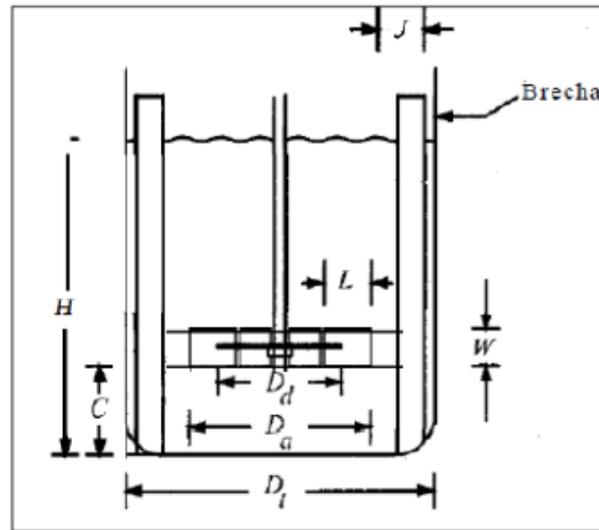


Figura 8.16. Dimensiones de un tanque agitado.

Tabla 8.41. Parámetros característicos del sistema de agitación.

Parámetro	Valor
Dc	1,44 m
Da	0,48 m
W	0,1 m
L	0,12 m
C	0,48 m

Para calcular la potencia consumida por el sistema de agitación se debe determinar el régimen en el cual se trabaja, que viene dado por la Ecuación 8.38. (GEANKOPLIS, 2008)

$$NRe = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \text{ Ecuación 8.38.}$$

El NRe es 389993. Con este valor, y utilizando la figura de correlaciones de potencia para diversos impulsores (GEANKOPLIS, 2008), se obtiene que el número de potencia (Np) es 2,5.

Con la Ecuación 8.39 se calcula la potencia necesaria para el sistema de agitación (GEANKOPLIS, 2008):

$$P = Np \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5 \text{ Ecuación 8.39.}$$

La potencia es 1,34 Hp.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.4.6.4 Cálculo del motor eléctrico y caja reductora

Para determinar que motor adoptar se debe tener en cuenta dos parámetros básicos, la potencia nominal requerida y la velocidad máxima de giro del agitador.

$$P = 1,34 \text{ Hp}$$

$$N = 140 \text{ rpm}$$

Esta potencia es la que se debe suministrar directamente al eje del agitador, cabe tener en cuenta el rendimiento global de la transmisión de energía mecánica del motor al agitador. Existen pérdidas de potencia generadas por el reductor, acoplamientos, y cierre mecánico, con lo cual el rendimiento habitual para este tipo de transformaciones es de aproximadamente un 95%, con lo que:

$$P = \frac{P}{\eta} = \frac{1,34 \text{ HP}}{0,95} = 1,41 \text{ HP}$$

Seleccionamos en un catálogo aquel motor que tenga una potencia de salida igual o mayor a la calculada.

Los motores de corriente alterna de inducción funcionan a un régimen nominal de vueltas y para adaptar dicha velocidad a la velocidad requerida en el proceso es necesario reducirla mediante el uso de un reductor. Para determinar cuál utilizar se decide consultar catálogos y seleccionar, en función de la potencia de entrada y de la relación de reducción, el más adecuado.

$$\text{Relación de reducción} = i = \frac{\text{velocidad de giro del motor}}{\text{velocidad de giro del agitador}}$$

$$i = \frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{agitador}}} = \frac{2860 \text{ rpm}}{140 \text{ rpm}} = 20,4$$

En las Tablas 8.42 y 8.43 se resumen las características del motor y la caja reductora adoptados. Para el cristalizador se adopta un motor de WEG S.A., de acuerdo a la potencia solicitada. La caja reductora se adopta de la firma LENTAX S.A.

Tabla 8.42. Características del motor adoptado.

Motor eléctrico	
Fabricante	WEG S.A.
Tipo	Motor de inducción de rotor en jaula de ardilla. Trifásico. Corriente alterna
Serie	W22-IE4 Super Premium Efficiency
Carcasa	132S
Potencia mecánica	2 HP
Rendimiento	84,4%
Rotación nominal	2860 rpm
Número de polos	2

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Frecuencia	50 Hz
Masa	22 kg

Tabla 8.43. Características de la caja reductora adoptada.

Caja reductora	
Fabricante	LENTAX S.A.
Tipo	Reductor coaxial de engranajes dentados helicoidal
Modelo	COT2
Relacion de reducción (i)	20,85
Factor de seguridad (F _z)	1,85
Factor de servicio (F _s)	1,7
Potencia de entrada	2 HP
Masa	37 kg

8.4.6.5 Cálculo del tamaño de la chaqueta

Para que se produzca el proceso de cristalización es necesario el enfriamiento de la solución. Como se menciona en el balance de energía realizado en el capítulo 7, la masa de agua fría necesaria para enfriar la solución es de 1774, 25 kg/h.

Para el cálculo de las dimensiones de la camisa se procede a calcular la temperatura media logarítmica del equipo (KERN, 1999). Las unidades utilizadas en los siguientes cálculos son unidades inglesas, para poder trabajar correctamente con las Tablas y Figuras que se representan en el libro.

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \text{ Ecuación 8.40.}$$

En la Tabla 8.44 se presentan las condiciones de operación del cristizador.

Tabla 8.44. Temperaturas de mezcla y de fluido refrigerante.

Condiciones de operación CR-01	
Fabricante	BERTOTTO Y BOGLIONE
Tanque	Chaqueta
Fluido caliente	Fluido frío
T ₁ = 86°F	t ₁ = 41°F
T ₂ = 59°F	t ₂ = 50°F
ΔT _{ML} = 26°F	

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.4.6.6 Lado del tanque

Se calcula el coeficiente de transferencia de calor con la Ecuación 8.41. (KERN, 1999)

$$h_i = \frac{\left[0,36 \cdot \left(\frac{L^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{C \cdot \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \right] \cdot k}{D_j} \quad \text{Ecuación 8.41.}$$

La Tabla 8.45 muestra los parámetros para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor del lado del tanque.

Tabla 8.45. Parámetros utilizados para calcular el coeficiente de transferencia.

Parámetro	Valor
L	1,58 pie
n	8400 rev/h
ρ	77,1 lb/pie ³
μ	4,11 lb/pie.h
μ_w	2,42 lb/pie.h
C	1 BTU/lb.°F
k	0,38 BTU/(h.pie/°F)
D_j	4,72 pie
h_i	371,4 BTU/h.pie ² .°F

El coeficiente real de transferencia h_{io} es:

$$h_{io} = h_i \cdot \left(\frac{D_I}{D_E} \right) \quad \text{Ecuación 8.42.}$$

En la Tabla 8.46 se presentan los parámetros para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor real del lado del tanque.

Tabla 8.46. Parámetros para el cálculo del coeficiente de transferencia real.

Parámetro	Valor
D_I	4,72 pie
D_E	4,73 pie
h_{io}	370,62 BTU/h.pie ² .°F

8.4.6.7 Lado de la chaqueta

Se calcula el área de flujo con la Ecuación 8.43 (KERN, 1999):

$$a_s = \frac{\pi \cdot (D_2^2 - D_1^2)}{4} \quad \text{Ecuación 8.43.}$$

En la Tabla 8.47 se exhiben los parámetros para el cálculo del área de flujo.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.47. Parámetros para calcular el área de flujo.

Parámetro	Valor
D ₂	4,83 pie
D ₁	4,73 pie
a _s	0,75 pie ²

Ahora, se procede a calcular el diámetro equivalente para transferencia de calor, para luego con este dato calcular la velocidad másica del agua.

$$D_e = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1} \text{ Ecuación 8.44.}$$

El diámetro equivalente D_e= 0,2 pie. Por lo que, la velocidad másica es:

$$G_t = \frac{W}{a_s} \text{ Ecuación 8.45.}$$

En la Tabla 8.48 y 8.49 se detallan los parámetros para el cálculo de la velocidad másica.

Tabla 8.48. Parámetros para calcular la velocidad másica.

Parámetro	Valor
W	3911,55 lb/h
G _t	5215,4 lb/h.pie ²

Sabiendo el valor del NRe, se procede a determinar el factor adimensional de transferencia de calor j_H.

$$N_{Re} = \frac{G_t \cdot D_e}{\mu} \text{ Ecuación 8.46.}$$

Donde:

μ: viscosidad del agua

Tabla 8.49. Parámetros para calcular la velocidad másica.

Parámetro	Valor
μ	2,42 lb/pie.h
C	1 BTU/lb.°F
k	0,38 BTU/h.pie ²
N _{Re}	431
J _H	18

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

El coeficiente de película referido al diámetro exterior del tanque se calcula con la Ecuación 8.47.

$$h_o = j_H \cdot \frac{k}{D_e} \cdot \left(\frac{C \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \text{ Ecuación 8.47.}$$

El coeficiente de película es $h_o = 63,4 \text{ BTU/h.pie}^2 \cdot ^\circ\text{F}$.

Se calcula el coeficiente total limpio con la Ecuación 8.48.

$$U_C = \frac{h_{i0} \cdot h_o}{h_{i0} + h_o} \text{ Ecuación 8.48.}$$

El coeficiente es $U_C = 54,14 \text{ BTU/h.pie}^2 \cdot ^\circ\text{F}$.

Se considera un factor de obstrucción de $0,005 \text{ h.pie}^2 \cdot ^\circ\text{F}/\text{BTU}$ para el cálculo del coeficiente de diseño con la Ecuación 8.49.

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_d \text{ Ecuación 8.49.}$$

El coeficiente de diseño es $U_D = 42,73 \text{ BTU/h.pie}^2 \cdot ^\circ\text{F}$. Por lo que la superficie de transferencia de calor se calcula con la Ecuación 8.50.

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T_{ML}} \text{ Ecuación 8.50}$$

El calor necesario para disminuir y mantener la temperatura del cristizador es 35204 BTU/h , entonces, el área de transferencia es $A = 32 \text{ pie}^2$. Conociendo el área, se puede calcular la altura de la chaqueta, despejando el término de la Ecuación 8.51.

$$A = L \cdot \pi \cdot D_1 + \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \text{ Ecuación 8.51.}$$

La altura de la chaqueta es de 30 cm ; se adopta 50 cm considerando un sobredimensionamiento.

8.4.7 Centrifugación S-02

Para la separación de los cristales de L-lisina del líquido residual, se adopta una centrifuga industrial modelo Pusher doble paso SHS de la firma Siebtechnik, la misma se esquematiza en la Figura 8.17.

La centrifuga de empuje Pusher, de ejecución simple, doble o triple escalón, y con cestillo cilíndrico/cónico, es una centrifuga de filtración y operación continua. Los sólidos son retenidos en forma de torta en el cestillo de perfil trapezoidal y a continuación transportados axialmente por medio de un movimiento oscilante del cestillo interior a la descarga de sólidos.

La mezcla de sólidos y líquido se alimenta de forma continua al tubo de entrada hasta llegar al cono de distribución que gira a la misma velocidad que el cesto. Aquí la mezcla acelera y fluye a través del espacio entre los anillos, situado entre el fondo de empuje y el cono de distribución, hacia el anillo distribuidor. Dentro del distribuidor la mezcla acelera suavemente hasta alcanzar la velocidad circunferencial y consecuentemente fluye como

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

una capa de suspensión por encima del borde del distribuidor hasta toda el área de cribado en la zona de alimentación. La mayor parte del líquido se centrifuga hacia afuera a través de la apertura de la rejilla, mientras que los sólidos son retenidos encima de la rejilla en forma de torta de filtrado. Además de girar, el cesto interior efectúa un movimiento axialmente oscilante. Este llamado movimiento de empuje mueve la torta de filtrado hacia adelante y lo empuja gradualmente hacia el cesto exterior desde el cual se descarga a través de la parte abierta hacia la zona de sólidos de la carcasa.

Según el flujo masico de la corriente de entrada a la centrifuga (906,4 kg/h), se adopta el modelo 350, que es apta para caudales de hasta 1150 kg/h.

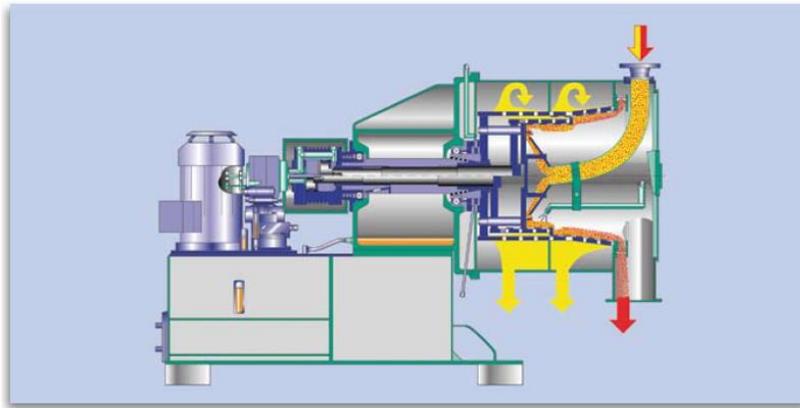


Figura 8.17. Esquema de la centrifuga Pusher SHS.

A continuación, en la Tabla 8.50, se especifican las dimensiones de la misma.

Tabla 8.50. Características de S-02

Fabricante	SIEBTECHNIK
Peso operacional (kg)	1150
Alto	1
Largo (m)	1,75
Ancho (m)	0,95

8.4.8 Secado por aspersion D-01

En la última etapa de concentración, debe adoptarse un equipo de secado por aspersion para llevar al producto a la concentración final de venta. Entre los principales factores que se han tenido en cuenta para el diseño se encuentran:

- Tiempo de retención
- Temperatura del aire de entrada
- Caudal de evaporación de agua
- Concentración inicial máxima de agua
- Concentración final mínima de agua

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Tamaño de partícula máximo admisible por el atomizador

En la Figura 8.18 se encuentra un típico equipo de secado por aspersion, junto a las referencias de cada elemento sobre la derecha.

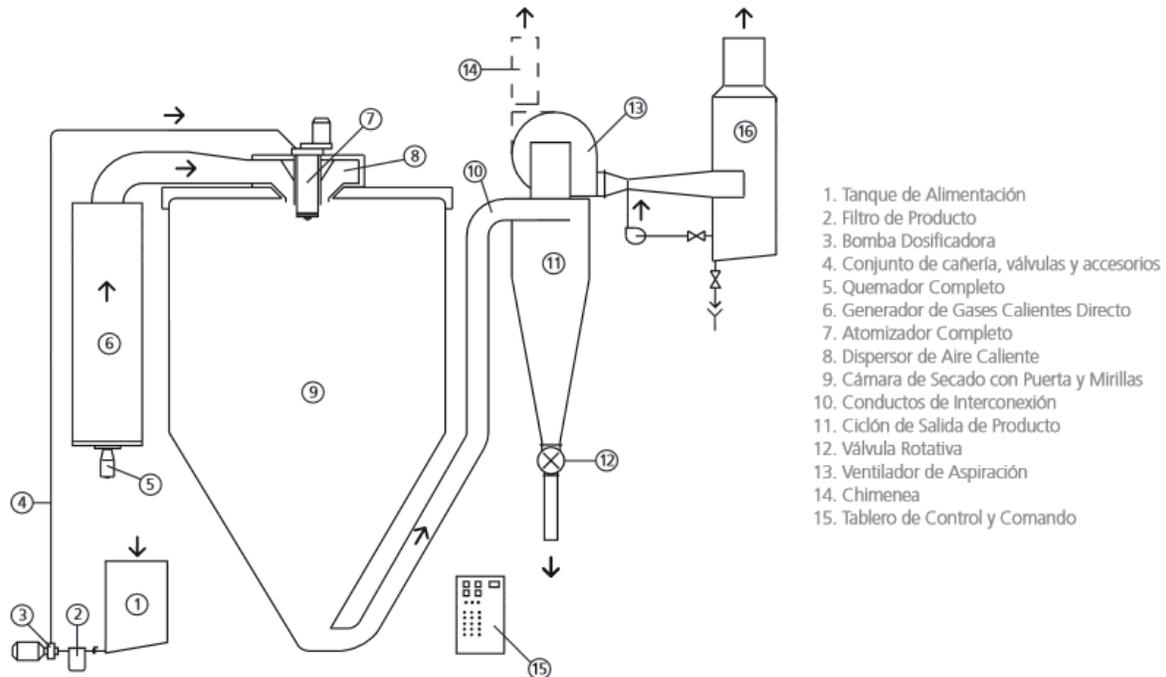


Figura 8.18. Esquema de un secador por aspersion típico.

El equipo adoptado de acuerdo al requerimiento de evaporación diario es del proveedor Galaxie S.A. En la Tabla 8.51 se detallan las características de este equipo.

Tabla 8.51. Características de D-01.

Tipo de secador		Secador spray	
Fabricante		GALAXIE S.A.	
Flujo		Paralelo	
Características fluido dinámicas y térmicas		Características mecánicas	
Concentración inicial máxima (%)	50	Largo (m)	1
Concentración final mínima (%)	93	Alto (m)	2
Evaporación de agua máxima (l/h)	8	Ancho (m)	1,5
Temperatura de entrada del aire (°C)	180	Consumo eléctrico (kW/h)	12,6
Temperatura de salida (°C)	80	Consumo de combustible (kcal/h)	12000

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tiempo de retención en la cámara (s)	28	Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Tiempo de contacto (s)	10 (1/3 de la cámara)	Diámetro de la cámara (m)	0,76

La Figura 8.19 muestra el secador adoptado.



Figura 8.19. Esquema del secador adoptado.

8.5 Equipos adicionales

En esta sección se describen equipos que, si bien no son estrictamente parte del diagrama de flujo (no se tienen en cuenta en los balances de masa y energía del capítulo anterior), son necesarios para el desarrollo de algunas de las etapas antes descritas. En la Tabla 8.52 se muestran las instalaciones o equipos que se consideran en esta sección.

Tabla 8.52. Equipos adicionales.

Código del equipo	Descripción
T-01	Tanque de almacenamiento de melaza
T-03	Tanque de almacenamiento de amoníaco
MD-04	Tanque mezclador de amoníaco y agua
T-04	Tanque de almacenamiento de ácido clorhídrico
EN-01	Envasadora

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.5.1 Tanque de almacenamiento de melaza T-01

Este tanque se diseña con el objetivo de almacenar la melaza que se utiliza en una semana de producción, con el fin de ahorrar en costos de transporte e ir a buscar la misma una vez a la semana.

En el Capítulo 7 se concreta la realización de 347 batch al año, por lo que se tienen 7 batch a la semana; en consecuencia, este tanque se diseña para satisfacer 7 batch de producción.

La cantidad total de melaza que se almacena en este tanque es de 50631,14 kg, lo que equivale a un volumen de 42,90 m³.

El tanque es de acero inoxidable con fondo redondeado y se toma un sobredimensionamiento del 15% como factor de seguridad.

En la Tabla 8.53 se exhiben las características del mismo.

Tabla 8.53. Características de T-01.

Fabricante	VM Acero S.R.L
Material	SS304
Densidad (kg/m ³)	8000
Relación de esbeltez	3
Volumen del cilindro (m ³)	51
Diámetro del cilindro (m)	2,78
Altura del cilindro (m)	8,34
Volumen del cabezal (m ³)	2,79
Altura del cabezal (m)	0,69
Volumen total del tanque (m ³)	56,58
Altura total del tanque (m)	9,72

8.5.2 Tanque de almacenamiento de agua amoniacal T-03

Este tanque se diseña con el objetivo de almacenar agua amoniacal que se utiliza en una semana de producción; la misma involucra 7 batch, por lo que la cantidad total de amoníaco que se debe almacenar es de 16789,71 kg. Se debe tener en cuenta que esta solución se encuentra con una concentración del 26%, por lo que se necesita un tanque que pueda almacenar 64575,77 kg de agua amoniacal al 26%; lo que equivale a un volumen de 70,96 m³.

El tanque es de acero inoxidable con fondo redondeado y se toma un sobredimensionamiento del 15% como factor de seguridad.

Esta solución tiene un grado bajo de inflamabilidad y, en condiciones normales de operación, es estable. Cabe destacar que tiene un alto riesgo para la salud humana, por lo que se deben tomar las precauciones necesarias para su manejo y almacenamiento.

Se debe almacenar en un lugar fresco, seco, bien ventilado y lejos de la luz solar directa.

Como se dijo anteriormente, el agua amoniacal tiene una mínima inflamabilidad; no quiere decir que sea nula, sin embargo, hay condiciones que conducen a un peligro de fuego y

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

explosión no usuales. Esta sustancia es en mayor parte agua, por lo que no es combustible. Sin embargo desprende amoníaco, un gas inflamable con temperatura de auto ignición de 651°C, que si se acumula en espacios cerrados, puede formar mezclas explosivas con el aire dentro de los límites de inflamabilidad señalados. En presencia de aceites u otros materiales combustibles incrementa el riesgo de incendio.

En la Tabla 8.54 se exhiben las características del mismo.

Tabla 8.54. Características de T-03.

Fabricante	VM Acero S.R.L
Material	SS304
Densidad (kg/m ³)	8000
Relación de esbeltez	3
Volumen del cilindro (m ³)	81,6
Diámetro del cilindro (m)	3,26
Altura del cilindro (m)	9,78
Volumen del cabezal (m ³)	4,56
Altura del cabezal (m)	0,82
Volumen total del tanque (m ³)	90,7
Altura total del tanque (m)	11,42

8.5.3 Tanque de mezclado MD-04

En este tanque se mezcla el agua amoniacal proveniente de T-03 con agua para obtener una solución de amoníaco en agua al 3,5% para utilizarla para desorber la columna de adsorción. Debido a que se ponen en contacto dos líquidos completamente miscibles, no es necesario colocar un agitador.

Por batch se necesitan 9225,11 kg de agua amoniacal al 26% que son mezclados con 59304,49 kg de agua. Por lo que se toma un volumen de líquido de 69,43 m³.

El tanque es de acero inoxidable con fondo redondeado y se toma un sobredimensionamiento del 15% como factor de seguridad.

En la Tabla 8.55 se exhiben las características del mismo.

Tabla 8.55. Características de MD-04.

Fabricante	VM Acero S.R.L
Material	SS304
Densidad (kg/m ³)	8000
Relación de esbeltez	3
Volumen del cilindro (m ³)	79,84
Diámetro del cilindro (m)	3,23
Altura del cilindro (m)	9,69
Volumen del cabezal (m ³)	4,42
Altura del cabezal (m)	0,81
Volumen total del tanque (m ³)	88,68
Altura total del tanque (m)	11,31

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.5.4 Tanque de almacenamiento T-04

Este tanque es utilizado para el almacenamiento del ácido clorhídrico al 37% que se utiliza en el proceso de cristalización de la L-lisina.

Esta disolución es un material corrosivo peligroso, no combustible. Se debe almacenar separadamente de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes y metales. Mantener en un lugar bien ventilado, fresco y seco. Los contenedores deben permanecer siempre bien cerrados, ajustados y protegidos de cambios extremos de temperatura y daños físicos. El ácido clorhídrico es considerado un agente oxidante fuerte y se deben tener en cuenta disposiciones que eviten su contacto con materiales como cobre, bronce, hierro galvanizado, estaño, agentes oxidantes y materiales combustibles.

Los efectos principales del ácido clorhídrico sobre la salud corresponden casi exclusivamente a la irritación del área de contacto.

Este tanque se diseña para almacenar la cantidad necesaria de ácido clorhídrico que se utiliza en una semana (7 batch). En total se necesitan 35647,92 kg, lo que es equivalente a 29,95 m³ de ácido clorhídrico al 37%.

El tanque es de acero inoxidable con fondo redondeado y se toma un sobredimensionamiento del 15% como factor de seguridad.

En la Tabla 8.56 se exhiben las características del mismo.

Tabla 8.56. Características de T-04.

Fabricante	VM Acero S.R.L
Material	SS304
Densidad (kg/m ³)	8000
Relación de esbeltez	3
Volumen del cilindro (m ³)	34,44
Diámetro del cilindro (m)	2,44
Altura del cilindro (m)	7,33
Volumen del cabezal (m ³)	1,90
Altura del cabezal (m)	0,61
Volumen total del tanque (m ³)	38,24
Altura total del tanque (m)	8,55

8.5.5 Envasadora EN-01

El envasado es una parte clave en la conservación del producto, para ello se adopta una envasadora a vacío automática, con cabezal dosificador, lo que permite mantener uniformidad en las cantidades envasadas.

El producto se envasa en bolsas de 25 kg cada una.

La embolsadora seleccionada de la metalúrgica Carmat es apta para trabajar con bolsas de 10, 25 y 50 kg, presentando distintos grados de automatización. En la Figura 8.20 se aprecia el equipo adoptado y en la Tabla 8.57, sus especificaciones. Está compuesta por:

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Elevador del tipo tornillo sinfín.
- Mezclador: de doble helicoide, de distintas capacidades con tiempos de mezclado y descarga automáticos.
- Pulmón intermedio: logrando de esta manera seguir con el mezclado en el momento del embolsado.
- Dosificador: por balanza electrónica con control de descarga gruesa y fina.
- Cosido de la bolsa de papel: con o sin la colocación de papel crepé.
- Cinta transportadora: para el movimiento de las bolsas hacia los sectores de almacenamiento.

Las bolsas a utilizar serán adquiridas en la empresa Amipack contruidas con papel multipliego de 80 g/m², cuatro pliegues y cubierta interior de polietileno. Las medidas son 100 cm de alto, 47 cm de ancho y 10 cm de profundidad.



Figura 8.20. Esquema de la envasadora adoptada.

Tabla 8.57. Características de EN-01.

Dimensiones de la mezcladora	
Base (m)	1,3
Ancho (m)	0,7
Altura (m)	1
Dimensiones de la embolsadora	
Base (m ²)	1
Altura (m)	1,5
Fabricante	Metalúrgica Carmat

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.6 Cálculo y adopción de bombas

Para el transporte de las corrientes principales debe diseñarse un sistema de cañerías y adoptar, para cada conexión entre equipos, una bomba adecuada para dicho recorrido. La fuerza impulsora necesaria para que el líquido fluya de un punto a otro en una tubería, es suministrada por bombas que incrementan la energía mecánica del fluido para aumentar la velocidad, presión y elevación del mismo. Existen dos tipos de bombas principalmente, las de desplazamiento positivo y las de acción centrífuga. Cada una de ellas tiene aplicaciones específicas para las cuales se adaptan de manera más adecuada que la otra.

Los parámetros a estimar son: diámetro mínimo de la tubería de aspiración y de la de impulsión; potencia mínima de la bomba a instalar; y altura neta positiva en la aspiración (NPSH). El cálculo comienza con la ecuación de Bernoulli corregida para tener en cuenta la fricción del fluido (MATAIX, 1986).

$$H + \frac{P_a}{\gamma} + Z_a + \frac{V_a^2}{2g} = \frac{P_b}{\gamma} + Z_b + \frac{V_b^2}{2g} + h_F \quad \text{Ecuación 8.52}$$

Donde:

H: altura efectiva de la bomba (ideal).

P_a y P_b : presión sobre el fluido en los puntos de succión y descarga respectivamente.

γ : peso específico del fluido.

Z_a y Z_b : altura del nivel del líquido en los puntos de succión y descarga respectivamente.

V_a y V_b : velocidad lineal del fluido en los puntos de succión y descarga respectivamente.

h_F : pérdidas por fricción.

g : aceleración de la gravedad.

A continuación, en la Tabla 8.58, se detallan las bombas necesarias para el transporte de fluidos. Como referencia para el tipo de bomba se utiliza E para bomba de engranaje, C para bomba centrífuga y P para bomba peristáltica.

Tabla 8.58. Características para calcular las bombas utilizadas.

Símbolo	Conexión entre equipos	Corriente	Caudal (m ³ /h)	T (°C)	Presión (atm)	Denominación	Tipo de bomba
Sección Pretratamiento							
B-01	TA-01 y TM-01	A-001 – A-002	1,23	25	1	Melaza proveniente del tanque de almacenamiento	E
B-02	TM-01 y TM-03	C-001 – C-002	1,91	25	1	Melaza y agua	E
B-03	TM-02 Y TM-03	F-001 – F-002	12,29	25	1	Agua y nutrientes	C
Sección Fermentación							

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

B-04	TM-03 y P-0(1,2,3 y 4) y R-0(1,2,3 y 4)	G-001 a G-009	3,56	25	1	Medio de cultivo	C
B-05	P-01 y R-01 P-02 y R-02 P-03 y R-03 P-04 y R-04	I-001 – I-002	0,036	30	1	Biomasa proveniente del prefermentador	P
Sección Extracción y Purificación							
B-06	R-0(1, 2, 3 y 4) y TA-02	J-001 – J-002	16,3	30	1	Producto de la fermentación	C
B-07	TA-02 y C-01	J-003 – J-004	2,71	25	1	Producto de la fermentación	C
B-08	TA-03 y TM-04	K-001 – K-002	0,42	25	1	Agua amoniacal al 26%	C
B-09	TM-04 y AD-0(1 y 2)	M-001 – M-002	2,85	25	1	Agua amoniacal al 3,5%	C
B-10	C-01 y AD-0(1 y 2)	P-001 – P-002	2,61	25	1	L-lisina y medio de cultivo agotado	C
B-11	AD-0(1 y 2) y E-01	Q-001 – Q-002	3,90	25	1	L-lisina, agua y amoníaco	C
B-12	E-01 y I-04	S-001 – S-002	0,65	100	0,4	L-lisina y agua	C
B-13	CR-01 y C-02	U-001 – U-002	0,86	15	1	L-lisina HCl, L-lisina y agua	C
B-14	TA-04 y CR-01	T-001 – T-002	0,18	25	1	HCl al 37%	C
B-15	C-02 y S-01	W-001 – W-002	0,16	22	1	L-lisina HCl y agua	E

A partir de los datos de la Tabla 8.59, es posible determinar el diámetro de tubería más apropiado para cada tramo. El material seleccionado para las tuberías es, en todos los casos, acero comercial. En la determinación del diámetro mínimo de las mismas se utiliza la metodología propuesta por Ocon & Tojo (1986). Para el cálculo de dicho parámetro se tiene en cuenta el caudal a transportar y la velocidad de la corriente, la cual se estima teniendo en cuenta la tabla 8.1 del libro McCabe (MCCABE & SMITH, 1973) y se procede como sigue:

1. Se determina el diámetro de la tubería a partir de la velocidad y del caudal con la Ecuación 8.53.

$$D = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*v}} \text{ Ecuación 8.53}$$

2. Se elige una tubería comercial cuyo diámetro sea próximo al calculado anteriormente.
3. Se calcula Número de Reynolds utilizando como diámetro el del punto 2.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Se calcula el coeficiente de fricción f según el tipo de régimen obtenido en el punto 3. Si es laminar, $f = \frac{64}{NRe}$. Si es turbulento, primero se determina e/d de la gráfica 1.3 del libro Ocon & Tojo y por último se encuentra f con la gráfica 1.4 del mismo libro.
- Se calcula h_f haciendo uso de la Ecuación 8.54.

$$h_f = f * \frac{(L+L_{eq}) * v^2}{2 * D * g} \text{ Ecuación 8.54}$$

- Los pasos anteriores se repiten tanto para el lado de succión como para el lado de impulsión.

Donde:

D: Diámetro de la tubería requerido (m).

Q: Caudal (m³/h).

v: Velocidad recomendada (m/s).

f: Factor de fricción.

L: Longitud de la tubería (m).

L_{eq}: Longitud equivalente de los accesorios (m).

h_f: Pérdidas por fricción.

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

A continuación, se calculan las alturas efectivas del lado de aspiración y de impulsión; la diferencia entre ambas representa la altura total de bombeo o de elevación

$$h_{es} = h_{ss} + \frac{v_s^2}{2 * g} - h_{fs} \text{ Ecuación 8.55}$$

$$h_{ei} = h_{si} + \frac{v_i^2}{2 * g} - h_{fi} \text{ Ecuación 8.56}$$

$$h_{tb} = h_{es} - h_{ei} \text{ Ecuación 8.57}$$

Por último, se estima la potencia mínima requerida por la bomba a adoptar utilizando en todos los casos una eficiencia (η) del 75% y la altura de aspiración neta positiva (NPSH) disponible, para que en concordancia con la requerida, pueda adoptarse la bomba apropiada, de manera tal que $NPSH_{dis} > NPSH_{req}$.

$$P = \frac{Q * \rho * h_{tb}}{\eta} \text{ Ecuación 8.58}$$

$$NPSH_{dis} = P_t - (p_v + h_{es}) \text{ Ecuación 8.59}$$

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.6.1 Bombas para la sección de Pretratamiento

En las Tablas 8.59, 8.60, 8.61 y 8.62 se detallan los parámetros calculados para las bombas de pretratamiento y los datos correspondientes a los equipos adoptados.

En el caso de la melaza y el producto cristalizado concentrado, se requieren bombas especiales (B-01, B-02 y B-15) dada la alta viscosidad de estas corrientes. Por ello, se adoptan dos bombas de engranajes, las cuales son idóneas para el transporte de sustancias viscosas y/o a alta presión.

Tabla 8.59. Adopción de la bomba B-01

Equipo B-01			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1,22	Viscosidad (P)	0,2
Densidad (kg/m ³)	1180	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	25	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	56,42		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,119	Factor de fricción	0,12
Número de Reynolds	533,92	Pérdida de carga h _F (m)	0,057
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	24,52	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02		1 válvula
Velocidad de flujo (m/s)	0,389	Factor de fricción (f)	0,081
Número de Reynolds	788,24	Pérdida de carga h _F (m)	0,486
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	2,62		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	60,33 - 2 in; 33,40 - 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Bezares S.A		
Tipo y código del equipo	BEA 11		
Desplazamiento (cm ³ /rev)	6.54		
Velocidad (rpm)	500 – 2000		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-25/+80		
Presión máxima (atm)	148		
Viscosidad (cP)	12 – 750		
Potencia (Hp – kW)	3 – 2,23		

Tabla 8.60. Adopción de la bomba B-02

Equipo B-02			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,5	Viscosidad (P)	0,2
Densidad (kg/m ³)	1126	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Longitud total (m)	13		1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	30,02	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,159	Factor de fricción	0,17
Número de Reynolds	376,084	Pérdida de carga h_F (m)	0,135
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	41,41		6 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02	Accesorios	1 válvula
Velocidad de flujo (m/s)	0,159	Factor de fricción (f)	0,085
Número de Reynolds	752,168	Pérdida de carga h_F (m)	0,861
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	3,65		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	33,40 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Bezares S.A		
Tipo y código del equipo	BEA 11		
Desplazamiento (cm ³ /rev)	10,9		
Velocidad (rpm)	500 – 2000		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-25/+80		
Presión máxima (atm)	246,73		
Viscosidad (cP)	12 – 750		
Potencia (Hp – kW)	4 – 2,97		

Tabla 8.61. Adopción de la bomba B-03

Equipo B-03			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	12,29	Viscosidad (P)	0,01
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	25		1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	56,42	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,323	Factor de fricción	0,019
Número de Reynolds	2,41x10 ⁴	Pérdida de carga h_F (m)	0,064
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	36,41		4 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	1,053	Factor de fricción (f)	0,024
Número de Reynolds	4,08x10 ⁴	Pérdida de carga h_F (m)	1,92
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	2,95		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	60,33 - 2 in; 33,40 - 1 in		
Bomba adoptada			

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32 – 160/2,2
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	18
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90
Altura máxima de trabajo (m)	27
Motor incluido	Trifásico
Potencia (Hp – kW)	3 – 2,2

Tabla 8.62. Adopción de la bomba B-04

Equipo B-04			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	3,56	Viscosidad (P)	0,15
Densidad (kg/m ³)	1090	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	39	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	83,41		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,19	Factor de fricción	0,02
Número de Reynolds	1,23x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,016
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	512,66	Accesorios	19 codos 90°
Diámetro interior (mm)	83,41		7 T
Velocidad de flujo (m/s)	0,19	Factor de fricción (f)	0,017
Número de Reynolds	1,23x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,212
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	5,67		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	88,9 – 3 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-200/5,5		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	69		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	7,5 – 5,5		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.6.2 Bombas para la sección de Fermentación

En las Tablas 8.63 y 8.64 se detallan los parámetros calculados para las bombas de la etapa de fermentación y los datos correspondientes a los equipos adoptados.

Para llevar a cabo la inoculación del microorganismo desarrollado en los prefermentadores (P-01, P-02, P-03 y P-04), se utilizan bombas peristálticas (B-05). La misma se describe en Vogel (1997), como necesaria para asegurar las condiciones de asepsia del transporte. Sin indagar en profundidad, se reconoce esta etapa como un posible punto crítico de control (PCC), en el que cualquier contaminación externa dificultaría el rendimiento de la fermentación principal.

Como proveedor para este tipo de bombas se elige Verder International B.V., y para la adopción de la misma se utilizan los catálogos de Verderflex, que es una línea clásica de bombas peristálticas. En la Figura 8.21 se muestra el modelo seleccionado.

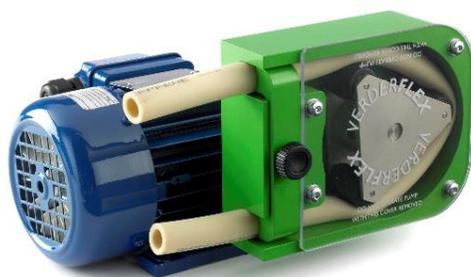


Figura 8.21. Esquema de una bomba peristáltica clásica.

Tabla 8.63. Adopción de la bomba B-05

Equipo B-05			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,036	Viscosidad (P)	0,25
Densidad (kg/m ³)	1158	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	4,5	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	18,57		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,122	Factor de fricción	0,09
Número de Reynolds	714,94	Pérdida de carga h _F (m)	0,045
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	19,57	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	18,57		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,122	Factor de fricción (f)	0,067
Número de Reynolds	953,26	Pérdida de carga h _F (m)	0,26
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	0,2		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Diámetro exterior (mm) y nominal	21,34 – ½ in
Bomba adoptada	
Proveedor	Verdeflex
Tipo y código del equipo	Verdeflex Rapide R6
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	0,38
Porcentaje de flujo máximo alcanzable	99%
Velocidad de giro (rpm)	196
Potencia (Hp – kW)	0,24 – 0,18

Tabla 8.64. Adopción de la bomba B-06

Equipo B-06			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	16,3	Viscosidad (P)	0,2
Densidad (kg/m ³)	1101,33	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	234	Accesorios	8 codos 90°
Diámetro interior (mm)	108,28		1 T
			4 válvulas on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,441	Factor de fricción	0,017
Número de Reynolds	2,83x10 ³	Pérdida de carga h _F (m)	0,359
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	61,48	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	83,41		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,729	Factor de fricción (f)	0,018
Número de Reynolds	4,406x10 ³	Pérdida de carga h _F (m)	0,514
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	4,72		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	114,3 – 4 in; 88,9 – 3 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-200/4,0		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	18		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	43,5		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	5,5 - 4		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

8.6.3 Bombas para la sección de Extracción y Purificación

En las Tablas 8.65 a 8.73 se detallan los parámetros calculados para las bombas de las etapas de extracción y purificación y los datos correspondientes a los equipos adoptados.

Tabla 8.65. Adopción de la bomba B-07

Equipo B-07			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2,71	Viscosidad (P)	0,2
Densidad (kg/m ³)	1101,33	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	31	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	67,87		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,18	Factor de fricción	0,08
Número de Reynolds	804,30	Pérdida de carga h _F (m)	0,069
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	17	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	44,58		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,413	Factor de fricción (f)	0,04
Número de Reynolds	1595	Pérdida de carga h _F (m)	0,26
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	2,48		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	73,03 – 2 ½ in; 48,26 – 1 ½ in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	28		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	3 – 2,2		

Tabla 8.66. Adopción de la bomba B-08

Equipo B-08			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,42	Viscosidad (P)	0,0025
Densidad (kg/m ³)	900	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	24	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	56,42		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,28	Factor de fricción	0,033
Número de Reynolds	8,76x10 ³	Pérdida de carga h _F (m)	0,06

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Lado de impulsión			
Longitud total (m)	27,5	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,93	Factor de fricción (f)	0,03
Número de Reynolds	$1,94 \times 10^4$	Pérdida de carga h_F (m)	1,81
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	1,35		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	60,33 – 2 in; 33,40 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga JEX/JE 150		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	1,2		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	49		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	1,5 – 1,1		

Tabla 8.67. Adopción de la bomba B-09

Equipo B-09			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2,85	Viscosidad (P)	0,001
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	24	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	56,42		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,28	Factor de fricción	0,033
Número de Reynolds	$8,76 \times 10^3$	Pérdida de carga h_F (m)	0,06
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	27,5	Accesorios	6 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02		1 T 2 válvulas on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,93	Factor de fricción (f)	0,03
Número de Reynolds	$1,94 \times 10^4$	Pérdida de carga h_F (m)	1,81
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	1,4		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	60,33 – 2 in; 33,40 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga JEX/JE 150		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	3
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90
Altura máxima de trabajo (m)	37
Motor incluido	Trifásico
Potencia (Hp – kW)	1,5 – 1,1

Tabla 8.68. Adopción de la bomba B-10

Equipo B-10			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2,61	Viscosidad (P)	0,15
Densidad (kg/m ³)	1090	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	24	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	56,42		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,22	Factor de fricción	0,04
Número de Reynolds	1,54x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,073
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	46,38	Accesorios	6 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02		1 T
Velocidad de flujo (m/s)	0,71	Factor de fricción (f)	0,028
Número de Reynolds	3,42x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	2,85
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	3,71		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	60,33 – 2 in; 33,40 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-200/3,0		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	42		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	4 – 3		

Tabla 8.69. Adopción de la bomba B-11

Equipo B-11			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	3,90	Viscosidad (P)	0,15
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	26	3 codos 90°	

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Diámetro interior (mm)	30,02	Accesorios	1 T 2 válvulas on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,26	Factor de fricción	0,0355
Número de Reynolds	$8,55 \times 10^3$	Pérdida de carga h_F (m)	0,13
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	17,55		3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,26	Factor de fricción (f)	0,03
Número de Reynolds	$1,71 \times 10^4$	Pérdida de carga h_F (m)	0,29
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	0,89		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	33,40 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga JEX/JE 100		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	4,2		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	21		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	1 – 0,75		

Tabla 8.70. Adopción de la bomba B-12

Equipo B-12			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,65	Viscosidad (P)	0,15
Densidad (kg/m ³)	1056	Presión (atm)	0,4
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	13		1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	30,02	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,172	Factor de fricción	0,035
Número de Reynolds	$8,55 \times 10^3$	Pérdida de carga h_F (m)	0,063
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	17,6		2 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,172	Factor de fricción (f)	0,028
Número de Reynolds	$3,42 \times 10^4$	Pérdida de carga h_F (m)	1,083
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	0,9		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	33,40 – 1 in		
Bomba adoptada			

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A
Tipo y código del equipo	Centrífuga JEX/JE 100
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	1,2
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+110
Altura máxima de trabajo (m)	37
Motor incluido	Trifásico
Potencia (Hp – kW)	1 – 0,75

Tabla 8.71. Adopción de la bomba B-13

Equipo B-13			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,86	Viscosidad (P)	0,2
Densidad (kg/m ³)	1050	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	13		1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	30,02	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,057	Factor de fricción	0,038
Número de Reynolds	6,28x10 ³	Pérdida de carga h _F (m)	0,068
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	21,8		3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,057	Factor de fricción (f)	0,029
Número de Reynolds	2,51x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	1,39
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	2		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	33,40 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-160/1,5		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	28		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	2 – 1,5		

Tabla 8.72. Adopción de la bomba B-14

Equipo B-14			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,18	Viscosidad (P)	0,019
Densidad (kg/m ³)	1190	Presión (atm)	1

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Lado de aspiración			
Longitud total (m)	7		1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	18,57	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,138	Factor de fricción	0,023
Número de Reynolds	6,68x10 ³	Pérdida de carga h _F (m)	0,096
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	15,8		3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	18,57	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,138	Factor de fricción (f)	0,023
Número de Reynolds	1,2x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,703
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	0,72		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	21,34 – ½ in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga JEX/JE 8		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	0,3		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	37		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	0,8 – 0,6		

Tabla 8.73. Adopción de la bomba B-15

Equipo B-15			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,16	Viscosidad (P)	0,25
Densidad (kg/m ³)	1280	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	5		1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	18,57	Accesorios	
Velocidad de flujo (m/s)	0,125	Factor de fricción	0,293
Número de Reynolds	218,52	Pérdida de carga h _F (m)	0,14
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	10,2		3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	18,57	Accesorios	1 válvula
Velocidad de flujo (m/s)	0,125	Factor de fricción (f)	0,117
Número de Reynolds	546,30	Pérdida de carga h _F (m)	0,714
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	0,72		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	21,34 – ½ in		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Bomba adoptada	
Proveedor	Bezares S.A
Tipo y código del equipo	BEA 11
Desplazamiento (cm ³ /rev)	2,18
Velocidad (rpm)	100 - 1000
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-25/+80
Presión máxima (atm)	49
Viscosidad (cP)	12 – 750
Potencia (Hp – kW)	1 – 0,75

CAPÍTULO IX: SERVICIOS AUXILIARES

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

9.1 Introducción

Los servicios auxiliares son indispensables para mantener las operaciones de forma óptima y continua en todo el proceso productivo. Es por esto que, en el presente capítulo se detallan las características y el consumo de estos servicios utilizados para las distintas etapas. Estos son: agua de pozo, agua de enfriamiento, vapor de agua, gas natural, vacío, aire comprimido, electricidad y refrigeración.

9.2 Servicios de agua

El agua utilizada en el Parque industrial Tucumán proviene de perforaciones subterráneas: se utilizan equipos de bombeo y posee una red de distribución interna. El predio cuenta, por lo tanto, con red de agua potable y planta de tratamiento de agua.

Estos servicios se utilizan para proveer de agua corriente a las oficinas, el laboratorio, los baños, los vestidores y el comedor. Para proceso y reposición de los circuitos cerrados, la planta contará con una estación de bombeo propia.

9.2.1 Agua requerida en las diferentes etapas

En el proceso de producción de L-lisina HCl, el agua es el componente principal del medio de cultivo y se utiliza también en otras etapas. En la tabla se detallan los consumos diarios de cada equipo y el consumo diario total.

Tabla 9.1. Consumo de agua diario por equipo.

Etapa	Consumo diario de agua (m ³ / día)
Mezclador TM- 01	15,03
Mezclador TM-02	289,23
Esterilización (enfriamiento)	150,51
Mezclador TM-04	59,30
Enfriador I-04 (enfriamiento)	51,19
Reposición para caldera	9,84
Reposición CIP	5,75
Reposición torre de refrigeración	10
Total	590,85

En el proceso de producción del aminoácido el agua es el principal constituyente del medio de cultivo y también se la utiliza en otras etapas. Si bien el mayor consumo de agua lo constituye el requerido para procesos de enfriamiento, ya sea para las corrientes que salen de esterilización o para la fermentación, la misma no supone un gasto constante, ya que, manejando correctamente las temperaturas y mediante una torre de enfriamiento, se

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

recircula en el proceso, y solo es requerida una cantidad mínima adicional para reponer eventuales pérdidas.

9.2.2 Sistema de limpieza CIP

El concepto CIP proveniente del inglés—Cleaning In Place-, que significa limpieza en sitio, se define como un método por el que los tanques, tuberías, bombas, válvulas, intercambiadores y en general equipos por los que normalmente fluye el producto en proceso, se lavan automáticamente haciendo recircular soluciones limpiantes y de enjuague, lo que permite realizar la limpieza del dispositivo sin trasladarlo, desarmarlo ni involucrar personas.

Como principio básico el CIP utiliza el paso de un líquido limpiante a alta velocidad sobre las superficies del equipo generando un efecto de lavado mecánico que desaloja cualquier residuo. En el caso de tanques o depósitos, en los que por su geometría sería muy difícil lograr altos niveles de turbulencia, se utilizan cabezales dinámicos de rociado que impactan todos los puntos de la superficie del tanque, logrando el desprendimiento de desechos y material contaminante (INDISA, 2016).

Para que la limpieza sea efectiva, es necesaria la combinación correcta de los siguientes factores:

- Tiempo de duración del ciclo de limpieza.
- Agente de limpieza utilizado y concentración.
- Temperatura, ya que a mayor temperatura la limpieza es más rápida.
- Caudal de paso de la disolución de limpieza a través de la tubería o equipo a limpiar.
- Frecuencia entre ciclos de limpieza.

La función de la unidad de limpieza CIP es, por lo tanto, la de preparar automáticamente las soluciones de limpieza en la concentración y temperatura adecuadas, y programar los distintos ciclos para la limpieza de todos los elementos de la planta, controlando temperatura, caudal y/o presión. Los pasos para seguir para efectuar la limpieza son los siguientes:

- Aclarado inicial con agua recuperada.
- Fase alcalina.
- Aclarado intermedio.
- Fase ácida.
- Aclarado intermedio.

Dada las características del proceso, en los equipos la suciedad está compuesta principalmente por restos de medio de cultivo y biomasa residual. Por lo tanto, basta con utilizar una solución álcali para realizar la limpieza. Se utiliza NaOH, que presenta alta

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

eficacia y bajo costo, a una concentración del 1,5% a 70 °C (Guilbert, 1994). Tanto el aclarado inicial como el final se llevan a cabo a temperatura ambiente.

Para la limpieza de los tanques y reactores se instalan en su interior bochas de limpieza (sprayballs) que consisten en esferas que contienen una determinada cantidad de orificios de cierto diámetro, uniformemente distribuidos. Para los fermentadores, prefermentadores y tanques pulmón se adoptan boquillas TankJet 28.500 (Figura 9.1), ideales para utilizar en la industria farmacéutica. En la Tabla 9.2 se detallan las características operacionales.



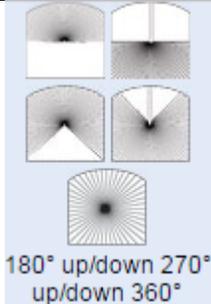
Figura 9.1. Boquilla de dispersión. Fuente: Catálogo de Spraying System Co.

Tabla 9.2. Características de la boquilla de dispersión.

Diámetro máximo del tanque (m)	5,5
Principio de operación	Fluido dirigido por fuerza de rotación
Rango de flujo (L/min)	34-296
Presión de operación (bar)	0,7-3,4
Temperatura máxima (°C)	93
Material	Cuerpo, platillo y espaciador: resina de fluoropolímero PTFE. Pasador de bloqueo: acero inoxidable 316

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Cobertura del spray	 <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">180° up/down 270° up/down 360°</p>
Cantidad	15

El programa de lavado seleccionado para los prefermentadores y los reactores se debe ajustar al tiempo disponible para la limpieza. Dado que se debe realizar también la esterilización in situ, de las 1,5 h destinadas a la limpieza, se utiliza 1 h para la limpieza CIP, quedando tiempo suficiente para realizar la esterilización de estos.

Teniendo en cuenta los datos aportados por Viruega Sevilla (2018) sobre los caudales y presiones a la salida de las boquillas para tanques verticales, en la Tabla 9.3 se detalla el programa de lavado CIP para las etapas de fermentación y prefermentación.

Tabla 9.3. Programa de lavado CIP para el prefermentador y fermentador.

Etapa	Tiempo (min)		Volumen (l)	
	PF	F	PF	F
Aclarado inicial: con agua recuperada del lavado anterior	15	15	150	1500
Fase alcalina: con NaOH 1,5 %	30	30	200	2000
Aclarado final: con agua fresca	15	15	150	1500
Total	60	60	500	5000

La presión a la salida de las boquillas debe ser de 1,5 bares. El volumen total de agua a utilizar diariamente en estas etapas es aproximadamente 5500 l, de los cuales 2750 l se retornan al tanque de aclarado final para ser utilizados nuevamente en el ciclo de lavado posterior y 2750 l se deben reponer diariamente.

En cuanto al programa de lavado de los demás equipos, este se detalla en la Tabla 9.4. Cabe aclarar que para la limpieza del sistema de esterilización, se usa la misma agua/solución que la que proviene del mezclador anterior, es decir, TM-03/I-02/I-01/I-03.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 9.4. Programa de lavado CIP para otros equipos.

Equipo	Aclarado inicial		Fase alcalina		Aclarado final	
	Tiempo (min)	Volumen (l)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Tiempo (min)	Volumen (l)
TM-01	5	350	10	600	5	350
F-01	2	100	4	200	2	100
TM-02	2	150	4	300	2	150
TM-03/I-02/I-01/I-03	5	250	10	450	5	250
TA-02	2	150	4	300	2	150
C-01	3	50	6	80	3	50
E-01	2	100	4	200	2	100
I-04	2	100	4	200	2	100
CR-01	5	250	10	450	5	250
C-02	3	50	6	80	3	50
Total		1550		2860		1550

La cantidad total de agua por día necesaria para limpieza CIP, teniendo en cuenta todos los equipos, es de 11500 l aproximadamente, debiendo reponer al día 5750 l.

Son necesarios tres tanques, uno para el agua de limpieza recuperada, uno para el NaOH y otro para el agua fresca. La cantidad de agua necesaria para el aclarado inicial es de 3200 l, para la fase alcalina es de 5060 l y para el aclarado final es de 3200 l.

En la Tabla 9.5 se detallan las dimensiones que deben tener los mismos, considerando la máxima capacidad y un sobredimensionamiento del 20%.

Tabla 9.5. Dimensiones de los tanques para limpieza CIP; T-06, T-07 Y T-08

Dimensiones	Agua recuperada	Solución de NaOH	Agua fresca
Volumen total (m3)	3,9	6	3,9
Diámetro (m)	1,7	2	1,7
Altura (m)	1,7	2	1,7
Material	SS304		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Proveedor	VM Acero S.R.L.
-----------	-----------------

Posterior a la aplicación del sistema CIP, se realiza la SIP (Sterilization in place), cuyos requerimientos se detallan en la sección de vapor. En la Figura 9.2 se muestra el esquema general del sistema de limpieza CIP para este proceso.

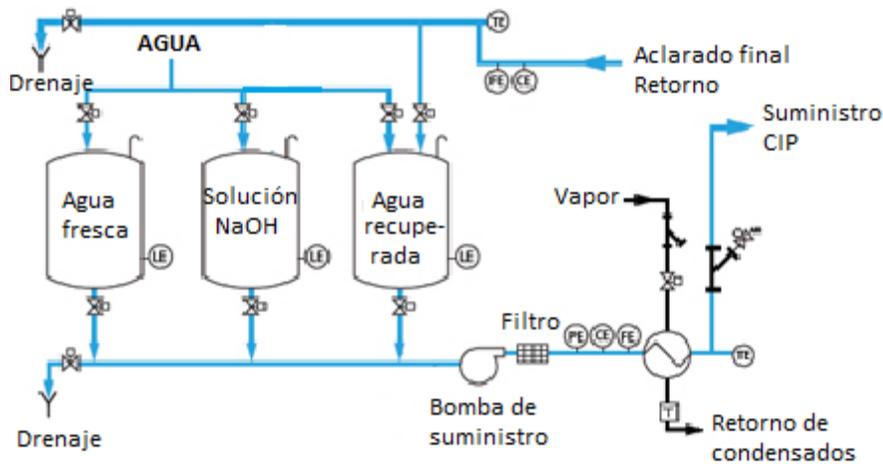


Figura 9.2. Esquema general del sistema de limpieza CIP.

9.2.3 Tanque de almacenamiento de agua

Se determina realizar un tanque de almacenamiento de 40 m³ de capacidad.

Se adopta una relación de esbeltez (H/D) del tanque de 1. Por lo tanto, mediante la ecuación del volumen de un cilindro y dicha relación, se obtiene el diámetro y la altura del tanque de agua. Las dimensiones obtenidas y sus características pueden observarse en la Tabla 9.6.

Tabla 9.6. Características del tanque de almacenamiento de agua T-05.

Proveedor	V.M. Acero S.R.L.
Material	Acero inoxidable SS304
Volumen (m ³)	40
Diámetro (m)	3,7
Altura (m)	3,7

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

9.2.4 Diagrama de abastecimiento de agua

El diagrama de la Figura 9.3 resume los requerimientos de agua a nivel constante, recordando que gran parte de la misma se encuentra en circuito cerrado (y por lo tanto no se tiene en cuenta).

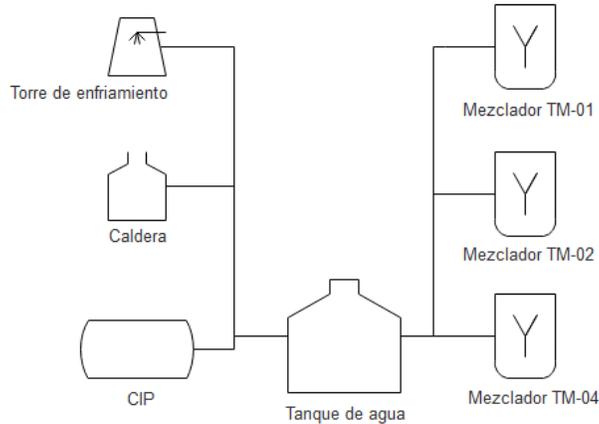


Figura 9.3. Requerimientos constantes de agua.

9.3 Vapor de agua

El vapor se utiliza en el proceso para lograr la inocuidad del producto, en las etapas de esterilización (tanto del medio de cultivo como de los equipos), y para la concentración de la solución que contiene L-lisina en el evaporador.

En función del balance de masa y energía del Capítulo 7, se detalla en la Tabla 9.7 el consumo de vapor y sus condiciones para cada operación del proceso.

Tabla 9.7. Consumo de vapor en el proceso.

Operación	Equipo	Masa de vapor (kg/día)	Presión (atm)	Temperatura (°C)
Esterilización/Calentamiento y retención	I-01	8194,57	4	150
Esterilización/Fermentador (SIP)	R-01, R-02, R-03 y R-04	15	4	144
Esterilización/Prefermentador (SIP)	P-01, P-02 P-03 y P-04	5	4	144
Evaporación	E-01	90168,312	3	133

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Total	98382,882
-------	-----------

9.3.1 Adopción de la caldera

Existen dos tipos principales de calderas en función del paso del fluido calefactor, las humotubulares y acuotubulares. Las más usadas en la industria son las humotubulares cuyo gas de combustión circula por el interior de los tubos, mientras que el agua se calienta y evapora en el exterior de ellos. A diferencia de las acuotubulares, tiene mayor rendimiento, menor tiempo de puesta en marcha, trabajan a menores presiones y su mantenimiento resulta más sencillo. De acuerdo a nuestro plan de trabajo y a las características mencionadas anteriormente se adopta una caldera humotubular.

Para seleccionar una caldera adecuada que cumpla con los requisitos de producción de vapor, se calcula la capacidad térmica necesaria, la cual debe ser igual o mayor a Q_C . Por lo tanto se realiza el siguiente balance de energía para dicho cálculo:

$$Q_C = Q_{est} + Q_{est\ fer} + Q_{est\ pref} + Q_{evap}$$

Donde:

Q_C : Calor que debe suministrarse a la caldera (kcal/día)

Q_{est} : Calor necesario para el vapor del esterilizador (kcal/día)

Q_{SIP} : Calor necesario para esterilizar los fermentadores y prefermentadores (kcal/día)

Q_{evap} : Calor necesario para la evaporación

En la Tabla 9.8 se detallan caudales, temperaturas y calores necesarios de cada etapa.

Tabla 9.8. Características de cada etapa que utiliza vapor.

Corriente	Caudal másico (kg/día)	T_f	T_i	λ (kcal/kg)	Calor (kcal/día)
Q_{est}	8194,57	150	144	654,53	5386700,59
Q_{SIP}	20	144	144	510	10200
Q_{evap}	90168,312	133	133	651,40	58735638,44
Q_C	98382,88	-	-	-	$6,41 \times 10^7$

Se considera una pérdida del 10% del vapor utilizado, correspondiente a 9838,28 kg por día, los cuales se reponen diariamente como agua a la caldera.

En base a los requerimientos del proceso, se adopta una caldera modelo HC-HF12 perteneciente a la empresa Fontanet. La misma está diseñada para quemar combustibles líquidos livianos y/o gaseosos. El hogar está dimensionado para una combustión completa con baja térmica. Su ubicación central, muy por debajo de los tubos superiores, garantiza una mejor circulación de agua en el interior. Posee fondo húmedo con cámara de retorno

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

de gases totalmente refrigerada, sin partes refractarias. Para las tareas de inspección y limpieza dispone de bocas, puertas delanteras giratorias y posteriores desarmables. Posee un sistema de construcción tipo paquete, con todos los equipos auxiliares incorporados, esto permite un rápido montaje y puesta en marcha luego de realizarse las conexiones de agua, combustible y electricidad.

En la Tabla 9.9 se detallan características técnicas y constructivas, mientras que en la Figura 9.4 se exhibe el modelo adoptado.

Tabla 9.9. Características de la caldera adoptada.

Proveedor	Fontanet S.A
Tipo	Humotubular con tres pasos, fondo húmedo
Construcción	Tipo paquete (equipos auxiliares incorporados)
Materiales	Según códigos europeos y americano
Combustible	Líquido y/o gas
Superficie de calefacción (m ²)	30
Capacidad térmica (kcal/h)	648000
Producción de vapor (kg/h)	1200
Máxima presión de trabajo (atm)	7,74
Presión de trabajo (atm)	4
Rendimiento térmico	87%
Detalles de construcción	
Largo total (m)	3,75
Ancho total (m)	2,5
Alto total (m)	2,15

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química



Figura 9.4. Caldera adoptada.

9.3.2 Diagrama de abastecimiento de vapor

En la Figura 9.5 se observa el diagrama de distribución de vapor en la planta de procesos.

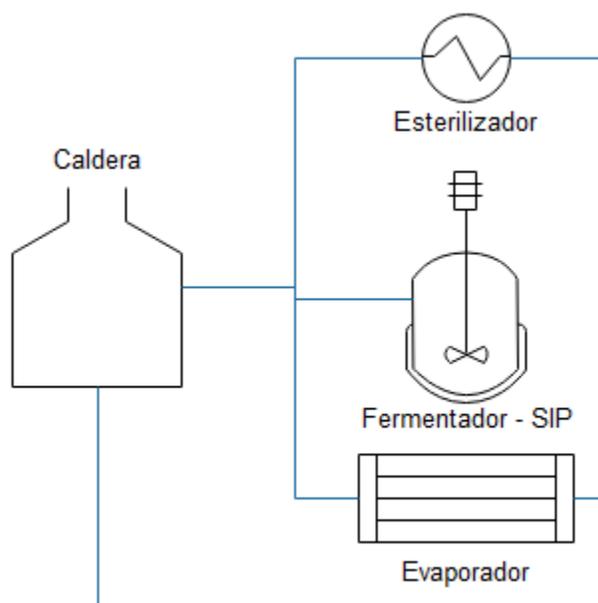


Figura 9.5. Diagrama de abastecimiento de vapor.

9.4 Gas natural

En el Parque Industrial de San Miguel de Tucumán el suministro de este recurso energético está a cargo de la empresa GASNOR S.A. la producción de gas natural en la Argentina se concentra en cuatro cuencas: Noroeste, Neuquina, Del Golfo y Austral. El gas natural extraído de dichas cuencas es inyectado en el sistema de gasoductos troncales, que transportan el fluido desde los yacimientos hasta las zonas de consumo. La operación de

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

estos gasoductos es llevada adelante por las empresas transportadoras, Transportadora de Gas del Norte (TGN) y Transportadora de Gas del Sur (TGS). La distribución, cuya función es llevar el fluido a cada punto de consumo particular, es realizado por nueve empresas distribuidoras.

En la planta se utiliza este servicio, en menor medida para uso general en el sector de oficinas, en el laboratorio, suministro de agua caliente en baños, cocina, etc. Además, es utilizado principalmente como combustible de la caldera para la generación de vapor para calentamiento.

9.4.1 Consumo de gas

El principal consumo de gas en el proceso se encuentra en la caldera, teniendo en cuenta que el poder calorífico promedio del gas es de 9500 kcal/m³ y que presenta un rendimiento del 80%, el consumo se obtiene de la Ecuación 9.1.

$$C_g = \frac{Q_c}{P_c \eta} \text{ Ecuación 9.1.}$$

Donde:

C_g: consumo de gas natural en el proceso (m³/día)

Q_c: calor utilizado por la caldera por día (kcal/día)

P_c: poder calorífico del gas natural (kcal/m³)

η: rendimiento del gas natural

En la Tabla 9.10 se detallan los valores de consumo y los parámetros utilizados para el cálculo del total de gas natural requerido.

Tabla 9.10. Consumo de gas natural requerido por día.

Consumo de gas en la caldera (kcal/día)	6,41x10 ⁷
Poder calorífico del gas natural (kcal/m ³)	9500
Rendimiento	80%
Consumo de gas natural (m ³ /día)	8438,49

La cañería principal de distribución de gas natural a toda la planta es de acero galvanizado, con un diámetro de 4 pulgadas, la misma finaliza como alimentación de la caldera; y las cañerías de distribución a las instalaciones baño, comedor, calefacción y vestuario son de ¾ pulgadas de diámetro.

9.5 Equipos de enfriamiento

El agua proveniente de las etapas de enfriamiento, tanto del intercambiador del sistema de esterilización como del intercambiador empleado antes de la etapa de cristalización, debe enfriarse para poder ser utilizada nuevamente en un circuito cerrado. Para esta operación

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

se adopta una torre de enfriamiento, equipo que se emplea para enfriar agua en grandes volúmenes, siendo el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los intercambiadores de calor.

Una torre de enfriamiento es una instalación cuya función es la dispersión de calor del agua, que involucra conjuntamente los fenómenos de transferencia de calor y de masa (evaporación controlada por el contacto directo del agua con el aire).

Cuando el agua es reutilizada, se bombea a través de la instalación a la torre. Después de que el agua se enfría, se reintroduce como agua de proceso. El agua que debe enfriarse generalmente tiene temperaturas entre 40 y 60 °C. Esta se bombea a la parte superior de la torre y cuando fluye hacia abajo emite calor provocando un enfriamiento de 10 a 20 °C.

Para lograr estos efectos en la torre de enfriamiento es muy importante que la gota del líquido tenga un tamaño menor durante su trayectoria o caída para aumentar el área de contacto con el aire, lo cual se logra interponiendo obstáculos (relleno), que la detiene y al mismo tiempo la rompe en gotas más pequeñas facilitando el proceso de evaporación.

Como se mencionó anteriormente, parte del agua se evapora, causando la emisión de calor, por lo que el agua le transmite al aire el calor que contiene mientras cae y el aire a su vez sale por la parte superior, conteniendo el calor. Para crear el flujo de aire hacia arriba las torres contienen aspas en la parte superior, similares a un ventilador.

Para nuestro proceso en particular, se considera una pérdida de agua por evaporación, arrastre y fugas del 3%. Los valores de temperatura y caudales (considerando la pérdida) en las etapas antes mencionadas, se pueden apreciar en la Tabla 9.11.

Tabla 9.11. Agua que se debe enfriar.

Etapas	T inicial (°C)	T final (°C)	Caudal (m ³ /día)
Enfriamiento I-03	50	20	150,51
Enfriamiento I-04	40	20	51,19
Total			201,7

Como se dijo anteriormente, al considerar un 3% de pérdidas del agua necesaria para refrigeración, se deben reponer diariamente 6 m³.

Para el cálculo del calor que deberá absorber la torre por día se utiliza la Ecuación 9.2.

$$Q_{abs} = \Sigma (m \cdot C_p \cdot \Delta T) \text{ Ecuación 9.2.}$$

Donde:

Q_{abs}: calor absorbido por la torre (kcal/día).

C_p: calor específico del agua (kcal/kg °C).

ΔT: variación de temperatura deseada, T_{final} – T_{inicial} (°C).

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Arrojando un resultado de 5192500 kcal/día. De acuerdo con este valor y según los catálogos consultados se adopta una torre de enfriamiento compacta fabricada en PRFV con pileta de recolección, de la empresa SINAX. Las características de operación se detallan en la Tabla 9.12 y en la Figura 9.6 se esquematiza la misma.

Tabla 9.12. Características de la torre de enfriamiento TR-01

Proveedor	SINAX S.A.
Modelo	EWK1260
Potencia (Kw)	14,91
Peso en operación (kg)	9665
Peso neto (kg)	2665
Caudal de trabajo (m ³ /h)	176,5



Figura 9.6. Torre de enfriamiento. Fuente: SINAX.

9.5.1 Diagrama de enfriamiento

En la Figura 9.7 se esquematiza este diagrama.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

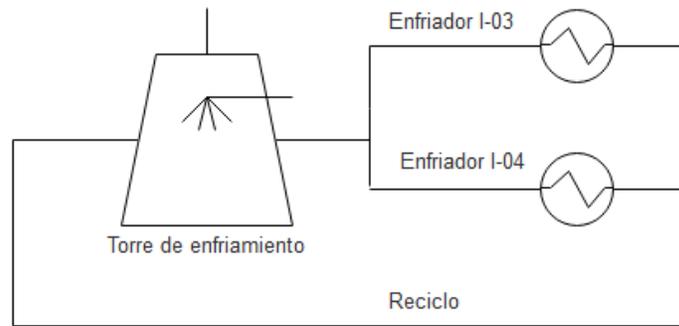


Figura 9.7. Diagrama de enfriamiento.

9.6 Refrigeración con amoníaco

Con el fin de mantener la temperatura de fermentación del prefermentador y fermentador, y para llegar a la temperatura de cristalización del producto de 5°C, se adoptó un sistema de refrigeración con amoníaco el cual se lleva utilizando como refrigerante en instalaciones frigoríficas industriales desde principios del siglo XX se codifica con el nombre RA-01.

Este refrigerante tiene muy buenos rendimientos energéticos y además no es dañino para la capa de ozono, ya que su composición se mantiene muy poco tiempo en la atmosfera, por lo que lo se podría catalogar como un gas biodegradable. Asimismo, el coste del amoníaco es muy inferior a cualquiera de los gases sintéticos que hay en el mercado. A diferencia de los sistemas de refrigeración convencionales que funcionan con gases fluorados o clorados, en las instalaciones frigoríficas de amoníaco (NH_3), el refrigerante se evapora en el depósito de baja presión y se bombea en estado líquido hacia los recintos o sistemas a enfriar o congelar. El funcionamiento básico de la instalación de refrigeración con amoníaco se basa en un ciclo cerrado de evaporación, compresión, condensación y expansión; el mismo se muestra en la Figura 9.8.

Ciclo de refrigeración

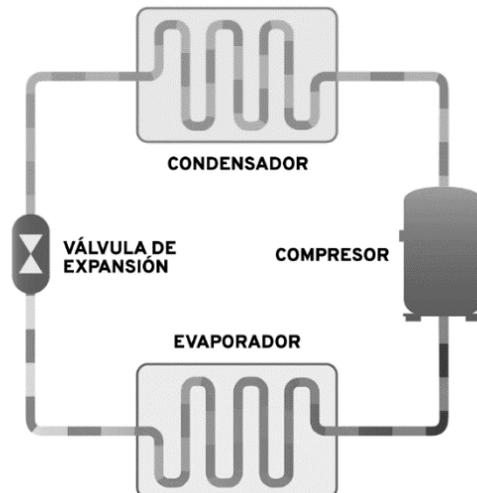


Figura 9.8. Ciclo de refrigeración. Fuente: Froztec.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

El punto de ebullición del amoníaco es a -33°C a una presión de 1,09 bar. El uso del amoníaco no solo tiene ventajas sino que también tiene algunas desventajas, pero técnicamente resueltas como se verá a continuación:

- El amoníaco no es contaminante por lo que no daña la capa de ozono. Tal es así que la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) ha identificado al amoníaco como un sustituto aceptable de sustancias dañinas al ozono en los principales sectores industriales, incluyendo la refrigeración y aire acondicionado.
- El amoníaco tiene rendimientos termodinámicos en torno a unos 3-10% superiores a otros refrigerantes, por lo que a igualdad de capacidad frigorífica tiene un consumo energético menor.
- La mejor característica de seguridad que tiene el amoníaco es su auto-alarma provocada por su olor característico a diferencia de otros refrigerantes industriales. Esto tiene la ventaja de que se detectan fácil y rápidamente las posibles fugas. Por otro lado, el fuerte olor del amoníaco provoca en los individuos la reacción de abandonar el área antes de la existencia de una acumulación peligrosa.
- El coste del amoníaco es menor que el de otro refrigerante y además se requiere de una menor cantidad para la misma aplicación. Todo esto se acumula en costos de operación menores, lo que se traduce en mejores precios competitivos de los productos refrigerados.
- El sistema va ser utilizado para enfriar agua hasta una temperatura de 5°C , luego es enviada al prefermentador y fermentador, donde la temperatura sube hasta 15°C ; también se envía el cristalizador, donde el agua alcanza una temperatura de 10°C . Luego vuelve al tanque de almacenamiento donde es enfriada por el amoníaco completando así el ciclo de refrigeración.

En la Tabla 9.13 se detalla el caudal de agua necesario para cada etapa mencionada anteriormente:

Tabla 9.13. Caudal de agua necesario diariamente.

Etapa	T inicial ($^{\circ}\text{C}$)	T final ($^{\circ}\text{C}$)	Caudal ($\text{m}^3/\text{día}$)
Prefermentador P-01 (enfriamiento)	15	5	5,3
Fermentador R-01 (enfriamiento)	15	5	48
Cristalizador CR-01 (enfriamiento)	10	5	1,7
Total			1320,78

Se resuelve adoptar un tanque de 65 m^3 , con un factor de seguridad del 20% para el almacenamiento y enfriamiento del agua que posea un serpentín que permite la transferencia de calor con el amoníaco (NH_3).

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

En la Tabla 9.14 se detallan las características del tanque.

Tabla 9.14. Características del tanque de almacenamiento T-09

Proveedor	V.M. Acero S.R.L.
Material	Acero inoxidable SS304
Volumen (m ³)	65
Diámetro (m)	4,3
Altura (m)	4,3
Largo del serpentín (m)	60

9.6.1 Diagrama de refrigeración

En la Figura 9.9 se exhibe el diagrama de refrigeración.

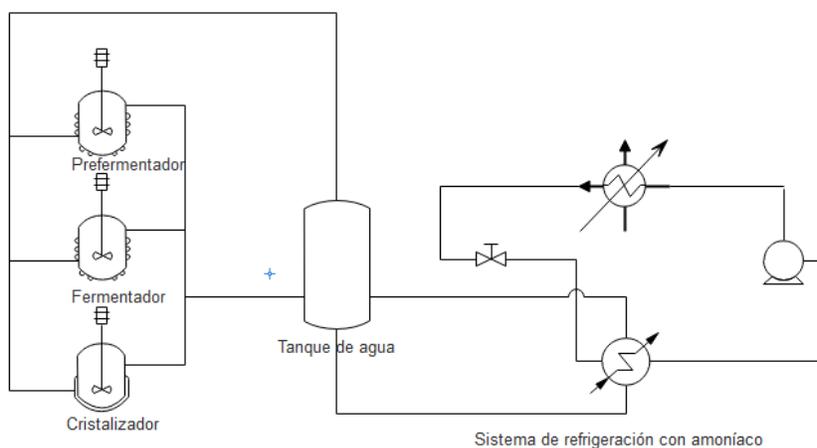


Figura 9.9. Diagrama de refrigeración.

En la Tabla 9.14 se detallan las características del sistema adoptado.

Tabla 9.14. Dimensiones del sistema de refrigeración de amoníaco.

Fabricante	FRIO-RAF S.A.
Modelo	ACC010312
Dimensiones de la unidad de refrigeración (mm)	L=4500 W=2160 H=2650

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Dimensiones de condensador (mm)	L=11000 W=2110 H=1665
Total largo (mm)	15500
Total peso (kg)	6239

En la Figura 9.10 se muestra las dimensiones del equipo de refrigeración.

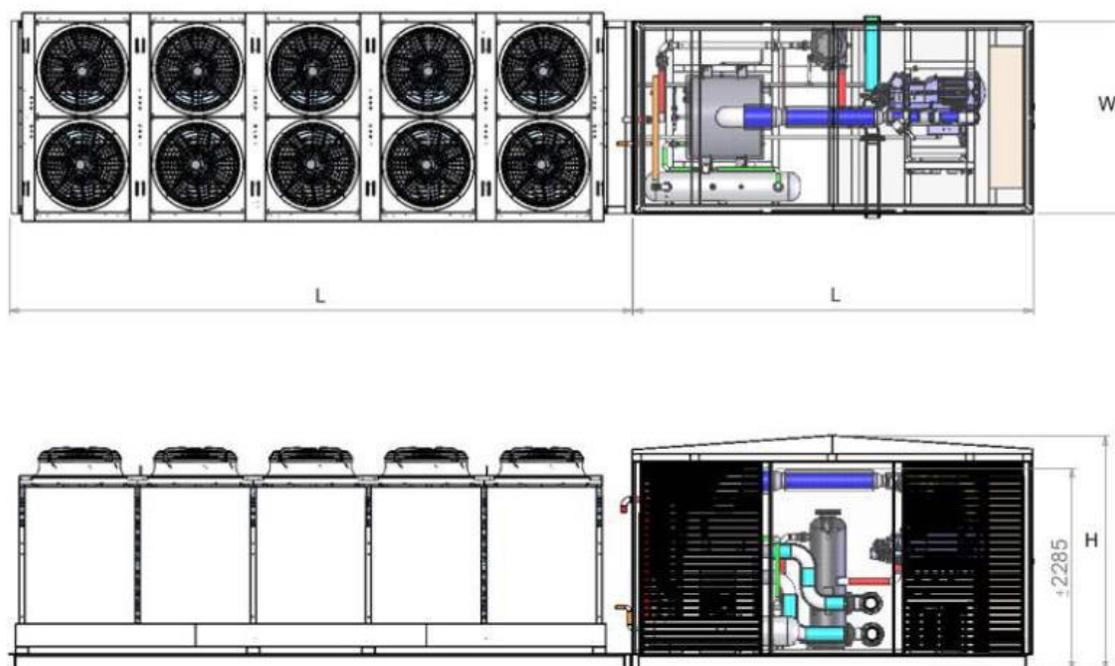


Figura 9.10. Dimensiones del equipo de refrigeración. Fuente: FRÍO-RAF S.A.

9.7 Sistema de vacío

En la evaporación de la solución que contiene lisina se genera un vacío moderado (de 0,4 atm) para facilitar la remoción de agua al disminuir la temperatura de ebullición de la solución. Con esto se obtiene un ahorro significativo del vapor de servicio.

Para la generación del vacío se utiliza un equipo estándar y flexible como los que provee Busch S.R.L. Dado que el caudal de trabajo es bajo, se adopta el equipo más pequeño que produce la empresa (cuyas características se resumen en la Tabla 9.15 y se muestra en la Figura 9.10).

Tabla 9.15. Adopción de la bomba de vacío.

Fabricante	Busch Vacuum S.A.
------------	-------------------

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tipo	Paletas rotativas
Función	Generar el vacío suficiente en la cámara de evaporación
Serie	R5
Modelo	R5 PB 0004 C
Caudal máximo de trabajo (m ³ /h)	4
Vacío límite (hPa)	2
Potencia nominal de trabajo (kW)	0,1
Velocidad de rotación (rpm)	3.000 (50 Hz)
Nivel sonoro (ISO 2151) (dB)	59
Masa (kg)	5,1



Figura 9.10. Modelo seleccionado de bomba de vacío (R5).

9.8 Cálculo y adopción de bombas

Las Tablas 9.15 a 9.22 muestran la adopción de las bombas B-16 a B-23 para los servicios auxiliares.

9.8.1 Bombas de tratamiento de efluentes

Tabla 9.15. Adopción de la bomba B-16.

Equipo B-16			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,14	Viscosidad (P)	0,2

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	14	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	30,02		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,022	Factor de fricción	0,034
Número de Reynolds	1x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,065
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	37	Accesorios	2 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,022	Factor de fricción (f)	0,03
Número de Reynolds	2x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,61
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	1,54		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	33,40 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-160/1,5		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	28		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	2 – 1,5		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 9.16. Adopción de la bomba B-17.

Equipo B-17			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1,8	Viscosidad (P)	0,1
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	32	Accesorios	4 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02		2 válvulas on/off 1 T
Velocidad de flujo (m/s)	0,573	Factor de fricción	0,034
Número de Reynolds	1x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,15
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	34	Accesorios	2 codos 90°
Diámetro interior (mm)	30,02		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,573	Factor de fricción (f)	0,03
Número de Reynolds	2x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,6
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia		75%	
Potencia (Hp)		1,60	
Sistema de tuberías			
Material de construcción		Acero inoxidable AISI 304	
Diámetro exterior (mm) y nominal		33,40 – 1 in	
Bomba adoptada			
Proveedor		Ebara Pump Iberia S.A	
Tipo y código del equipo		Centrífuga 3M 32-160/1,5	
Material de construcción		Acero inoxidable AISI 304	
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)		6	
Rango de temperatura de trabajo (°C)		-10/+90	

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Altura máxima de trabajo (m)	28
Motor incluido	Trifásico
Potencia (Hp – kW)	2 – 1,5

9.8.2 Bombas de limpieza CIP

Tabla 9.17. Adopción de la bomba B-18.

Equipo B-18			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,5	Viscosidad (P)	0,1
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	15	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	23,8		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,25	Factor de fricción	0,036
Número de Reynolds	8x10 ³	Pérdida de carga h _F (m)	0,093
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	126	Accesorios	10 codos 90°
Diámetro interior (mm)	23,8		9 válvulas on/off 2 T
Velocidad de flujo (m/s)	0,25	Factor de fricción (f)	0,03
Número de Reynolds	1,6x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	2,6
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	1,63		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	26,67 – 3/4 in		
Bomba adoptada			

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-160/1,5
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90
Altura máxima de trabajo (m)	28
Motor incluido	Trifásico
Potencia (Hp – kW)	2 – 1,5

Tabla 9.18. Adopción de la bomba B-19.

Equipo B-19			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,5	Viscosidad (P)	0,1
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	15	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	23,8		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,25	Factor de fricción	0,036
Número de Reynolds	8x10 ³	Pérdida de carga h _F (m)	0,093
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	120	Accesorios	10 codos 90°
Diámetro interior (mm)	23,8		9 válvulas on/off 2 T
Velocidad de flujo (m/s)	0,25	Factor de fricción (f)	0,03
Número de Reynolds	1,6x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	2,48
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	1,72		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Sistema de tuberías	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro exterior (mm) y nominal	26,67 – 3/4 in
Bomba adoptada	
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-160/1,5
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90
Altura máxima de trabajo (m)	28
Motor incluido	Trifásico
Potencia (Hp – kW)	2 – 1,5

Tabla 9.19. Adopción de la bomba B-20.

Equipo B-20			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,5	Viscosidad (P)	0,1
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	15	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	23,8		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,25	Factor de fricción	0,036
Número de Reynolds	8x10 ³	Pérdida de carga h _F (m)	0,093
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	115	Accesorios	10 codos 90°
Diámetro interior (mm)	23,8		9 válvulas on/off 2 T
Velocidad de flujo (m/s)	0,25	Factor de fricción (f)	0,03

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Número de Reynolds	1,6x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	2,37
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	1,55		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	26,67 – 3/4 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-160/1,5		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	28		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	2 – 1,5		

9.8.3 Bomba de agua de enfriamiento

Tabla 9.20. Adopción de la bomba B-21.

Equipo B-21			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	6,27	Viscosidad (P)	0,1
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	16	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	83,41		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,28	Factor de fricción	0,027
Número de Reynolds	2,67x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,002

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Lado de impulsión			
Longitud total (m)	90	Accesorios	5 codos 90°
Diámetro interior (mm)	83,41		2 válvulas on/off 1 T
Velocidad de flujo (m/s)	0,28	Factor de fricción (f)	0,024
Número de Reynolds	$5,3 \times 10^4$	Pérdida de carga h_F (m)	0,31
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	2,71		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	88,9 – 3 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32 – 160/2,2		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	18		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90		
Altura máxima de trabajo (m)	27		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia (Hp – kW)	3 – 2,2		

9.8.4 Bomba del sistema de refrigeración con amoníaco

Tabla 9.21. Adopción de la bomba B-22.

Equipo B-22			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	9	Viscosidad (P)	0,1
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Lado de aspiración			
Longitud total (m)	1		1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	83,41	Accesorios	1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	2,15	Factor de fricción	0,026
Número de Reynolds	$2,67 \times 10^4$	Pérdida de carga h_F (m)	0,13
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	130		10 codos 90°
Diámetro interior (mm)	83,41	Accesorios	9 válvulas on/off 2 T
Velocidad de flujo (m/s)	2,15	Factor de fricción (f)	0,024
Número de Reynolds	$5,33 \times 10^4$	Pérdida de carga h_F (m)	0,64
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	3,56		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior (mm) y nominal	88,9 – 3 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Bezares S.A		
Tipo y código del equipo	BEA 11		
Material de construcción	10,9		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	500 – 2000		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-25/+80		
Altura máxima de trabajo (m)	246,73		
Motor incluido	12 – 750		
Potencia (Hp – kW)	4 – 2,97		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

9.8.5 Bomba de abastecimiento de agua

Tabla 9.22. Adopción de la bomba B-23.

Equipo B-23			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	12,05	Viscosidad (P)	0,1
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	14	Accesorios	1 codo 90°
Diámetro interior (mm)	108,28		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,33	Factor de fricción	0,025
Número de Reynolds	3,4x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,014
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	131	Accesorios	7 codos 90°
Diámetro interior (mm)	108,28		3 válvulas on/off 2 T
Velocidad de flujo (m/s)	0,33	Factor de fricción (f)	0,022
Número de Reynolds	6,8x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,46
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia		75%	
Potencia (Hp)		4,68	
Sistema de tuberías			
Material de construcción		Acero inoxidable AISI 304	
Diámetro exterior (mm) y nominal		114,3 – 4 in	
Bomba adoptada			
Proveedor		Ebara Pump Iberia S.A	
Tipo y código del equipo		Centrífuga 3M 32-200/4,0	
Material de construcción		Acero inoxidable AISI 304	
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)		18	

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10/+90
Altura máxima de trabajo (m)	43,5
Motor incluido	Trifásico
Potencia (Hp – kW)	5,5 - 4

9.9 Servicio de electricidad

La energía eléctrica en el Parque Industrial de San Miguel de Tucumán se encuentra a cargo de la Empresa de Distribución Eléctrica de Tucumán S.A (EDET S.A). Cuenta con una estación transformadora 22/12,2 kV y líneas de suministro de energía eléctrica en media y baja tensión, como así también red interna de distribución e instalaciones de iluminación.

El requerimiento de potencia total se determina considerando el consumo de los artefactos utilizados para la iluminación y el de cada uno de los equipos que se encuentran involucrados en el proceso productivo. Los circuitos de alumbrado son, por lo general, a 220 V en corriente alterna monofásica, mientras que los circuitos de fuerza motriz son a 380 V en corriente alterna trifásica.

9.9.1 Elementos de la instalación eléctrica

Para el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica de la empresa, son necesarios una serie de elementos que se detallan a continuación:

- Líneas de distribución: existen tres tipos, la principal, de iluminación y la de los motores. La línea principal es la que conecta el medidor de energía con el tablero principal ubicado en el ingreso de la nave industrial. Las líneas de iluminación que desde el tablero principal se derivan tres líneas monofásicas, dos destinadas a la iluminación de la nave industrial, y una para abastecer los requisitos de energía del sector administrativo, vigilancia y exterior. Por último, la línea de los motores, que son líneas trifásicas y monofásicas para alimentar los diferentes motores de la planta y tomas corrientes.
- Tableros: contienen los dispositivos necesarios para la operación, rastreo, protección y control de toda la instalación eléctrica. Permiten la distribución de la corriente a todos los sectores. Deben construirse con materiales metálicos o plásticos que sean no inflamables, no higroscópicos, que posean resistencia mecánica para soportar cargas y una baja constante dieléctrica. En los tableros, los circuitos se bifurcan y ordenan convenientemente. Éstos están formados por aparatos de maniobra, con llaves o conmutadores, aparatos de protección, como fusibles y llaves automáticas, aparatos de medición, como medidores de energía, amperímetros, voltímetros, etc. Son generalmente paneles verticales colocados dentro de cajas. La altura a la cual están ubicados debe permitir las operaciones de una persona. Los tableros, clasificados desde el punto de vista de su operación son:
 1. Tablero principal: opera toda la instalación.
 2. Tablero seccional: opera circuitos.
 3. Tablero subseccional: opera solo una parte del circuito.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Tomacorriente: es todo lugar donde se consume energía eléctrica. Se calcula la potencia requerida para los tomacorrientes fijando los W de salida. Para oficinas y usos generales se usarán tomacorrientes para 150 y 300 W, mientras que en la zona de producción es de 1000 W.
- Transformador: se utiliza para soportar los esfuerzos de cortocircuito externo, sobretensiones de impulso y maniobra, y para lograr una disipación óptima del calor. Está instalado en la subestación eléctrica y desde ahí se distribuye la electricidad hacia toda la planta.
- Conductores eléctricos: realizan la conducción de la energía eléctrica desde donde se produce hasta donde se va a utilizar. Los metales habitualmente usados para la fabricación de cables son de cobre, aluminio o aleaciones de éste último. Poseen un alambre central de material conductor, cuya sección está determinada por la corriente a conducir y limitada por el calentamiento y la caída de tensión que provoca. Externamente poseen una cubierta de aislante térmica y eléctrica. Esta cubierta es de material plástico, principalmente de policloruro de vinilo (PVC). Este tipo de material tiene la desventaja de endurecerse y volverse frágil a bajas temperaturas y ablandarse a altas, pero tiene la ventaja de retomar sus propiedades físicas a temperaturas normales. Una temperatura del orden de los 70°C se considera la máxima recomendada, sin descartar que algunos tipos de plásticos pueden tolerar temperaturas del orden de los 100°C.
- Elementos de protección: los circuitos eléctricos pueden tener fallas que provoquen daños letales al organismo. Es por ello que el circuito debe estar conectado a tierra, con lo cual, ante la abertura del circuito la corriente es derivada al suelo y se protege a la persona que está en contacto con la instalación. En una instalación industrial las carcasas de los equipos eléctricos, los accionamientos de los aparatos, los armazones de estructura y las partes metálicas de los cables deben estar conectados a tierra.
- Pararrayos: es un instrumento cuyo objetivo es atraer un rayo ionizando el aire para excitar, llamar y conducir la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños a las personas o construcciones.

9.9.2 Consumo de energía eléctrica de los equipos

En la Tabla 9.23 se detalla el consumo de potencia de cada equipo por mes, considerando la cantidad de equipos que funcionan simultáneamente y las horas de funcionamiento.

Tabla 9.23. Consumo de potencia de cada equipo por mes.

Equipo	Equipos operando en simultáneo	Potencia (kW)	Funcionamiento		Consumo (kWh/mes)
			(h/día)	(día/mes)	
Mezclador TM-01	1	1,15	5	30	175,5
Mezclador TM-02	1	1,88	5	30	282
Mezclador TM-03	1	2,07	18,5	30	1148,85

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Motor del Prefermentador P-01, P-02, P-03 y P-04	4	0,37	24	30	1065,6
Motor del Fermentador R-01, R-02, R-03 y R-04	4	1,79	24	30	5155,2
Compresor CM-01	1	11,58	24	30	8337,6
Centrífuga C-01	1	22	24	30	15840
Motor del Cristalizador CR-01	1	1	8	30	240
Secador S-01	1	12,6	24	30	9072
B-01	1	2,23	5	30	334,5
B-02	1	2,97	5	30	445,5
B-03	1	2,2	5	30	300
B-04	1	5,5	18,5	30	3052,5
B-05	4	0,18	17	30	367,2
B-06	1	4	4	30	480
B-07	1	2,2	24	30	1584
B-08	1	1,1	24	30	792
B-09	1	1,1	24	30	792
B-10	1	3	24	30	2160
B-11	1	0,75	24	30	540
B-12	1	0,75	24	30	540
B-13	1	1,5	24	30	1080
B-14	1	0,6	24	30	432
B-15	1	0,75	24	30	540
B-16	1	1,5	1	30	45
B-17	1	1,5	1	30	45
B-18	1	1,5	1	30	45
B-19	1	1,5	2	30	90
B-20	1	1,5	1	30	45
B-21	1	2,2	18,5	30	1221
B-22	1	2,97	24	30	2138,4
B-23	1	4	24	30	2880
Potencia total (kW)		99,94	Consumo mensual de energía (kW/h)		61265,85

9.10 Sistema de iluminación

El propósito de la iluminación en la industria es brindar una visibilidad eficiente y cómoda que permita realizar el trabajo en forma adecuada y ayude a mantener un ambiente seguro. Una buena iluminación presenta ventajas tanto para el trabajador como para la empresa. En el caso del trabajador, protege su capacidad visual, evita la fatiga ocular y disminuye los

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

accidentes, mientras que en el caso de la empresa colabora con la disminución de errores, facilita la limpieza y el mantenimiento de las distintas áreas, mejorando a su vez la utilización de espacios.

9.10.1 Secuencia para la determinación de la luminaria pertinente

1. Determinación del nivel de iluminación necesario para cada sector, se tienen en cuenta las dimensiones de los mismos y el flujo luminoso necesario de acuerdo al trabajo que se realiza en él. El nivel de iluminación se mide en lux (lm/m^2) y surge del cociente del flujo luminoso (lumen) y el área de la superficie iluminada.

Los niveles mínimos de iluminación están dados por la ley 19587 “Higiene y Seguridad en el Trabajo”, decreto 4160. En la Tabla 9.24 se detallan estos valores.

Tabla 9.24. Niveles mínimos de iluminación.

Descripción de la tarea	Nivel de iluminación (lx)
Tareas que no exigen esfuerzo visual: tránsito por pasillos, almacenajes, carga y descarga de materia prima	50
Actividades que exigen poco esfuerzo visual: tareas generales en la sala de caldera, depósito de materiales, baños, escaleras.	100
Tareas que exigen esfuerzo visual corriente, distinción moderada de detalles. Trabajos en máquinas automáticas, embalaje, salas de archivos y reuniones.	200
Trabajos que exigen bastante esfuerzo visual: se requiere fina distinción de detalles, grado moderado de contraste y largos espacios de tiempo. Trabajos en taller, montajes, trabajos en maquinarias, trabajos en oficina.	400
Tareas que exigen gran esfuerzo visual: trabajos de precisión que requieren fina distinción de detalles, gran velocidad, acabados finos, mesas de dibujos, etc.	700
Tareas que exigen máximo esfuerzo visual: trabajos de precisión que requieren finísima distinción de detalles.	1500

Fuente: Artelum

2. Selección del tipo de lámpara

El tipo de lámpara a utilizar en los distintos sectores de la planta se detalla en la Tabla 9.25.

Tabla 9.25. Tipos de lámparas a utilizar.

Sector	Tipo de lámpara
Zonas cubiertas, almacenamiento de materias primas y productos terminados, envasado.	Tipo: vapor de mercurio Modelo: HQL E40-Orsam Potencia: 250 W

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

	Flujo luminoso: 13000 lm Consumo de energía: 275 kWh/1000h
Zonas a la intemperie: fermentación, tanques de limpieza CIP, torres de enfriamiento, estacionamiento.	Tipo: vapor de mercurio Modelo: HQL E40-Orsam Potencia: 400 W Flujo luminoso: 22000 lm Consumo de energía: 440 Wh/1000h
Oficinas cerradas, laboratorios, baños y vestuarios.	Tipo: tubos fluorescentes Modelo: Philips-TPS 462 Potencia: 110 W Flujo luminoso: 8800 lm Rendimiento: 70 lm/W

3. Número de lámparas-consumo energético

De acuerdo al nivel de iluminación deseado para cada área se procede a calcular el número de lámparas necesarias. Para ello se utiliza la Ecuación 9.3 para cada sector de la planta.

$$N^{\circ} \text{ de lámparas} = \frac{ES}{F_m F_u I_l} \text{ Ecuación 9.3.}$$

Donde:

E: nivel de iluminación requerido en el sector (lx)

S: superficie del sector (m²)

F_m: factor de mantenimiento

F_u: factor de uso (de tablas)

I_l: flujo luminoso de la lámpara (lm)

El factor de mantenimiento está relacionado con el ensuciamiento de la luminaria, lo cual provoca una disminución del flujo luminoso. En los alumbrados interiores que presentan una polución del ambiente reducida se recomienda utilizar un factor de mantenimiento de 90% para luminaria cerrada y 80% para abierta. En los alumbrados exteriores se utiliza un factor de 60% cuando la polución es importante, 70% cuando es moderada y 80% si es reducida.

Se define el factor de utilización a la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias. Es decir, brinda un rendimiento de las luminarias ubicadas en el sector analizado.

Para determinar F_u es necesario conocer el índice del local, el factor de reflexión para el techo, paredes y suelo.

El índice del local se calcula con la Ecuación 9.4 y en la Figura 9.11 se muestra una representación de las dimensiones de una luminaria estándar.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

$$k = \frac{la}{hm(l+a)} \text{ Ecuación 9.4.}$$

Donde:

l: largo del local (m)

a: ancho del local (m)

hm: altura de montaje de la luminaria sobre el plano de trabajo (m)

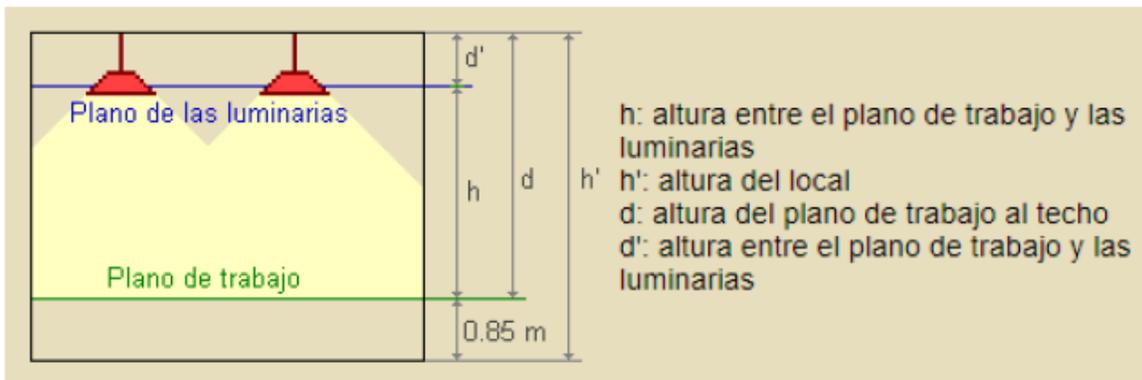
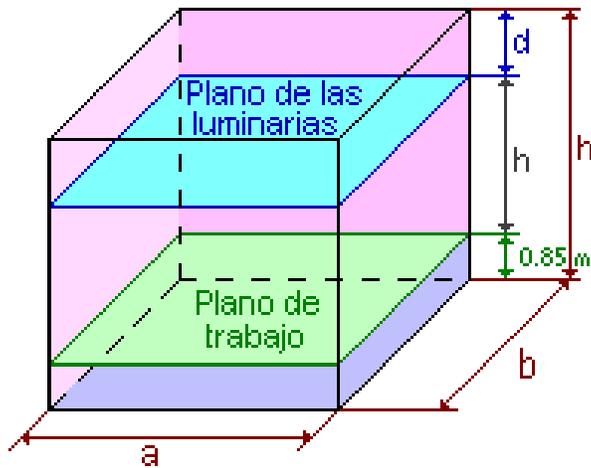


Figura 9.11. Representación de las dimensiones de una luminaria estándar.

Los factores de reflexión del techo, paredes y suelo se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabados de un plano, lo que definen su color. En la Tabla 9.26 se resumen estos valores.

Tabla 9.26. Factores de reflexión.

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0,7
	Claro	0,5

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

	Medio	0,3
Paredes	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1
Suelo	Claro	0,3
	Oscuro	0,1

A partir del índice local y los factores de reflexión se determina el factor de utilización en las tablas suministradas por los fabricantes de lámparas. (Figura 9.12)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)													
		Factor de reflexión del techo													
		0.8			0.7			0.5			0.3			0	
		Factor de reflexión de las paredes													
		0.5			0.3			0.1			0.3			0.1	0
	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58		
	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67		
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72		
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77		
	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81		
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85		
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88		
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89		
	$D_{max} = 0.7 H_m$	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92	
	$f_m .70 .75 .80$	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.97	.97	.96	.94	

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Figura 9.12. Determinación del factor de utilización.

En la Tabla 9.27 se detallan los valores obtenidos y las cantidades de lámparas necesarias para cada sector y/o edificio.

Tabla 9.27. Valores obtenidos y número de lámparas necesarias.

Edificio	Sector	E (lx)	S (m ²)	Fu	Fm	Flujo luminoso (lm)	Nº lámparas
I	Oficinas administrativas	500	273,6	0,95	0,9	8800	18
II	Baños y vestidores	150	163	0,93	0,9	8800	4
	Comedor	150	36,75	0,80	0,9	8800	1
	Laboratorio	1500	57,6	0,84	0,9	13000	8

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

III	Sector A: Pretratamiento	400	536	0,88	0,8	22000	14
	Sector B: Prefermentación y fermentación	400	800	0,76	0,8	22000	24
	Sector C: Purificación, concentración, evaporación y envasado	400	651	0,88	0,8	22000	17
IV	Depósito de insumos y materia prima	200	24	0,62	0,7	13000	1
	Depósito de producto terminado	200	180	0,84	0,7	13000	5
V	Taller de mantenimiento	750	56	0,7	0,7	13000	7
VI	Sala de caldera	200	42	0,7	0,7	22000	2
VII	Servicios auxiliares	200	202,93	0,88	0,7	22000	5
VIII	Tratamiento de efluentes	200	196	0,94	0,7	22000	3
IX	Seguridad	100	4	0,97	0,7	22000	1
	Estacionamiento	100	792	0,62	0,7	22000	9

De lo calculado en la Tabla 9.27 se necesitan:

- 21 lámparas modelo HQL E40-Orsam de 250W.
- 75 lámparas modelo HQL E40-Orsam de 400W.
- 23 lámparas modelo Philips-TPS de 110W.

4. Consumo energético debido a las luminarias

En la Tabla 9.28 se detalla el consumo energético debido a las luminarias. Dado que no todas permanecen encendidas todo el día, se calcula a partir de las horas de funcionamiento, el consumo que tendrán.

Tabla 9.28. Consumo energético de luminarias.

Sector	Funcionamiento (h/día)	Nº lámparas	Potencia (kW)	Consumo (kWh/día)
Oficinas administrativas	8	18	0,11	15,84
Baños y vestidores	24	4	0,11	10,56
Comedor	8	1	0,11	0,88
Laboratorio	24	8	0,25	48

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Purificación, concentración, evaporación y envasado	24	17	0,4	163,2
Depósito de insumos y materia prima	12	1	0,25	3
Depósito de producto terminado	24	5	0,25	30
Taller de mantenimiento	24	7	0,25	42
Sala de caldera	24	2	0,4	19,2
Prefermentación y fermentación	24	24	0,4	230,4
Pretratamiento	24	14	0,4	134,4
Servicios auxiliares	12	5	0,4	24
Tratamiento de efluentes	12	3	0,4	14,4
Seguridad	12	1	0,4	4,8
Estacionamiento	12	9	0,4	43,2
Consumo total				783,88

CAPÍTULO X: CONTROL DE CALIDAD

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

10.1 Introducción

La calidad se define como el grado de adecuación del producto para el uso al que se le destina, sin dejar de resaltar la incidencia fundamental sobre los costos de la empresa, especialmente sobre los relacionados a la existencia de productos defectuosos. La mala calidad es origen de costos tanto tangibles como intangibles, que aumentan en importancia cuanto más tarde se descubren los fallos en el sistema productivo. Es por ello por lo que se implementan técnicas y actividades para controlar la calidad, esto implica el control de las variables de proceso en las diferentes etapas de producción, el control del producto final para determinar que se cumpla con las especificaciones técnicas, y de la materia prima para su fabricación, que se utilizan no solo con el objetivo de satisfacer los requisitos relativos a la calidad, sino también para evitar estas pérdidas económicas.

Los requisitos de calidad de un insumo para la industria farmacéutica implican que diferentes lotes de un mismo producto conserven, durante su fabricación, condiciones idénticas, que les permitan garantizar la efectividad del producto en el momento de su aplicación y su estabilidad en el tiempo. Por este motivo, todo proceso de producción del insumo debe cumplir estrictamente con los parámetros de calidad, en relación con el concepto de buenas prácticas de manufactura, BPM.

La finalidad del área de aseguramiento de calidad es garantizar la disminución o eliminación de errores en el diseño, desarrollo, fabricación, control y distribución del producto cumpliendo las normas BPM, para garantizar la seguridad, calidad y eficacia de los medicamentos. Para el cumplimiento de estas acciones es necesaria la implementación de un sistema de calidad, el cual consiste en el muestreo, especificaciones y ensayo, como también en los procedimientos de organización, documentación y autorización que aseguren que los ensayos necesarios y pertinentes realmente se efectúen y que no se permita la circulación de los materiales, ni se autorice la venta o suministro de los productos, hasta que su calidad haya sido determinada como satisfactoria. El control de calidad no se limita a las operaciones de laboratorio, sino que debe estar presente en todas las dimensiones concernientes al producto. Para ello es necesario realizar controles en todas las etapas del desarrollo de este, como así también en la materia prima y en el producto terminado. Un adecuado sistema de control permite, además, trabajar con mayor eficiencia, rendimiento y ahorrar recursos.

Para contribuir al requerimiento de los cumplimientos es necesario, además, implementar un sistema de saneamiento e higiene, el cual debe abarcar al personal, instalaciones, equipo y aparatos, materiales y recipientes para la producción. En el presente capítulo se describen las características principales de las BPM para productos farmacéuticos y se detalla un plan de control de calidad para la producción de L-lisina HCl.

10.2 Buenas prácticas de manufactura

Las BPM son los procedimientos necesarios para lograr alimentos inocuos, saludables y sanos. Tienen por objetivo principal garantizar que los productos se fabriquen en condiciones sanitarias adecuadas y se disminuyan los riesgos inherentes a la producción y distribución. Las mismas deben estar establecidas y documentadas con sus respectivos registros (CAA, Capítulo II). Cabe aclarar que las BPM son de aplicación obligatoria en Argentina según lo expuesto en el CAA y ANMAT.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Dado que el uso final de nuestro producto es como insumo de las industrias farmacéuticas, se deben cumplir las normativas presentes en la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica, ANMAT.

La planta productora de L-lisina HCl debe cumplir con una serie de requisitos para poder ser habilitada por la autoridad sanitaria competente. Dentro de las BPM se incluyen distintos aspectos relacionados al personal, instalación, materiales, agua, inspección y ensayos, auditorías y productos no conformes y procedimientos operativos estandarizados de saneamiento (POES).

10.3 Personal

Se establece un organigrama de la empresa en el que queda demostrado en forma clara y precisa los niveles de jerarquía para cada puesto de trabajo, el mismo se puede apreciar en el Capítulo 13. Las actividades, responsabilidades y nivel de autoridad específicas de cada persona se describen y documentan en los puestos de trabajo. Todo el personal debe conocer los principios básicos del sistema de calidad y de BPM, para lo cual, se implementa un programa formación inicial y de capacitación continua. Además, deben contar con la Libreta Sanitaria Nacional Única, expedida por la Autoridad Sanitaria Competente y con validez en todo el territorio nacional.

Todo el personal, antes de ser contratado y durante el tiempo que dure el empleo, debe someterse a exámenes médicos y además, el personal que realice inspecciones visuales debe someterse a exámenes oculares. Si una persona muestra signos de enfermedad o sufre lesiones abiertas, no debe permitírsele manipular materias primas ni ningún otro elemento que puede perjudicar la calidad del producto final. El personal encargado del control de calidad debe tener acceso a las áreas de producción para llevar a cabo los trabajos de muestreo e investigación.

Se prohíbe fumar, comer o beber, como también mantener plantas, alimentos o bebidas, o bien medicamentos personales, en las áreas de producción, laboratorio y almacenamiento. Se utiliza ropa y accesorios de protección adecuados, dependiendo de la tarea que desarrollan y deben mantener niveles de higiene y limpieza personal. A las áreas limpias no deben ingresar personas que vistan ropa de calle, para ello se cuenta con vestuarios, ni deben usar reloj de pulsera ni joyas, ni tampoco cosméticos de los cuales puedan desprenderse partículas.

10.4 Instalaciones

Las instalaciones son diseñadas, ubicadas, construidas, mantenidas y adaptadas de forma tal que sean apropiadas para las operaciones que se realizan en ellas, considerando un orden lógico, de acuerdo con las secuencias de las operaciones y con espacio suficiente para realizar las mismas. En su diseño y planificación se consideran todos aquellos aspectos que permiten reducir al mínimo el riesgo de error, permiten una adecuada limpieza y el mantenimiento del orden a fin de evitar la contaminación y contaminación cruzada y toda aquella condición que pueda influir negativamente en la calidad de los productos, utilizando en su construcción materiales que faciliten su limpieza y saneamiento.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

La provisión de electricidad, iluminación, climatización, el nivel de ruido, los sistemas auxiliares, el drenaje y la ventilación serán tales que no influyan negativamente, directa o indirectamente, en los productos durante su fabricación y almacenamiento, o en el funcionamiento adecuado de los equipos e instrumentos. Los conductos que suministran agua, aire, vapor, gas y vacío estarán claramente identificados, utilizando el código internacional de colores, e indicarán la dirección del flujo de su contenido. Se controlan y registran las condiciones de temperatura, humedad, radiación, partículas viables y no viables, donde corresponda.

Las instalaciones destinadas al cambio de ropa y a su guardado, así como aquellas destinadas a la higiene y arreglo personal deben ser fácilmente accesibles y adecuadas al número de usuarios. Los baños no se comunican directamente con las áreas productivas o de almacenamiento.

Las áreas de almacenamiento deben poseer la capacidad suficiente para el mantenimiento ordenado de materiales y productos de diversas categorías, esto es: materias primas, material de envase, productos semielaborados, productos a granel, productos terminados, materiales y productos en cuarentena, autorizados, devueltos, retirados o rechazados. No se permite el almacenamiento de productos alimenticios en las áreas destinadas al almacenamiento de materias primas, materiales, componentes y producto terminado.

El laboratorio se encuentra separado de las áreas productivas y debe estar diseñado en conformidad con las operaciones que se efectúen en él y disponer de espacio suficiente para el almacenamiento de las muestras, los materiales de referencia y los registros. El mismo se divide en dos áreas, una para análisis fisicoquímicos y otra para análisis microbiológicos. Cuenta con el equipamiento adecuado el cual es periódicamente calibrado, el personal está calificado y entrenado, y los procedimientos que se realizan están validados.

En cuanto a la zona de producción las instalaciones deben estar ubicadas de manera tal que el proceso pueda llevarse a cabo en un orden lógico y concordante con la secuencia de las operaciones. Asimismo, debe cumplir con las condiciones de limpieza exigidas. Las superficies de paredes, pisos y cielorrasos deben ser lisas, libres de grietas y aberturas, no despedir partículas y ser fáciles de limpiar y desinfectar, al igual que los conductos, artefactos de iluminación, puntos de ventilación y otros servicios deben ser diseñados y ubicados de forma tal que no causen dificultades para una fácil y efectiva limpieza y desinfección. Estas áreas deben estar bien iluminadas, especialmente aquellas en las cuales deban efectuarse controles en línea de producción.

Los equipos utilizados en procesos productivos y de control deben cumplir con los requerimientos especificados y estar diseñados, contruidos, ubicados e instalados para facilitar la calibración, verificación, mantenimiento, reparación, limpieza y uso. Se establece, mantiene y controla programas de mantenimiento y limpieza de los equipos. Las actividades realizadas son registradas, incluyendo como mínimo, incidencias y/o fallos detectados, la fecha de las mismas y las personas que las realizan.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

10.5 Materiales

Cuando ingresa un material a la planta se le realizan los análisis correspondientes para autorizar su uso o distribución. Todos los materiales y productos deben ser almacenados bajo condiciones adecuadas establecidas por el fabricante y según un orden que permita efectuar la segregación de los lotes y la rotación de existencias. Sólo se utilizan en la fabricación materiales que estén correctamente rotulados, conformes a sus especificaciones e identificados con respecto a su estado de inspección. Todo material no conforme es claramente identificado y segregado a un área específica aislada, de forma tal que se impida su uso eventual en cualquier operación de producción.

Las materias primas, materiales de envase, materiales impresos y etiquetas son adquiridas sólo de aquellos proveedores que están calificados. A la recepción de los materiales se efectúa una revisión para asegurar que el envío se corresponda con lo solicitado. Los envases se limpian y rotulan de acuerdo a procedimientos escritos. Si son recibidos diferentes lotes de un mismo material, cada lote debe ser considerado en forma independiente para el muestreo, ensayo y liberación.

Las bolsas para envasar el producto terminado se almacenan en condiciones seguras y antes de ser utilizadas se verifican.

10.6 Agua

Se establece y mantienen los procedimientos apropiados para garantizar que el agua esté conforme con las especificaciones vigentes, según su uso. Se dispone de los recursos necesarios para garantizar la obtención, control, conservación y distribución del agua y cada lote es identificado con la fecha de su obtención y controlado en los registros correspondientes.

10.7 Inspección y ensayos

Se establecen y mantienen actualizados procedimientos y registros apropiados para llevar a cabo las actividades de inspección y ensayo con el fin de verificar que se cumplan las especificaciones establecidas y garantizar que los materiales no se utilicen hasta que no hayan sido aprobados.

El procedimiento para el muestreo comprende:

- El método de muestreo, basado en criterios estadísticos, que asegura la representatividad del lote.
- La cantidad de muestra a tomar.
- El equipo o instrumento a utilizar para el muestreo.
- La identificación de los envases muestreados.
- Las precauciones especiales que deben tenerse en cuenta en relación con el muestreo de materiales estériles o potencialmente infecciosos.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Las muestras son rotuladas indicando: nombre del material, número de lote muestreado, número de envase de donde fue recogida la muestra, firma de la persona que tomo la muestra y fecha de muestreo.

El laboratorio cuenta con un sistema adecuado para la recepción e identificación de las muestras que garantiza la trazabilidad de las mismas y registra cualquier desviación de las condiciones normales o especificadas, que pueda apreciarse en la muestra, o que aparezca descrita en la solicitud. En ningún caso las muestras se retornan al lote muestreado. También, se cuenta con procedimientos y registros para todas las actividades referentes a los ensayos y se dispone de los procedimientos y recursos necesarios para la adecuada conservación de las colecciones de cepas y patrones requeridos para el desempeño de su actividad.

10.8 Auditorías

Se planifican y ejecutan las auditorías internas, dirigidas a verificar el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Fabricación y de su sistema de calidad. Para ello se establece y mantienen actualizados procedimientos y registros donde se definan los criterios de auditoría y la metodología a seguir para asegurar la objetividad e imparcialidad de las mismas. Las auditorías internas son coordinadas y lideradas por personal responsable de calidad que ha sido previamente calificado como auditor.

10.9 Material y productos no conformes

El control de los materiales no conformes incluye la identificación, documentación, investigación de las causas, evaluación, segregación y tratamiento de los mismos, así como la notificación a las áreas involucradas. Los materiales que no cumplan con los requisitos especificados son identificados y segregados a áreas restringidas, de forma tal que no puedan ser utilizados o distribuidos inadvertidamente.

Los materiales rechazados son devueltos a los proveedores o, cuando corresponda, reprocesados o eliminados. Cualquiera que sea la determinación adoptada, ésta es aprobada por la persona autorizada y debidamente registrada. Se adoptan acciones necesarias para eliminar la causa de las no conformidades con el objetivo de prevenir que vuelvan a ocurrir.

Todos los reclamos por productos potencialmente defectuosos son cuidadosamente examinados. El área de control de calidad es la encargada de recibir los reclamos y adoptar medidas correctivas. Se cuenta con procedimientos escritos que describen las medidas a adoptarse en caso de reclamo, las cuales incluyen la necesidad del retiro del producto. Si se encuentra un defecto en un lote, o se sospecha de la existencia de uno, se deben controlar los lotes vecinos para determinar si fueron afectados. Todas las decisiones y medidas adoptadas como resultado de un reclamo se registran y se refieren al lote en cuestión. Se implementa un sistema que retira inmediatamente del mercado los productos que presentan desviaciones de la calidad, y se elaboran los reportes correspondientes.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

10.10 Procedimientos operativos estandarizados de saneamiento (POES)

Cada uno de los aspectos de la fabricación debe ir acompañado de un elevado nivel de saneamiento e higiene, el cual abarca al personal, instalaciones, equipos, materiales y recipientes para la producción, productos de limpieza y todo aquello que puede ser fuente de contaminación. Son requisito fundamental para la implementación de sistemas que aseguren la calidad de los productos, donde:

- Se cuenta con programas escritos de saneamiento que deben incluir procedimientos validados de limpieza de las instalaciones y los equipos.
- Dichos programas deben ser puestos en práctica, como asimismo ponerse a conocimiento del personal involucrado y destacarse su importancia en las sesiones de capacitación.
- Los elementos clave de un programa de limpieza y desinfección son el calendario general de limpieza, el programa diario de limpieza, los procedimientos escritos de limpieza y las prácticas de limpieza.
- El calendario general de limpieza se utiliza para garantizar la realización periódica de las tareas de limpieza no diarias. En el mismo se debe detallar las distintas tareas de limpieza, como así también la frecuencia y el personal responsable.
- El programa diario de limpieza lista las tareas que deben realizarse rutinariamente en las áreas de producción para garantizar que se mantengan limpias, seguras y ordenadas. Esto también incluye la limpieza durante el turno de trabajo.
- Los procedimientos escritos de limpieza son las instrucciones de trabajo que detallan como se limpia el equipo, que tipos de productos químicos son necesarios y los procedimientos de seguridad que se deben cumplir al manipular productos químicos.
- Se deben utilizar códigos de color para los cepillos, escobas y resto de equipo utilizado para evitar contaminaciones cruzadas entre las zonas de elaboración del producto final y las de materia prima.

10.11 Plan de control de calidad

La adopción de un sistema de gestión de la calidad es una decisión estratégica para una organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible (NORMA INTERNACIONAL ISO 9001). El control de calidad es la parte de las BPM, que se refiere al muestreo, especificaciones y ensayo, como también a los procedimientos de organización, documentación y autorización que aseguren que los ensayos necesarios y pertinentes realmente se efectúen y que no se permita la circulación de los materiales, ni se autorice la venta o suministro de los productos hasta que su calidad haya sido determinada como satisfactoria.

Se desarrolla un plan de control de calidad en el cual se detallan todos los controles que deben realizarse en las diferentes etapas del proceso de producción, como así también a las materias primas y al producto final. Se especifican los valores de cada parámetro que se evalúa, la técnica empleada para su análisis, la frecuencia de control, los encargados de

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

tomar las muestras y de realizar los análisis correspondientes. En el caso de que el valor medido no se ajuste al deseado, se deben tomar medidas correctivas al respecto.

Todos los métodos de análisis y valores establecidos se encuentran especificados en Farmacopea Argentina, Farmacopea Europea y Farmacopea Estadounidense. En el Anexo 1 se explica cada técnica en detalle, listadas de acuerdo con código empleado en el plan de calidad.

10.11.1 Plan de calidad para materias primas e insumos

El control de la materia prima es un factor importante para la obtención del producto, tanto en calidad como en cantidad. Como se detalló antes, solamente se adquiere materia prima de proveedores que cumplan las especificaciones requeridas, sin embargo, es necesario realizar los controles para determinar eventuales desviaciones en la calidad deseada. Además de los controles fisicoquímicos realizados, se debe controlar que ingrese la cantidad detallada por el proveedor. Dado que los componentes químicos del medio de cultivo se adquieren de laboratorios reconocidos y vienen con sus propiedades ya detalladas, en esta sección solo se considerarán los controles realizados sobre la melaza. En la Tabla 10.1 se detallan los controles realizados.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 10.1. Controles realizados a la materia prima.

Etapa	MP	Parámetro	Valor límite	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción correctiva o preventiva	Responsable de muestra	Responsable de análisis
Recepción	Melaza	Densidad	1280 kg/m ³	T-01	Por lote	A/FQ-01	-	Operario de turno	Analista de laboratorio
		Viscosidad	5 cP	T-02	Por lote	A/FQ-01	-	Operario de turno	Analista de laboratorio
		Cantidad	Específica por el proveedor	Pesaje en báscula	Por camión	A/FQ-01	Informar al proveedor	Operario de turno	
		Apariencia	Normal	Inspección visual	Por lote	A/V-01	Informar al proveedor. Rechazar lote	Operario de turno	
Preparación del inóculo	Cepa	Crecimiento de las bacterias	-	T-03	Mensual	MO/MB-01	Realizar nuevos cultivos	Analista de laboratorio	

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

10.11.2 Plan de calidad para el control del proceso

Se establecen controles en diferentes puntos del proceso y las especificaciones que se deben cumplir para prevenir la producción de un producto de calidad defectuosa. Es necesario el monitoreo continuo de ciertos pasos de la producción, tal como es el caso de la fermentación (disposición ANMAT N°2819/2004). Por lo tanto, también debe haber elementos de control automático.

Si se encuentra algún desvío de la calidad durante el proceso, este debe corregirse inmediatamente; si el control en la corriente final de proceso se encuentra fuera de especificación debe rechazarse el lote, por lo tanto, es de suma importancia el control riguroso en las etapas iniciales.

10.11.2.1 Controles en el fermentador

Los fermentadores están equipados con instrumentos que se utilizan para facilitar el análisis y registro de parámetros específicos, para ayudar a establecer las condiciones óptimas del proceso de fermentación y para optimizar el proceso de producción. El control de un parámetro particular se lleva a cabo con un sensor que mide la propiedad y con un controlador que compara esta medida con un valor fijo predeterminado y que activa el equipo hasta ajustar el valor de la propiedad a éste.

Los sensores pueden estar “on line”, es decir, conectados a la instalación del fermentador en contacto con la corriente, o “off line”, para lo cual se debe tomar una muestra asepticamente para análisis. Los sensores “on line” en contacto con el medio del fermentador deben ser esterilizables con vapor de agua, fácilmente calibrables y dar una lectura continua fiable. En la Tabla 9.2 se detallan los instrumentos de medida para los diferentes parámetros y los fundamentos que los mismos presentan, en la Tabla 9.3 los controles realizados sobre las distintas etapas de la producción y en la Tabla 9.4, los controles realizados al producto final.

Tabla 9.2. Instrumentos para el control del fermentador.

Parámetro	Equipo de medida	Fundamento
Temperatura	Termómetro y sensor de temperatura	Cambios de resistencia eléctrica con la temperatura
Presión	Sensor de presión de diafragma	Movimiento de un diafragma en respuesta a los cambios
Espuma	Sondas metálicas de espuma aisladas en el extremo colocadas a diferentes niveles	La espuma toca el extremo de la sonda completa un circuito eléctrico que actúa como un dispositivo de alimentación antiespuma.
Velocidad de agitación	Tacómetro	Mecanismo de detección mediante inducción,

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

		generación de voltaje, sensores de luz o fuerzas magnéticas.
Flujo líquido	Transductor de flujo eléctrico	El flujo de líquido en un campo magnético es tal que el voltaje inducido es proporcional a la velocidad relativa del fluido y al campo magnético.
pH	Electrodo de referencia de vidrio combinado	Medidas potenciométricas de la concentración de iones hidrogeno.
O ₂ disuelto	Análisis paramagnético de gases	Sistemas de análisis térmico y deflexión basados en la fuerte afinidad del oxígeno por un campo magnético.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 9.3. Controles realizados en el proceso.

Etapa/Corriente	Parámetro	Valor límite	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción correctiva o preventiva	Responsable de muestra	Responsable de análisis
Esterilización del medio de cultivo	Temperatura	150°C	Control automático	Por lote	MC/FQ-02	Corregir temperatura	-	Operario de turno
	Tiempo	30 s		Por lote	MC/FQ-02	< tiempo: esterilizar nuevamente > tiempo: preparar medio nuevo		
Corriente G-007 (salida IC)	Eficiencia de esterilización	Ausencia de crecimiento	T-04	Cada 15 días	MC/MB-02	Calibrar equipo	Operario de turno	Analista de laboratorio
Prefermentación	Temperatura	30 ± 1°C	Control automático	Cada hora	PF/FQ-03	Regular caudal de agua de enfriamiento	-	Operario de turno
	Presión	1 atm			PF/FQ-03	Controlar salida de aire (filtro)		
	Caudal de aire	8,4 m ³ /h			PF/FQ-03	Regular caudal de aire de entrada		
Corriente I-001 (salida del PF)	Concentración de células	0,039 kg/l	T-05	Por lote	PF/MB-03	Prolongar prefermentación. Controlar inóculos.	Operario de turno	Analista de laboratorio

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

						Desechar fermento		
Fermentador	Temperatura	30 ± 1°C	Control automático	Cada hora	F/FQ-04	Regular caudal de agua de enfriamiento	-	Operario de turno
	Presión	1 atm			F/FQ-04	Controlar salida de aire(filtro)		
	pH	7 ±1			F/FQ-04	Corregir pH		
	Velocidad de agitación	51 rpm			F/FQ-04	Regular variador de velocidad		
	Espuma	Ausencia			F/FQ-04	Analizar generación de la espuma. Activar equipo para romper la espuma		
	Caudal de aire	840 m ³ /h			F/FQ-04	Regular caudal de aire de entrada		
Centrifugación	Rendimiento de esterilización	3-9 UFC	T-06	Cada 15 días	C/MB-04	Revisar registros y tomar medidas	Operario de turno	Analista de laboratorio
Evaporación	Caída de presión en coraza	0,37 atm	Control automático	Cada hora	E/FQ-05	Regular válvulas	-	Operario de turno

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Cristalizador	Temperatura	15 ± 1°C	Control automático	Cada hora	CR/FQ-06	Regular caudal de agua de enfriamiento	-	Operario de turno
Secado	Temperatura de aire de entrada	180°C	Control automático	Cada hora	S/FQ-07	Regular temperatura de la cámara de secado	-	Operario de turno
	Temperatura de salida de L-lisina HCl	80°C		Cada hora	S/FQ-07			
Envasado	Impresión en bolsas	Buen estado	Inspección visual	Por lote	EN/V-01	Utilizar otras bolsas. Reclamar al proveedor	-	Operario de turno

Tabla 9.4. Controles realizados al producto final.

Etapa	Producto	Parámetro	Valor límite	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción correctiva o preventiva	Responsable de muestra	Responsable de análisis
Antes del envasado	L-lisina HCl	Densidad	1300 kg/m ³	T-01	Por lote	PT/FQ-01	Informar al jefe de calidad. Controlar registros de fermentación. Calibrar equipos. Rechazar lote	Analista de calidad	
		Humedad	2%	T-07	Por lote	PT/FQ-01	Informar al jefe de calidad. Controlar el filtro secador.		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

							Volver a filtrar y secar	
		Apariencia	Polvo fino blanco	Inspección visual	Por lote	PT/V-01	Informar al jefe de calidad. Rechazar lote	
		Granulometría	95 % < 0,63 mm	T-08	Por lote	PT/FQ-01	Informar al jefe de calidad	
		As	< 3 mg/kg	T-09	Por lote	PT/FQ-01	Informar al jefe de calidad. Determinar la causa por la cual no se cumple la especificación y buscar una solución	
		Pb	< 10 mg/kg	T-10	Por lote	PT/FQ-01		
		Fe y Cu	< 50 mg/kg	T-11	Por lote	PT/FQ-01		

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

10.12 Registros

Para cada análisis realizado se deben registrar de manera ordenada los resultados obtenidos, para lo cual se utilizan planillas para agilizar el registro por parte del operario que realiza el control. El código de registro en todas las planillas se conforma de la siguiente manera: letra/s, con su número si corresponde, que indica sobre qué etapa o producto se realiza el control, la siguiente letra indica si el análisis es microbiológico (MB), fisicoquímico (FQ) o visual (V) y a continuación un número identificando el número de registro correspondiente. Ej: R-01/FQ-03 (Reactor, Análisis fisicoquímico, Registro N°3).

Una vez que el registro ha sido realizado en el punto de control de proceso o en el laboratorio, se debe controlar su edición y cumplimentación. Este procedimiento alcanza a la totalidad de los registros del sistema de calidad. El registro debe ser enviado al Departamento de Calidad, donde se llevan a cabo los análisis estadísticos pertinentes. A continuación, se detallan ejemplos de los registros que se llevan para materias primas (Tabla 9.5), proceso (Tabla 9.6) y producto terminado (Tabla 9.7).

Tabla 9.5. Registro de control de materias primas.

Tipo de registro	MATERIA PRIMA			MP/R-01
Código				
Materia prima				
Descripción				
Proveedor				
Técnica/Código				
Límites de aceptación				
Lote	Fecha	Resultado	Analista	Firma

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 9.6. Registro de control de proceso.

Tabla... Registro de control de proceso					
Tipo de registro	CONTROL DE PROCESO				CP/R-01
Código					
Descripción					
Equipo o corriente					
Inicio etapa - Día		Hora			
Final etapa – Día		Hora			
Operario a cargo					
Parámetro	Esterilidad	Temperatura	pH	Velocidad agitación	Presión
Técnica/Código					
Límites de aceptación					
Resultado					
Lote					
Fecha		Hora			
Analista					
Firma					

Tabla 9.7. Registro de control del producto terminado.

Tipo de registro	PRODUCTO TERMINADO						PT/R-01
Código	PT/FQ						
Producto	L-lisina HCl						
Parámetros	Densidad	Humedad	Granulometría	Apariencia	As	Pb	Fe y Cu

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Código de la técnica	T-01	T-07	T-08	Inspección visual	T-09	T-10	T-11
Límites de aceptación	1300 kg/m ³	2%	95 % < 0,63 mm	Polvo fino blanco	< 3 mg/kg	< 10 mg/kg	< 50 mg/kg
Resultado							
Analista							
Fecha							
Lote							
Firma							

CAPÍTULO XI: TRATAMIENTO DE EFLUENTES

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

11.1 Introducción

Los efluentes que produce la industria biotecnológica revisten una importancia particular, ya que contienen altas concentraciones de materia orgánica. Ésta es fácilmente oxidable por microorganismos presentes en los cursos de agua, disminuyendo rápidamente el oxígeno disuelto (con las consecuencias que esto significa). Asimismo, debido a las diversas etapas de concentración y purificación del producto, distintas sustancias terminan inexorablemente en las aguas residuales en forma de suspensión, de coloide o disolución.

Dada la toxicidad para el ecosistema que muchos de los efluentes portan, se hace necesario previo al vertido, principalmente en cursos de agua, el tratado de éstos. Entre los parámetros que se utilizan para determinar la posibilidad de desechar un efluente se encuentran: concentración de oxígeno disuelto (OD, mg/l), demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), pH, color, turbidez, dureza (mg/l), sólidos disueltos totales (STD, mg/l), sólidos en suspensión (SS, mg/l), concentración de productos tóxicos (mg/l), olor y temperatura. Los parámetros a emplear dependen de las normativas a las que se ajuste cada sector; a nivel nacional, por ejemplo, se contempla la presencia de metales tales como cromo, mercurio y plomo, entre otros compuestos.

Este capítulo tiene como objetivo la descripción de los efluentes producidos a lo largo del proceso de producción de L-lisina HCl, reconociéndolos y tratando de caracterizarlos por los parámetros antes descriptos. Adicionalmente, se detallan los métodos actuales para el tratamiento de este tipo de efluentes y se diseña o adopta, según sea el caso, un sistema acorde a las necesidades de la planta.

11.2 Tipos de tratamiento de efluentes

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente y se asocian a la eficiencia en la remoción de los contaminantes indeseados. De acuerdo a esto, existen tres niveles de tratamiento de los fluidos vertidos: tratamiento primario, secundario y terciario. El tratamiento primario se utiliza para la eliminación de sólidos en suspensión y materiales flotantes. El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos convencionales, mientras que el tratamiento terciario supone la eliminación de contaminantes que no se remueven con los tratamientos biológicos convencionales. Éstos últimos se llevan a cabo cuando se requiere reutilizar el agua (se elimina hasta el 99% de los sólidos).

En algunos casos, cabe señalar, se incluye un pretratamiento en el que se remueven los elementos de mayor tamaño, tales como papeles, pelos y plásticos, entre otros. Para ello se utilizan tamices o rejillas.

En la Tabla 11.1 se mencionan los diversos tratamientos característicos para cada nivel de depuración.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 11.1. Diversos tipos de tratamientos de efluentes.

Tratamiento primario
Cribado Sedimentación Flotación Separación de aceites Homogenización Neutralización
Tratamiento secundario
Lodos activos Aireación prolongada Estabilización por contacto Lagunaje con aireación Estabilización por lagunaje Filtros biológicos (percoladores) Discos biológicos Tratamientos anaeróbicos
Tratamiento terciario
Microtamizado Filtración Precipitación y coagulación Adsorción (carbón activado) Intercambio iónico Ósmosis inversa Electrodiálisis Cloración y ozonización Procesos de reducción de nutrientes

Las distintas operaciones también pueden clasificarse a nivel general en físicas, químicas y biológicas.

11.2.1 Tratamientos físicos

En los tratamientos físicos intervienen fenómenos de esta índole, aunque debe reconocerse que muchos de ellos se utilizan como pretratamiento. En este tipo se encuadran:

- Adsorción (carbón activado).
- Desorción (stripping).
- Evaporación.
- Extracción líquido-líquido.
- Filtración.
- Flotación natural o provocada por aire.
- Homogenización y equalización de caudales.
- Intercepción de aceites y grasas.
- Remoción de sólidos mediante enrejado.
- Sedimentación.
- Tratamiento con membranas.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

11.2.2 Tratamientos químicos

En este tipo de operaciones, la eliminación de contaminantes presentes se efectúa mediante la adición de determinados reactivos químicos con propiedades específicas que interactúan con determinados compuestos presentes en los efluentes. Entran en esta clasificación:

- Coagulación-floculación: en la coagulación se desestabilizan determinadas partículas coloides, principalmente a través de la neutralización de su carga eléctrica y utilizando ciertos coagulantes. La floculación, por su parte, supone la agrupación de estas partículas descargadas, las cuales se ponen en contacto entre sí para formar flóculos capaces de ser retenidos en etapas posteriores. Aquellos productos que favorecen la formación de los flóculos se denominan agentes floculantes.
- Intercambio iónico: se emplean resinas que interactúan con los caudales removiendo determinados iones. Se utiliza, por ejemplo, en la eliminación de la dureza del agua.
- Neutralización: el agregado de ácidos o bases fuertes proporcionará un equilibrio en la concentración de hidronios u oxidrilos, según sea el caso.
- Oxidación-reducción: algunos oxidantes como peróxido de hidrógeno, ozono, cloro, permanganato de potasio o reductores como el sulfito de sodio se añaden para producir la deposición de diversos sólidos.
- Precipitación química: se realiza la mayor parte de las veces añadiendo hidróxido de sodio, sulfatos o sulfuros. Al incorporar estas sustancias a las aguas residuales conteniendo metales, se forman hidróxidos o sulfuros de los metales, según sea el caso, los cuales tienen una solubilidad limitada en el agua. Utilizando esta técnica se remueven la mayoría de los metales y algunas especies aniónicas, como sulfatos y fluoruros.
- Reducción electrolítica: este tratamiento incluye reacciones de oxidación-reducción sobre la superficie de electrodos que provocan la deposición de los contaminantes. Suele emplearse en la recuperación de elementos valiosos.

11.2.3 Tratamientos biológicos

Este tipo de tratamiento es realizado por microorganismos que digieren la materia orgánica presente en los efluentes. Generalmente se utilizan bacterias, que consumen las sustancias presentes en los líquidos residuales como nutrientes, generando masa celular y excretando otros compuestos más livianos, como gases.

En el procesamiento, los microorganismos forman flóculos por agregación que deben ser separados posteriormente como lodos mediante sedimentación o decantación, de otra forma recontaminan las aguas.

Generalmente este tipo de tratamiento se lleva a cabo en lagunas, las cuales pueden ser aeróbicas o anaeróbicas. Para la construcción de estos sistemas se utilizan terraplenes de tierra, asegurándose la adecuada impermeabilización del fondo y laterales (para que no se produzcan filtraciones que contaminen las napas). Entre los principales tipos de lagunas se encuentran:

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Lagunas anaeróbicas: como su nombre lo indica, se produce la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Suelen tener profundidades de entre 4 y 6 m y ubicarse en zonas rurales debido a los olores fuertes que produce. Los tiempos de retención son, sin embargo, cortos (entre 3 y 5 días).
- Lagunas aeróbicas: el oxígeno se obtiene a partir de las algas, que son las encargadas de mantener las condiciones aerobias. La profundidad suele ser menor que las anaeróbicas (de entre 0,3 y 0,5 m), lo que aumenta la superficie a cubrir. Tienen bajos costos de operación y mantenimiento, pero su eficiencia suele ser variable al estar condicionada por los factores tales como la radiación solar, agitación del viento y la temperatura ambiente.
- Lagunas aireadas: si el espacio es limitado, se recurre a la agitación mecánica para asegurar las condiciones aeróbicas. Esto supone un aumento en los gastos operativos aun contemplando el ahorro de espacio. Tienen un rendimiento en la depuración de entre el 50 y 60 %, lo que se debe principalmente a la presencia de sólidos en suspensión. Suelen estar acompañadas de lagunas facultativas para aumentar la eficiencia global.
- Lagunas facultativas: en las capas inferiores yacen microorganismos anaerobios (facultativos), mientras que en las superiores convergen los aerobios. Las algas en las capas superiores producen oxígeno por fotosíntesis, durante las horas de luz solar. Este oxígeno lo utilizan las bacterias para la degradación de la materia orgánica. A su vez, los productos de estas últimas (CO_2 , NH_3 , PO_4^{3-}) son empleados por las algas. Tienen un buen rendimiento (70 – 80%), por lo que pueden ser el único tipo de tratamiento biológico empleado. Sin embargo, la altura útil disminuye constantemente con la deposición de lodos (partiendo de una profundidad de 1,5 a 1,8 m), por lo que es necesaria la construcción de otra laguna para dejar secar cuando la altura impida el procesamiento. Suelen tener tiempos de retención de entre 10 y 12 días.

Otros tipos de tratamiento biológico que utilizan intensivamente el espacio y merecen ser señalados son:

- Lodos activos: se incorporan microorganismos en forma de flóculos a un depósito agitado y aireado mecánicamente. Luego de un tiempo suficiente, el líquido tratado se envía a un clarificador donde sedimentan los fangos bacterianos. Tienen alta eficiencia (90 – 95%) pero naturalmente suponen altos costos de operación y mantenimiento, como así también de inversión.
- Filtros bacterianos: en este caso los microorganismos están fijos en un soporte por el que fluyen las aguas a depurar. Se debe asegurar la incorporación constante de oxígeno dado que es un método aerobio.
- Biodiscos: intermedio entre lodos y filtros. Grandes discos en una mezcla de agua residual con microorganismos, que facilitan la fijación y degradación de éstos.

11.3 Normativa sobre el vertido de efluentes

La normativa sobre tratamiento de efluentes se extiende generalmente a nivel nacional y provincial (en algunos casos también municipales). En la Tabla 11.2 se fijan los límites establecidos para el vertido de aguas de acuerdo a la Ley Nacional 26221.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 11.2. Límites establecidos para el vertido de aguas.

Parámetro	Desagüe a cuencas	Descarga cuerpo receptor		
		Sin tratamiento	Con tratamiento primario	Con tratamiento secundario
pH	5,5 – 10	6,5 – 8	6,5 – 8	6,5 – 8
Sustancias solubles en éter (SSEE, mg/l)	100	100	100	100
Sulfuros (mg/l)	1	-	-	1
Temperatura (°C)	45	45	45	45
DBO (sobre muestra bruta, mg/l)	200	300	180	30
DQO (mg/l)	-	-	-	125
Consumo de oxígeno de KMnO ₄ (Sobre muestra bruta)	80	120	70	-
MES (mg/l)	-	-	-	35
Cianuros totales (mg/l)	1	1	1	1
Cianuros destructibles por cloración (mg/l)	0,1	0,1	0,1	0,1
Hidrocarburos totales (mg/l)	50	100	100	50
Cromo III (mg/l)	2	2	2	2
Cromo VI (mg/l)	0,2	0,2	0,2	0,2
SRAO detergentes (mg/l)	5	5	5	3
Cadmio (mg/l)	0,1	0,1	0,1	0,1
Plomo (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,5
Mercurio (mg/l)	0,005	0,005	0,005	0,005
Arsénico (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,5
Sustancias fenólicas (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,5
Plaguicidas y herbicidas	-	Igual límite que para captación	Igual límite que para captación	Igual límite que para captación

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

11.4 Caracterización de los efluentes de la planta

La industria farmacéutica por sus diferentes modalidades en las operaciones produce residuos de variadas composiciones y concentraciones. En este sentido, Ramos Alvaríño (2005), clasifica los residuos generados por la industria farmacéutica en cuatro tipos principales:

1. Aguas de procesos químicos con gran carga contaminante, entre las que se encuentran disolventes y sustancias poco biodegradables, cianuros y metales pesados.
2. Aguas de procesos con gran carga de materia orgánica biológica proveniente de los caldos de fermentación.
3. Aguas de lavado de procesos, de limpieza y contaminadas accidentalmente, en las cuales se encuentra materia orgánica, disolventes y sustancias poco biodegradables como cianuros, metales y ácidos o bases.
4. Aguas similares a las urbanas, proveniente de sanitarios y agua de refrigeración indirecta, con materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión.

De estos cuatro tipos de residuos líquidos, la planta productora de L-lisina HCl presenta como principales efluentes las aguas de procesos y aguas de lavado de procesos.

En la Tabla 11.3 se exponen las corrientes que forman parte de dicho efluente, así como su composición, caudal, pH y temperatura.

Si bien existen algunos más, éstos se omiten por tratarse de agua que se obtiene de, por ejemplo, la evaporación o el secado; lo que significa que puede dársele otro uso.

Tabla 11.3. Corrientes que forman parte del efluente a tratar.

Denominación	Descripción	Composición	Caudal (kg/h)	pH	Temperatura (°C)
P	Retenido centrífuga C-01	-Restos celulares -Restos de medio de cultivo y agua	136,65	6 – 6,5	30
R	Permeado de adsorción AD-01	-Restos de medio de cultivo y agua -L-lisina (pérdida)	1806,74	6 – 6,5	25

En cuanto a las corrientes anteriores, dada su naturaleza orgánica y su contigüidad en el proceso, se tratan conjuntamente. Entre las características que tienen en común se encuentran el pH y la composición parcialmente (conteniendo ambos restos celulares y de medio). Dado que el componente mayoritario en cada una de las corrientes es agua, se asume como caudal volumétrico el mismo que significaría una corriente de agua pura.

11.5 Selección del método de tratamiento de efluentes

Al momento de seleccionar un método para el tratamiento de efluentes debe considerarse que sea:

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- a) De fácil construcción y durable en el tiempo;
- b) Económico en el uso de energía y en su funcionamiento;
- c) Eficiente en la remoción de los contaminantes indeseados, que no produzca otros;
- d) Estable frente a interrupciones de energía y variaciones de flujo por causas inherentes al proceso;
- e) Modular, para que permita ampliaciones conforme crezca el proceso productivo;
- f) Simple en su operación, control y mantenimiento.

Los sistemas biológicos llevan la delantera en muchos de estos criterios, principalmente en eficiencia técnica y rendimiento económico. Por ello, se diseña un sistema de tres etapas con tratamiento biológico como etapa final.

En la Tabla 11.4 se resumen los tratamientos a llevar a cabo. No se incluye un pretratamiento dado que no se aprecian partículas de tamaño significativo que ameriten la incorporación de rejillas o tamices. Tampoco se adopta un sistema de nivel terciario dado que el efluente no está destinado al uso humano (aseo, consumo, cultivo, ganadería o recreación).

Tabla 11.4. Tratamientos que se llevan a cabo.

Orden	Tipo de tratamiento	Operación seleccionada	Descripción
1º	Tratamiento Primario	Neutralización química	Estabilización del pH con cal
2º	Tratamiento secundario	Tratamiento biológico	Se diseña un sistema de estabilización y un tratamiento de lodos

11.5.1 Neutralización química

Teniendo en cuenta que el pH de las corrientes P y R ronda los 6, se procede a la neutralización con cal para llevarlo a los valores establecidos (mínimo de 6,5). Para ello se diseña una cámara de inspección, en la cual se monitorea constantemente el pH para de este modo controlar el tiempo de retención. Éste último no debe superar los 20 minutos para evitar precipitaciones de cualquier tipo.

La cámara seleccionada responde al caudal a tratar, 1,94 m³/h, en este caso. Pero dado que los fermentadores son batch, los efluentes se obtienen con la finalización de cada ciclo, el cual dura 72 h. Teniendo en cuenta esto último, la cámara procesará el caudal del ciclo completo en 6 h (tiempo de operación del ultrafiltro), con un tiempo de retención de 15 minutos. Para ello la cámara deberá tener 0,78 m³, los cuales (incluyendo un límite de seguridad del 30%) se reparten en 1,02 m de largo y ancho y 0,75 m de alto.

La cal se adiciona en forma de rocas y dado el paso rápido del efluente por la cámara, deberán ser reemplazadas al observar desgaste.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

11.5.2 Tratamiento biológico

Como se explicó en secciones anteriores, el efluente que se obtiene en esta planta es puramente orgánico. Esto significa que no deben removerse metales o sustancias tóxicas sino restos de medio celular y medio de cultivo. Dado este panorama, parece lógico el diseño de un sistema microbiano capaz de ultimar los restos de medio de cultivo y digerir los remanentes de medio celular.

En este sentido, una laguna de estabilización, y más aún una laguna de tipo facultativa, cumple con los requisitos solicitados al ser económica (baja inversión, costo de operación y mantenimiento). Además, no requiere sistema de aireación y cumple ampliamente con su función (alcanzando rendimientos del 80%): se precisan tiempos de residencia de entre 10 y 30 días, pudiendo lograrse durante este periodo una degradación del 80% de la materia y una reducción del 50% de sólidos, partiendo de barros de entre 20 y 60 g/l de desecho sólido.

El diseño de lagunas de estabilización se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante procedimientos simplificados, tanto empíricos como racionales. Estos basan sus cálculos en la carga volumétrica (g DBO₅/m³día), en la carga superficial (kg DBO₅/ha día) o en el tiempo de retención el cual se supone en 20 días (promedio).

En la Tabla 11.5 se resumen los parámetros de diseño.

Tabla 11.5. Parámetros de diseño de laguna de estabilización.

Parámetro	Valor
Caudal a tratar (m ³ /día)	46,63
Tiempo de retención (días)	20
Profundidad fijada (m)	2
Relación largo/ancho	2
Sobredimensionamiento	30%
Temperatura ambiente promedio (°C)	20
Temperatura laguna promedio (°C)	35

De acuerdo a los parámetros de la Tabla 11.5, se requiere una laguna de 1212,38 m³. Esto significa, considerando la profundidad, un área de 606,19 m². Dado que se recomienda la construcción de mínimamente dos lagunas (para mantenimiento y para hacer frente a posibles problemas en el funcionamiento). Con la relación largo/ancho adoptada, se obtiene un ancho de 6 m y un largo de 12 m para cada laguna.

Factores constructivos adicionales tenidos en cuenta:

- Ubicación física (determinada en el capítulo 4).
- Impermeabilización del suelo con membranas.
- Protección de taludes externos con césped y drenajes para lluvia.
- Protección de taludes internos con losetas prefabricadas.
- Acceso vehicular para mantenimiento.

CAPÍTULO XII: OBRAS CIVILES

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

12.1 Introducción

En este capítulo se esbozan las características constructivas generales de la planta de producción de L-lisina HCl, la cual se halla ubicada en el Parque Industrial de San Miguel de Tucumán. El predio cuenta con una superficie total aproximada de 13442 m², en el cual se instalarán la totalidad de las áreas y sectores de la planta que a continuación se detallan:

- Área de servicios auxiliares.
- Comedor, baños y vestidores.
- Depósito de insumos, materias primas y producto terminado.
- Laboratorio.
- Puesto de seguridad y estacionamiento.
- Oficinas administrativas y directivas.
- Sala de caldera.
- Sector de concentración, purificación y envasado del producto.
- Sector de prefermentación y fermentación.
- Sector de pretratamiento.
- Sector de tratamiento de efluentes.
- Taller de mantenimiento.

El terreno en cuestión para la edificación de la planta cuenta con los siguientes servicios disponibles:

- Red eléctrica de baja y media tensión.
- Red de agua corriente.
- Red de media y alta presión de gas natural.
- Red de cloacas.
- Sistema de desagües pluviales.
- Iluminación interior y alumbrado público exterior.
- Sistema hidrante contra incendios.
- Doble cerco perimetral.
- Sistema de control de ingresos y egresos.

12.2 Disposiciones generales

El terreno seleccionado dentro del predio se encuentra ubicado en una esquina con orientación norte como se aprecia en la Figura 12.1 y 12.2. Por lo tanto, tiene acceso por las calles que se ubican sobre sus lados Noreste, Norte y Sur. Dado que se ingresa al parque por el Sur, se determina el ingreso a la planta por la calle principal. El terreno se ubica a 200 m del puesto de seguridad de la entrada al parque.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química



Figura 12.1. Terreno seleccionado dentro del Parque Industrial Tucumán.



Figura 12.2. Ubicación del terreno seleccionado.

Como primera disposición, se alza para el predio un cerco perimetral con premoldeados de hormigón armado y alambre olímpico (romboidal) con terminación de tres líneas de alambre de púas. El mismo tendrá una altura de 2 m y una extensión de 474 m, teniendo en cuenta que el terreno es un rectángulo a 45° de 94 m por 143 m aproximadamente.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Para el correcto desplazamiento dentro del predio, se traza una red de calles internas pavimentadas y señalizadas, por las que circularán tanto los vehículos de transporte y personales como así también el personal a pie.

Cabe señalar que además de la luminaria del predio, de las calles internas y de las distintas construcciones, el paisaje del predio se ve afectado por estructuras metálicas que sostienen las tuberías de transporte de materias primas, productos intermedios y terminado, como así también servicios auxiliares, las cuales deberán tener una altura suficiente para permitir la circulación interna de camiones y otros vehículos de tamaño semejante. De acuerdo a esto, y dependiendo también de la entrada y salida de los equipos, se fija en 4,5 m (elevación suficiente para los 4,3 m fijados por el Mercosur).

En cuanto a las instalaciones edilicias propiamente dichas, con excepción del estacionamiento que sólo presenta un toldo y la zona de tratamiento de efluentes que lleva un techo de chapa, el resto de las áreas y sectores se encuentran bajo techo y paredes de hormigón. Sin embargo, muchas áreas se unifican en espacios comunes para aprovechar y minimizar las zonas cubiertas. En otros casos, por cuestiones de seguridad o particulares de funcionalidad, sugieren que dicho sector se encuentre aislado del resto.

Antes de determinar el área de cada sector, se fijan las consideraciones hechas a tal objetivo:

- Maximizar la funcionalidad de cada sector y de la planta en su totalidad.
- Minimizar el área cubierta y los desplazamientos de vehículos y personal.
- Tener en cuenta futuras ampliaciones e incorporaciones de equipos.
- Promover una eficiente comunicación entre las áreas y las personas que allí se encuentran.
- Facilitar el flujo de corrientes y de información.

En la Tabla 12.1 se muestran las edificaciones a emplazar, los sectores dentro de cada una de ellas y la superficie que tendrá cada uno de éstos. Por último, en la Figura 12.3 se exhibe la distribución general de la planta, mientras que en el Anexo 2 se adjuntan los planos correspondientes. Es necesario aclarar que los croquis de este capítulo no se encuentran a escala.

Tabla 12.1. Edificaciones presentes en la empresa.

Edificio	Sectores	Área (m ²)	Área total (m ²)
I	Oficinas administrativas	273,6	273,6
II	Baños y vestidores	163	257,35
	Comedor	36,75	
	Laboratorio	57,6	
III	Sector A: Pretratamiento	536	1987
	Sector B: Prefermentación y fermentación	800	
	Sector C: Concentración, purificación y envasado	651	
IV	Sector D: Depósito de insumos y materia prima	24	204

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

	Sector E: Depósito de producto terminado	180	
V	Taller de mantenimiento	56	56
VI	Sala de caldera	42	42
VII	Servicios auxiliares	202,93	202,93
VIII	Tratamiento de efluentes	196	196
IX	Seguridad	4	796
	Estacionamiento	792	

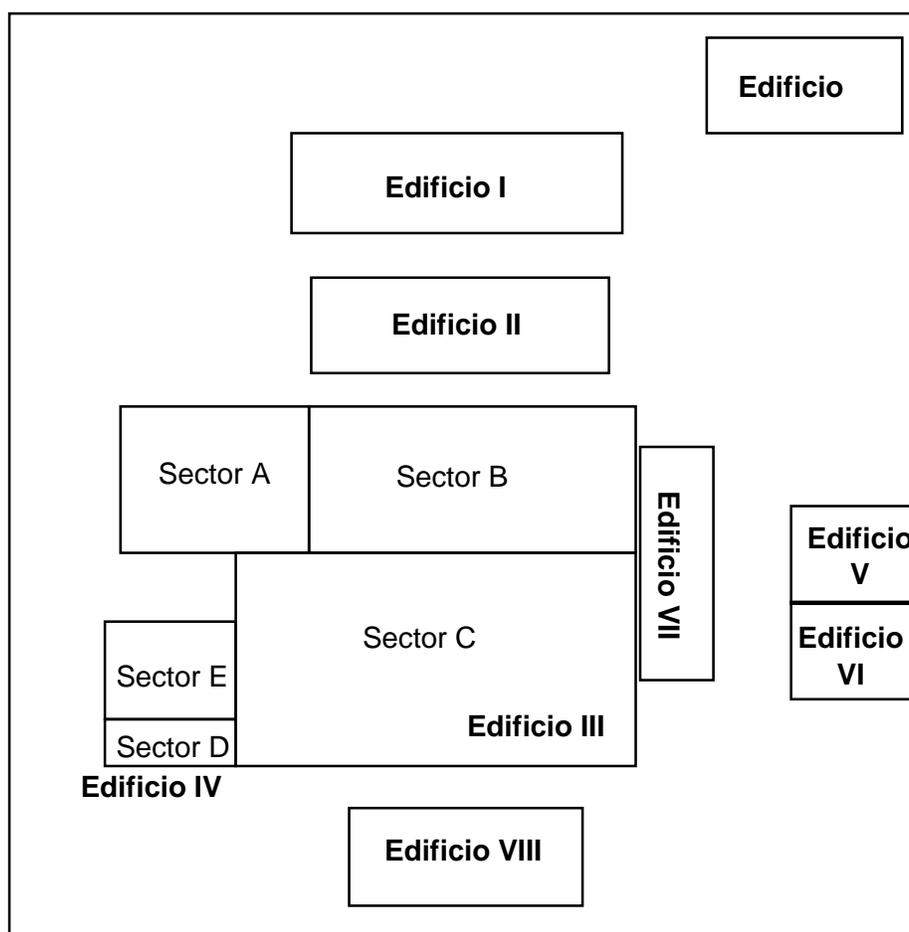


Figura 12.3. Distribución general de la planta.

12.2.1 Galpón general

El galpón principal de la empresa se construye con paredes de ladrillo block hormigón de 19 x 19 x 39 centímetros hasta una altura de 3,5 metros, completando con chapa acanalada galvanizada la altura total. En cuanto al techo, se construye con vigas de acero y chapa acanalada galvanizada con una pendiente para el escurrimiento de agua.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

El piso general se construye de hormigón endurecido para el soporte de los equipos y recorrido de carga pesada de materiales. Además posee un sistema de desagüe con la pendiente necesaria para evitar acumulación de líquidos.

12.2.2 Área de servicios auxiliares

Esta sección se encuentra al aire libre, contemplando: torres de enfriamiento de agua, compresor de aire, tanques de limpieza CIP, sistema de enfriamiento con amoníaco y tanque de distribución de agua. Debe ubicarse cercana al sector de fermentación, ya que es el área que más requiere de estos servicios.

Los pisos son de hormigón con endurecimiento de superficie, para obtener alta resistencia frente a la carga. El espaciado es de 1 m, distancia mínima para permitir el paso de hombre y tareas de mantenimiento, cuando sean necesarias. Sin embargo, todos los equipos se instalan de forma tal que se comuniquen con la periferia (y las calles internas) para facilitar el llenado y su eventual reemplazo.

En la Figura 12.4 se muestra la distribución de este sector.

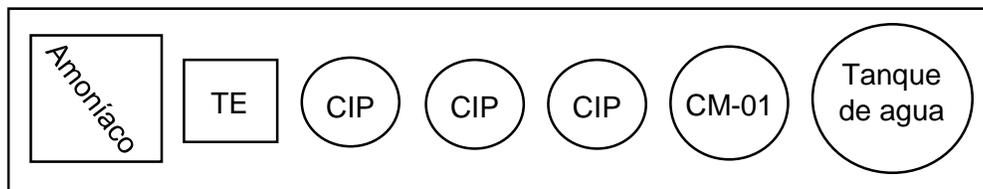


Figura 12.4. Área de servicios auxiliares.

12.2.3 Comedor, baños y vestidores

El edificio II contiene los baños, los vestidores y el comedor. Aledañosamente, se encuentra el laboratorio de la planta. En la Figura 12.5 se exhibe la distribución de este edificio. Las características constructivas de este espacio son:

- Paredes externas con bloques de hormigón de 19 x 19 x 39 cm.
- Terminaciones en ambos lados con revoque grueso, fino y pintura látex.
- Recubrimiento con azulejos hasta los 1,5 m para el lado interno.
- Cubierta superior a los 3,5 m con hormigón, poliestireno y pintura impermeabilizante.
- Pisos con mosaicos graníticos.
- Aberturas de aluminio.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Instalación de gas natural, agua y electricidad.

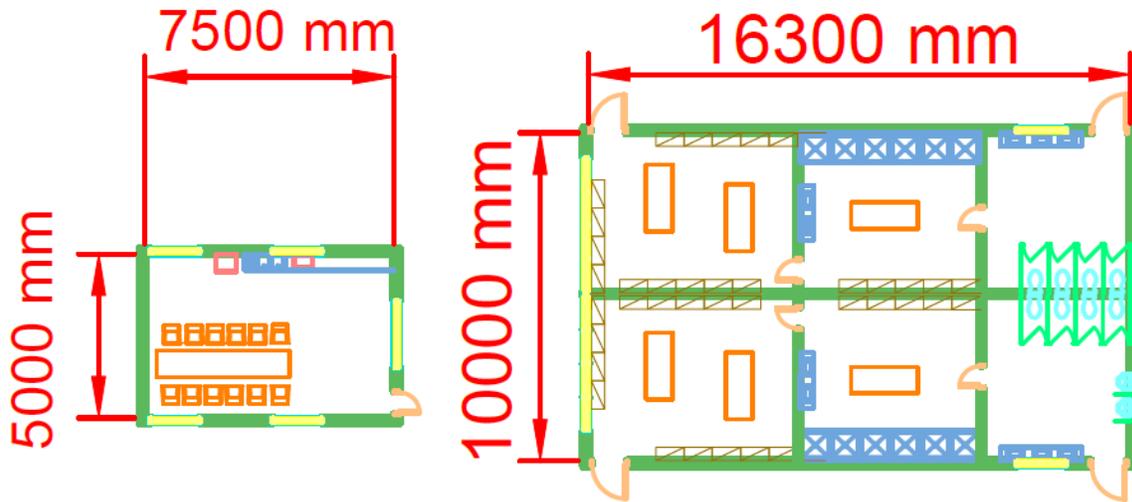


Figura 12.5. Comedor, baños y vestuarios.

El comedor tiene una superficie de $36,75 \text{ m}^2$, y si bien no posee servicio diario, tiene los electrodomésticos necesarios (heladera y microondas) para que el personal desayune, almuerce y consuma sus colaciones durante los breaks. El mobiliario incluye bajo mesada, mesas y sillas, como así también la totalidad de los utensilios necesarios.

Los baños y vestidores, por su parte, se distribuyen a ambos lados de un pasillo central (para cada sexo). Cada espacio contiene un sector que funciona como vestidor, con una serie de bancos y armarios dobles (uno destinado a la ropa de calle y el otro a la de trabajo); un sector de duchas y baños (en el de hombre se incluyen mingitorios). Los módulos de guardarropas y de bancos se adquieren en Guardalock S.A. y se muestran en la Figura 12.6.



Figura 12.6. Módulos de guardarropas y bancos adquiridos.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

12.2.4 Depósito de insumos, materias primas y producto terminado

La materia prima e insumos y el producto terminado se almacenan en dos depósitos diferentes. Ambos son de 5 metros de altura. El depósito para el producto terminado tiene 180 m² (20 m x 9 m) y el de materias primas e insumos, 24 m² (4 m x 6 m).

Entre las características constructivas cabe mencionar: techo parabólico cubierto con chapas de acero galvanizadas, paredes de ladrillo bloque de 19 x 19 x 39 cm, revoque grueso y fino, pintura látex y pisos de hormigón con endurecimiento de superficie.

En su interior se dispone de las estanterías necesarias, amoblamientos para reactivos específicos y pallets.

12.2.5 Laboratorio

De acuerdo a Vogel (1997), todo laboratorio microbiológico debe contener:

- Área de lavado de equipos y vajilla;
- Área de preparación de medio: se requiere una fracción importante del espacio para el crecimiento celular en frascos, placas de Petri y fermentadores experimentales. En adición, se requieren equipos para la preparación y homogenización del medio, el seguimiento celular y el consumo de nutrientes del medio;
- Salas de inoculación: generalmente se utilizan habitaciones separadas para trabajar con bacterias, hongos y estudios de esterilización. Suele utilizarse iluminación UV de alta intensidad para las habitaciones cuando están cerradas;
- Áreas de incubación;
- Oficinas: los archivos y la administración requieren de una o dos oficinas, dependiendo del tamaño del personal;
- Laboratorios privados: en algunos casos, son imprescindibles pequeños laboratorios separados para el aislamiento y mutación de cepas, y el testeado de fermentadores. Se provee de espacio en estos casos para microscopios, equipamiento para análisis de ADN, ATP, contadores de células, etc;
- Otros: espacios provistos para refrigeradores y freezers, baños y cocina.

De todos los apartados anteriores se prescinde de la cocina, dado que en el espacio aledaño se encuentra la que pertenece a la planta. Dado el tamaño de la planta, sólo es necesario un espacio por ítem, tratando de combinar siempre que sea posible la mayoría de ellos en espacios comunes.

Las características constructivas del laboratorio son las mismas que las del edificio II al que pertenece (en la Figura 12.7 se muestra cómo se distribuye cada sector).

Características adicionales son: la inclusión de mesadas de trabajo, equipadas con bachas y bajo mesadas, estanterías y cajoneras. En cuanto a los servicios necesarios, se adopta adicionalmente un sistema de ventilación con filtración de aire.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

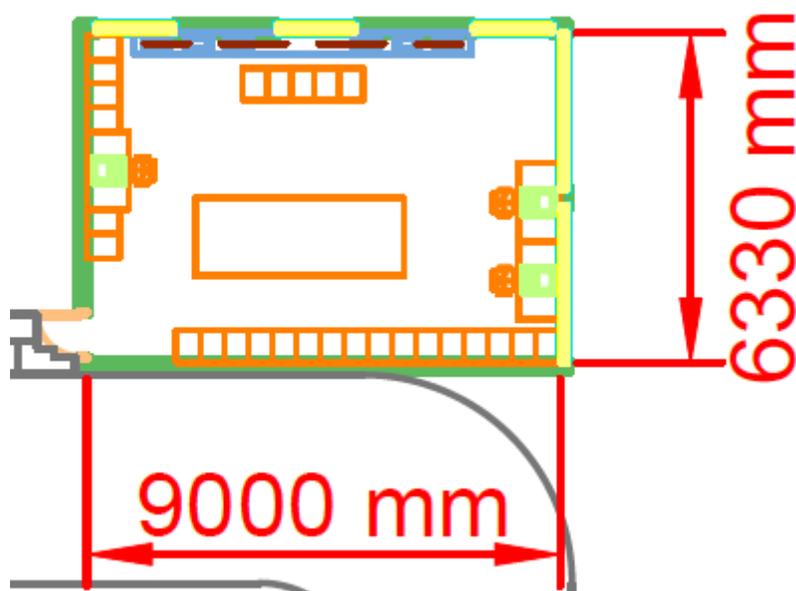


Figura 12.7. Distribución del laboratorio.

12.2.6 Puesto de seguridad y estacionamiento

Como se menciona más arriba, el acceso a la planta se ubica sobre la calle principal del predio. Allí se emplaza una barrera al paso y un puesto de seguridad. Este último tiene funciones más bien relacionadas con el control interno de la empresa, dado que el parque ya posee seguridad propia. En dicha cabina, se controla la entrada y salida del personal (mediante reloj biométrico), como así también de proveedores, clientes y visitas y sus materiales de transporte.

El estacionamiento, por su parte, incluye un sector para bicicletas y motocicletas, como así también uno para automóviles.

En el caso de los automóviles, se tiene un área de 792 m²; la cual tiene una capacidad para, reservando el primer lugar para personas con discapacidad. Se opta por una orientación a 90° y, a modo de ejemplo, se muestra en la Figura 12.8 la disposición resultante junto a las dimensiones de este sector, las cuales en general están estandarizadas.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

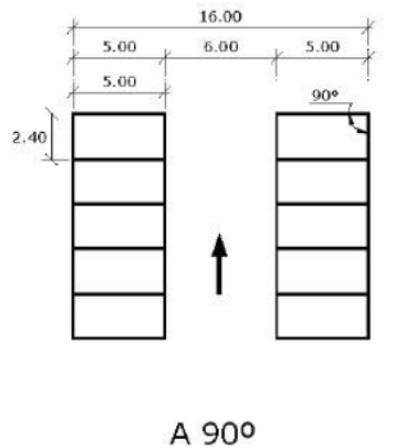


Figura 12.8. Disposición del estacionamiento de automóviles.

Como protección para los vehículos, se emplazan dos toldos impermeables con malasombra tipo dickson (Figura 12.9)

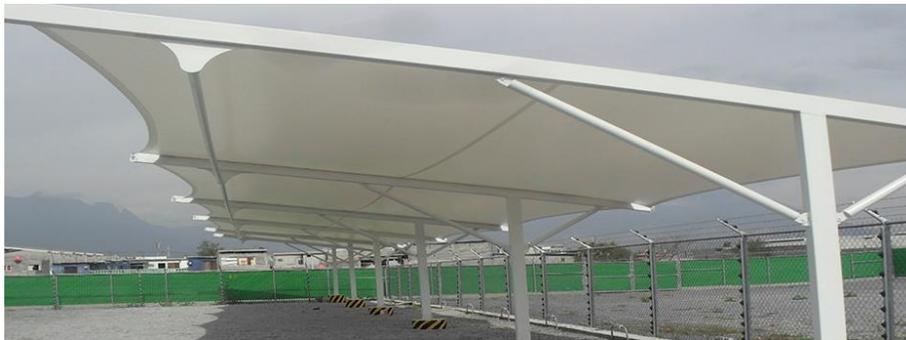


Figura 12.9. Toldos impermeables para proteger los vehículos.

El puesto de seguridad se ubica a la izquierda del ingreso; mientras que el estacionamiento, a la derecha. Se encuentran completamente pavimentados, debidamente señalizados y con la luminaria pertinente.

12.2.7 Oficinas administrativas y directivas

En la Figura 12.10 se muestra el plano con la distribución del edificio I, el cual contiene la recepción, 3 oficinas administrativas, 2 baños, una cocina (cafetería) junto a un estar, una sala de reuniones y la oficina del gerente. Cada área posee el mobiliario y las aberturas correspondientes. Para éstas últimas se escoge como material aluminio.

En cuanto a las características constructivas de este espacio, las paredes externas se construyen con bloques de hormigón de 19 x 19 x 39 cm y terminaciones a ambos lados con revoque grueso, fino y pintura látex. Para las paredes internas, por su parte, se utilizan paneles durlock pintados al látex de 15 cm, mientras que la cubierta superior se realiza a los 3,5 m con hormigón, poliestireno y pintura impermeabilizante. Por último, los pisos se

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

recubren con mosaicos graníticos, los cuales se escogen por alta resistencia, impermeabilidad y durabilidad. Cabe señalar que son fáciles de limpiar y de mantener.

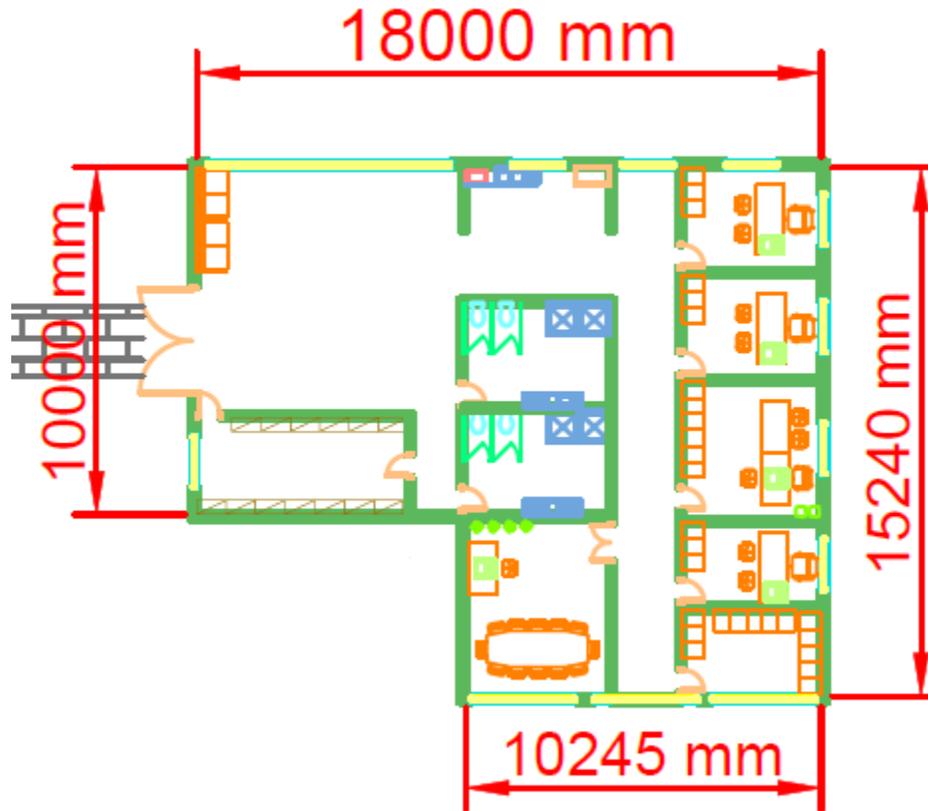


Figura 12.10. Oficinas administrativas y

12.2.8 Sala de caldera

La sala de caldera se erige de acuerdo a las dimensiones de la caldera, que es el equipo que se dispone centralmente en el recinto. Teniendo en cuenta esto, esta sala tendrá 7,5 m de largo por 5,6 m de ancho. En cuanto a la altura, con un techo de 4,5 m será suficiente para los requerimientos de mantenimiento.

Por requisitos de seguridad, éste dispone de una construcción de baja resistencia mecánica (como máximo la mitad de la resistencia de las paredes), ya que, en caso de explosión, se pretende que ésta produzca que el techo vuele.

Se instalan ventilaciones a 0,3 y a 0,5 m del techo y del suelo, respectivamente. Para los orificios se utilizan 5 cm² por kW de consumo térmico.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

12.2.9 Sector de pretratamiento, concentración, purificación y envasado del producto

Los sectores de pretratamiento y purificación, concentración y envasado del producto se encuentran dentro del edificio III. Éste repite las mismas características constructivas que el edificio IV (detallado más arriba), sólo que las dimensiones en este caso serán: para el pretratamiento, 28m por 20m y, para el sector de purificación, 21 m por 31 m. La altura del recinto será de 7 m, con paredes de bloque de hormigón y revestimiento (revoque grueso, fino y pintura látex) hasta los 5 m y chapas galvanizadas hasta los 7 m. el techo será de este último material.

12.2.10 Sector de prefermentación y fermentación

Este sector también se encuentra dentro del edificio III pero separados del resto de los sectores por durlock. Las dimensiones son 40 m por 20m. Las paredes de esta sección tienen una altura de 15 m.

En la Figura 12.11 se muestra el edificio III y su distribución.

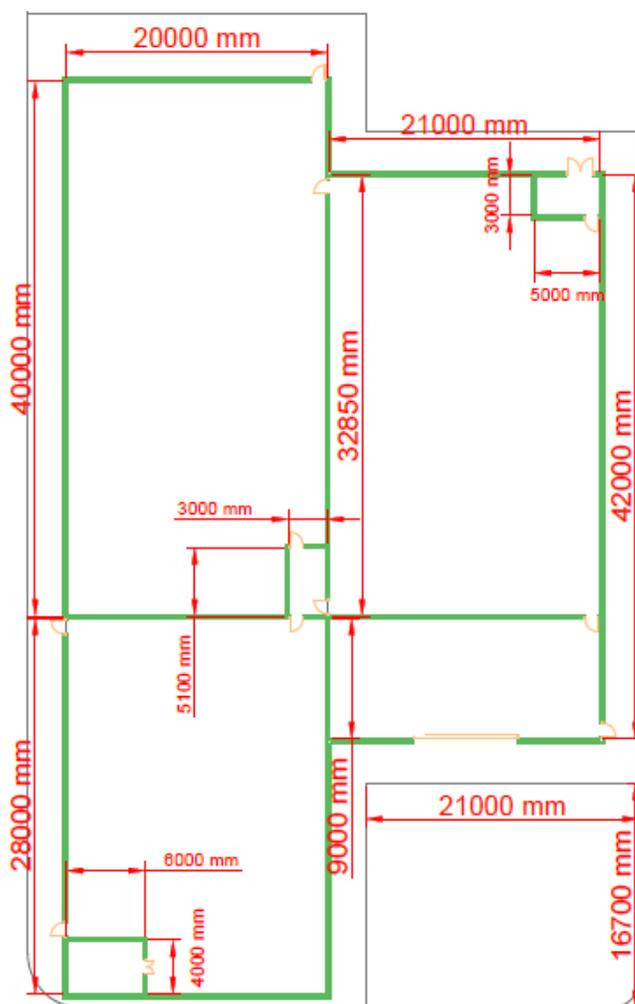


Figura 12.11. Distribución del

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

12.2.11 Tratamiento de efluentes

El tratamiento que debe realizarse a los efluentes se desarrolla en el capítulo anterior. El mismo se encuentra al fondo del predio. Este edificio cuenta con techo de chapa galvanizada y un contrapiso de hormigón de 14 m x 14 m, quedando cubiertos 196 m².

12.2.12 Taller de mantenimiento

Para el taller de mantenimiento se provee un espacio de 7 m x 8 m (56 m²), el cual se considera suficiente para ubicar las distintas herramientas y equipos en arreglo disponibles. Las características constructivas son las mismas que para el depósito de materias primas y producto terminado.

CAPÍTULO XIII: ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

13.1 Introducción

Una empresa se define como el conjunto de personas y bienes que actuando organizadamente persiguen un objetivo en común, ya sea la producción de bienes o servicios, con el fin de obtener un beneficio económico. Para lograr este objetivo es necesaria una estructura funcional que permita un desarrollo eficaz de las tareas que deban realizarse.

En el presente capítulo se define el tipo de personal adoptado, se describen las diferentes áreas que integran la empresa, las funciones de cada puesto de trabajo y se elabora un organigrama donde se especifican los niveles de jerarquía de la misma.

Los empleados de esta industria pertenecen a la industria farmacéutica. Esto significa que corresponden al convenio colectivo de la Asociación de Trabajadores de la Sanidad Argentina (ATSA), cuyo convenio correspondiente es el CCT 42/89.

13.2 Tipo de empresa

La Ley de Sociedades Comerciales 19550 (LSC) de la República Argentina contempla una gran variedad de tipos societarios. Los más utilizados en nuestro país son la sociedad anónima (S.A) y la sociedad de responsabilidad limitada (S.R.L).

Los aspectos a tener en cuenta para seleccionar el tipo de empresa son:

- Las dimensiones de la industria, en base al nivel de producción.
- La responsabilidad que asumen los socios, ya sea ésta del tipo limitada, solidaria o subsidiaria.
- Los impuestos que deberán afrontar según a qué tipo de sociedad representen.
- De acuerdo a la actividad que se lleve a cabo, se disponen de sus respectivas medidas legales y reglamentarias.
- El conocimiento de las virtudes y defectos del mercado, tanto en el mercado nacional como en el internacional, en el que opera la sociedad.

De acuerdo a las características de nuestra empresa en particular, la forma jurídica adoptada para esta empresa es la de sociedad anónima, en donde la responsabilidad de cada socio o accionista es proporcional al capital que haya aportado. Esto hace que este tipo de sociedad represente una seguridad financiera bastante alta respecto a las demás, debido a que sus socios deberán responder, como máximo, con el capital aportado.

Para su conformación se requiere un mínimo de dos accionistas, siendo el máximo ilimitado. Las acciones pueden cotizar o no, en el mercado de valores local. El directorio está compuesto por uno o más miembros, que pueden ser o no accionistas.

Este tipo de sociedad presenta muchas ventajas, entre ellas pueden mencionarse:

- Reúne varios capitales, con la emisión y ventas de acciones.
- El capital social está representado por acciones y los socios limitan su responsabilidad a la integración del aporte y tenencia de éstas.
- La duración de la sociedad es independiente de la vida de sus socios o finalización de los mismos.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- La administración y la fiscalización son realizadas por organismos nombrados por los socios.
- Las decisiones están a cargo de la asamblea de accionistas.
- El capital social mínimo según el artículo 186 de la ley 19550 es de 100000 pesos, con una integración del 25% de las acciones suscriptas.

13.3 Organización de la empresa

En lo que contempla a la estructura de la empresa, se lleva a cabo una clasificación por niveles jerárquicos, los cuales determinan las responsabilidades que posee cada uno de los empleados. Como resultado de este sistema de relaciones, se tiene como objetivos:

- Que cada empleado tenga los conocimientos técnicos adecuados para realizar sus funciones y cumplir con sus obligaciones.
- Tener información de todas y cada una de las actividades que se desarrollan en el trabajo, con el fundamento de dar al trabajador un panorama más claro y de conjunto que haga que la comprensión del objetivo final de la empresa sea eficiente.
- Establecer reglas y política de trabajo.
- Definir una cultura empresarial.

13.3.1 Organización interna

Para la organización interna de nuestra empresa se trabaja con la creación de diferentes departamentos, que ponen de manifiesto las actividades que se realizan en los mismos, como así también a quienes son los encargados de llevarlas a cabo. Cada departamento posee un jefe de área, el cual responde directamente al gerente general de la empresa. En la Figura 13.1 se representa el organigrama de la empresa.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

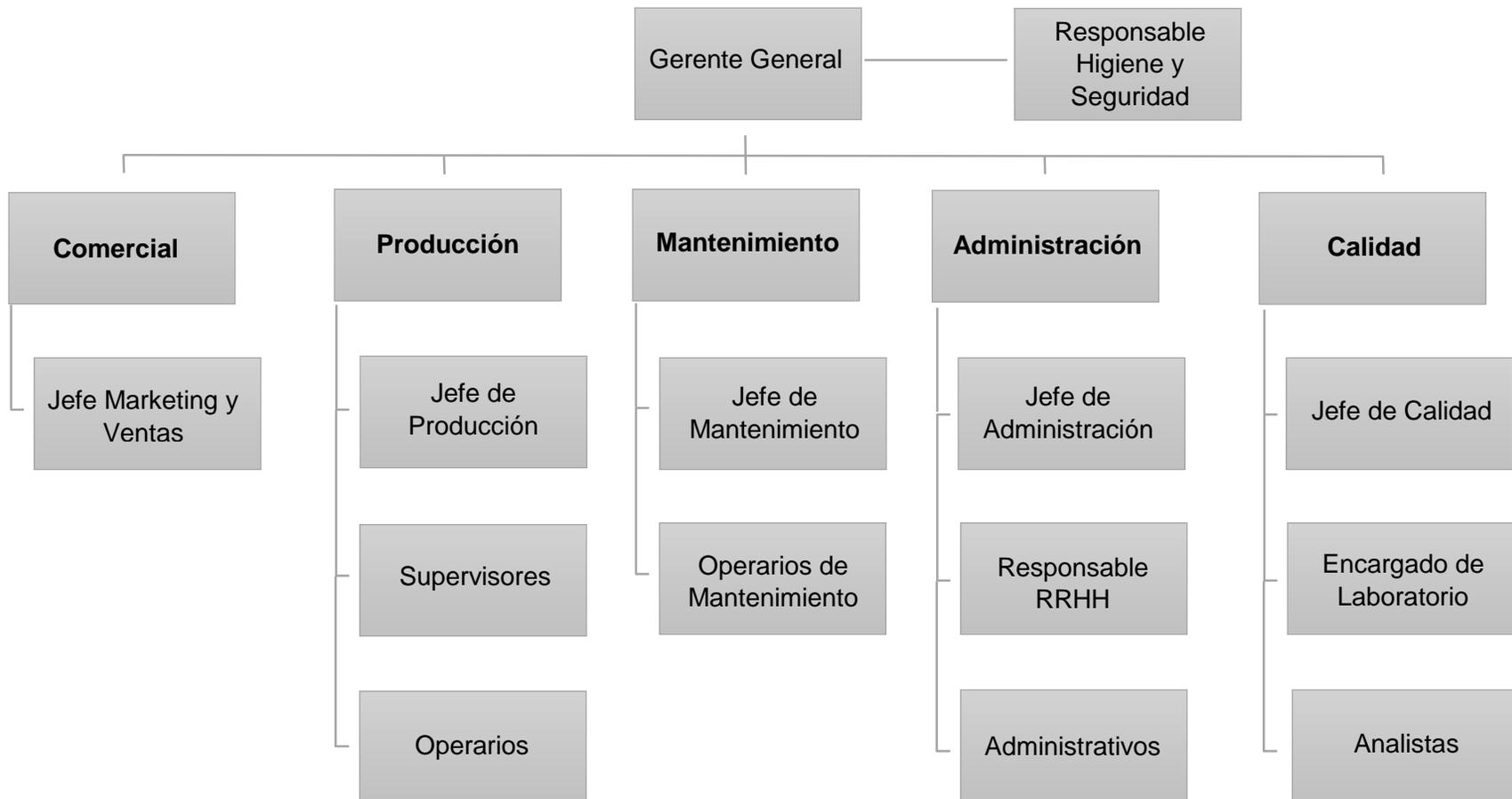


Figura 13.1. Organigrama de la empresa.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

13.4 Descripción de los puestos de trabajo

Las funciones que tiene cada departamento, como así también los miembros que lo componen, se detallan a continuación:

13.4.1 Gerente General

- Es la máxima autoridad de toda la planta.
- Desarrolla y define los objetivos organizacionales.
- Planifica el crecimiento de la empresa a corto y largo plazo.
- Coordina y supervisa los proyectos de inversión que afectan el funcionamiento de la planta y proceso de producción.
- Controla los departamentos y obtiene información de los mismos para la toma de decisiones.
- Ejerce la representación legal de la empresa y participa en reuniones con instituciones públicas y privadas.
- Garantiza el cumplimiento de las normas, reglamentos, políticas, instructivos internos y los establecidos por las entidades de regulación y control.
- Participa en reuniones con Asociaciones, Cámaras, Ministerio y demás instituciones públicas y privadas.
- Controla y supervisa los reportes financieros, comparando los resultados reales con los presupuestados.
- Controla los costos y rentabilidad de la empresa.
- Controla los índices y costos de producción, planes y programas de producción.
- Controla la administración de los recursos monetarios y el cumplimiento de regulaciones en materia tributaria, arancelaria y demás obligaciones legales.

13.4.2 Departamento de Producción

Comprende todo lo relacionado con el desarrollo de los métodos y planes más económicos para la fabricación del producto, coordinación de la mano de obra, obtención y organización de los materiales, instalaciones, herramientas y servicios, fabricación de productos y entrega del producto terminado e informes al área de comercialización. Es su responsabilidad cumplir con los estándares de calidad y seguridad determinados, con el fin de obtener un producto acorde a las exigencias del mercado.

13.4.2.1 Jefe de Producción

- Es el encargado de planificar la producción asegurando el cumplimiento de los planes establecidos.
- Coordina los equipos de trabajo.
- Verifica la calidad, cantidades y las características de los materiales de construcción a su cargo: cañerías y accesorios, válvulas manuales y automáticas, instrumentación, para cada una de las secciones de la planta de acuerdo a su funcionalidad.
- Debe controlar que los operarios trabajen de manera eficiente (trabajando en contacto con los supervisores).

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Debe asegurar que se cumplan, por las condiciones de instalación, la puesta en marcha, mantenimiento preventivo de los equipos; conservando los manuales y las garantías de cada equipo.
- Verifica la calidad técnica de los trabajos que se ejecuten; y de las personas que los lleven a cabo y dirijan éstos.

13.4.2.2 Supervisores

- El supervisor es el encargado de proyectar, dirigir, desarrollar y controlar el trabajo diario.
- Debe planificar el trabajo del día, estableciendo prioridades y manejando efectivamente los recursos disponibles.
- Controla a los operarios, a los cuales debe impartir ordenes claras y precisas, favoreciendo el buen clima laboral y motivándolos para que realicen su tarea correctamente.

13.4.2.3 Operarios de Planta

- Se encargan de manejar los equipos de acuerdo a lo indicado por el supervisor de producción.
- Controlan las distintas variables del proceso, manteniendo la planta en orden y en condiciones de limpieza.
- Completan los registros, informan desperfectos a mantenimiento o desviaciones a calidad.

13.4.3 Departamento de Mantenimiento

Esta sección tiene por finalidad supervisar el mantenimiento de las instalaciones y reparación de equipos, estimando el tiempo y los materiales necesarios para realizarlo. Se planifica, coordina y controla el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos y sistemas eléctricos que se utilizan en las instalaciones.

13.4.3.1 Jefe de Mantenimiento

- Es el encargado de verificar la calidad, cantidades y características de los materiales de construcción que se utilizan en cada sección de la planta.
- Controla la correcta ejecución de las tareas de montaje: soldaduras, conexionado, fijación, soportes, etc.
- Verifica especificaciones técnicas del equipamiento que se va a adquirir, colaborando en la decisión de compra.
- Asegura que se cumplan por las condiciones de instalación, puesta en marcha y mantenimiento preventivo de los equipos; conservando los manuales y las garantías de los mismos.
- Verifica la calidad técnica de los trabajos que se ejecutan y de las personas que los lleven a cabo y dirijan a éstos.

13.4.3.2 Operarios de Mantenimiento

Son los encargados de realizar la supervisión y control de las instalaciones, realizan trabajos de mantenimiento en general.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

13.4.4 Departamento de Calidad

Se encarga de establecer límites de variación en los atributos y variables del producto e informar el estado en el que se mantiene el mismo dentro de esos límites.

Comprende las funciones de desarrollo de métodos de control, control de medidas, inspección y ensayos, reclamos de clientes y recuperación de materiales rechazados o fuera de uso.

13.4.4.1 Jefe de Calidad

- Es el encargado de desarrollar e implementar procedimientos internos y de certificación de normas, para lo cual debe trabajar conjuntamente con las áreas vinculadas.
- Controla que las variables de proceso estén dentro de lo previsto, y de lo contrario, reporta al jefe de Producción.
- Debe contar con equipamiento específico que funcione correctamente y esté calibrado según los patrones establecidos.
- Responsabilizarse del entrenamiento de su personal.
- Debe garantizar que se estén utilizando las materias primas adecuadas y verificar que las actividades de su área se realicen de acuerdo a lo establecido.
- Debe tener registro de todos los procedimientos realizados y de los análisis de materias primas y productos.
- Solicitar toma de muestras en campo y analizar las determinaciones con el objeto de verificar desvíos en las condiciones de proceso.
- Administrar documentación técnica y mantenerla actualizada, en especial de la base de datos del laboratorio.

13.4.4.2 Encargado de laboratorio

- Controla los análisis que realizan los analistas y realiza stock de insumos generales del laboratorio.
- Debe presentar mensualmente un informe al jefe de Calidad con los resultados de los análisis realizados.
- Es el encargado de mantener la seguridad del laboratorio.

13.4.4.3 Analista de laboratorio

- Es el responsable de realizar los controles físico-químicos de materias primas y productos terminados.
- Realiza las tareas que le asigna el encargado de laboratorio.
- Es el encargado de mantener el orden y la limpieza del laboratorio.

13.4.5 Departamento de Administración

Se encarga de la planificación, dirección y medición de los resultados de las operaciones monetarias de la empresa.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

13.4.5.1 Jefe administrativo

- Tiene como función general coordinar, supervisar y controlar la ejecución de los procedimientos administrativos y contables que rigen el funcionamiento interno de la organización.
- Realiza altas y actualizaciones de cuentas de proveedores y clientes, inscripciones y trámites ante organismos oficiales, evaluación crediticia de clientes.
- Confecciona balances mensuales e informes periódicos a solicitud de la gerencia.
- Realiza el control y seguimiento de gastos.

13.4.5.2 Administrativos

Personas encargadas de realizar tareas administrativas establecidas por el jefe de administración.

13.4.5.3 Responsable de Recursos Humanos

Fomenta una relación de cooperación entre directivos y trabajadores para evitar enfrentamientos derivados por una relación jerárquica tradicional. A su vez, fomenta la participación activa entre todos los trabajadores para que se comprometan con los objetivos de la empresa. Establece el monto del salario, mediante el proceso de negociación entre la empresa y los sindicatos de trabajadores. Se encarga del proceso de reclutamiento, selección e ingreso de personal.

13.4.6 Departamento Comercial

Comprende el planeamiento para comercializar el producto en el lugar, cantidad, tiempo y precios adecuados. Incluye las funciones de determinación de políticas de ventas, presupuesto y embalajes.

También dentro de este departamento se encuentra el área de logística, la cual comprende el movimiento de los productos desde el lugar de almacenamiento hasta el punto de utilización o consumo. Incluye las funciones de almacenamiento de producto, expedición y servicio post-venta. Involucra, además, los procesos de compra y recepción de materia prima.

13.4.6.1 Jefe de Marketing, Ventas y Logística

- Entre sus principales tareas se encuentra el cumplimiento de los objetivos de ventas del producto elaborado, alineándose a las políticas de la empresa.
- Debe crear relaciones comerciales con clientes y/o proveedores.
- Asegura el cumplimiento de los objetivos de ventas del producto elaborado, alineándose a las políticas de la empresa.
- Establece la política de precios del producto final.
- Es el encargado de definir e implementar planes de acción para reducir costos, los plazos de entrega y mantener los stocks para responder a las necesidades del cliente.
- Fija junto con la gerencia de la planta y otras unidades de negocios de la compañía, el precio de compra de materias primas.
- Negocia y gestiona la compra y entrega de productos químicos a granel.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Verifica el abastecimiento en tiempo y forma según el plan de producción.
- Trabaja junto con el área legal y administrativa de la planta en la redacción de contratos y órdenes de compra.
- Gestiona el abastecimiento de materiales menores: ropa de trabajo, repuestos para maquinarias de operaciones logísticas y resuelve la logística de repuestos comprados por mantenimiento o pedidos puntuales de producción.
- Realiza el seguimiento de las compras/aprovisionamientos, de la producción y/o distribución de mercancía.
- Realiza informes de costos y trabaja conjuntamente con las áreas legal y administrativa de la planta.
- Realiza mensualmente el stock de la planta, coordinando información con otros sectores.

13.4.7 Responsable de Higiene y Seguridad

Es un profesional externo contratado para controlar el cumplimiento de normas de higiene y seguridad, el estado de las instalaciones y el uso de elementos de protección personal. Dirige los programas de capacitación en materia de seguridad industrial e higiene ocupacional.

13.5 Organización de la producción y turnos de trabajo

La planta funciona 350 días al año, realizando una parada de 15 días para realizar un mantenimiento general. Se trabaja las 24 horas del día, a continuación, se detallan los horarios:

- Horario Central (C)

Para las personas que trabajan en turno fijo el horario a cumplir es de 8 a 17 h, contemplando 1 h para almuerzo. Dentro de este grupo se encuentra el Gerente General, y los departamentos: Administración y Comercial, como así también los jefes de los demás departamentos.

- Horario Rotativo (R)

Se establece para los departamentos de Producción, Mantenimiento y Calidad. Los turnos son de 8 h, distribuidos de la siguiente manera:

- Turno mañana: de 6 a 14 h.
- Turno tarde: de 14 a 22 h.
- Turno noche: de 22 a 6 h.

El responsable de Higiene y Seguridad, al no pertenecer al personal fijo de la planta, no cumple estos horarios, sino que debe cumplir 8 horas mensuales.

13.6 Requisitos de formación y cantidad de personal

En la Tabla 13.1 se detalla la formación requerida para cada puesto, el horario laboral y la cantidad de personas que se necesitan.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 13.1. Requisitos de formación y cantidad de personal.

Cargo a ocupar	Formación	Horario laboral	Cantidad
Gerente General	Ingeniero en Proceso/Químico con formación en Management	C	1
Jefe de Producción	Ingeniero Químico	C	1
Jefe de Mantenimiento	Ingeniero Mecánico	C	1
Jefe de Calidad	Ingeniero en Procesos/Químico	C	1
Jefe de Administración	Licenciado en Administración de Empresas	C	1
Jefe de Comercio	Contador Público especializado en Marketing y Logística	C	1
Responsable de Higiene y Seguridad	Técnico en Higiene y Seguridad Laboral	8 h/mes	1
Supervisor de Producción	Técnico Químico	R	4
Encargado de Laboratorio	Licenciado en Química	C	1
Analistas de Laboratorio	Técnicos Químicos	R	4
	Microbiólogos	C	1
Administrativos	Estudiantes avanzados en carreras contables	C	2
Responsable de RRHH	Licenciado en Recursos Humanos	C	1
Operarios de Producción	Bachiller	R	16
Operarios de Mantenimiento	Bachiller, experiencia en talleres	R	4
Operarios de Caldera	Bachiller, con habilitación técnica de calderista	R	4
Guardia de Seguridad	Secundario completo	R	4
Total empleados			48

CAPÍTULO XIV: AUTOMATIZACIÓN

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

14.1 Introducción

En la era contemporánea la producción industrial se ha caracterizado principalmente por la optimización de los procesos, empleando avances tecnológicos de la comunicación y el control, a fin de lograr productos a bajo costo, alta calidad capaces de cumplir con los estándares exigidos por el mercado.

La tecnología actual permite supervisar y controlar diversas industrias. El control y la automatización a través de la electrónica han experimentado un cambio importante en la mayoría de las industrias, para ampliar y mantener su posición en los respectivos campos de acción. (Picasso)

En el presente capítulo se llevará a cabo el control automático de la sección de fermentación, del proceso de producción de L-lisina HCl a partir de melaza.

14.2 Control automático

Se entiende por control automático, el mantener estable una variable del proceso mediante un dispositivo, por lo general electrónico, cuyo valor deseado está almacenado en la memoria de este y al recibir la señal de la variable controlada realiza los cálculos y estima la acción sobre la variable manipulada, corrigiendo y estabilizando el sistema de control. (Picasso)

Los cuatro componentes básicos de todo sistema de control son:

- Sensor, que también se conoce como elemento primario.
- Trasmisor, el cual se conoce como elemento secundario.
- Controlador, que es el cerebro del sistema de control.
- Elemento final de control, frecuentemente se trata de una válvula de control, aunque no siempre.

El sensor se conecta físicamente al transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal, lo suficientemente intensa como para trasmitirla al controlador. El controlador recibe la señal, la compara con el valor que se desea y, según el resultado de la comparación, decide que hacer para mantener la variable en el valor deseado. El controlador envía otra señal al elemento final de control el cual actúa según la señal.

14.2.1 Control automático de la sección de fermentación

Los equipos de esta sección son el prefermentador y el fermentador. Para que esta etapa se lleve a cabo correctamente, es importante controlar ciertas variables: pH, temperatura, nivel de líquido, y caudal de entrada y salida.

La corriente G-007, que contiene medio de cultivo esterilizado, es impulsado por la bomba B-04, luego de haber pasado por el sistema de esterilización.

Esta corriente se divide en dos, para ingresar al prefermentador (corriente G-008) y al fermentador (corriente G-009) respectivamente. En cada una de estas corrientes se instala un caudalímetro (FT-001 y FT-002) cuya función es medir el flujo de entrada. Éste posee

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

un lazo de control con una válvula (V-02 y V-03), la cual permite regular el caudal de entrada.

En cada reactor se encuentra instalado un sensor de nivel (LT-001 y LT-002) que permite saber en cada instante el nivel de líquido que tiene el tanque. Cuando se alcanza el nivel superior deseado, este sensor hace que se detenga la bomba B-04.

Además, cada reactor tiene un transmisor de pH (pHT-001 Y pHT-002) conectado mediante un lazo de control a una válvula (V-07 y V-08). En caso de que el pH del medio se desvíe del valor apropiado, dicha válvula dosifica ácido o base, para volver a regular el valor.

Para mantener la temperatura de los reactores, se utiliza agua fría proveniente de un sistema de refrigeración con amoníaco. Para controlar el caudal de agua que circula por el serpentín, cada tanque cuenta con un transmisor de temperatura (TT-001 y TT-002) con un lazo de control en la bomba B-22 del sistema de enfriamiento.

Por último, se instala un caudalímetro (FT-003) en la corriente de salida del prefermentador (I-001), el cual es conecta con un variador de frecuencia (VF-001) que actúa sobre la bomba B-05. De la misma manera, en la corriente de salida del fermentador (J-001) se instala otro caudalímetro (FT-004) conectado al variador de frecuencia (VF-002) que actúa sobre la bomba B-06.

Dichos variadores de frecuencia permiten regular el caudal de salida de cada tanque.

14.3 P&ID

A continuación, en la Figura 14.1, se detalla el P&ID de la sección de fermentación del proceso de producción de L-lisina HCl a partir de melaza

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

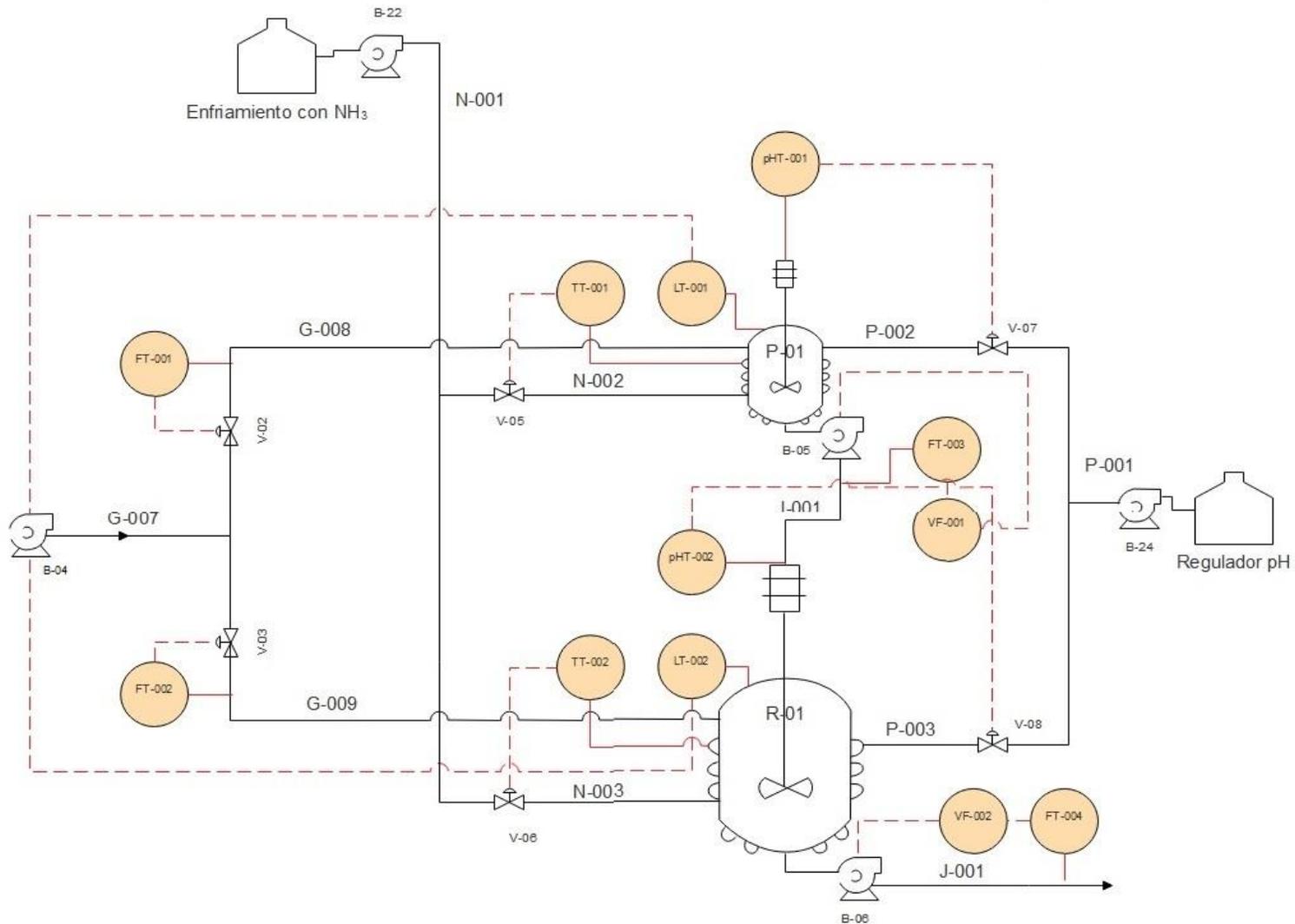


Figura 14.1. P&ID de la sección de fermentación.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

14.4 Hojas de especificación de los instrumentos

En las Tablas 14.1 a 14.6 se describen las especificaciones de los instrumentos; mientras que en las Figuras 14.2 a 14.7 se esquematizan los mismos.

Tabla 14.1. Hoja de especificación de transmisor de temperatura.

Hoja de especificación	TRANSMISOR DE TEMPERATURA	
GENERAL	Nombre	TT-001
	Tipo de señal	Analógica
	Función	Medición
	Servicio	Medición de temperatura
	Ubicación	P-01
	Sector	Fermentación
	Rango (°C)	0-100
	Conexión/ extremo	Bridada
TRANSMISOR	Señal de salida	4 Ma – 20 Ma
	Voltaje para funcionamiento	24 V
	Material electrodo	Platino

Cantidad requerida: 8

Precio/unidad: 80 U\$D



Figura 14.2. Transmisor de temperatura.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 14.2. Hoja de especificación de transmisor de caudal.

Hoja de especificación	TRANSMISOR DE CAUDAL	
GENERAL	Nombre	FT-001
	Tipo de caudalímetro	Digital
	Función	Medición
	Servicio	Medición de caudal
	Ubicación	Corriente G-008
	Sector	Fermentación
CONEXIÓN A PROCESO	Diámetro de cañería	3 pulg
	Material de cañería	Acero inoxidable
	Conexión/ extremo	Bridada
TRANSMISOR	Voltaje para funcionamiento	24 V
	Señal de salida	4 mA – 20 mA
	Material electrodo	Titanio

Cantidad requerida: 4

Precio/unidad: 100 U\$D



Figura 14.3. Transmisor de caudal.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 14.3. Hoja de especificación de transmisor de nivel.

Hoja de especificación	TRANSMISOR DE NIVEL	
GENERAL	Nombre	LT-001
	Servicio	Medición de nivel
	Ubicación	P-01
	Función	Medición
	Sector	Fermentación
SENSOR	Tipo de sensor	Magnético
	Orientación	Vertical
	Material	Acero inoxidable
	Longitud del sensor	8 pulg
	Conexión a proceso	Bridada
	Voltaje	24 V
TRANSMISOR	Señal de salida	Digital
	Corriente	0,5 – 105 mA
SERVICIO	Fluido	Caldo de fermentación
	Presión	1 atm
	Temperatura	32 °C

Cantidad requerida: 8

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Precio/unidad: 80 U\$D



Figura 14.4. Transmisor de nivel.

Tabla 14.4. Hoja de especificación de válvulas on/off.

Hoja de especificación	VÁLVULA ON-OFF	
GENERAL	Nombre	V-02
	Servicio	Control de caudal
	Ubicación	Corriente G-008
	Diámetro línea	3 pulg
	Función	Control
	Sector	Fermentación
CUERPO	Tipo de válvula	On-off
	Conexión/ extremo	Bridado
	Material	Acero inoxidable
ACTUADOR	Tipo de actuador	Neumático
	Fluido motor	Aire comprimido
	Presión fluido motor	6 bar
	Voltaje	24 V
	Transmisor	Analógico
CONDICIONES OPERATIVAS	Flows units	Kg/h
	Fluido motor	Medio de cultivo esterilizado
	Caudal máximo	550
	Caudal operativo	494,55

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

	Presión entrada	1 atm
	Presión salida	1 atm
	Temperatura máx. operación	50 °C

Cantidad requerida: 16

Precio/unidad: 80 U\$D



Figura 14.5. Válvula on/off.

Tabla 14.5. Hoja de especificación de variadores de frecuencia.

Hoja de especificación	VARIADORES	
GENERAL	Nombre	VF-001
	Tipo de variador	Digital
	Función	Modificar la potencia
	Servicio	Variación de frecuencia
	Ubicación	Bomba B-05
	Sector	Fermentación
CONEXIÓN A PROCESO	Corriente de salida	2.1 A - 9.6 A
	Conexión de entrada	220 V - 380 V
	Voltaje para funcionamiento	220 V
SALIDA	Tipo de salida	Triple
	Frecuencia de salida	0,00 - 300Hz

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Cantidad requerida: 8

Precio/unidad: 130 U\$D



Figura 14.6. Variador de frecuencia.

Tabla 14.6. Hoja de especificación de transmisor de pH.

Hoja de especificación	TRANSMISOR DE pH	
GENERAL	Rango de medición	(-2)-16 pH
	Resistencia de entrada	$10^{12}\Omega$
	Entrada analógica	4-20 mA
	Tipo de protección	IP 65
	Temperatura ambiental	0-50 °C
	Humedad del aire	<95% hr
	Tensión de alimentación	18-30 V

Cantidad requerida: 8

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Precio/unidad: 100 U\$D



Figura 14.7. Transmisor de pH.

CAPÍTULO XV: ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

15.1 Introducción

La evaluación económica financiera es un método de análisis que permite conocer la viabilidad concreta de un proyecto a lo largo de un período determinado y su rentabilidad real en el mediano y largo plazo. Al concretar un proyecto debe invertirse un capital significativo, que se espera recuperar junto con ganancias propias de la actividad. El rendimiento del mismo debe ser sustancial, de lo contrario sería más sencillo invertir en otras opciones menos riesgosas del mercado.

Basados en el estudio de los capítulos previos, los cuales manifiestan una factibilidad técnica para un mercado potencial de L-lisina HCl, se procede a realizar en esta sección el estudio económico y financiero del proyecto.

Entre los objetivos propuestos para este capítulo, se encuentran:

- La estimación de la inversión y sus componentes principales, para darle valor al crédito necesario para cubrirla.
- El cálculo y análisis de los costos fijos y variables, entre los que se encuentran factores determinantes de la producción, como son los costos de materias primas e insumos, mano de obra, servicios, financieros, etcétera.
- Estimar los ingresos anuales por ventas de L-lisina HCl.
- La determinación del estado de resultados que permite conocer si la empresa luego de cancelar los costos totales e impuestos, obtiene utilidades netas positivas.
- El cálculo de indicadores económicos más utilizados para determinar la rentabilidad de un proyecto. Estos son el VAN, la TIR y el PRI.
- Realizar un análisis de sensibilidad que permita deducir las condiciones en las que la empresa sigue siendo rentable, dada la variación de las principales variables del proceso productivo.
- Como conclusión, establecer si el proyecto es viable analizando los ítems anteriores.
- Redactar conclusiones y brindar sugerencias para los aspectos más débiles del proyecto.

El estudio tiene en cuenta los montos de dinero expresados en pesos argentinos, con una equivalencia de cambio al dólar de 83,00 \$ARG/ USD, y considera un volumen de producción constante en el periodo del ejercicio económico de 10 años.

15.2 Inversión

Como inversión se entiende al capital necesario para hacer frente a un proyecto determinado y está compuesta por:

- activos fijos
- activos nominales
- fondo de maniobra.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

En la Figura 15.1 se representa la inversión con sus aristas más importantes (activos fijos) y las categorías que componen.

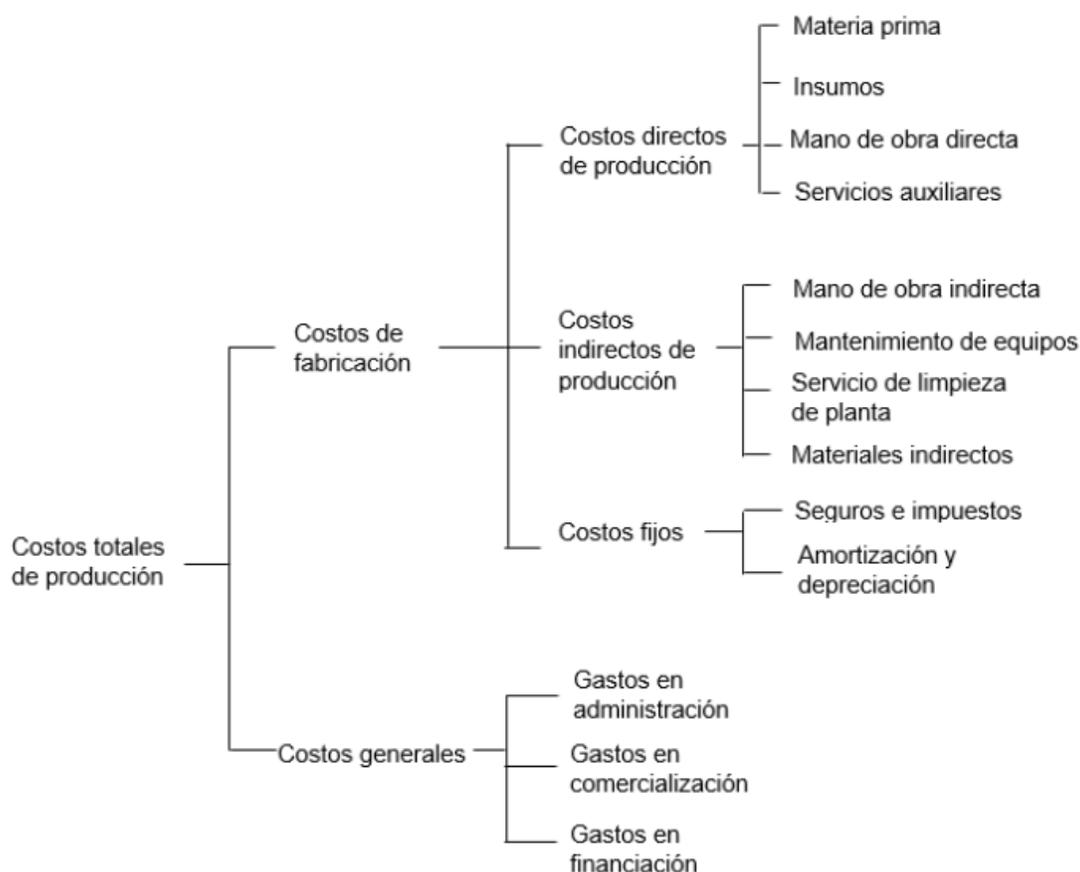


Figura 15.1. Resumen de activos fijos.

15.2.1 Activos fijos

Se denominan activos fijos a aquellos bienes que son permanentes en el período de actividad de la empresa y son indispensables para su normal desarrollo. Lo cual, supone que no serán vendidos ni desechados en el corto plazo. Entre los activos fijos de la empresa se encuentran: obras civiles, equipos industriales y de servicios auxiliares, tuberías y accesorios, rodados y elementos de oficina. Para efectos contables, los activos fijos, están sujetos a depreciación, debido a que pierden su valor por el desgaste provocado a causa del uso. En la determinación de los costos de estos activos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cotización del dólar al día 06/02/2020 del Banco de la Nación Argentina fue de \$83,00.
- De acuerdo a la ley de IVA (Ley Nacional 23.349), los artículos producidos en nuestro país perciben el 21 % de impuesto al valor agregado, mientras que los de producción extranjera tienen una reducción del 50%, es decir, 10,5 %.
- En la estimación del costo de flete, se supone un valor del 1,5 %.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

15.2.1.1 Obras civiles

La planta de producción de L-lisina HCl se encuentra ubicada en San Miguel de Tucumán, razón por la cual se toman los costos establecidos de terreno en los boletines digitales del Colegio de Arquitectos de la Provincia de Tucumán. A continuación, en la Tabla 15.1, se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 15.1. Estimación de los costos de obras civiles.

Rubro	Sup (m ²)	Precio (\$/m ²)	Costo (\$)	IVA (21%)	Total
Terreno	13442	617,46	8.300.000	1.743.000	10.043.000
Administración	273,6	23.501	6.429.873,6	1.350.273,45	7.780.147,05
Baños y vestuarios	163	23.501	3.830.663	804.439,23	4.635.102,23
Comedor	36,75	23.501	863.661,75	181.368,96	1.045.030,71
Laboratorio	57,6	23.501	1.353.657,6	284.268,09	1.637.925,69
Pretratamiento	560	1.572,6	880.656	184.937,76	1.065.593,76
Prefermentación y fermentación	800	1.572,6	1.258.080	264.196,8	1.522.276,8
Purificación	651	1.572,6	1.023.762,6	214.990,14	1.238.752,74
Depósito de insumos y material prima	24	1.572,6	37.742,4	7.925,90	45.668,3
Depósito de producto terminado	180	1.572,6	283.068	59.444,28	342.512,28
Taller de mantenimiento	56	6.900	386.400	81.144	467.544
Sala de caldera	42	6.900	289.800	60.858	350.658
Servicios auxiliares	202,93	1.572,6	319.127,71	67.016,82	386.144,53
Efluentes	196	2.600	509.600	107.016	616.616
Seguridad y estacionamiento	792	3.000	2.376.000	498.960	2.874.960
Total			28.142.093	5.909.839	34.051.932

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

15.2.1.2 Equipos industriales, auxiliares y accesorios

Esta sección involucra todos los equipos inherentes a la producción de L-lisina HCI como también los de servicios auxiliares, las cañerías y accesorios. Teniendo en cuenta que son bienes de capital se considera un costo de flete del 1% del costo total e IVA de 10,5 % del costo total. En la Tabla 15.2 se exhiben estos costos.

Tabla 15.2. Estimación de los costos de equipos industriales, auxiliares y accesorios.

Denominación técnica	Unidad	Precio unitario (\$/u)	Costo (\$)	Flete	IVA
Tanque T-01	1	1.415.862	1.415.862	14.159	148.666
Tanque T-02	1	2.000.000	2.000.000	20.000	210.000
Tanque T-03	1	1.852.000	1.852.000	92.600	194.460
Tanque T-04	1	960.764	960.764	48.038	100.880
Tanque MD-01	1	888.166	888.166	44.408	93.257
Tanque MD-02	1	1.595.424	1.595.424	79.771	167.520
Tanque MD-03	1	1.920.000	1.920.000	96.000	201.600
Tanque MD-04	1	1.876.703,30	1.876.703,30	93.835	197.054
Filtro FIL-01	1	287.307,69	287.307,69	14.365	30.167
Intercambiador I-01	1	1.029.473	1.029.473	51.474	108.095
Intercambiador I-02	1	262.105,26	262.105,26	13.105	27.521
Intercambiador I-03	1	686.315,78	686.315,78	34.316	72.063
Intercambiador I-04	1	200.400	200.400	10.020	21.042
Prefermentador	4	205.425	821.700	41.085	86.279
Fermentador	4	2.282.500	9.130.000	456.500	958.650
Centrifuga S-01	1	1.972.035,73	1.972.035,73	98.602	207.064
Centrifuga S-02	1	1.500.000	1.500.000	75.000	157.500

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Adsorbedor C-01	2	416.500	833.000	41.650	87.465
Evaporador E-01	1	3.795.197,22	3.795.197,22	189.760	398.496
Bomba de vacío	1	50.000	50.000	2.500	5.250
Cristalizador CR-01	1	1.285.542,44	1.285.542,44	64.277	134.982
Secador D-01	1	4.348.140	4.348.140	217.407	456.555
Envasadora EN-01	1	3.461.400	3.461.400	173.070	363.447
Bombas proceso	15	73.000	1.095.000	54.750	114.975
Bombas servicios auxiliares	8	50.000	400.000	20.000	42.000
Compresor CM-01	1	1.815.917,38	1.815.917,38	90.796	190.671
Válvulas de proceso	46	15.000	690.000	34.500	72.450
Torre de enfriamiento	1	625.000	625.000	31.250	65.625
Sistema de amoníaco	1	5.000.000	5.000.000	250.000	525.000
Tanque agua amoníaco	1	1.614.579,47	1.614.579,47	80.729	169.531
Tanque CIP agua	2	367.995	735.990	36.800	77.279
Tanque CIP soda	1	566.147,36	566.147,36	28.307	59.445
Tanque agua red	1	993.587,08	993.587,08	49.679	104.327
Caldera	1	4.837.240	4.837.240	241.862	507.910
Tuberías de proceso	1405	1.932	2.714.980	135.749	285.073

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Caudalímetro	4	8.300	33.200	1.660	3.486
Transmisor temperatura	8	6.640	53.120	2.656	5.578
Transmisor nivel	8	6.640	53.120	2.656	5.578
Transmisor pH	8	8.300	66.400	3.320	6.972
Variador de frecuencia	8	10.790	86.320	4.316	9.064
Válvula ON-OFF	16	6.640	106.240	5.312	11.155
Total			63.658.378	3.046.284	7.323.849

15.2.1.3 Mobiliario y elementos de oficina

En este caso se consideran todos aquellos elementos que, sin estar vinculados de forma directa con el proceso, son indispensables para el desarrollo organizado del proyecto.

En la Tabla 15.3 se expone el costo estimado de mobiliarios y elementos de oficina.

Tabla 15.3. Estimación de costos de mobiliario y elementos de oficina.

Equipo	Cantidad	Precio unitario (\$)	IVA	Precio final (\$)
Computadora de mesa	12	12.000	30.240	174.240
Escritorio para oficina	12	3.000	7.560	43.560
Mesas	2	8.000	3.360	19.360
Silla para oficina	24	2.000	10.080	58.080
Sillas anexas	24	1.200	6.048	34.848
Armario	8	3.000	5.040	29.040
Archivero	4	2.000	1.680	9.680
Aire acondicionado	11	25.000	57.750	332.750

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Equipo sanitario	10	23.000	48.300	278.300
Lockers	42	300	2.646	15.246
Banco para vestuario	3	1.500	945	5.445
Mesada para laboratorio	4	15.000	12.600	72.600
Equipo de vidrio	-	500.000	105.000	605.000
Heladera	3	23.500	14.805	85.305
Anafe	1	10.000	2.100	12.100
Microondas	2	4.000	1.680	9.680
Proyector	1	10.000	2.100	12.100
Total			1.797.334	

15.2.1.4 Resumen de activos fijos

A continuación, en la Tabla 15.4, se muestra un resumen de los activos fijos descriptos anteriormente por medio de tabla y gráfico y en la Figura 15.2 se exhibe un gráfico de los mismos.

Tabla 15.4. Resumen costos activos fijos.

Activo fijo	Costo (\$)	%
Terreno e inmueble	8.300.000	7,94
Obras civiles y construcción	2.8142.093	26,92
Maquinaria y equipos	63.658.378	60,86
Flete	3.046.284	2,92
Muebles y útiles	1.419.893,86	1,36
Total	104.566.648,9	100

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

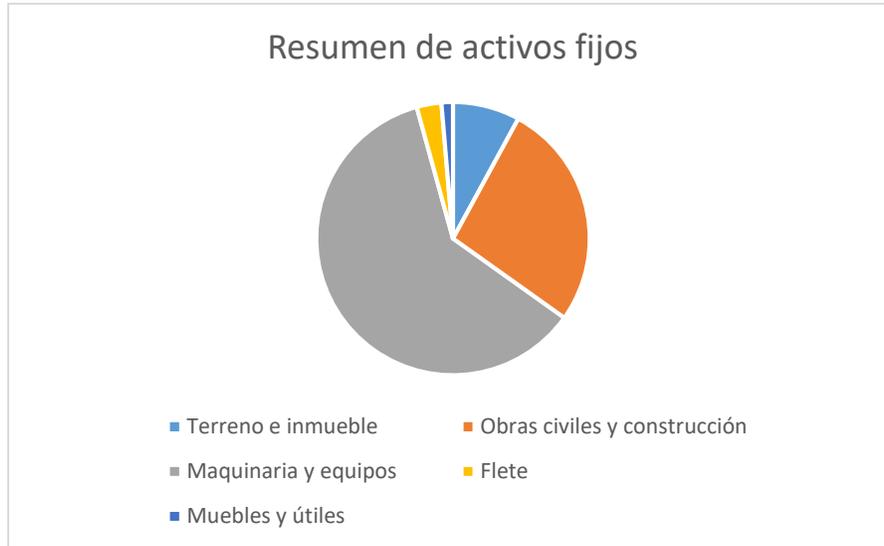


Figura 15.2. Resumen de activos fijos.

15.2.2 Activos nominales

Los activos nominales o intangibles son aquellos que no tienen naturaleza física pero son recursos muy valiosos para las empresas y pueden generar un impacto importante en términos de competitividad, si son correctamente gestionados. Los mismos son gastos que no son susceptibles de ser recuperados por la empresa, pero que deben ser amortizados durante el período correspondiente.

En cuanto a los gastos de planeación y costos de supervisión de proyecto se considera un 5% de los activos fijos totales. El costo de control automático se considera como el 20% respecto al valor total de equipos industriales. Se considera 5% para los gastos de capacitación inicial. Además, el montaje e instalación de equipos se estima 50% de la suma de maquinarias y equipos y para imprevistos se considera un 1% del total. El costo de la puesta en marcha se estima como el costo total de producción por un tiempo determinado, el cual es igual al tiempo de puesta en marcha más la venta del producto. El tiempo tomado de puesta en marcha es de 30 días, el cual implica calibrar los equipos y ponerlos en régimen para obtener las condiciones de operación más favorables permitiendo lograr una buena calidad y rendimiento establecido para el producto. En la Tabla 15.5 se realiza un resumen de los costos activos nominales; mientras que en la Figura 15.3, su correspondiente gráfico.

Tabla 15.5. Resumen costos activos nominales.

Activos nominales	Costo (\$)	%
Ingeniería de proyecto	6.003.420	57,35
Imprevistos	1.273.168	12,22
Puesta en marcha	3.182.919	30,43

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Total	10.459.507	100
-------	------------	-----

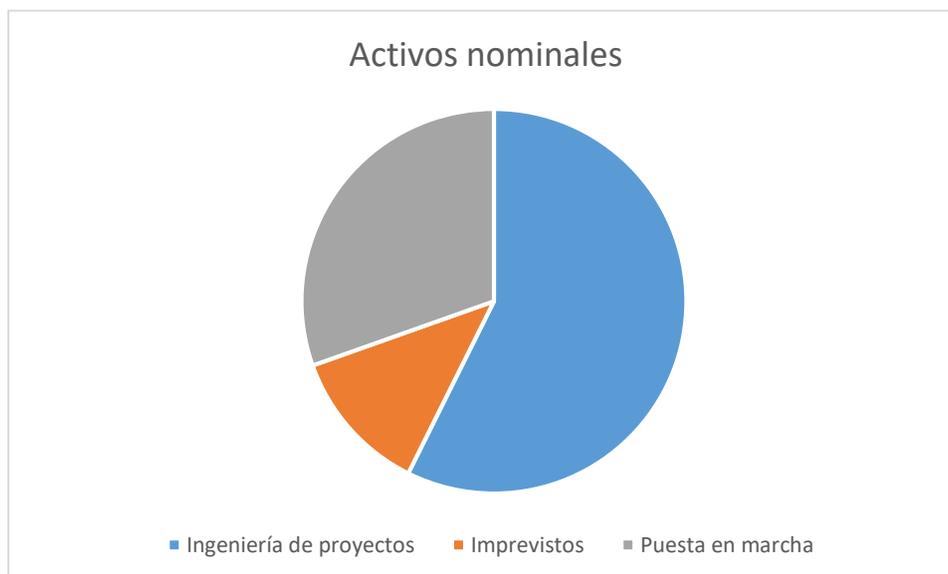


Figura 15.3. Resumen activos nominales.

15.2.3 Capital de trabajo

El capital de trabajo, también denominado fondo de maniobra o activos corrientes, hace referencia al conjunto de recursos financieros necesarios para la operación normal del proyecto durante el ciclo productivo, entendiéndose al ciclo productivo como el proceso que se inicia con el primer pago para cancelar los insumos de la operación y termina con la venta del producto terminado. En este caso, para estimar el capital de trabajo necesario se toma como un ciclo productivo: 15 días. En la Tabla 15.6 se observan estos recursos necesarios y en la Figura 15.4, su gráfico.

Tabla 15.6. Estimación de costos de capital de trabajo.

Capital de trabajo	Costo (\$)	%
Materia prima	29.026.619	41,84
Insumos	1.364.210	1,97
Mano de obra I	16.406.784	23,65
Mano de obra D	22.573.600	32,54
Total	69.371.213	100

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

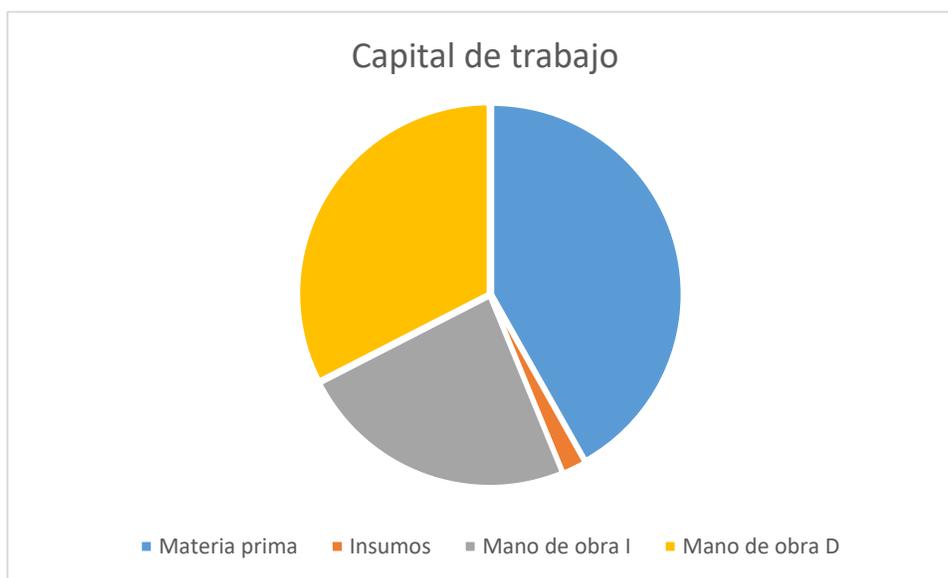


Figura 15.4. Resumen de capital de trabajo.

15.2.4 Inversión total del proyecto

Estimados los tres ítems anteriores, se realiza la suma de los mismos para obtener el capital necesario total para concretar el proyecto y comenzar con la actividad industrial. Es importante la aclaración de que este capital se obtendrá a través de una financiación externa. En la Tabla 15.7 se exhiben los datos obtenidos de los ítems anteriores; y en la Figura 15.5, se visualiza el gráfico correspondiente a la inversión total del proyecto.

Tabla 15.7. Inversión total necesaria del Proyecto.

Categoría	Costo (\$)	%
Activos fijos	104.566.648,9	52,56
Activos nominales	10.459.507	5,26
Capital de trabajo	69.371.213	34,87
IVA	14.546.907	7,31
Total	198.944.275,9	100

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

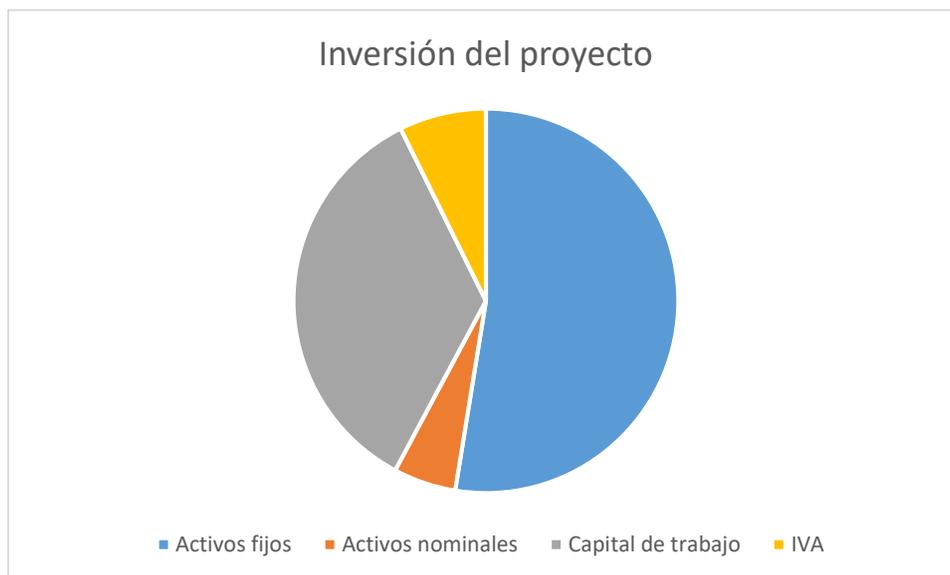


Figura 15.5. Inversión total del Proyecto.

15.3 Costos totales de producción

Los costos de producción o de operación son los gastos necesarios para mantener una línea de procesamiento y equipos en funcionamiento. Se dividen en:

- Costos de fabricación (gastos directos, indirectos y fijos).
- Costos generales (gastos de administración, distribución, marketing, etc.).

15.3.1 Costos directos de producción

Dentro de la clasificación de costos de fabricación, existen los costos directos de producción. Estos costos intervienen de manera directa en la realización y producción de la L-lisina HCl, afectando de manera inmediata a la determinación del precio final de ellos.

Están compuestos por materia prima e insumos, salarios de los operarios involucrados en la producción e los insumos energéticos empleados.

15.3.1.1 Materia prima

La materia prima a comprar proviene de los ingenios azucareros mencionados en capítulos anteriores. Los costos de transporte se incluyen en el precio de la misma. En la Tabla 15.8 se detalla el costo de la materia prima requerida.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 15.8. Costos anuales de la materia prima.

	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$/u)	Costo total (\$)
Melaza	1751	t	12.450	21.796.464
Bacteria C. Glutamicum	1	t	31.208	34.329
Treonina	15	t	2.905	44.563
Hidróxido de amonio	256	t	23.240	5.948.975
Fosfato de potasio	22	t	55.610	1.202.288
Total				29.026.619

15.3.1.2 Insumos

Como insumos tenemos amoníaco y ácido clorhídrico, empleados en el proceso de adsorción y cristalización, respectivamente. En la Tabla 15.9 se detallan estos costos.

Tabla 15.9. Costos anuales de los insumos.

	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$/u)	Costo total (\$)
Amoníaco	644	l	69	44.470
Ácido clorhídrico	1035	l	1275	1.319.740
Total				1.364.210

15.3.1.3 Servicios auxiliares

Basado en el capítulo de servicios auxiliares se procede a hacer un resumen del consumo de los mismos.

- Servicio de gas natural: el consumo se calcula en función de la tarifa por categoría de la planta y se adopta un consumo constante anual.
- Servicio de electricidad: se tiene en cuenta la infraestructura que posee el parque industrial de San Miguel de Tucumán.
- Servicio de agua de red: Se suministra agua en el parque industrial mediante una red de distribución y se aplican las tarifas correspondientes al tipo de planta y por consumo.

En la Tabla 15.10 se describen los costos de los servicios auxiliares.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 15.10. Costos anuales de los servicios auxiliares.

	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$/u)	Costo total (\$)
Energía eléctrica	714.767	kW/h	0,21	150.101
Agua	206.798	l	2	254.066
Gas	2.953.472	m ³	0,2	590.694
Total				994.861

15.3.1.4 Mano de obra directa

Los costos de mano de obra directa están relacionados directamente al proceso y varían en función del volumen de producción. En la Tabla 15.11 se exhiben estos costos.

Tabla 15.11. Costos anuales de mano de obra directa.

Sector	Cargo	Cantidad	Jornal por hora (\$)	Costo anual (\$)	Cargas sociales (45%)	Costo total anual (\$)
Producción	Jefe de producción	1	360	1.008.000	453.600	1.461.600
	Supervisor de producción	4	300	3.360.000	1.512.000	4.872.000
	Operarios de producción	16	250	1.120.0000	5.040.000	16.240.000
Mantenimiento	Jefe de mantenimiento	1	360	1.036.800	466.560	1.503.360
	Operarios de mantenimiento	4	250	2.880.000	1.296.000	4.176.000
Calidad	Jefe de calidad	1	360	1.036.800	290.304	1.327.104
	Encargado de laboratorio	1	300	864.000	241.920	1.105.920
	Analistas de laboratorio	4	250	3.600.000	1.008.000	4.608.000
Sala de calderas	Operarios de caldera	4	250	2.880.000	806.400	3.686.400
Total						38.980.384

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

15.3.1.5 Resumen costos directos de producción

En este momento, se resumen los costos directos de producción a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y representación gráfica. (Tabla 15.12 y Figura 15.6).

Tabla 15.12. Resumen de costos directos de producción.

	Costo anual	%
Materia prima	29.026.619	41,25
Insumos	1.364.210	1,94
Servicios auxiliares	994.861	1,41
Mano de obra directa	38.980.384	55,4
Total	70.366.074	100

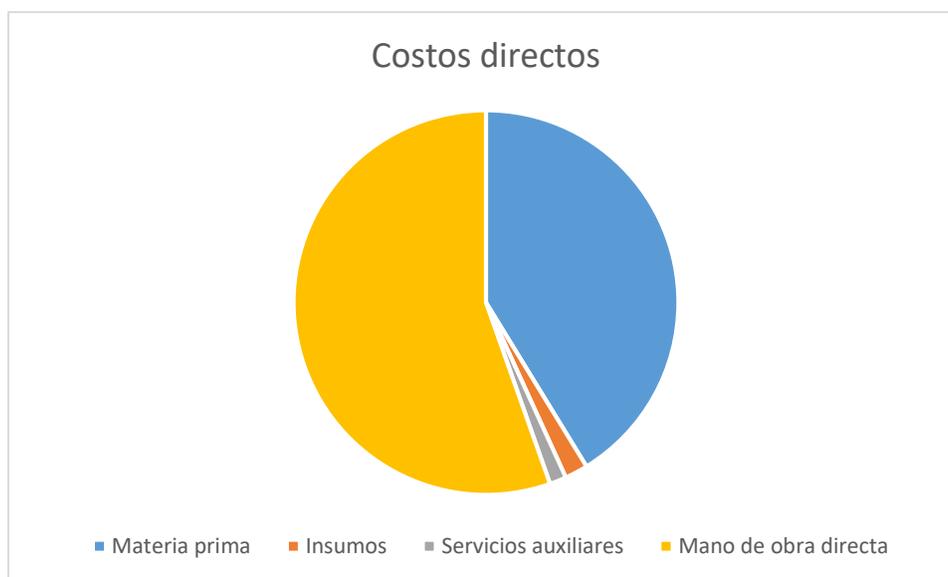


Figura 15.6. Resumen de costos directos de producción.

15.3.2 Costos indirectos de producción

Los costos indirectos de producción hacen referencia a todos aquellos gastos que debe realizar una empresa para lograr la producción establecida. Cualquier gasto que no sea el costo directo de mano de obra ni el costo directo de los materiales es considerado una forma de gasto general. Comprende la mano de obra indirecta, los gastos de mantenimiento de equipos y el servicio de limpieza.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

15.3.2.1 Mano de obra indirecta

Es el monto de salarios y demás cargas laborales devengados por los empleados que aunque trabajan en la planta, no se relacionan directamente con la producción. En la Tabla 15.13 se resumen estos salarios.

Tabla 15.13. Estimación de costos anuales de mano de obra indirecta.

Sector	Cargo	Cantidad	Salario mensual	Gasto anual nominal (\$)	Cargas sociales (\$)	Costo total anual (\$)
Gerencia	Gerente general	1	120.000	1.440.000	403.200	1.843.200
Administración	Jefe de administración	1	86.400	1.036.800	290.304	1.327.104
	Administrativos	2	50.000	1.200.000	336.000	1.536.000
Recursos humanos	Jefe de recursos humanos	1	60.000	720.000	201.600	921.600
Comercialización	Jefe de comercialización	1	86.400	1.036.800	290.304	1.327.104
Seguridad	Guardia de seguridad	4	50.000	2.400.000	672.000	3.072.000
Total						10.027.008

15.3.2.2 Mantenimiento y limpieza de la planta

En esta sección se consideran los costos de mantenimiento de equipos tanto preventivo como correctivo y el servicio de limpieza de la planta. Cada uno de ellos se estima como un 5 % del total de los activos fijos. En la Tabla 15.14 se resumen los costos mencionados.

Tabla 15.14. Estimación de costos anuales de mantenimiento y limpieza.

Costos de mantenimiento y limpieza	Costo (\$)	%
Gastos de limpieza de planta	1.650.000	13,88
Gastos de mantenimiento	10.235.000	86,12
Total	11.885.000	100

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

15.3.2.3 Resumen de costos indirectos de producción

En la Tabla 15.15 se resumen los costos indirectos de producción a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico circular (Figura 15.7) se representan dichos valores porcentuales.

Tabla 15.15. Resumen de costos indirectos de producción.

	Costo (\$)	%
Mano de obra indirecta	10.027.008	45,76
Mantenimiento equipos	10.235.000	46,71
Servicio de limpieza de la planta	1.650.000	7,53
Total	21.912.008	100

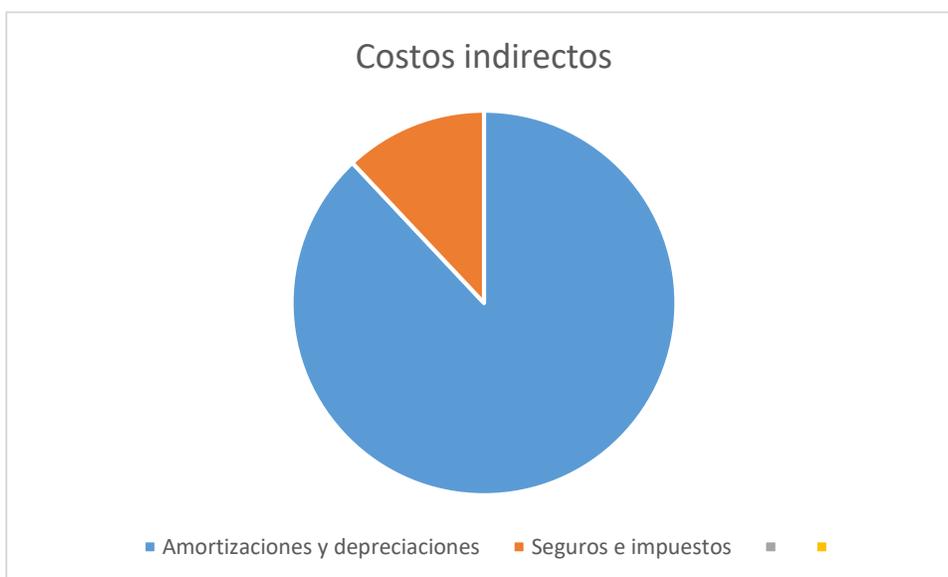


Figura 15.7. Resumen de costos indirectos de producción.

15.3.3 Costos fijos indirectos

En esta sección se incluyen los costos de amortización y depreciación de los activos, y los seguros e impuestos.

15.3.3.1 Amortizaciones y depreciaciones

Las amortizaciones son reducciones en el valor de los activos para reflejar en el sistema de contabilidad cambios en el precio del mercado u otras reducciones de valor.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Con las amortizaciones, los costos de hacer una inversión se dividen entre todos los años de uso de esa inversión.

Las amortizaciones se aplican a los activos fijos intangibles y representan el proceso financiero mediante el cual se extingue, gradualmente, una deuda por medio de pagos periódicos; y las depreciaciones a los activos fijos tangibles y representa el desgaste debido al uso, del paso del tiempo y la antigüedad del activo.

En la estimación de los costos de amortización se utiliza, adicionalmente, el decreto N° 873/1997 que fija la vida útil de los bienes considerados, a saber:

- Edificios: 50 años.
- Instalaciones: 10 años.
- Maquinarias y equipos: 5 años.
- Muebles y útiles: 5 años.
- Rodados: 5 años.

Fijada la vida útil de cada rubro, puede extraerse de este dato la tasa lineal de depreciación de un bien. De esto se desprende que al finalizar el proyecto estipulado (a los diez años), algunos de los bienes tendrán un valor nulo o residual, dependiendo del caso. En la Tabla 15.16 se estiman las amortizaciones y depreciaciones.

Tabla 15.16. Estimación de amortizaciones y depreciaciones.

Categoría	Inversión realizada	Tasa	Depreciación/amortización anual (\$)	Valor tras período de actividad (\$)
Terreno	8.300.000	2%	166.000	6640000
Obras civiles	34.051.932	10%	3.405.193,2	0
Maquinarias y equipos	63.658.378	5%	3.182.918,9	0
Muebles y útiles	1.797.334	20%	359.466,8	0
Total			7.113.578,9	6.640.000

15.3.3.2 Seguros e impuestos

Respecto a los seguros se estima un 5% de la inversión en activos fijos. En la Tabla 15.17 se exhiben los mismos.

Tabla 15.17. Estimación de seguros e impuestos.

Categoría	Costo (\$)
-----------	------------

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Seguros e impuestos	966.441
---------------------	---------

15.3.3.3 Resumen de costos indirectos

A continuación, en la Tabla 15.18, se resumen los costos fijos indirectos a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico circular (Figura 15.8) se representan dichos valores porcentuales.

Tabla 15.18. Resumen de costos fijos indirectos.

Costos fijos indirectos	Costo anual (\$)	%
Amortizaciones y depreciaciones	7.113.578,9	88
Seguros e impuestos	966.441	12
Total	8.080.019,9	100



Figura 15.8. Costos fijos indirectos.

15.3.4 Costos generales

Los gastos generales son los gastos en los que incurre la empresa que no están directamente vinculados a una función elemental como la fabricación, la producción o las ventas. Estos gastos están relacionados con la organización en conjunto. Aquí, se encuentran los gastos de administración, comercialización y financiación. En esta sección se expresan los dos primeros mientras que el costo de financiación se expresa en la sección posterior correspondiente al estado de resultados. Los costos mencionados se estiman como el 0,05% y 0,01% del costo total anual de producción. A continuación, se resumen los costos generales sin tener en cuenta los gastos de puesta en marcha (Tabla 15.19) y

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

posteriormente se representa gráficamente la composición porcentual del mismo (Figura 15.9).

Tabla 15.19. Resumen de costos generales.

	Costo anual (\$)	%
Gastos administrativos	6.003.420	27,41
Gastos de comercialización	15.897.350	72,59
Total	21.900.770	100

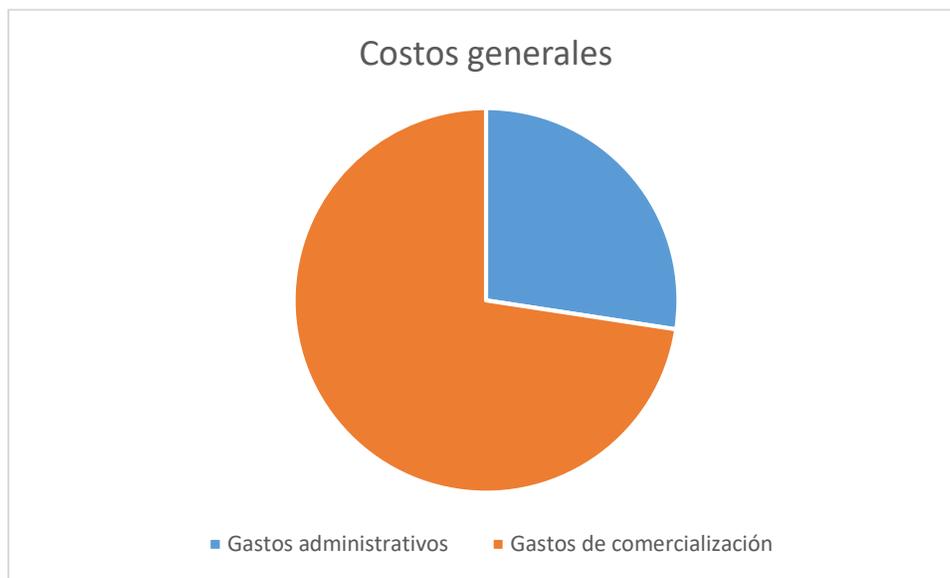


Figura 15.9. Resumen de costos generales.

15.4 Costos de producción unitario

El costo unitario es el valor promedio que, a cierto volumen de producción, cuesta producir un kilogramo de producto (L-lisina HCl). Se obtiene sumando el costo total de producción (suma de costos fijos y variables) menos las ventas de los subproductos, dividido la cantidad total producida. Se expresa el costo unitario en \$/kg.

$$\begin{aligned} \text{Costo unitario} &= \frac{C. \text{ fijos} + C. \text{ variables} - \text{Ventas subproductos}}{\text{Total de unidades}} \\ &= \frac{\text{Costo total de producción}}{\text{Total de unidades}} \end{aligned}$$

A continuación, en la Tabla 15.20, se resume el costo total de producción a lo largo de los 10 años, junto con el volumen de producción constante y el unitario por kilogramo de L-lisina HCl.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Tabla 15.20. Resumen del costo total de producción a lo largo de 10 años.

Costo total de producción (\$)	Volumen de producción (kg)	Costo unitario (\$/kg)
157.787.884	1.116.000	141,38
155.195.124	1.173.000	132,31
157.718.952	1.230.000	128,23
159.249.477	1.288.000	123,64
160.739.136	1.345.000	119,51
162.166.990	1.402.000	115,66
163.502.499	1.460.000	111,98
164.698.556	1.517.000	108,56
165.684.382	1.574.000	105,26
166.354.405	1.631.000	101,99

15.5 Ingreso por ventas

Son los montos de dinero percibidos por las ventas del producto. De acuerdo al estudio de mercado y a la bibliografía estudiada de mercado, se conoce el precio de venta de la L-lisina HCl con pureza 99% a un valor de 2,41 U\$D por kg.

En la Tabla 15.21 se detallan los ingresos por ventas anualmente.

Tabla 15.21. Ingresos por ventas anuales.

Producto	Año	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (\$)	Ingreso Anual (\$)
L-lisina HCl	1	1116	Tn	200190	223.388.017,20
	2	1173			234.856.902,30
	3	1230			246.323.786
	4	1288			257.792.671
	5	1345			269.261.556
	6	1402			280.728.439
	7	1460			292.197.324
	8	1517			303.666.209
	9	1574			315.133.092
	10	1631			326.601.977

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

15.6 Financiación del proyecto

La financiación es la contribución de dinero y/o crédito a una empresa que se requiere para comenzar la actividad de un proyecto.

Para este proyecto, el capital disponible para la inversión es aportado por crédito bancario del Banco Nación con una TNA de 41,62% y sistema de amortización francés.

En el sistema francés la cuota que periódicamente se abona tiene dos componentes: una parte destinada a la amortización de capital y otra en concepto de interés, por el uso de capital prestado.

En este sistema se mantiene constante la cuota total, variando la proporción de capital e intereses de cada cuota. En las primeras cuotas se amortiza proporcionalmente menos capital que en las últimas. Esto depende de la tasa de interés acordada: cuanto mayor es la tasa, menor será la proporción de capital cancelado en las primeras cuotas.

Para el cálculo de la cuota se tiene que:

$$TEM = \frac{(TNA * 30)}{100 * 360}$$
$$Cuota = \frac{(1 + TEM)^n}{(1 + TEM)^n - 1}$$

Donde TNA es la tasa de interés acordada con el banco, tomada en 41,62%, TEM la tasa efectiva mensual tomada como el interés mensual, y n es el período de 10 años tomado en meses, es decir 120 meses. En la Tabla 15.22 se detallan los pagos anuales del crédito acordado.

Tabla 15.22. Pagos anuales del crédito acordado.

Capital		122.616.942,6
TNA		41,62%
Número de cuotas		120
Tasa de seguro		0,25
Cuotas	Pagos anuales	Intereses
1	65.622.083,65	50.988.977,80
2	65.586.419,64	50.862.545,86
3	65.532.726,29	50.672.198,76
4	65.451.889,59	50.38.5625,49
5	65.330.187,36	49.954.180,79
6	65.146.960,98	49.304.627,81
7	64.871.108,15	48.326.706,26
8	64.455.803,42	46.854.415,92
9	63.830.549,64	44.637.838,51
10	62.889.211,26	41.300.714,50

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

15.7 Evaluación económica

En un proyecto es muy importante analizar la viabilidad y rentabilidad del mismo, dado que, al formar una empresa se debe invertir cierto capital, el cual se espera recuperar a lo largo de un tiempo determinado. Esta rentabilidad debe ser mayor, al menos, que una inversión de poco riesgo (como pueden ser plazos fijos, letras del estado, entre otros).

Existen muchos índices que indican la rentabilidad de un proyecto. Dos de los más utilizados son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Ambos se basan en el mismo concepto, que es la estimación de los flujos de cajas futuros de la empresa, a través de la simplificación de ingresos menos gastos netos. Antes de proceder a la estimación de estos índices, se calcula el estado de resultados, el cual será necesario para el cálculo de los indicadores antes mencionados.

15.7.1 Estado de los resultados

El estado de resultados, conocido también como estado de ganancias y pérdidas, es un estado financiero plasmado en un documento en el cual se muestra de manera detallada y minuciosa todos los ingresos, gastos, así como el beneficio o pérdida que se genera en una empresa durante un período de tiempo determinado.

Debido al estado de resultados, una empresa cuenta con una mejor visión financiera, pudiendo prevenir y actuar de antemano, pues puede realizar previsiones en base a los resultados que se obtienen a través de este análisis.

Existen algunos conceptos del estado de resultados que es conveniente conocer para comprenderlo, destacando los principales componentes:

- Ingreso por ventas: se refiere a los ingresos totales percibidos por las ventas realizadas en ese período concreto.
- Costo de producción de lo vendido: cuánto le costó a la empresa el artículo que vende.
- Utilidad operativa: diferencia entre ventas y coste de ventas, indicando que gana la empresa, en bruto, con el producto vendido.
- Gastos administrativos, comerciales y de financiación: los gastos administrativos son aquellos reconocidos a las actividades administrativas globales de la empresa (gastos de papelería y suministros de oficina por ejemplo); los gastos comerciales son aquellos necesarios para la venta de un bien o un servicio, y que incluyen gastos como marketing, publicidad y comisiones, entre otros (se consideran un 0,50% del costo de producción de lo vendido). En gastos financieros incurre una empresa al financiarse con terceros (costo de capital) y que suponen la amortización del capital solicitado junto a los intereses fijados.
- Depreciaciones y amortizaciones: importes que disminuyen el valor contable de los bienes tangibles que se utilizan en la empresa para llevar a cabo sus operaciones. Por ejemplo: maquinaria, vehículos de transporte, etc.
- Utilidad ante los impuestos: resulta de sustraerle a la utilidad operativa las depreciaciones y los gastos administrativos, comerciales y de financiación.
- Impuesto a las ganancias: se consideran el 35% de la utilidad antes del impuesto.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Utilidad o flujo neto efectivo: es la ganancia o pérdida final que la empresa obtiene después de la actividad y resulta de adicionarle las depreciaciones de la utilidad después de impuestos.

A continuación, en las Tablas 15.23 y 15.24 se detallan el estado de los resultados para un período de 10 años de actividad del proyecto. En la Figura 15.10 se analiza el flujo neto efectivo de dicho período.

Tabla 15.23. Estado de resultados desde el año 1 al 5.

Ejercicios	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas Netas	223.388.017	234.856.902	246.323.786	257.792.671	269.728.439
Costo de producción de lo vendido	91.616.103	89.078.105	91.655.626	93.266.988	94.878.350
RESULTADO OPERATIVO	131.771.914	145.778.797	154.668.159	164.525.683	174.383.206
Gastos de Administración	458.081	442.166	442.166	442.166	442.166
Gastos de Comercialización	91.616	88.433	88.433	88.433	88.433
Gastos de Financiación	65.622.084	65.586.420	65.532.726	65.451.890	65.330.187
Depreciación – Amortización	5.800.495	5.800.495	5.800.495	5.800.495	5.800.495
RESULTADOS ANTES DE IMPUESTOS	59.799.638	79.661.778	88.604.834	98.543.194	108.522.420
Depreciación – Amortización	5.800.495	5.800.495	5.800.495	5.800.495	5.800.495
Impuesto a las Ganancias	22.960.047	27.881.622	31.011.692	34.490.118	37.982.847
FLUJO NETO DE EFECTIVO	42.640.087	51.780.156	57.593.142	64.053.076	70.539.573

Tabla 15.24. Estado de resultados desde el año 6 al 10.

Ejercicios	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ventas Netas	280.728.439	292.197.324	303.666.209	315.133.092	326.601.977
Costo de producción de lo vendido	96.489.430	98.100.791	99.712.153	101.323.233	102.934.595
RESULTADO OPERATIVO	184.239.009	194.096.533	203.954.056	213.809.859	223.667.383
Gastos de Administración	442.166	442.166	442.166	442.166	442.166
Gastos de Comercialización	88.433	88.433	88.433	88.433	88.433
Gastos de Financiación	65.146.961	64.871.108	64.455.803	63.830.550	62.889.211

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Depreciación – Amortización	5.800.495	5.800.495	5.800.495	5.800.495	5.800.495
RESULTADOS ANTES DE IMPUESTOS	118.561.449	128.694.825	138.967.654	149.448.710	160.247.572
Depreciación – Amortización	5.800.495	5.800.495	5.800.495	5.800.495	5.800.495
Impuesto a las Ganancias	41.496.507	45.043.189	48.638.679	52.307.049	56.086.650
FLUJO NETO DE EFECTIVO	77.064.942	83.651.636	90.328.975	97.141.662	104.160.922

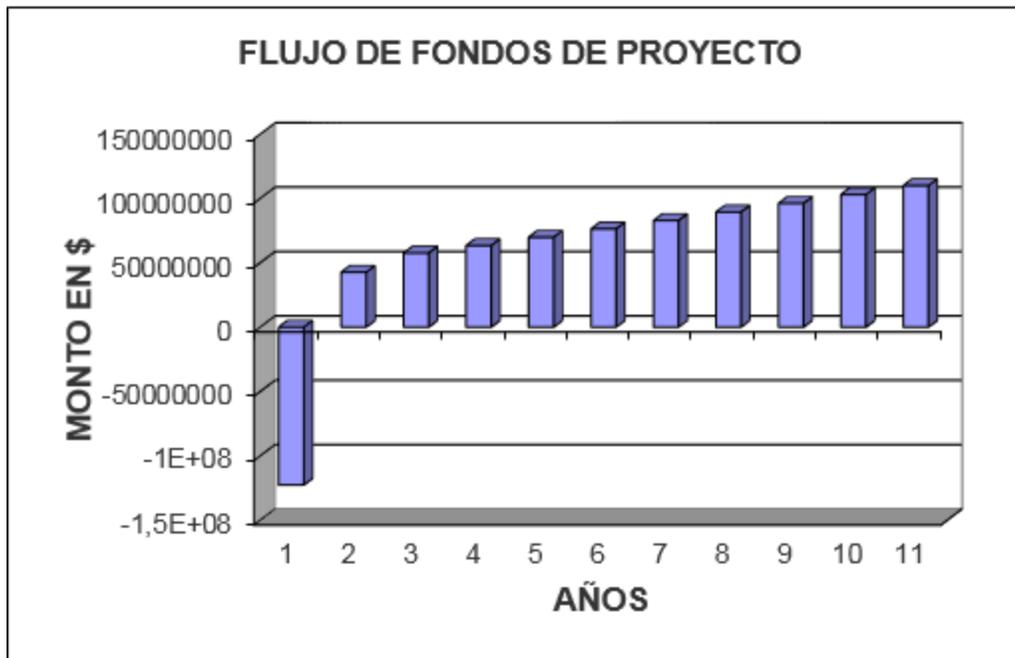


Figura 15.10. Flujo Neto de Efectivo durante 10 años.

15.7.2 Indicadores

15.7.2.1 Valor Neto Actual VAN

El VAN es el valor monetario que resulta de la diferencia entre la suma de los flujos netos y la inversión inicial. Básicamente consiste en descontar o trasladar al presente todos los flujos futuros del proyecto a una tasa igual a la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR). En este caso, se toma una TMAR igual al 41,62%, que es la tasa anual impuesta por la entidad financiera para el crédito solicitado.

Los proyectos se clasifican según la rentabilidad según la rentabilidad como sigue:

- Si el VAN > 0, la inversión produce ganancias y el proyecto debe aceptarse;
- Si el VAN = 0, el proyecto no produce ni ganancias ni pérdidas y no puede decidirse en función a las ganancias;
- Si el VAN < 0, la inversión produce pérdidas y el proyecto debe rechazarse.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Analíticamente, el valor actual se calcula con la Ecuación 15.1.

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \text{ Ecuación 15.1.}$$

Donde I_0 es la inversión inicial, FNE_n los flujos correspondientes a los n años de duración de la actividad y i la tasa de interés (TMAR), valor fijado por el banco con el préstamo. En la Tabla 15.25 se muestra el resultado obtenido del VAN.

Tabla 15.25. VAN.

Indicador	Valor
Valor Actual Neto – VAN	\$ 21.208.981,53

El resultado del VAN es positivo, lo que indica que el proyecto es viable.

15.7.2.2 Tasa Interna de Retorno TIR

La TIR es el interés máximo que podría pagarse por el préstamo solicitado, para la inversión inicial, sin que se comiencen a apreciar pérdidas. Analíticamente, es la tasa que hace el VAN sea igual a cero (la diferencia entre los flujos futuros y la inversión inicial) y para calcularlo se despejan y calculan los intereses en la Ecuación del VAN, para cuando el resultado es nulo.

Un proyecto puede determinarse como viable o rentable si la TIR es mayor que la TMAR, caso en el cual se acepta el mismo. Si la TIR es alta, estamos frente a un proyecto rentable, que supone un retorno de la inversión equiparable a unos tipos de interés altos que posiblemente no se encuentren en el mercado. Si la TIR es baja, sin embargo, es factible que existan otras opciones mejores en el mercado para invertir ($TMAR > TIR$).

El valor de la TIR de este proyecto, calculado analíticamente, se muestra en la Tabla 15.26.

Tabla 15.26. TIR.

Indicador	Valor
Tasa Interna de Retorno	48%

Dado que el valor obtenido como TIR es mayor a la TMAR propuesta por el banco prestador, se concluye que el proyecto es rentable.

15.7.2.3 Relación beneficio/costo

La relación beneficio/costo resulta de dividir el valor actualizado de los ingresos del proyecto entre el valor actualizado de los egresos del proyecto a una tasa de actualización igual a la TMAR.

Los criterios para analizar los resultados son:

- Si la relación es mayor a la unidad, el proyecto es aceptable porque el beneficio es superior al costo;

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Si la relación es menor a la unidad, el proyecto debe rechazarse porque no existen beneficios;
- Si la relación es igual a la unidad es indiferente realizar o no el proyecto.

Como se observa en la Tabla 15.27, la relación obtenida es superior a 1, lo cual hace viable el proyecto en cuestión.

Tabla 15.27. Beneficio/costo

Indicador	Valor
Beneficio/costo	2,28

15.7.3 Período de recupero de la inversión realizada

El período de recuperación de un proyecto, es el número de años a partir de los cuales el acumulado de los FNE (Flujo Neto de Efectivo) previstos iguala a la inversión inicial, en este caso, el PRI es de 2 años y 6 meses, como se muestra en la Tabla 15.28.

Tabla 15.28. Período de recupero de la inversión realizada.

Período		FNE	Saldo
Inversión inicial		0	122.616.942,6
Año 1		42.640.087	-79.976.855,6
Año 2		51.780.156	-28.196.699,6
Año 3	Mes 1	5.463.415,21	-22.733.284,39
	Mes 2	5.463.037,71	17.270.246,68
	Mes 3	5.462.641,01	11.807.605,67
	Mes 4	5.462.233,66	6.345.372,01
	Mes 5	5.461.812,17	883.559,84
	Mes 6	5.461.376,07	4.577.816,23

15.7.4 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad determina los márgenes de rentabilidad de un proyecto desde otra perspectiva, que es el aumento o reducción de un indicador económico como la TIR, frente a la fluctuación de las principales variables consideradas en el estudio económico. De acuerdo con esto, se analiza la variación de la TIR con la desviación del volumen de producción, de los costos de mano de obra, insumos, materia prima y precio de venta, que son las principales variables que influyen en las utilidades.

Este análisis se realiza de forma gráfica, representando la variación de la TIR con la fluctuación de las variables antes mencionadas y comparándola con la función constante TMAR, dado que si la primera se encuentra sobre ésta última, el proyecto es rentable.

15.7.4.1 Variación de la TIR con el precio de venta de L-lisina HCI

En esta sección se analiza la relación entre la Tasa Interna de Retorno y el precio de venta del producto. En caso de disminuir el precio de venta en un 5%, el proyecto deja de ser rentable. Este gráfico se visualiza en la Figura 15.11.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

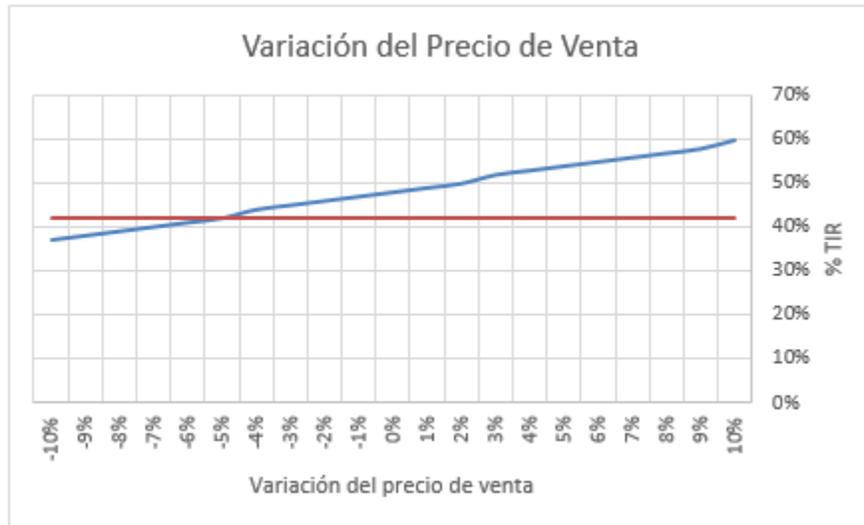


Figura 15.10. Variación de la TIR con el precio de venta.

15.7.4.2 Variación de la TIR con el costo de la materia prima

En esta sección se analiza la relación entre la Tasa Interna de Retorno y el costo de la materia prima. En el caso de aumentar el costo en un 40%, el proyecto dejaría de ser rentable. Este gráfico se muestra en la Figura 15.11.

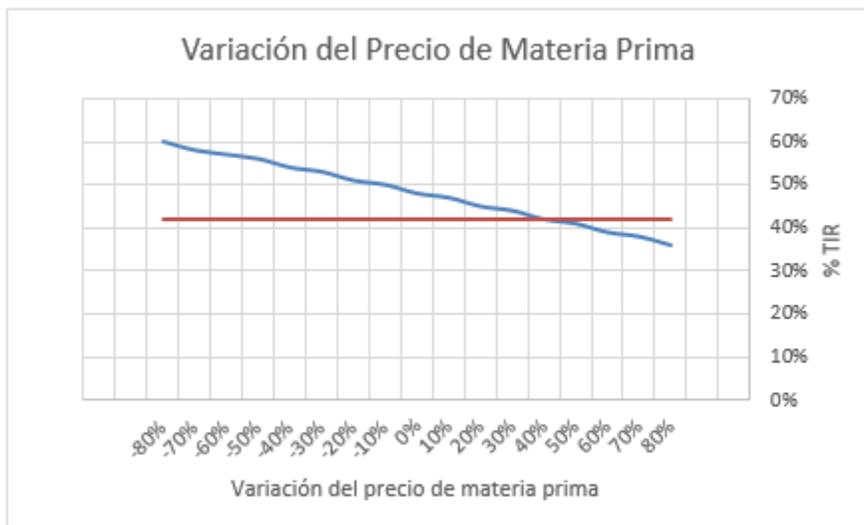


Figura 15.11. Variación de la TIR con el costo de la materia prima.

15.7.4.3 Variación de la TIR con respecto a la mano de obra

Se analiza la sensibilidad de la Tasa Interna de Retorno a los costos de mano de obra (tanto directa como indirecta). Para este caso, se identifica el mismo efecto que para la materia prima (una flexibilidad relativa). El proyecto admite aumentos en los costos de personal hasta un porcentaje del 25%; pasado el mismo, el proyecto genera pérdidas.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

El gráfico correspondiente se exhibe en la Figura 15.12.

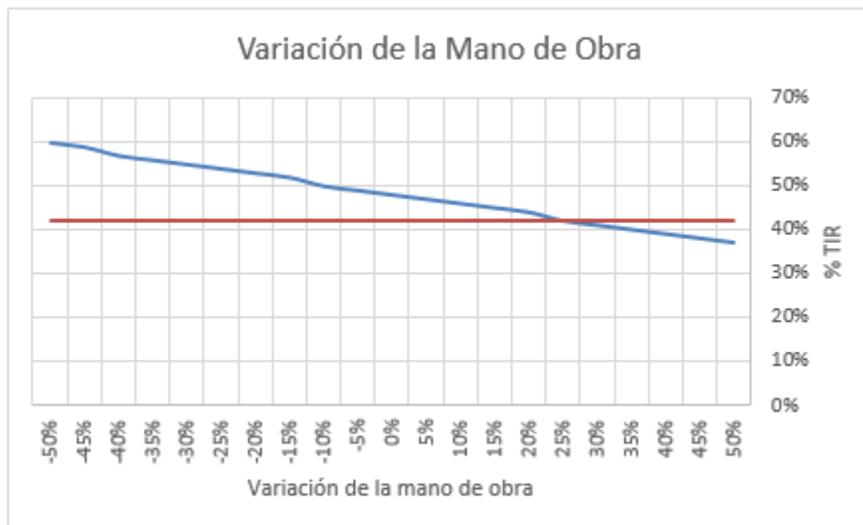


Figura 15.12. Variación de la TIR con la mano de obra.

15.8 Conclusiones del Estudio Económico Financiero

El análisis económico – financiero realizado permite concluir que es necesaria una inversión inicial de \$122.616.942,6 para la construcción de una planta de producción de L-lisina HCI, la cual es financiada por crédito del Banco Nación, con una Tasa Nominal anual fija del 41,62% y un plazo de pago de 10 años.

De acuerdo con los resultados vistos a partir del análisis de los indicadores económicos y de rentabilidad, como el VAN, la TIR y la relación B/C, se observa la viabilidad económica del proyecto y su rentabilidad, manteniendo los precios establecidos para el producto.

Basados en los análisis de sensibilidad se concluye que todas las variables influyen sobre la rentabilidad del proyecto.

Respecto a los indicadores, se obtuvo una TIR de 48%, un VAN positivo de \$21.208.981,53 y una relación beneficio / costo de 2,28. Ellos demuestran, numéricamente, la rentabilidad de este proyecto.

CONCLUSIONES

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Conclusiones

La producción de L-lisina HCl registra un aumento a través de los años, lo que permite inferir que aumentará la demanda de este aminoácido; su producción nacional es clave para la sustitución de las importaciones.

Se seleccionó el proceso más conveniente económicamente y donde se obtuviera la mayor pureza de L-lisina HCl sin generar un alto impacto ambiental.

Se determinó la cantidad de producción para sustituir el total de las importaciones analizando la demanda del mismo.

En la localización se analizó la proximidad a los proveedores, concluyendo como lugar óptimo, la ciudad de San Miguel de Tucumán, Tucumán.

En los balances de masa y energía se llevaron a cabo integraciones energéticas necesarias para lograr mayores rendimientos de proceso.

Se automatizó el proceso que garantiza la seguridad y calidad del producto.

Se efectúa una evaluación económica – financiera, mediante indicadores que determinan la factibilidad del proyecto (VAN – TIR). Las mismas arrojan resultados favorables, lo cual señala que el proyecto de inversión es factible.

BIBLIOGRAFÍA

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Bibliografía

- Apuntes de cátedra Biotecnología
- Apuntes de cátedra. Instalaciones eléctricas y mantenimiento industrial.
- Apuntes de Economía
- ATIEMO – OBENG Y KRESTA. 2004. “Handbook of Industrial Mixing”. Ed. Wiley-Interscience
- ATKINSON, Bernard. 1986. “Reactores bioquímicos.” Segunda edición. Ed. Reverté
- BACA URBINA, Gabriel. 2001. “Evaluación de proyectos”. Cuarta edición. Ed. McGraw-Hill.
- BÜCHS, J. 1994, “Precise optimization of fermentation processes through integration of bioreaction and cost models, Process computations in biotechnology”, New Delhi.
- CASTILLO - FORERO. 2007. “Evaluación de melaza de caña como sustrato”. Bogotá.
- Calderas industriales eficientes. Guía básica. Comunidad de Madrid
- Catálogo de Spraying System
- Chemcad 7.1.2
- ChemicalLogic SteamTab Companion Thermodynamic and Transport Properties of Water and Steam
- Código ASME (American Society of Mechanical Engineers)
- CORDOVÉS HERRERA, Mariana. 2011. “La Miel de caña o Melaza”.
- FECHTER, W., DIENST, J., LE PATOUREL, J. 1997. Patente US5684190.
- FIGUEROA - MONTERO et al. 2007, “Estimación de los coeficientes de transferencia de calor en un reactor de charolas para fermentación en medio sólido usando un soporte inerte”.
- GARIBAY GARCÍA Mariano. 2004, “Principales usos y mercados de los aminoácidos”, en: Biotecnología Alimentaria, México: Ed. Limusa S.A., pp. 402-403.
- GEANKOPLIS, Christie. 1998, “Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias”. Tercera edición. Ed. Ccsa. México.
- GOOGLE MAPS
- GOOGLE EARTH
- GÓMEZ, Yanet, LAGOS, Verónica. 2013, “Obtención y purificación de ácido glutámico a partir de hidrolizados de pulpa de café y jugo de fique fermentables por la bacteria *Corynebacterium Glutamicum* ATCC 13032”. San Juan de Pasto. Trabajo de grado (Químico). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Química.
- HARUTIUNIAN, 2009. Sistema de limpieza CIP (Clean in Place)
- HERNÁNDEZ PEÑARANDA, Alicia. 2003. “Microbiología industrial.” Universidad Estatal a Distancia
- HEINZLE, Elmar. 2007, “Development of Sustainable Bioprocesses”. Ed. Wiley.
- HIMMELBLAU. 1997, “Principios básicos y cálculos en Ingeniería Química”. Sexta edición. Ed. Prentice Hall.
- KERN, Donald. 1999, “Procesos de Transferencia de Calor”. Trigésima primera edición. Ed. Ccsa. México.
- Ley 19587 “Higiene y Seguridad en el Trabajo”, Decreto 4160
- LOPEZ – ARENAS, Teresa. 2014. “Modelling, Simulation and Dynamic Analysis of the L-lysine Production Process”. Universidad Autónoma Metropolitana de Mexico.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- MATAIX, Carlos. 1986. "Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas". Segunda edición. Ed. Del Castillo, Madrid.
- Mc CABE, 1998. *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Cuarta edición. Ed. Mc Graw Hill
- MADIGAN, Michael. 1991. "Microbiología." Sexta edición. Ed. Prentice Hall
- Normas IRAM
- OCON & TOJO. 1986, "Problemas de ingeniería química". Tercera edición. Ed. Aguilar
- OLAZÁBAL, Glenia. 2015. "Estudio técnico – económico de la producción de l-lisina como oportunidad de negocio en la industria azucarera". Facultad de Ciencias Aplicadas a la industria, Cuba.
- OTERO RAMBLA, Miguel. 1997, "Las mieles finales de caña". La Habana, Cuba.
- PERRY, 2001. *Manual del Ingeniero Químico*. Quinta edición. Ed. Mc Graw Hill
- RAMALHO, 1996. "Tratamiento de Aguas Residuales". Segunda edición. Ed. Reverté.
- RAMOS ALVARIÑO, Caridad. "Residuos Orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura". Revista CENIC. Ciencias Químicas, vol. 36, núm. 1, 2005, pp. 45-53. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La Habana, Cuba.
- RABASSA OLAZÁBAL, Glenia. 2015. "Estudio técnico-económico de la producción de L-lisina como oportunidad de negocio en la industria azucarera". Centro Azúcar. N° 4, p. 8.
- ROJAS, Alberto. 2011. "Conceptos y práctica de microbiología general". Universidad Nacional de Colombia.
- RODRIGEZ, 2010. "Caracterización y Tratamiento de Efluentes Líquidos en la Industria Láctea".
- ROSERO BERNAL, Andrea Marcela. 2017. "Obtención y purificación de ácido glutámico a partir de hidrolizados de raquis de palma africana, por fermentación con la bacteria *Corynebacterium Glutamicum* ATCC 13032". Universidad de Nariño, San Juan de Pasto.
- SAPAG CHAIN. 1995. "Preparación y Evaluación de Proyectos". Tercera edición.
- SECRETARÍA DE POLÍTICA ECONÓMICA, MINISTERIO DE HACIENDA. 2018, "Informe de Cadenas de Valor Azucarera", CABA, Argentina.
- STANBURY, 1984. *Principles of fermentation technology*. Segunda edición. Ed. Butterworth Heinemann
- STEVENS, J., BINDER, T. 2003. Patente TW0521996B
- TANAKA, K., SAEKI, M., MATSUSHI, T., KOGA, Y., KAWAKITA, T. Patente US4714767 (1987).
- TEJEDA, MONTESINOS Y GUZMÁN. 2011. "Bioseparaciones". Segunda Edición. Ed. Pearson.
- TOSAKA – TAKINAMI. 1981. Patent US4275157
- VIRUEGA SEVILLA, David, 2018. "Sistema de limpieza CIP en una industria de fabricación de cerveza". Universidad de Valladolid.
- VOGEL, 1997. *Fermentation and biochemical engineering handbook*. Segunda edición. Ed. Noyes Publications
- WARD, Owen. 1991. "Biotecnología de la fermentación." Ed. Acribia
- WEB DE ACAMPANTE. <http://www.acampante.com/ficha-localidad/monteros/tucuman>
- WEB DE AJINOMOTO BRASIL. http://www.lisina.com.br/lisina_cristal_esp.aspx

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCI A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- WEB DE ARTELUM. <http://artelum.com.ar>
- WEB DE CALDERAS FONTANET. <http://www.calderasfontanet.com.ar>
- WEB DE ECURED. <https://www.ecured.cu/Lisina>
- WEB DE ENGINEERING TOOL BOX: https://www.engineeringtoolbox.com/smaller-circles-in-larger-circle-d_1849.html
- WEB DE ESALUD. <https://www.esalud.com/lisina/>
- WEB DE ESTADÍSTICA DE TUCUMÁN. www.estadistica.tucuman.gov.ar
- WEB DE ESTUDIAR A DISTANCIA. <https://www.estudiaradistancia.com.ar/tucuman/monteros>
- WEB DE GRAND VIEW RESEARCH. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/amino-acids-market>
- WEB DE GUIA AMBIENTAL. <http://www.quiaambiental.com.ar/conocimiento-calidad-de-agua-tratamientopreliminar.html>
- WEB DE INDEC. <https://comex.indec.gov.ar>
- WEB DE INFOLEG. <http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/125000-129999/125875/norma.htm>
- WEB DE INTA. <https://inta.gov.ar>
- WEB DE LAMBERTS. <http://lambertsusa.com/art-dsp/l-lisina/>
- WEB DE LA GACETA. <https://www.lagaceta.com.ar/nota/567425/dinero/parque-industrial-espera-empresas-mas-chicas.html>
- WEB DE LEY DE SOCIEDADES COMERCIALES. <http://www.ley19550.com.ar>
- WEB DE MASTER ORGANIC CHEMISTRY. <https://www.masterorganicchemistry.com/2018/11/12/the-strecker-synthesis-of-amino-acids/>
- WEB DE MUNICIPALIDAD ARGENTINA. <https://www.municipalidad-argentina.com.ar/municipalidad-monteros.html#city>
- WEB DE OEC. <https://oec.world>
- WEB DE PORTAL DE ECONOMÍA. <http://www.ecobachillerato.com>
- WEB DE PORTNEWS24. <https://portnews24.com/mi37520-global-lysine-market-status-2015-2019/186230/>
- WEB DE QUÍMICA ORGÁNICA. <https://www.quimicaorganica.org/aminoacidos-peptidos/529-sintesis-de-aminoacidos.html>
- WEB DE QUÍMICA DE PIMA: http://www.quimicapima.com/industrial/Hidroxido_de_amonio_HDS.pdf
- WEB DE RADIANT INSIGHTS. <https://www.radiantinsights.com/press-release/global-amino-acids-market>
- WEB DE SINAX. <http://www.sinax.com.ar>
- WEB DE SKYSCRAPERCITY. <https://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=819030>
- WEB DE UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. Centro de investigación y desarrollo. <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/facultativas.PDF>
- WEB DE WIKIPEDIA. <https://es.wikipedia.org>
- WEININGER, Stephen y STERMITZ, Frank. 1988. "Química Orgánica". Ed. Reverté.
- WEISSERMEL, Klaus y ARPE, Hans-Jurgen. 1980. "Química Orgánica Industrial". Ed. Reverté
- WITTMANN, Christoph. Febrero/2007, "The L-Lysine story: from metabolic pathways to industrial production". Biochemical Engineering. p. 1.

ANEXO I: TÉCNICAS PARA ANÁLISIS Y CONTROL DE CALIDAD

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

TÉCNICA T-01 – N° 160 FARMACOPEA ARGENTINA “DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD”

A menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente, la determinación de la densidad relativa se realiza a 20 °C.

Procedimiento

Emplear un picnómetro perfectamente seco. Determinar el peso del picnómetro vacío y el peso de agua contenida en el picnómetro, recientemente hervida y enfriada a 20 °C. Al peso obtenido, sustraer el peso del picnómetro vacío. Llenar el picnómetro con la sustancia a ensayar a 20 °C.

Ajustar la temperatura del picnómetro lleno a la misma temperatura, eliminar el exceso de líquido y pesar. Al peso obtenido, sustraer el peso del picnómetro vacío. Si el picnómetro contiene menos de 20 ml, las pesadas deben efectuarse con una aproximación de $\pm 0,001$ g; y si contiene más de 20 ml, con una aproximación de $\pm 0,01$ g.

A menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente, la densidad relativa de la sustancia es el cociente entre el peso de la sustancia contenida en el picnómetro menos el peso del picnómetro vacío y el peso de agua contenida en el mismo menos el peso del picnómetro vacío.

TÉCNICA T-02 - N° 109 FARMACOPEA ARGENTINA “MEDICIÓN DE LA VISCOSIDAD”

Materiales y Reactivos

Solución de muestra. Filtrar 100,0 g de la muestra a examinar pasándola a través de un filtro de vidrio sinterizado. Descartar los primeros 10 ml.

El equipo que se utiliza es un viscosímetro de nivel suspendido (Ubbelohde). Constante del viscosímetro: 0,005 mm²/s², viscosidad cinemática entre 1-5 mm²/s, diámetro interno del tubo (R) 0,53 mm, volumen del bulbo (C) 5,6 ml, diámetro interno del tubo (N) 2,8-3,2 mm.

Procedimiento

Determinar el tiempo de flujo para la solución de muestra a 25,00 \pm 0,03 °C. Emplear un viscosímetro de nivel suspendido apropiado con el extremo capilar inferior en forma de embudo. Emplear el mismo viscosímetro en todas las mediciones, medir los tiempos de flujo de salida al menos por triplicado.

El tiempo de flujo es el tiempo requerido para que el nivel de líquido fluya de una marca a la otra, medido con un cronómetro con una precisión de 1/5 de segundo. El resultado es válido solo si dos mediciones consecutivas no difieren en más de 1%. El promedio de todas las mediciones realizadas es el tiempo de flujo del líquido analizado.

Resultados

Calcular la viscosidad dinámica en mPa.s (cP) empleando la siguiente fórmula:

$$\eta = \rho \cdot t$$

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Dónde:

k: constante del viscosímetro (mm^2/s^2).

ρ : densidad del líquido examinado obtenida como múltiplo de su densidad relativa por 0,998 (mg/mm^3).

t: tiempo de flujo del líquido examinado (s).

TÉCNICA T-03 – N° 90 FARMACOPEA ARGENTINA “CONTROL MICROBIOLÓGICO DE PRODUCTOS NO OBLIGATORIAMENTE ESTÉRILES – RECuento DE MICROORGANISMOS AEROBIOS TOTALES”

Cuando sea posible su aplicación, el método de elección es el de Recuento en placa. En caso contrario se podrán utilizar los métodos por filtración o en tubos múltiples (número más probable - NMP). Estos dos últimos métodos no se encuentran explicados, para más información consultar el libro de Farmacopea Argentina - Volumen 4.

Materiales y reactivos

Para dicho análisis se requieren diluyente, Agar Digerido de Caseína-Soja, Placas de Petri estériles (2 por método), Incubadora ($30\text{-}35\text{ }^\circ\text{C}$).

Preparación de la muestra: Disolver o suspender 10 g o 10 ml de muestra en el diluyente para obtener una dilución 1:10 o la resultante de la Validez. Las diluciones así preparadas no deben dejarse más de 1 hora antes de completar el ensayo.

Siembra en profundidad

Transferir 1 ml de la dilución final a cada una de dos placas de Petri estériles. Agregar inmediatamente a cada placa entre 15 y 20 ml del Agar Digerido de Caseína-Soja previamente fundido y enfriado a $45\text{ }^\circ\text{C}$. Tapar las placas de Petri, homogeneizar la muestra con el agar por rotación de las placas y dejar solidificar a temperatura ambiente. Invertir las placas de Petri e incubar a $30\text{ - }35\text{ }^\circ\text{C}$ durante no menos de 3 días. Luego de la incubación, examinar las placas para observar si hubo desarrollo. Contar el número de colonias y expresar el promedio para las dos placas en términos del número de unidades formadoras de colonias por g (UFC/g) o por ml de muestra (UFC/ml). Si no se detectan colonias en las placas, expresar los resultados como menor a la inversa del valor de la dilución utilizada, por ejemplo, para la dilución 1:10 se expresa como menor a 10 UFC/g o mL de muestra. Tener en cuenta que el resultado se debe expresar en función de la dilución y el volumen sembrado.

Siembra en superficie

Sembrar en superficie no más de 0,1 mL de la dilución final sobre al menos dos placas con Agar Digerido de Caseína-Soja previamente secadas en incubadora o campana de flujo laminar. Incubar a $30\text{ - }35\text{ }^\circ\text{C}$ durante no menos de 3 días. Luego de la incubación, examinar las placas para observar si hubo desarrollo. Contar el número de colonias y expresar el promedio para las dos placas como el número de unidades formadoras de colonias por g (UFC/g) o por ml de muestra (UFC/mL). Si no se detectan colonias en las placas, expresar los resultados como menor a la inversa del valor de la dilución utilizada y el volumen sembrado.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Resultado

En los métodos de recuento en placa el número de microorganismos aerobios totales se informará como la sumatoria de todas las colonias desarrolladas en las placas de Agar Digerido de Caseína- Soja incluidos hongos filamentosos y levaduras.

TÉCNICA T-04 - N° 370 FARMACOPEA ARGENTINA “ENSAYOS DE ESTERILIDAD”

Ensayo empleado para verificar la ausencia de contaminación por microorganismos en productos esterilizados o preparados asépticamente. Durante el desarrollo del ensayo, el área de trabajo no debe estar expuesta a la luz ultravioleta directa ni sometida a otros agentes esterilizantes.

La ausencia de contaminación microbiana, evidenciada por este procedimiento, confirma que el producto cumple con los requisitos del ensayo, aunque el mismo no es suficiente para suponer esterilidad de la totalidad del lote ensayado, dadas las limitaciones inherentes a la estadística del muestreo. La condición de estéril se asegura a través de la validación del proceso de esterilización o del procesamiento aséptico.

Procedimiento

El ensayo debe realizarse en condiciones asépticas bajo un flujo laminar, cuya velocidad de aire homogénea sea aproximadamente $0,45 \text{ m/s} \pm 20\%$ en posición de trabajo, en un área de calidad no inferior a la empleada en la fabricación. Puede realizarse de dos maneras: por transferencia directa de la muestra al medio o mediante el método de filtración por membrana. A menos que se especifique otro método, emplear el método de filtración por membrana.

Incubar la mezcla de ensayo no menos de 14 días con medio Tioglicolato o caldo Tioglicolato alternativo a una temperatura entre 30 y 35 °C, y con caldo digerido de caseína-soja a una temperatura comprendida entre 20 y 25 °C.

Soluciones acuosas

Emplear muestras iguales al 10% del volumen y no menor a 20 ml. Transferir una pequeña porción del diluyente para humedecer la membrana. Luego transferir el contenido de la muestra a la unidad filtrante, efectuar una dilución previa, si fuera necesario, y filtrar. Salvo que el producto no tenga propiedades antimicrobianas, lavar la membrana con diluyente, al menos 3 veces con no menos de 100 ml cada vez y no más de 5 lavados de 200 ml cada uno. Transferir la membrana completa o cortarla en dos partes iguales y transferir a los medios adecuados. En caso de sistemas cerrados transferir los medios a las unidades filtrantes. Incubar los medios durante no menos de 14 días.

Resultados

A intervalos, durante y al final del periodo de incubación, examinar los medios de cultivo en busca de evidencia macroscópica de crecimiento microbiano. Si no hay tal evidencia, la muestra cumple con el ensayo de esterilidad. Si en cambio hay evidencia de desarrollo microbiano, la muestra no cumple con el ensayo, a menos que pueda demostrarse claramente que el ensayo es inválido y que la causa de la contaminación no está relacionada con el producto.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

TÉCNICA T-05 - MÉTODO 2.2.1 FARMACOPEA EUROPEA “MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN CELULAR”

Se mide la densidad óptica de una muestra con un espectrofotómetro a 660 nm. De ser necesario, realizar la dilución de la muestra. La correlación entre la absorbancia medida y el peso seco de células (PSC, en g/L) es:

$$PSC=75,44 \cdot abs+1,85$$

TÉCNICA T-06 - N° 475 FARMACOPEA ARGENTINA “ESTERILIZACIÓN EN EQUIPOS”

Indicadores biológicos

Son preparaciones normalizadas de microorganismos seleccionados que se utilizan para valorar la eficacia de los procedimientos de esterilización. Habitualmente se presentan bajo la forma de una población de esporas bacterianas dispuestas sobre un soporte inerte o portador (disco o tira de papel de filtro, vidrio o plástico). Pueden emplearse también indicadores biológicos con más de una especie de bacteria sobre el mismo soporte. El portador inoculado se encuentra dentro de un empaque o envase primario que lo protege de cualquier deterioro o contaminación, pero que permite el pasaje del agente esterilizante.

La elección del organismo indicador para el método de esterilización se realiza de acuerdo a los siguientes requisitos:

- Resistencia elevada de la cepa de ensayo al método de esterilización previsto, en comparación a la resistencia de todos los microorganismos patógenos y de los que pueden producir contaminación del producto.
- La cepa de ensayo no debe ser patógena.
- La cepa de ensayo debe poder cultivarse con facilidad.

Se recomienda que se coloquen los indicadores biológicos en los lugares menos accesibles al agente esterilizante y bajo las mismas condiciones de empaque que el material a procesar. Después de la incubación, la existencia de crecimiento de los microorganismos de referencia que han sido sometidos al proceso de esterilización demuestra que dicho procedimiento ha sido ineficiente.

Para esterilización por vapor se recomienda el uso de las esporas de *Geobacillus stearothermophilus*, ATCC 7953. El número de esporas viables por soporte debe ser no menor de 1×10^5 y el tiempo de mantención a 121 °C superior a 1,5 minutos. Se debe verificar que luego de la exposición de los indicadores al calor húmedo a 121 ± 1 °C durante 6 minutos queden esporas capaces de germinar y que no haya crecimiento del microorganismo de referencia después que los indicadores biológicos hayan sido expuestos al agente esterilizante durante 15 minutos.

TÉCNICA T-07 – N° 120 FARMACOPEA ARGENTINA “DETERMINACIÓN DE AGUA”

La determinación de agua por el método de Karl Fischer se basa en la reacción cuantitativa entre el agua y un reactivo constituido por dióxido de azufre e yodo en presencia de metanol y una base orgánica como la piridina.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Existen dos métodos diferentes basados en la reacción con el yodo: uno es la titulación volumétrica y el otro es un método de titulación coulombimétrica. En el primero, el yodo se disuelve en el reactivo y el contenido de agua es determinado midiendo la cantidad de yodo consumido como resultado de la reacción con el agua. En el otro, el yodo es producido por la electrólisis de un reactivo de Karl Fischer que contiene al ion yoduro. El contenido de agua en una muestra puede ser determinado midiendo la cantidad de electricidad que se requiere para la producción de yodo durante la titulación.

TITULACIÓN VOLUMÉTRICA DIRECTA

Aparato

Consta de buretas automáticas, un frasco de titulación, un agitador y un equipo para titulaciones amperométricas a voltaje constante o titulaciones potenciométricas a corriente constante. Dado que el reactivo de Karl Fischer es sumamente higroscópico, el aparato debe diseñarse de manera que no absorba humedad del ambiente. Para proteger el reactivo de la humedad se emplean además desecantes, como por ej., cloruro de calcio anhidro o gel de sílice.

Reactivo

El reactivo de Karl Fischer puede prepararse por cualquiera de los métodos indicados a continuación. También pueden emplearse reactivos comerciales. [NOTA: el cloroformo y el metanol empleados para la preparación del reactivo deben tener un contenido de agua inferior a 0,1 mg por ml. El metilcellosolve y el éter monometílico dietilenglicol deben tener un contenido de agua inferior a 0,3 mg por ml].

- Método a - Disolver 63 g de yodo en 100 ml de piridina, con un contenido de agua inferior a 1 mg por ml, enfriar la solución en baño de hielo y hacer pasar dióxido de azufre seco a través de esta solución hasta que el aumento de peso sea de 32 g. Llevar a 500 ml agregando cloroformo o metanol y dejar en reposo durante no menos de 24 horas antes de usar.
- Método b - Disolver 102 g de imidazol, con un contenido de agua inferior a 0,1 %, en 350 ml de metilcellosolve o éter monometílico dietilenglicol, enfriar la solución en baño de hielo y hacer pasar dióxido de azufre seco a través de esta solución hasta que el aumento de peso sea de 64 g, manteniendo la temperatura entre 25 y 30 °C. Disolver 50 g de yodo en esta solución y dejar en reposo durante no menos de 24 horas antes de usar.
- Método c - Hacer pasar dióxido de azufre a través de 150 ml de metilcellosolve hasta que el aumento de peso sea de 32 g. A esta solución, previamente enfriada en un baño de hielo, agregar 250 ml de metilcellosolve o cloroformo que contiene 81 g de 2 metilaminopiridina, con un contenido de agua inferior a 1 mg por ml. Disolver 36 g de yodo en esta solución y dejar en reposo durante no menos de 24 horas antes de usar.

El reactivo de Karl Fischer, preparado por cualquiera de estos métodos, debe estandarizarse antes de cada uso, porque su actividad para la determinación de agua cambia con el tiempo. Almacenar el reactivo en un sitio frío, protegido de la luz y la humedad.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Estandarización del reactivo

Transferir una cantidad apropiada de metanol al frasco de titulación seco y titular el solvente con reactivo de Karl Fischer hasta alcanzar el punto final. Luego agregar rápidamente 30 mg de agua, exactamente pesados, a la solución en el frasco y titular el agua con el reactivo de Karl Fischer, con agitación enérgica, hasta alcanzar el punto final. Calcular el factor de equivalencia, f , correspondiente a la cantidad de agua, en mg, por ml de reactivo, por la fórmula siguiente:

$$f = \frac{P}{V}$$

En la cual P es la cantidad de agua tomada, en mg, y V es el volumen de reactivo de Karl Fischer, en ml, consumido para la titulación del agua.

Para la determinación de cantidades de agua menores a 1 %, el reactivo puede estandarizarse con tartrato de sodio según se indica a continuación. Transferir una cantidad apropiada de metanol al frasco de titulación seco y titular el solvente con reactivo de Karl Fischer hasta alcanzar el punto final. Agregar rápidamente 150 a 350 mg de tartrato de sodio ($C_4H_4Na_2O_6 \cdot 2H_2O$) exactamente pesados, y titular hasta alcanzar el punto final. Calcular el factor de equivalencia, f , correspondiente a la cantidad de agua, en mg, por ml de reactivo, por la fórmula siguiente:

$$f = 2 \cdot \left(\frac{18,02}{230,08} \right) \cdot \left(\frac{P}{V} \right)$$

En la cual 18,02 y 230,08 son los pesos moleculares del agua y del tartrato de sodio dihidratado, respectivamente, P es el peso, en mg, de tartrato de sodio dihidratado y V es el volumen, en ml, de reactivo consumido para la titulación del agua.

Procedimiento

En general, la titulación de agua con reactivo de Karl Fischer debería llevarse a cabo a la misma temperatura que se hizo la estandarización y evitando la humedad atmosférica. El aparato se equipa con un resistor variable en el circuito y este resistor se manipula para mantener un voltaje constante entre los dos electrodos de platino sumergidos en la solución a ser titulada, midiéndose la variación de intensidad de corriente (titulación amperométrica a voltaje constante). Durante la titulación, la intensidad de corriente en el circuito varía notablemente, pero vuelve al valor original en pocos segundos. Al final de la titulación, la corriente permanece fija en un valor durante un tiempo generalmente mayor a 30 segundos. Este estado se designa como el punto final de la titulación.

Adicionalmente, el reactivo de Karl Fischer proporciona un indicador visual del punto final, dado el color característico que produce el exceso de yodo en la solución que se está titulando.

De otra manera, la manipulación del resistor sirve para pasar una corriente definida entre los dos electrodos de platino, midiéndose la variación de potencial (titulaciones potenciométricas a intensidad constante). Con el progreso de la titulación, el valor indicado por el potenciómetro disminuye repentinamente desde un estado de polarización de varios centenares de mV al estado de no polarización, pero vuelve al valor original en pocos

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

segundos. Al final de la titulación, el estado de no polarización persiste por un tiempo generalmente mayor de 30 segundos. Este estado se designa como el punto final de la titulación.

Transferir una cantidad apropiada de metanol al frasco de titulación seco y titular el solvente con reactivo de Karl Fischer hasta el punto final. Tomar una cantidad de muestra, exactamente pesada, que contenga entre 5 y 30 mg de agua, transferirla rápidamente al frasco de titulación, disolver agitando y titular la solución, con agitación energética, hasta alcanzar el punto final.

Si la muestra es insoluble, reducir a polvo fino rápidamente, pesar exactamente una cantidad apropiada de la muestra con un contenido de agua estimado entre 5 y 30 mg y transferirla rápidamente al frasco de titulación. Agitar la mezcla entre 5 y 30 minutos, protegiendo de la humedad, y titular con agitación energética.

Aunque el procedimiento de titulación debería llevarse a cabo bajo condiciones de baja humedad, si el efecto de la humedad atmosférica no puede evitarse, como por ej., si se requiere un tiempo largo de extracción y titulación, debe realizarse una titulación con un blanco, bajo las mismas condiciones empleadas para la muestra, y hacer las correcciones necesarias.

Calcular el porcentaje de agua presente en la muestra, por la fórmula siguiente:

$$\left(\frac{V \cdot f}{P}\right) \cdot 100$$

En la cual V es el volumen de reactivo de Karl Fischer, en ml, consumido para la titulación, f es el factor del reactivo de Karl Fischer, en mg de agua por ml de reactivo, y P es la cantidad de muestra, en mg, pesada para la determinación.

TÉCNICA T-08 – N° 290 FARMACOPEA ARGENTINA “DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN POLVOS”

El tamizado es el método generalmente empleado para determinar la granulometría de los polvos de uso farmacéutico. Es particularmente útil cuando la mayoría de las partículas son mayores de 100 µm.

Los tamices se fabrican preferentemente de acero inoxidable, bronce u otro material inerte. Constan de una malla de alambre tejido, con hilos simples y de aberturas cuadradas o casi cuadradas, la cual se fija a la base de un cilindro abierto.

La granulometría de los polvos se caracteriza en términos descriptivos, según la abertura nominal del tamiz por donde pasa dicho polvo. De esta manera se reconocen los siguientes tipos de polvos:

- Polvo grueso - No menos de 100 % pasa a través de un tamiz N° 1,7 y no más de 40 % pasa a través de un tamiz N° 355.
- Polvo moderadamente grueso - No menos de 100 % pasa a través de un tamiz N° 710 y no más de 40 % pasa a través de un tamiz N° 250.
- Polvo moderadamente fino - No menos de 95 % pasa a través de un tamiz N° 355 y no más de 40% pasa a través de un tamiz N° 180.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Polvo fino - No menos de 95 % pasa a través de un tamiz N° 180 y no más de 40 % pasa a través de un tamiz N° 125.
- Polvo muy fino - No menos de 95 % pasa a través de un tamiz N° 125 y no más de 40 % pasa a través de un tamiz N° 90.

Como regla general en esta Farmacopea se emplea la denominación recomendada por la norma ISO 3310-1990.

Procedimiento

El método analítico consiste en colocar los tamices, indicados en la Tabla, uno sobre otro en orden creciente de abertura y luego transferir la muestra al tamiz superior. El conjunto de tamices se agita mediante un dispositivo mecánico que pueda impartir a los tamices ya sea un movimiento rotatorio con golpes de asentamiento (de 200 a 300 revoluciones horizontales y con 150 a 200 golpes de asentamiento por minuto) o un movimiento vibratorio (1 a 2 mm de amplitud), a menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente. Luego se determina el peso del material retenido en cada tamiz. Los resultados se expresan en porcentaje de peso de polvo en cada uno de los intervalos determinados por el tamaño de abertura de los tamices.

- Polvos gruesos y moderadamente gruesos - colocar de 25 a 100 g de muestra sobre un tamiz, normalizado. Agitar durante no menos de 20 minutos o hasta completar el pasaje del polvo. Determinar el peso de la muestra que atravesó la malla y el peso de la muestra remanente en el tamiz.
- Polvos moderadamente finos, finos o muy finos - proceder según se indica en Polvos gruesos y moderadamente gruesos empleando cantidades que no excedan los 25 g y agitando no menos de 30 minutos.

Para los polvos que tiendan a obturar las aberturas del tamiz cepillar cuidadosamente las mismas periódicamente durante el ensayo.

TÉCNICA T-09 – N°540 FARMACOPEA ARGENTINA “LÍMITE DE ARSÉNICO”

Este procedimiento se diseñó para determinar la presencia de trazas de arsénico transformándolo en arsina, la cual forma un complejo de color rojo al pasar a través de una solución de dietilditiocarbamato de plata. El color rojo producido se compara, visual o espectrofotométricamente, contra un control que tiene una cantidad de arsénico equivalente al límite especificado en la monografía correspondiente. Los límites se establecen en términos de arsénico. El contenido de arsénico no debe exceder el límite especificado en la monografía correspondiente.

Existen dos métodos que difieren en el tratamiento preliminar de la muestra a ensayar y del estándar. El Método I se emplea generalmente para sustancias inorgánicas y el Método II para sustancias orgánicas.

Aparato - Consta de un generador de arsina A, al que se le adapta una unidad depuradora C, y un tubo de absorción E, con juntas estándar o esféricas B y D, colocadas entre las unidades. Se puede emplear cualquier otro aparato que tenga características similares.

Solución madre de trióxido de arsénico – Transferir 132,0 mg de trióxido de arsénico, exactamente pesados y previamente secados a 105 °C durante 1 hora, a un matraz aforado

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

de 1 litro. Agregar 5 ml de solución de hidróxido de sodio (1 en 5) y disolver. Neutralizar la solución con ácido sulfúrico 2 N, agregar 10 ml adicionales de ácido sulfúrico 2 N, completar a volumen y mezclar con agua recientemente hervida y enfriada.

Solución estándar de arsénico – Transferir 10,0 ml de la Solución madre de trióxido de arsénico a un matraz aforado de 1 litro y agregar 10 ml de ácido sulfúrico 2 N. Completar a volumen y mezclar con agua recientemente hervida y enfriada. Cada ml de la solución estándar de arsénico contiene el equivalente a 1 µg de arsénico. Conservar esta solución en un recipiente de vidrio y emplearla dentro de los tres días de preparada.

MÉTODO II

Precaución - Se deben tomar medidas de seguridad en todo momento ya que algunas sustancias pueden reaccionar en forma explosiva cuando se oxidan con peróxido de hidrógeno.

[NOTA 1: si se trabaja con compuestos que contienen halógenos, calentar las muestras con ácido sulfúrico a menor temperatura, evitando que la mezcla entre en ebullición y agregar, con mucho cuidado, el peróxido de hidrógeno antes de efectuar la carbonización, para prevenir la pérdida de arsénico trivalente.]

[NOTA 2: si la sustancia en ensayo reacciona rápidamente y comienza a carbonizarse con 5 ml de ácido sulfúrico antes de calentarse, emplear en su lugar 10 mL de ácido sulfúrico diluido (1 en 2) y frío, y agregar unas pocas gotas de peróxido de hidrógeno antes de calentar.]

Solución estándar - Transferir 3,0 ml de Solución estándar de arsénico al generador de arsina; agregar 2 ml de ácido sulfúrico y mezclar. Agregar el volumen de peróxido de hidrógeno al 30 % empleado en la Solución muestra. Calentar la mezcla hasta que se desprendan vapores fuertes.

Dejar enfriar y agregar con cuidado 10 ml de agua y nuevamente calentar hasta que se produzcan vapores fuertes. Se debe repetir este procedimiento con otros 10 ml de agua para eliminar cualquier traza del peróxido de hidrógeno. Enfriar y diluir con agua hasta 35 ml.

Solución muestra - A menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente, transferir al generador de arsina la cantidad, en g, de la sustancia en ensayo calculada por la fórmula siguiente:

$$\frac{3,0}{L}$$

En la cual L es el límite de arsénico en ppm.

Agregar a la muestra 5 ml de ácido sulfúrico, algunas perlas de vidrio y digerir calentando preferiblemente sobre una placa calefactora, debajo de una campana de ventilación a una temperatura no mayor de 120 °C, hasta que se inicie la carbonización. Agregar más ácido sulfúrico, si fuera necesario, para humedecer completamente la muestra, pero se debe tener en cuenta que el volumen total agregado no puede ser mayor de 10 ml. Agregar cuidadosamente, gota a gota, la solución de peróxido de hidrógeno al 30%, esperando entre

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

gota y gota a que la reacción cese antes de efectuar la siguiente adición. Agregar las primeras gotas muy lentamente con agitación constante para evitar una reacción violenta. Interrumpir el calentamiento si el desprendimiento de gases es excesivo.

Cuando la reacción ha terminado, calentar cuidadosamente, rotando el generador de arsina ocasionalmente, para evitar que algunas porciones de la muestra queden adheridas a las paredes del generador de arsina. Mantener las condiciones de oxidación durante la digestión agregando pequeñas cantidades de solución de peróxido de hidrógeno al 30%, cada vez que la mezcla se tome de color marrón o se oscurezca. Continuar la digestión hasta que la materia orgánica se destruya y se desprendan abundantes vapores de trióxido de azufre y que la solución sea incolora o presente solamente un color amarillo pálido. Enfriar y agregar cuidadosamente 10 ml de agua, mezclar y evaporar nuevamente hasta que aparezcan vapores fuertes. Si fuera necesario, repetir el procedimiento para eliminar cualquier traza de peróxido de hidrógeno. Enfriar, lavar las paredes del generador de arsina con 10 ml de agua y diluir con agua a 35 ml.

Procedimiento

Agregar a la solución muestra y a la solución estándar 20 ml de ácido sulfúrico 7 N, 2 ml de ioduro de potasio (SR), 0,5 ml de cloruro estañoso concentrado (SR) y 1 ml de alcohol isopropílico. Mezclar y dejar reposar a temperatura ambiente durante 30 minutos. Colocar en la unidad depuradora dos trozos de algodón previamente impregnados con solución saturada de acetato de plomo, exprimidos para eliminar el exceso de solución y secados al vacío a temperatura ambiente, dejando un pequeño espacio de 2 mm entre las dos porciones de algodón. Lubricar las juntas esmeriladas con grasa apta para emplearse con solventes orgánicos y conectar la unidad depuradora al tubo de absorción. Transferir 3,0 ml de dietilditiocarbamato de plata (SR) al tubo de absorción. Agregar 3,0 g de cinc granulado (malla N° 20) a la mezcla contenida en el generador de arsina e inmediatamente conectar la unidad depuradora al mismo.

Colocar el sistema en un baño de agua a 25 ± 3 °C y permitir la formación de hidrógeno y el desarrollo de color durante 45 minutos agitando el sistema suavemente a intervalos de 10 minutos.

Desconectar el tubo de absorción y la unidad depuradora del generador de arsina y transferir la solución a celdas de absorción de 1 cm.

El color rojo producido por la solución muestra no debe ser mayor que el producido por la solución estándar. Si fuera necesario, determinar la absorbancia a la longitud de onda de máxima absorción, entre 535 y 540 nm, en un espectrofotómetro o colorímetro apropiado, empleando dietilditiocarbamato de plata (SR) como blanco.

Interferencias químicas - Los metales o las sales de metales como el cromo, cobalto, cobre, mercurio, molibdeno, níquel, paladio y plata, pueden interferir con la formación de arsina. El antimonio que forma estibina produce una interferencia positiva en el desarrollo del color con dietilditiocarbamato de plata (SR). Cuando se sospecha la presencia de antimonio, el color rojo que se produce en las dos soluciones de dietilditiocarbamato de plata, puede ser comparado a la longitud de onda de máxima absorción entre 535 y 540 nm con un colorímetro apropiado ya que a esta longitud de onda la interferencia debida a la estibina es despreciable.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

TÉCNICA T-10 – N° 600 FARMACOPEA ARGENTINA “LÍMITE DE PLOMO”

Para este ensayo se deben almacenar todos los reactivos y soluciones en envases de vidrio al borosilicato. Lavar perfectamente todos los materiales de vidrio a emplear con ácido nítrico diluido 1 en 2 y luego con agua.

Precaución - Todo este procedimiento debe realizarse bajo campana. El operador debe extremar las medidas de seguridad ya que puede liberarse ácido cianhídrico y algunas sustancias pueden producir explosiones violentas cuando son digeridas con peróxido de hidrógeno.

Reactivos

- Solución de amoníaco-cianuro - Disolver 2g de cianuro de potasio en 15 ml de hidróxido de amonio y diluir con agua a 100 ml.
- Solución de ditizona para extracción – Disolver 30 mg de ditizona en 1 litro de cloroformo y agregar 5 ml de alcohol. Almacenar esta solución en un sitio frío. Antes de emplear, agitar un volumen determinado de esta solución con aproximadamente la mitad de su volumen de ácido nítrico diluido (1 en 100) en una ampolla de decantación y descartar el ácido nítrico.
- Solución de citrato de amonio - Disolver 40 g de ácido cítrico en 90 ml de agua. Agregar 2 ó 3 gotas de rojo de fenol (SR) y luego agregar, cuidadosamente, hidróxido de amonio hasta que la solución se torne de color rojizo. Extraer el plomo que pudiera estar presente en la solución, con porciones de 20 ml de Solución de ditizona para extracción, hasta que ésta mantenga su color verde anaranjado.
- Solución estándar de plomo diluida - Diluir un volumen, exactamente medido, de Solución estándar de plomo (ver 590. Límite de metales pesados) que contenga 10 µg de plomo por ml (10 ppm) con 9 volúmenes de ácido nítrico diluido (1 en 100), hasta obtener una solución que contenga 1 µg de plomo por ml (1 ppm).
- Solución de clorhidrato de hidroxilamina - Disolver 20 g de clorhidrato de hidroxilamina en cantidad suficiente de agua y diluir hasta obtener 65 ml de solución. Transferir a una ampolla de decantación y agregar 5 gotas de azul de timol (SR). Luego agregar hidróxido de amonio hasta que la solución adquiera un color amarillo. Agregar 10 ml de una solución de dietilditiocarbamato de sodio (1 en 25), mezclar y dejar en reposo 5 minutos. Extraer esta solución con porciones sucesivas de 10 a 15 ml de cloroformo hasta que una porción de 5 ml del extracto clorofórmico no presente un color amarillo cuando se agita con sulfato cúprico (SR). Agregar ácido clorhídrico 3 N hasta que la solución se torne de color rosado y luego diluir con agua a 100 ml.
- Solución de cianuro de potasio - Disolver 50 g de cianuro de potasio en 100 ml de agua. Extraer el plomo de esta solución con porciones sucesivas de solución de ditizona para extracción, según se indica en Solución de citrato de amonio y luego agitar con cloroformo para extraer cualquier resto de ditizona. Finalmente diluir con cantidad suficiente de agua para obtener una solución con una concentración al 10 % de cianuro de potasio.
- Solución estándar de ditizona - Disolver 10 mg de ditizona en 1 litro de cloroformo. Almacenar esta solución en envase inactivo, con tapón de vidrio, exento de plomo. Conservar esta solución en un sitio frío.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

- Solución muestra - Cuando en la monografía no se especifique la preparación de la Solución muestra, proceder del siguiente modo. Transferir 1,0 g de la muestra, exactamente pesado, a un matraz aforado. Agregar 5 ml de ácido sulfúrico y unas perlas de vidrio. Calentar lentamente sobre una placa calefactora hasta que comience la carbonización. [NOTA: si la muestra reacciona rápidamente y antes de calentar comienza a carbonizarse con los 5 ml de ácido sulfúrico, emplear en su lugar 10 ml de ácido sulfúrico diluido (1 en 2), enfriar y agregar unas gotas de peróxido de hidrógeno antes del calentamiento.] Si fuera necesario, agregar ácido sulfúrico hasta impregnar la muestra completamente en un volumen total que no exceda los 10 ml. Agregar lentamente peróxido de hidrógeno al 30 %, mezclar con cuidado para evitar una reacción rápida y discontinuar el calentamiento si la formación de espuma es excesiva. Agitar por rotación la solución en el matraz para impedir que la muestra que no haya reaccionado se aglutine en las paredes del mismo. Agregar más peróxido de hidrógeno si la mezcla se oscurece. Continuar el calentamiento hasta que se desprendan gases copiosos de trióxido de azufre y la solución se torne incolora. Enfriar y agregar, con cuidado, 10 ml de agua, evaporar hasta que nuevamente se desprendan gases de trióxido de azufre y enfriar. Repetir este procedimiento con otros 10 ml de agua para eliminar el peróxido de hidrógeno remanente. Diluir con 10 ml de agua y enfriar.

Procedimiento

Transferir la Solución muestra o el volumen de Solución muestra especificado en la monografía correspondiente a una ampolla de decantación. [NOTA: si fuera necesario, lavar con 10 ml de agua.] Agregar 6 ml de Solución de citrato de amonio y 2 ml de Solución de clorhidrato de hidroxilamina.

[NOTA: para la determinación de plomo en sales de hierro emplear 10 ml de Solución de citrato de amonio.]

Agregar 2 gotas de rojo de fenol (SR) y alcalinizar la solución, mediante el agregado de hidróxido de amonio, hasta que se torne de color rojo. Si fuera necesario, enfriar la solución y agregar 2 ml de solución de cianuro de potasio. De inmediato, extraer la solución con porciones de 5 ml de solución de ditizona para extracción y eluir cada extracto en otra ampolla de decantación, hasta que la solución de ditizona mantenga su color verde. Agitar las soluciones combinadas durante 30 segundos con 20 ml de ácido nítrico diluido (1 en 100) y descartar la fase clorofórmica. Agregar a la solución ácida 5,0 ml de Solución estándar de ditizona y 4 ml de Solución de amoníaco-cianuro.

Agitar durante 30 segundos: el color violeta de la fase clorofórmica no debe ser más intenso que el de una solución control preparada con un volumen de solución estándar de plomo diluida.

TÉCNICA T-11 – N° 580 FARMACOPEA ARGENTINA “LÍMITE DE HIERRO”

Este ensayo se emplea para determinar que el contenido de hierro, férrico o ferroso, no excede el límite especificado en la monografía correspondiente. La determinación se realiza mediante la comparación visual con un control preparado a partir de una solución estándar de hierro.

OBTENCIÓN DE L-LISINA HCl A PARTIR DE MELAZA

Proyecto Final de grado – Ingeniería Química

Reactivos especiales

- Solución estándar de hierro – Disolver 863,4 mg de sulfato férrico amónico $[\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ en cantidad suficiente de agua, agregar 10 ml de ácido sulfúrico 2 N y diluir con agua hasta completar 100,0 ml. Transferir 10 mL de esta solución a un matraz aforado de 1 litro, agregar 10 ml de ácido sulfúrico 2 N, diluir a volumen con agua y mezclar. Esta solución contiene el equivalente a 10 μg de hierro por ml.
- Solución de tiocianato de amonio – Disolver 30 g de tiocianato de amonio en agua para obtener 100 ml.
- Solución estándar - Transferir 1 ml de Solución estándar de hierro (10 μg de Fe) a un tubo de Nessler de 50 ml, diluir con agua a 45 ml, agregar 2 ml de ácido clorhídrico y mezclar.
- Solución muestra - Transferir la solución preparada para el ensayo según se indica en la monografía correspondiente a un tubo de Nessler de 50 ml y, si fuera necesario, diluir con agua a 45 ml o disolver en agua y luego diluir a 45 ml la cantidad de la sustancia en ensayo, en g, calculada por la fórmula siguiente:

$$\frac{1}{1000 \cdot L}$$

En la cual L es el límite de hierro en porcentaje. Agregar 2 ml de ácido clorhídrico y mezclar.

Procedimiento

A cada uno de los tubos que contienen la solución estándar y la solución muestra agregar 50 mg de cristales de persulfato de amonio, 3 ml de Solución de tiocianato de amonio y mezclar: el color de la solución obtenida a partir de la solución muestra no debe ser más intenso que el de la solución obtenida a partir de la solución estándar.

ANEXO II: PLANOS