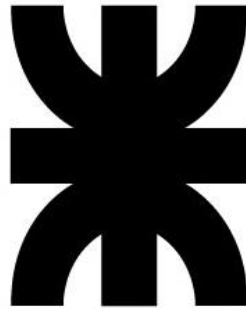


**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA**



PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final para obtener el grado en Ingeniería Química

CRESCINI, Giuliana – NITARDI, Gimena Belén

OCTUBRE, 2022

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Firma de las alumnas

CRESCINI, Giuliana

Firma:

DNI 41.085.725

NITARDI, Gimena Belen

Firma:.....

DNI 39.734.825

Aceptado por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María el
día.....del mes dedel año 2022.

Aprobada por su contenido y estilo.

Presidente del Tribunal:

Primer Miembro Vocal:

Segundo Miembro Vocal:

Nota final de aprobación:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecerle a nuestra querida y prestigiosa Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Villa María; por brindarnos los conocimientos necesarios para ser excelentes profesionales y por las oportunidades tanto académicas como laborales. También, le hacemos llegar el más profundo agradecimiento a nuestros profesores por el apoyo y la predisposición en el transcurso de la carrera; especialmente al Ing. Rubén Baccifava, quien fue nuestro guía y supervisor de este proyecto, como así también, al Ing. Miguel Rosa, quien fue un gran soporte en la resolución de las dudas que se presentaron en el desarrollo del presente trabajo.

Nos gustaría agradecerles desde lo más profundo de nuestros corazones a nuestros padres por su esfuerzo, apoyo y confianza, en nuestro proceso de formación. También le hacemos llegar nuestro afecto a familiares, amigas y compañeros por su incondicionalidad y aliento.

Estamos muy orgullosas y felices del equipo que formamos durante estos años de cursado, ya que nos acompañamos durante el crecimiento tanto profesional como personal. Nos convertimos en grandes compañeras, amigas y colegas.

Fue un placer haber sido parte de esta enriquecedora experiencia.

Giuliana y Gimena

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza un estudio económico financiero para evaluar la viabilidad de instalar una planta de producción de ácido ascórbico a partir de jarabe de alta dextrosa. Se basa en un estudio de mercado donde se expone la demanda insatisfecha de este producto en Argentina, teniendo como objetivo satisfacer parte de la misma. Para ello se realiza un balance de masa y energía que luego sirve para el diseño de los equipos.

El ácido ascórbico tiene diversas aplicaciones tanto en industria farmacéutica como en industria alimentaria lo que lo convierte en un producto muy valioso y requerido.

El método de obtención detallado en el presente proyecto consiste en distintas etapas como, hidrogenación, fermentación, esterificación, lactonización y purificación.

Palabras claves: Vitamina C, ácido ascórbico, Jarabe de alta dextrosa, hidrogenación, fermentación, esterificación, lactonización.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ÍNDICE

1. OBJETIVOS Y GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	16
1.1 OBJETIVOS GENERALES.....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3 GENERALIDADES DEL PROYECTO	16
2. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO, PROPIEDADES Y USOS, MATERIAS PRIMAS E INSUMOS.....	19
2.1 INTRODUCCIÓN	19
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS INSUMOS Y MATERIAS PRIMAS	19
2.2.1 Jarabe de alta dextrosa.....	19
2.2.2 Hidrógeno	21
2.2.3 Catalizador Níquel-Raney	24
2.2.4 Microorganismos.....	25
2.3 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	26
2.3.1 Propiedades fisicoquímicas	27
2.3.2 Usos	29
3. ESTUDIO DE MERCADO.....	31
3.1 INTRODUCCIÓN.....	31
3.2 MERCADO MUNDIAL DEL ÁCIDO L-ASCÓRBICO.....	31
3.3 MERCADO NACIONAL DEL ÁCIDO L-ASCÓRBICO.....	33
3.3.1 Importaciones	33
3.3.2 Exportaciones	36
3.3.3 Demanda insatisfecha	37
3.4 MERCADO DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	39
3.4.1 Jarabe de alta dextrosa.....	39
3.4.2 Hidrógeno	41
3.4.3 Microorganismos.....	42
3.5 ANÁLISIS FODA	43
4. CAPACIDAD DE LA PLANTA.....	45
4.1 INTRODUCCIÓN	45

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

4.2 PRODUCCIÓN ÓPTIMA EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA.....	45
4.3 REQUERIMIENTO DE MATERIAS PRIMAS.....	46
5. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	49
5.1 INTRODUCCIÓN	49
5.2 MACROLOCALIZACIÓN.....	49
5.3 MICROLOCALIZACIÓN	53
5.3.1 Método de puntuaciones ponderadas	55
6. DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	59
6.1 INTRODUCCIÓN	59
6.2 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO L- ASCÓRBICO.....	59
6.2.1 Método de Reichstein-Grüssner.....	59
6.2.2 Otros métodos de producción	61
6.3 SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	63
6.3.1 Hidrogenación catalítica de la D-glucosa	63
6.3.2 Oxidación microbológica desde D-sorbitol a ácido 2-ceto-L-gulónico	66
6.3.3 Esterificación de ácido 2-ceto-L-gulónico.....	68
6.3.4 Lactonización de 2-ceto-L-gulonato de metilo	68
6.3.5 Membrana de electrodiálisis	69
6.3.6 Evaporación de metanol y agua.....	69
6.3.7 Purificación en torre de carbón activado	69
6.3.8 Secado	70
6.3.9 Resumen de las etapas del proceso de obtención de ácido L-ascórbico	70
7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....	72
7.1 INTRODUCCIÓN	72
7.2 BALANCE DE MASA.....	72
7.2.1 Hidrogenación catalítica del sorbitol.....	78
7.2.2 Fermentación de D-Sorbitol para obtener L-Sorbosa	86
7.2.3 Fermentación de L-sorbosa a ácido 2-ceto-L-gulónico.....	90
7.2.4 Esterificación	95

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

7.2.5 Lactonización.....	100
7.2.6 Membrana bipolar de electrodiálisis.....	102
7.2.7 Evaporación, purificación y secado.....	105
7.3 BALANCE DE ENERGÍA.....	109
7.3.1 Hidrogenación catalítica del sorbitol.....	110
7.3.3 Segunda fermentación.....	123
7.3.4 Esterificación.....	128
7.3.5 Lactonización.....	131
7.3.6 Membrana bipolar de electrodiálisis.....	132
7.3.7 Evaporación.....	134
7.3.8 Condensador.....	134
7.3.9 Torre de carbón activado.....	134
7.3.10 Torre de secado.....	135
7.4 RESUMEN.....	135
8. DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS.....	138
8.1 INTRODUCCIÓN.....	138
8.2 ADOPCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	138
8.2.1 Tanque de almacenamiento para el jarabe de alta dextrosa T-01.....	138
8.2.2 Tanque de almacenamiento de agua T-02.....	139
8.2.3 Tanque de almacenamiento para hidróxido de sodio T-03.....	139
8.2.4 Tanque de almacenamiento para sorbitol al 70% T-04.....	140
8.2.5 Tanque de almacenamiento de medio de cultivo primera fermentación T-05.....	140
8.2.6 Tanque de almacenamiento de medio de cultivo para la segunda fermentación T-06.....	141
8.2.7 Tanque de almacenamiento de vitamina C diluida T-07.....	141
8.3 ADOPCIÓN DE FILTROS.....	142
8.3.1 Filtro para la recuperación de catalizador Níquel Raney F-01.....	142
8.3.2 Filtro para la separación de biomasa F-02.....	143
8.3.3 Filtro para la retención de la resina F-03.....	144

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.4 INTERCAMBIADORES DE CALOR	145
8.4.1 Intercambiador de calor I-01	145
8.4.2 Intercambiador de calor I-02	148
8.4.3 Intercambiador de calor I-03	152
8.4.4 Intercambiador de calor I-04	153
8.4.5 Intercambiador de calor I-05	157
8.4.6 Intercambiador de calor I-06	159
8.4.7 Intercambiador de calor I-07	163
8.4.8 Intercambiador de calor I-08	164
8.4.9 Intercambiador de calor I-09	165
8.4.10 Intercambiador de calor I-10	165
8.5 EVAPORADORES	167
8.6 REACTORES	170
8.6.1 Reactor de hidrogenación	170
8.6.2 Sistema de la primera fermentación	181
8.6.3 Sistema de la segunda fermentación	191
8.6.4 Reactor de esterificación	202
8.6.5 Reactor de lactonización	207
8.7 COLUMNAS	212
8.7.1 Columna de intercambio iónico	213
8.7.2 Columna de carbón activado	217
8.8 TAMIZ MOLECULAR	219
8.9 BOMBAS	219
8.9.1 Bomba P-01	220
8.9.2 Bomba P-02	221
8.9.3 Bomba P-03	222
8.9.4 Bomba P-04	223
8.9.5 Bomba P-05	224
8.9.6 Bomba P-06	225

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.9.7 Bomba P-07.....	226
8.9.8 Bomba P-08.....	227
8.9.9 Bomba P-09.....	228
8.9.10 Bomba P-10.....	229
8.9.11 Bomba P-11.....	230
8.9.12 Bomba P-12.....	231
8.9.13 Bomba P-13.....	232
8.9.14 Bomba P-14.....	233
8.9.15 Bomba P-15.....	234
8.9.16 Bomba P-16.....	234
8.9.17 Bomba P-17.....	235
8.9.18 Bomba P-18.....	236
8.9.19 Bomba P-19.....	237
8.9.20 Bomba P-20.....	238
8.10 TORRE DE DESTILACIÓN.....	239
8.11 MEMBRANA BIPOLAR.....	241
8.12 TORRE DE SECADO.....	242
9. SERVICIOS AUXILIARES.....	245
9.1 INTRODUCCIÓN.....	245
9.2 AGUA DE POZO.....	245
9.2.1 Agua requerida en las diferentes etapas.....	245
9.2.2 Sistema de limpieza CIP.....	246
9.2.3 Tanque de almacenamiento de agua.....	250
9.2.4 Diagrama de abastecimiento de agua.....	250
9.3 VAPOR DE AGUA.....	251
9.3.1 Adopción de la caldera.....	251
9.3.2 Diagrama de abastecimiento de vapor.....	253
9.4 GAS NATURAL.....	253
9.4.1 Consumo de gas.....	254

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

9.4.2 Red de cañerías de gas	254
9.5 SISTEMA DE VACÍO.....	255
9.6 EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO	256
9.6.1 Diagrama de enfriamiento.....	258
9.7 SERVICIO DE ELECTRICIDAD	259
9.7.1 Elementos de la instalación eléctrica	259
9.7.2 Consumo de energía eléctrica de los equipos.....	260
9.8 CÁLCULO DE BOMBAS	261
9.8.1 Bombas de tratamientos de efluentes	261
9.8.2 Bombas de limpieza CIP	263
9.8.3 Bomba de agua de enfriamiento	266
10. GESTIÓN DE CALIDAD	269
10.1 INTRODUCCIÓN	269
10.2 BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA	269
10.2.2 Gestión de calidad	270
10.2.2 Materias primas y materiales	270
10.2.3 Higiene	271
10.2.4 Personal.....	272
10.2.5 Instalaciones.....	273
10.2.6 Auditorías.....	274
10.2.7 Material y productos no conformes	274
10.3 HACCP.....	275
10.3.1 Puntos críticos de control (PCC)	275
10.4 CONTROL DE CALIDAD	277
10.4.1 Materias primas e insumos	277
10.4.2 Productos intermedios	278
10.4.3 Producto terminado.....	278
10.5 REGISTROS DE CONTROL.....	286
11. TRATAMIENTO DE EFLUENTES	291

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

11.1 INTRODUCCIÓN	291
11.2 PÁRAMETROS	291
11.3 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE EFLUENTES	293
11.4 NORMATIVA SOBRE EL VERTIDO DE EFLUENTES	293
11.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DE LA PLANTA.....	296
11.6 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES	296
11.6.1 Laguna de tratamiento	297
12. OBRAS CIVILES.....	301
12.1 INTRODUCCIÓN	301
12.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO.....	302
12.2.1 Sector 1, Garita de seguridad	304
12.2.2 Sector 2, Estacionamiento	305
12.2.3 Sector 3, Hall de acceso y recepción	305
12.2.4 Sector 4, Oficinas administrativas	305
12.2.6 Sector 6, Sanitarios.....	306
12.2.7 Sector 7, Comedor	306
12.2.8 Sector 8, Sanitarios.....	306
12.2.10 Sector 9, Laboratorio.....	306
12.2.11 Sector 10, Oficina de panel de control	307
12.2.12 Sector 11, Antesala de descontaminación	307
12.2.13 Sector 12, Depósito de insumos y materias primas.....	307
12.2.14 Sector 13, Área de producción.....	308
12.2.15 Sector 14, Área de envasado y almacenamiento	308
12.2.16 Sector 15, Área de servicios auxiliares	308
12.2.17 Sector 16, Sala de caldera.....	309
12.2.18 Sector 17, Tratamiento de efluentes	309
12.2.19 Sector 18, Espacio de circulación de camiones.	309
12.2.20 Sector 19, Taller de mantenimiento.....	309
13. ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL	311

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

13.1 INTRODUCCIÓN	311
13.2 TIPO DE SOCIEDAD COMERCIAL	311
13.3 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA	312
13.3.1 Organización interna	312
13.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO.....	313
13.4.1 Gerente general.....	313
13.4.2 Departamento de higiene y seguridad.....	314
13.4.3 Departamento de calidad	314
13.4.4 Departamento de producción	316
13.4.5 Departamento de mantenimiento	317
13.4.6 Departamento de administración	318
13.4.7 Departamento de logística	319
13.5 ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y TURNOS DE TRABAJO	320
14. HIGIENE Y SEGURIDAD.....	324
14.1 LEGISLACIÓN INDUSTRIAL.....	324
14.2 POLÍTICA DE HIGIENE Y SEGURIDAD	324
14.3 GESTIÓN DE HIGIENE Y SEGURIDAD.....	325
14.4 SEGURIDAD	326
14.4.1 Proceso productivo.....	326
14.4.2 Diseño de equipos	326
14.4.3 Obras civiles y estructurales	327
14.4.4 Instalaciones eléctricas	327
14.4.5 Protección contra incendios.....	328
14.4.6 Plan de evacuación y emergencia	329
14.4.7 Mantenimiento	331
14.4.8 Manipulación de sustancias químicas	331
14.4.9 Señalización de la planta	332
14.5 HIGIENE	334
14.5.1 Identificación de peligros.....	334

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14.5.2 Evaluación de riesgos.....	335
14.5.3 Prevención y control de riesgos	336
14.5.4 Protección personal	337
14.5.5 Sanidad industrial	338
14.5.6 Plan de higiene en el trabajo.....	339
15. INSTALACIONES ELECTRICAS	341
15.1 INTRODUCCIÓN	341
15.2 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	341
15.2.1 Conductores eléctricos (cables)	341
15.2.2 Bandejas portacables.....	341
15.2.3 Tableros.....	342
15.2.4 Tomacorrientes	342
15.2.5 Transformadores.....	342
15.2.6 Dispositivos de protección	343
15.2.7 Iluminación.....	343
15.3 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	350
15.3.1 Consumo total de energía eléctrica del sistema de iluminación	350
15.3.2 Consumo total de energía eléctrica de la planta.....	351
16. AUTOMATIZACIÓN	353
16.1 INTRODUCCIÓN	353
16.2 CONTROL AUTOMATICO DE PROCESOS	353
16.3 P&ID.....	355
16.4 HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS.....	356
17. EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA.....	362
17.1 INTRODUCCIÓN	362
17.2 INVERSIÓN	363
17.2.1 Activos fijos.....	364
17.2.2 Activos nominales	370
17.2.3 Capital de trabajo.....	372

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17.2.4 Inversión total del proyecto	373
17.3 COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN	374
17.3.1 Costos variables	375
17.3.2 Costos fijos	378
17.3.3 Costos generales	382
17.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN UNITARIO	383
17.5 INGRESO POR VENTAS	384
17.6 FINANCIACIÓN DEL PROYECTO	384
17.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA	385
17.7.1 Estado de los resultados.....	386
17.7.2 Indicadores	389
17.7.3 Análisis de sensibilidad	391
17.8 Conclusiones del Estudio Económico Financiero	392
BIBLIOGRAFÍAS	396
ANEXO 1 CONTROL DE CALIDAD.....	400
POES	400
POES-01 Limpieza y desinfección de pisos y paredes.....	400
POES-02 Limpieza y desinfección de manos	400
TÉCNICAS ANALÍTICAS.....	401
T-01, determinación de la densidad específica de un compuesto.....	401
T-02, determinación del contenido de azúcares reductores (como glucosa)	402
T-03, determinación del contenido de agua en la muestra	403
T-04, determinación de pH.....	404
T-05, determinación de la temperatura de solidificación	404
T-06, determinación de Microorganismos totales	404
T-07, determinación de hongos y levaduras	405
T-08, determinación de coliformes	406
T-09, determinación de la conductividad para el agua pura, desionizada.	406
T-10, determinación de endotoxinas bacterianas - N° 330 Farmacopea Argentina	407

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

T-11, determinación de dureza de agua	410
T-12, determinación de la concentración de sorbitol.....	412
T-13, determinación de la concentración celular - Método 2.2.1 Farmacopea Europea “medición de concentración celular”	413
T-14, determinación de la concentración de sorbosa, ácido 2 ceto L gulónico, 2 ceto L gulonato de metilo; compuestos orgánicos.....	414
T-16, determinación del límite de metales pesados – N° 590 Farmacopea Argentina	416
ANEXO II HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	420
Fichas técnicas de datos de seguridad.....	420
Dextrosa	420
Sorbitol	421
Hidrógeno	422
Metanol.....	424
Hidróxido de sodio	426
Carbonato de sodio	428
Ácido ascórbico	430

CAPÍTULO 1:

OBJETIVOS Y GENERALIDADES DEL PROYECTO

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

1. OBJETIVOS Y GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVOS GENERALES

- Determinar la viabilidad técnico-económica de un proyecto de inversión para la realización de una planta de obtención de ácido ascórbico empleando como materia prima jarabe de dextrosa.
- 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 la vitamina C, 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 vitamina C 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 del proyecto.

1.3 GENERALIDADES DEL PROYECTO

En el presente proyecto se analiza la factibilidad técnico-económica de instalar una planta de elaboración de ácido ascórbico a partir de jarabe de dextrosa, utilizando el método de producción que se considere más adecuado, con el fin de obtener un producto competitivo en cuanto a precio y calidad.

Como no existe producción de la vitamina a nivel nacional, su abastecimiento proviene de las importaciones, por lo que, en este proyecto se pretende abastecer al mercado nacional cuyo consumo se encuentra en constante crecimiento.

La vitamina C se utiliza en industrias farmacéuticas y alimenticias debido a sus múltiples propiedades. Debido a que las industrias farmacéuticas son multinacionales, su abastecimiento está cubierto ya que, proviene de importaciones de las mismas empresas. Por ende, en este proyecto se busca proveer a las industrias alimenticias

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

que actualmente consiguen este producto importando desde fuera del territorio nacional.

Se describen todos los procesos de producción de ácido ascórbico 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 la ingeniería 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 desde este enfoque.

CAPÍTULO 2:

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

2. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO, PROPIEDADES Y USOS, MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se encuentran detalladas las materias primas e insumos necesarios para la producción de vitamina C, así como también el producto en sí, sus usos y características.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS INSUMOS Y MATERIAS PRIMAS

2.2.1 Jarabe de alta dextrosa

El jarabe de alta dextrosa se produce a gran escala a partir de almidón de maíz, el cual es hidrolizado por una mezcla de ácido y enzimas glucoamilasas generando así un producto de alto valor nutritivo, pero no tan dulce como la sacarosa, obteniendo valores mínimos entre 94.5% y 96% de D-glucosa.

Se usa en procesos de fermentación como en la producción de ácido cítrico; también ayudan a incrementar la cantidad de azúcares fermentables en la producción de vinos y en la fabricación de sorbitol por medio de un proceso de hidrogenación la cual, es una de las etapas intermedias en la producción de ácido L-ascórbico. Cuando los jarabes de dextrosa de alto contenido de D-glucosa, se someten a un proceso de cristalización, se obtienen dos tipos de dextrosa comercialmente conocidos como: dextrosa monohidratada y dextrosa anhidra.

Este jarabe es producido en nuestro país por Arcor S.A, Glucovil S.A e Ingredion S.A en función de las especificaciones del cliente, el mismo sale de la planta a una temperatura entre 55°C y 60°C para reducir la precipitación.

En la tabla 2.1 se pueden observar las especificaciones del jarabe de alta dextrosa con las que debe cumplir al salir de la planta.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 2.1 – Especificaciones del jarabe de alta dextrosa

ESPECIFICACIONES		
Fisicoquímicas		
	Mínimo	Máximo
Sólidos (IR a 45°C), %	64	69
Dextrosa (HPL), % b.s)	94.5	-
Levulosa, % b.s	-	1
Maltosa, % b.s	-	3,5
pH	3,7	6,7
Dióxido de azufre, ppm.	-	0,002
Aspecto	Líquido	
Olor/Sabor	Característico	
Microbiológicas		
Recuento de bacterias, ufc/10ml	200	
Hongos, ufc/10ml	10	
Levaduras, ufc/10ml	10	
Coliformes, NMP/10ml	Ausente	
E. Coli/ml	Ausente	
Información complementaria		
	Mínimo	Máximo
Metales pesados (Como Pb)	-	2
Cenizas, %	-	0,02
Arsénico, ppm	-	1
Distribución típica de azúcares: (HPLC), % b.s		
DP1 Dextrosa	94,5	
DP2 Maltosa	3,1	
DP3 Maltotriosa	1,1	
DP4 + Azúcares superiores	1,1	
Envase		
A granel		
Vida útil		
En condiciones normales de manipuleo y conservación, el producto se mantiene inalterable durante tres meses.		

Fuente: Gerente de CAFAGDA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Este jarabe se obtiene por doble conversión enzimática, denominadas “licuefacción” y “sacarificación”, de una solución de almidón de maíz, y posterior concentración hasta la cantidad de sólidos establecida en la especificación.

Durante la licuefacción, una solución que contiene 30-35 % de almidón se calienta a 105 °C. Se mantiene durante 5-10 minutos a esta temperatura y bajo presión. Las moléculas desplegadas de amilosa y amilopectina que se encuentran en el almidón gelatinizado son altamente susceptibles al ataque enzimático.

Con α -amilasa, se desglosan rápidamente en dextrina soluble, ramificada o lineal. La licuefacción del almidón es un paso crítico con respecto a la calidad del producto final.

Durante la sacarificación, la amilosa parcialmente hidrolizada y las moléculas de amilopectina son despolimerizadas por la acción de la glucoamilasa. El rendimiento de la glucosa suele limitarse a aproximadamente el 95 %. Las condiciones de operación son de 4 – 4,5 para el pH, 60 °C para la temperatura, 48 – 72 h para el tiempo de reacción. (Ronco & Antonello, 2010)

2.2.2 Hidrógeno

El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, insípido y no venenoso bajo condiciones normales. Es el elemento más simple conocido, existe como una molécula diatómica. Comúnmente no es frecuente encontrarlo en su forma pura, ya que reacciona rápidamente con otros elementos para formar compuestos más estables. Combinado con el oxígeno forma agua (H_2O). Combinado con el carbono puede formar distintos componentes como el metano (CH_4) o el petróleo.

Tiene un alto contenido de energía por unidad de masa con un poder calorífico comprendido entre 119 y 141 MJ/kg. Estos valores son muy superiores a los de otros combustibles convencionales, siendo el poder calorífico inferior del hidrógeno del orden de tres veces superior al de la gasolina.

Para uso industrial el hidrógeno puede ser generado por diferentes métodos que se clasifican de la siguiente manera:

- Termoquímicos: usan calor y reacciones químicas para obtener el hidrógeno de combustibles convencionales o biomasa.
- Electrolíticos: el agua se disocia en hidrógeno y oxígeno usando electricidad.
- Biológicos: microorganismos tales como bacterias y algas pueden generar hidrógeno por procesos biológicos propios.
- Otros procesos: descomposición fotocatalítica y biológica del agua.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Actualmente, un 96 % del hidrógeno en el mundo se extrae a partir de combustibles fósiles y solo un 4 % a través del agua (Figura 2.1). (Vásquez & Salinas, 2018)

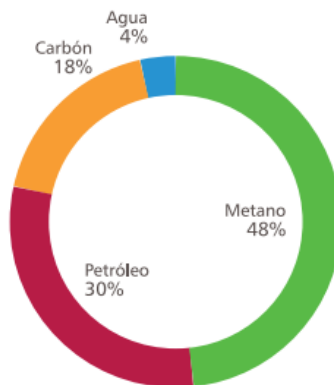


Figura 2.1 – Fuentes de extracción del hidrógeno

Fuente: Libro “Tecnología del hidrógeno y perspectivas para Chile”

Cabe destacar que, si bien el agua no es la principal fuente de producción de hidrógeno, por el momento se posiciona como la única alternativa para la producción de hidrógeno “verde” o renovable a gran escala. Por otro lado, se está investigando el uso de energía solar concentrada para la utilización de calor y electricidad en procesos termoquímicos y electrolíticos, ya que para esto generalmente se utilizan combustibles fósiles.

La forma más utilizada actualmente para obtener hidrógeno es la reformación de gas metano con vapor (SMR) donde a este gas se lo somete a un tratamiento térmico y luego se lo mezcla con vapor a alta temperatura y presión; como subproducto de este proceso se obtiene monóxido de carbono que debe ser removido para transformarse en dióxido de carbono y así lograr la pureza del producto deseado. La causa de la utilización de este proceso en lugar de otros se debe a la economía del mismo para producir la molécula a gran escala.

En la producción de ácido ascórbico, el hidrógeno se emplea para la hidrogenación catalítica del jarabe de alta dextrosa donde se produce sorbitol.

En la tabla 2.2 se muestran las propiedades fisicoquímicas y en la tabla 2.3 los riesgos asociados a su manipulación.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 2.2 – Propiedades fisicoquímicas del hidrógeno

Propiedades fisicoquímicas	
Peso molecular	2,016 g/mol
Presión crítica	12,8 atm
Temperatura crítica	-239,91 °C
Coefficiente de difusión en el aire	0,61 cm/s
Calor específico a presión constante (0°C)	3,4 cal/g
Temperatura de autoignición	580 °C
Punto de ebullición normal	-252,766 °C
Punto de fusión (1 atm)	-259,2°C
Límites de inflamabilidad en el aire	4 – 75 % en volumen
Límites de detonación en el aire	18,3 – 59 % en volumen
Calor de disociación (25°C)	104,2 kcal/mol
Densidad del gas H ₂ (15 °C – 1 atm)	0,0853 kg/m ³
Densidad del líquido H ₂ (-252 °C)	70,973 kg/m ³

Fuente: Proyecto final "Producción de sorbitol por hidrogenación catalítica"

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 2.3 – Riesgos implicados en la manipulación de hidrógeno

Riesgos	
Inhalación	Es un asfixiante simple. No tóxico, las altas concentraciones pueden excluir un suministro de oxígeno adecuado a los pulmones, los efectos de deficiencia de oxígeno resultante de asfixiantes simples pueden incluir: respiración rápida, agudeza mental disminuida, coordinación muscular afectada. A medida que la asfixia progresa, pueden resultar en náuseas, vómitos y postración y pérdida de la conciencia, llevando eventualmente a convulsiones, coma y muerte.
Contacto con la piel	Efectos sobre la piel no son probables.
Contacto con los ojos	Ninguno conocido, ya que el producto es un gas a temperatura ambiente.
Ingestión	La ingestión es improbable, ya que el hidrógeno es un gas a temperatura ambiente.

Fuente: Indura S.A

2.2.3 Catalizador Níquel-Raney

El catalizador Ni-Raney se obtiene a partir de una aleación de níquel – aluminio, de la cual el aluminio se disuelve mediante una reacción con una solución acuosa concentrada de hidróxido de sodio, generando una partícula porosa de níquel, con una elevada área superficial, lo que le confiere su gran actividad catalítica. Por esto y por su bajo costo se utiliza en procesos de hidrogenación a nivel industrial, aunque su selectividad no es tan eficaz, lo que provoca bajos rendimientos y mayores costos de purificación. La inclusión de metales como molibdeno, hierro y cromo en la estructura del catalizador se utiliza para mejorar su selectividad.

Una cualidad del catalizador es la termoestabilidad que posee lo que indica que si se somete a una modificación de temperaturas puede resistir los cambios físicos y químicos que se dan en su estructura.

Los catalizadores Raney están disponibles de forma granular para aplicaciones de lecho fijo o en su forma tradicional en solución de partículas finamente divididas. Estas presentaciones se obtienen dependiendo el grado de molienda al que es sometida la aleación. Generalmente, se encuentra al catalizador en solución ya que esto evita la oxidación del mismo y por ende que pierda actividad catalítica. En la tabla 2.4 se

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

muestran las propiedades fisicoquímicas del mismo. Debe almacenarse en recipientes cerrados, en lugares frescos y bien ventilados.

Tabla 2.4 – Propiedades fisicoquímicas del catalizador níquel Raney en solución

Propiedades fisicoquímicas	
Composición, % p/p	Agua: 49 - 51 Níquel: 44 - 46 Aluminio: 6 – 8
Color	Gris oscuro
Olor	Inodoro
pH (20°C)	9 – 11
Solubilidad	Insoluble en agua. Soluble en ácido nítrico diluido. Ligeramente soluble en ácido clorhídrico y sulfúrico
Tamaño de partículas	35 - 75 μm
Densidad	$>1,2 \text{ g/cm}^3$
Área superficial	100 - 120 $\text{m}^2/\text{g}_{\text{cat}}$
Diámetro de poro	2 - 8 nm
Temperatura de descomposición	$>100^\circ\text{C}$

Fuente: Sigma-Aldrich

El catalizador genera reacciones violentas en contacto con agentes oxidantes fuertes, metales, ácidos fuertes, sulfuros, nitratos de níquel y alcoholes. También puede causar efectos nocivos en la salud como reacción cutánea alérgica, daños en el tracto respiratorio, ojos. Dependiendo de la duración y el nivel de exposición puede causar cáncer. Debe evitarse el derrame en alcantarillas ya que es perjudicial para el ambiente.

2.2.4 Microorganismos

Como etapas intermedias de la obtención del ácido ascórbico se encuentran dos fermentaciones, las cuales deben llevarse a cabo con microorganismos específicos del género *Gluconobacter*, el cual, pertenece a la familia de *Acetobacteraceae*; en el año 1980 las especies pertenecientes al género *Gluconobacter* se redujeron a una sola especie, *Gluconobacter oxydans*, que a su vez se subdivide en cuatro subespecies: subsp. *oxydans*, *suboxydans*, *industrius* y *melanogenus*. (Cassandra De Muyenck, Naessens, Parmentier, Soetaert, & Vandamme, 2007)

Gluconobacter Oxydans es uno de los microorganismos que se utiliza con mayor frecuencia en la industria biotecnológica. Su capacidad única para oxidar de forma incompleta los sustratos de polialcoholes ha dado lugar a numerosos procesos de

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

producción para la síntesis de compuestos como la vitamina C, ácidos cetogluconicos, dihidroxiacetona, y vinagre. (Cassandra De Muynck, Naessens, Parmentier, Soetaert, & Vandamme, 2007) Recibe su nombre de especie de *oxys*, que en latín significa "fuerte, ácido" y *dans*, "dando".

Es una bacteria gram-negativa, aerobia obligada que tiene un tipo de metabolismo respiratorio el cual, utiliza oxígeno como aceptor terminal de electrones, puede adquirir forma de bacilo o elipsoidal, se presenta como una sola célula o en pares y rara vez en cadena, su tamaño ronda entre 0,4 y 4,5 μm de largo y entre 0,4 y 1 μm de ancho. Presentan flagelos y no forman endosporas como estructura de supervivencia. La temperatura óptima de crecimiento está entre los 25-30°C, y el pH óptimo de crecimiento es de 5,5. Esta especie ha demostrado no tener efectos patógenos en personas ni en animales.

El microorganismo preferido para la conversión de l-sorbosa a ácido 2-ceto-L-gulónico es *Gluconobacter Oxydans* DSM 4025. Esta cepa fue depositada el 17 de marzo de 1987 en Deutsche Sammlung von Mikroorganismen en Göttingen, Alemania (actualmente localizado en Braunschweig), basado en las estipulaciones del tratado de Budapest, bajo la denominación DSM 4025 (Estados Unidos Patente nº US 6.238.897, 1999)

Para la obtención de l-sorbosa a partir de sorbitol el microorganismo preferido es *Gluconobacter Suboxydans* NBRC 3291. El nombre científico de este es *Gluconobacter Thailandicus* y su cepa está depositada en National Biological Resource Center of Japan.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Ácido ascórbico o l-ácido ascórbico es la designación oficial de la IUPAC para la vitamina C. El ácido ascórbico es la vitamina antiescorbútica natural. (Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2016). El nombre ascórbico proviene del prefijo a (sin) y del latín *scorbuticus* (escorbuto).

A nivel industrial la vitamina C se sintetiza químicamente a partir de la glucosa, mediante una serie de reacciones catalizadas por enzimas.

El ácido ascórbico se encuentra en cantidades significativas en verduras, frutas y órganos de animales como hígado, riñones y cerebro. Los humanos no son capaces de sintetizar el ácido ascórbico por falta de la enzima gulonolactonaoxidasa; por esta razón se debe incorporar al organismo a través de fuentes naturales o fuentes

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

sintéticas, ya que es necesario para todas las funciones biológicas, incluidas las reacciones enzimáticas y las antioxidantes.

2.3.1 Propiedades fisicoquímicas

El ácido l-ascórbico es un compuesto hidrosoluble que posee propiedades ácidas y fuertemente reductoras. Contiene una agrupación enediol (dos grupos hidroxilo en los extremos de un doble enlace entre C2 y C3) y actúa, al igual que todos los enediones, como reductor energético, ionizando el hidroxilo situado sobre el C3, formando un anión que queda estabilizado por resonancia.

La estructura química del ácido ascórbico se muestra en la figura 2.2; tiene un anillo casi plano de cinco miembros, los dos centros quirales en las posiciones cuatro y cinco determinan los cuatro estereoisómeros. (Handbook of Vitamins, 2001)

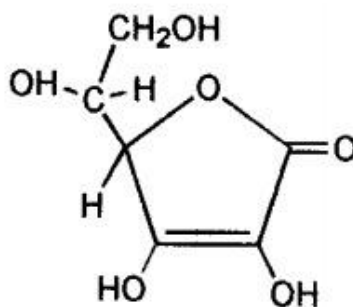


Figura 2.2 – Estructura química del ácido l-ascórbico

Como posee dos carbonos asimétricos (C4 y C5) son posibles dos pares de isómeros ópticamente activos (Figura 2.3). La forma natural de la vitamina es el isómero L que posee propiedades nutricionales; en cambio las formas D (ácido D-isoascórbico y ácido D-ascórbico) son prácticamente inactivas contra el escorbuto, pero muestran un potencial óxido-reducción similar al del isómero L.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

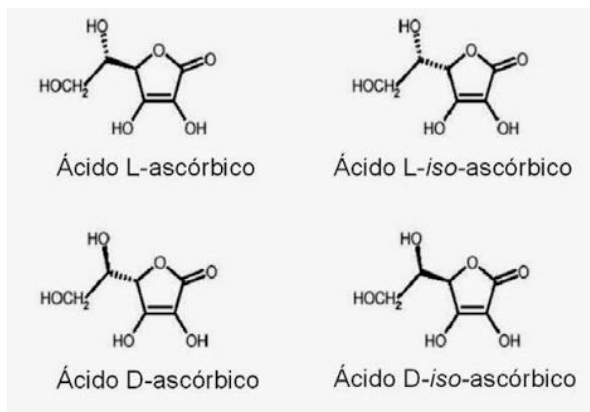


Figura 2.3 – Isómeros del ácido l-ascórbico

La característica más significativa del l-ácido ascórbico es su oxidación a deshidro-l-ácido ascórbico ($C_6H_6O_6$) con el que forma un sistema redox reversible (Figura 2.4). Esta propiedad reductora, junto con sus cualidades nutricionales y baja toxicidad, es el principal motivo de las numerosas aplicaciones de la vitamina C en la industria alimentaria y farmacéutica. (Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2016).

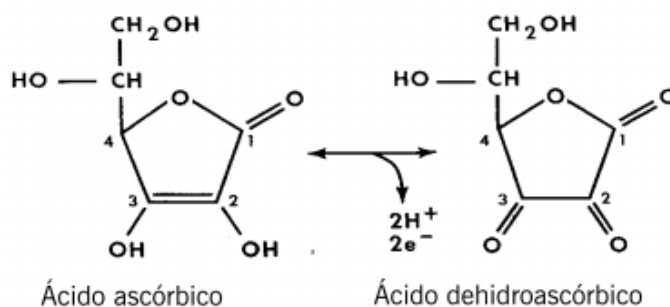


Figura 2.4 – Oxidación a deshidro-l-ácido ascórbico

Un resumen de las propiedades fisicoquímicas del ácido l-ascórbico se detalla a continuación en la tabla 2.5:

Tabla 2.5 – Propiedades fisicoquímicas del ácido l-ascórbico

Propiedades fisicoquímicas	
Formula química	$C_6H_8O_6$
Peso molecular	176,13 g/mol
Estado físico, apariencia	Polvo cristalino, blanco, inodoro y con sabor acidulo.
Solubilidad (g/ml)	0,33 (Agua)
	0,02 (Etanol puro)
	0,01 (Glicerol)

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

	0,05 (Propilenglicol) Insoluble en éter, benceno, aceites y grasas.
pK ₁ (25°C)	4,17
pK ₂ (25°C)	11,79
pH	3 (5 g/l) 2 (50 g/l)
Potencial redox	Primera etapa: E ¹⁰ = +0,127 V (pH 5)
Punto de fusión	190°C – 192°C (descomposición)
Densidad	1,65 g/cm ³
Estabilidad	Seco es estable en aire En solución se oxida rápidamente

Fuente: Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry

2.3.2 Usos

El ácido l-ascórbico tiene diversas aplicaciones tanto en industria farmacéutica como en industria alimentaria. En la primera se utiliza para preparaciones multivitamínicas y productos cosméticos, ya que en el cuerpo ayuda a proteger las células contra los daños causados por los radicales libres, favorece la producción de colágeno, mejora la absorción del hierro, mejora la respuesta inmunitaria para prevenir y combatir infecciones, y por último, previene el escorbuto; mientras que en la segunda se aplica en el procesamiento de carne, frutas y harina debido a la actividad antioxidante y vitamínica del ácido que permite conservar los alimentos evitando olores, sabores y colores indeseables generados por degradación oxidativa, como así también realizando el valor nutritivo. Algunos ejemplos en esta industria son:

- Inhibición de la formación de nitrosaminas en productos cárnicos curados.
- Protección contra el pardeamiento enzimático en frutas y verduras procesadas.
- Restauración nutricional y fortificación de alimentos y bebidas.
- Mejora de la calidad de la harina y la masa.
- Retraso de la rancidez oxidativa en grasas y aceites.
- Mayor claridad en vino y cerveza.
- Actividad sinérgica en aplicaciones con otros oxidantes (ej.: tocoferoles)

CAPÍTULO 3:

ESTUDIO DE MERCADO

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

3. ESTUDIO DE MERCADO

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se lleva a cabo el estudio de mercado donde se analiza el comercio mundial y nacional del ácido L-ascórbico en función de la cantidad demandada. También, se evalúa el mercado de las materias primas para determinar la disponibilidad de las mismas en el país. Por último, se incorpora un análisis FODA para observar las cualidades que hacen viable al proyecto.

3.2 MERCADO MUNDIAL DEL ÁCIDO L-ASCÓRBICO

El ácido l-ascórbico encuentra una amplia gama de aplicaciones en las industrias de alimentos y bebidas, agricultura, farmacéutica, cosméticas, químicas, entre otras.

A nivel mundial la producción de ácido se segmenta en las diversas regiones:

- América del Norte
- América Latina
- Europa
- Sur de Asia
- Este de Asia
- Medio Oriente y África

Las importaciones de Argentina representan el 0,8% de las importaciones mundiales del ácido l-ascórbico, quedando en el puesto 29 del ranking mundial. El país con mayor importación de este producto es Estados Unidos seguido por Alemania. A continuación, en la tabla 3.1 se detallan las respectivas cantidades comercializadas y sus precios durante el año 2020 de ciertos países.

Tabla 3.1 - Países importadores de ácido l-ascórbico

Importadores	Valor importado en 2020 (miles de USD)	Saldo comercial 2020 (miles de USD)	Cantidad importada en 2020 (t)	Valor unitario (USD/t)
Mundo	1.209.790	-72.115	246.654	4.905
Estados Unidos	274.100	-170.273	60.327	4.544
Alemania	71.698	-17.132	17.577	4.079
Corea del sur	60.447	-55.253	7.037	8.590
Japón	57.536	-19.122	11.929	4.823
Países Bajos	47.919	-2.883	14.251	3.363
Francia	45.053	-21.664	8.337	5.404
Indonesia	38.299	-38.153	7.295	5.250
Polonia	32.812	-21.617	8.157	4.023
India	32.756	-24.567	7.354	4.454

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DEXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Canadá	32.583	-30.196	5.391	6.044
Brasil	30.449	-30.051	8.130	3.745
Filipinas	29.844	-29.590	5.114	5.836
Reino Unido	25.844	-21.780	5.290	4.885
Italia	24.189	-21.682	5.415	4.467
España	19.678	-14.342	0	0
Tailandia	19.112	-16.656	3.046	6.274
Australia	19.082	-16.968	3.522	5.418
Bélgica	17.133	-3.449	4.804	3.566
Singapur	14.836	766	1.601	9.267
Sudáfrica	13.875	-12.162	2.838	4.889
Vietnam	13.732	-13.250	2.504	5.484
Turquía	13.225	-12.007	3.388	3.903
México	12.915	-12.847	3.095	4.173
Malasia	12.395	-11.869	2.001	6.194
Nueva Zelanda	10.706	-10.175	895	11.962
Rusia	10.571	-10.138	2.726	3.878
Colombia	9.994	-9.633	1.984	5.037
Chile	9.949	-9.918	3.880	2.564
Argentina	9.911	-9.911	1.735	5.712

Fuente: ITC, Elaboración propia

Entre 2015 y 2019, las importaciones mundiales de vitamina C registraron tasas de crecimiento del 4% anual, mientras que EEUU, Alemania y los Países Bajos alcanzaron un 2%. En cambio, Japón, Brasil, España, Reino Unido, Italia y otros registraron un 5-8% anual.

En el ranking global de exportadores, China, es el país que ocupa el primer puesto superando ampliamente en cantidad producida de ácido l-ascórbico a Estados Unidos quien lo precede en la clasificación, esto se muestra en la tabla 3.2.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 3.2 - Países exportadores de ácido L-ascórbico

Exportadores	Valor exportado en 2020 (miles de USD)	Saldo comercial 2020 (miles de USD)	Cantidad exportada en 2020 (t)	Valor unitario (USD/t)
Mundo	1.137.675	-72.115	256.372	4.438
China	754.567	749.104	207.019	3.645
EEUU	103.827	-170.273	7.855	13.218
Alemania	54.566	-17.132	11.231	4.859
Países Bajos	45.036	-2.883	10.319	4.364
Japón	38.414	-19.122	188	204.330
Francia	23.389	-21.664	3.471	6.738
Singapur	15.602	766	932	16.740
Bélgica	13.684	-3.449	3.439	3.979
Polonia	11.195	-21.617	2.670	4.193
Portugal	8.408	2.338	732	11.486
India	8.189	-24.567	425	19.268

Fuente: ITC

Los principales productores de ácido ascórbico en el mundo son:

- Sigma-Aldrich Corporation (Merck) (Alemania / USA)
- Koninklijke DSM NV (Holanda)
- Northeast Pharmaceutical Group Co., Ltd. (China)
- CSPC Pharmaceutical Group Limited. (China)
- MUBY CHEMICALS (India)
- Shandong Luwei Pharmaceutical (China)
- North China Pharmaceutical Co. Ltd, (China)
- Glanbia Nutritionals China (Suzhou) Co., Ltd (China)
- LabChem Inc. (Sudafrica)
- China BBKA Group Corporation.

3.3 MERCADO NACIONAL DEL ÁCIDO L-ASCÓRBICO

3.3.1 Importaciones

Los principales países desde donde se importa ácido l-ascórbico en Argentina se visualizan en la tabla 3.3 y su respectivo porcentaje en la figura 3.1. Estos valores se encuentran detallados por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INDEC), para su búsqueda se utiliza la posición arancelaria 2936.27.10, referido como Vitamina C (Ácido L o DL-ascórbico).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 3.3 – Países de origen de las importaciones

País de origen	Peso neto (kg)
China	1.285.466,41
Uruguay	6.443,86
Estados Unidos	3,35
Francia	4.200,00
India	300
Japón	0,2
México	8.000,00
Reino Unido	175.275,45
Alemania	4.451,10
Suiza	0,01

Elaboración propia. Fuente: INDEC

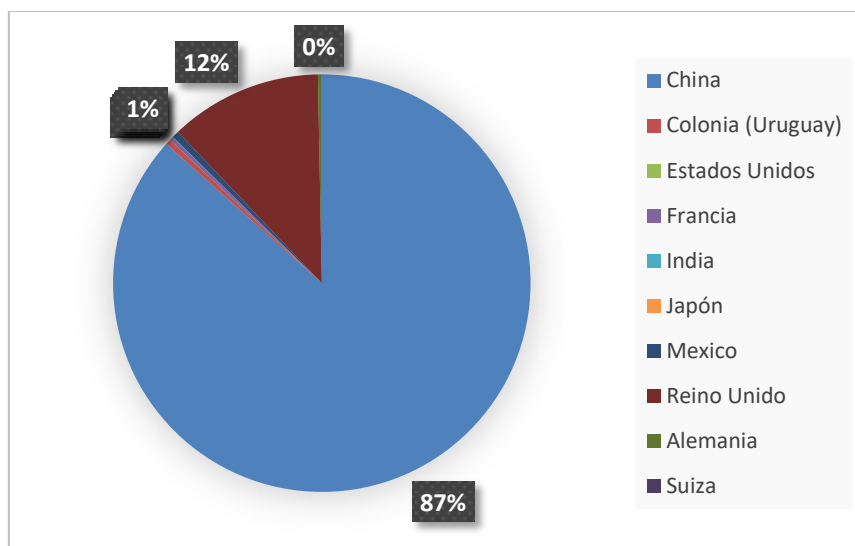


Figura 3.1 - Países de origen de las importaciones

Elaboración propia. Fuente: INDEC

En la figura 3.2 se muestra como varía la cantidad demandada de ácido l-ascórbico en un período de diez años, la misma presenta un gran incremento en el año 2020, en comparación con los antecesores los cuales, tienen un comportamiento oscilante. Este incremento se debe a la pandemia de coronavirus, a causa del efecto inmunoregulador y antioxidante del ácido ascórbico, utilizándose como medida preventiva o tratamiento coadyuvante frente a la enfermedad. Tiene un gran uso en la industria farmacéutica para la creación de suplementos vitamínicos que ayudan al fortalecimiento del sistema inmunológico.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

A continuación, en la figura 3.3 se representa el precio en dólares de los kilogramos totales importados desde el 2010 hasta el 2020. La línea de tendencia que se representa en esta figura demuestra que el precio del ácido L-ascórbico se mantiene constante.

Tabla 3.4 - Importaciones de ácido l-ascórbico durante el período 2010-2020

Importaciones		
Año	Cantidad (kg)	Precio USD
2010	913.079	9.603.831,00
2011	813.265	6.248.005,00
2012	1.075.283	6.722.721,00
2013	950.301	5.354.260,00
2014	990.367	5.634.027,00
2015	1.192.641	6.126.772,00
2016	964.171	4.656.232,00
2017	965.009,22	7.415.869,23
2018	1.121.864,08	8.733.978,14
2019	1.110.224,95	5.527.007,12
2020	1.484.140,34	7.861.188,31

Elaboración propia. Fuente: INDEC

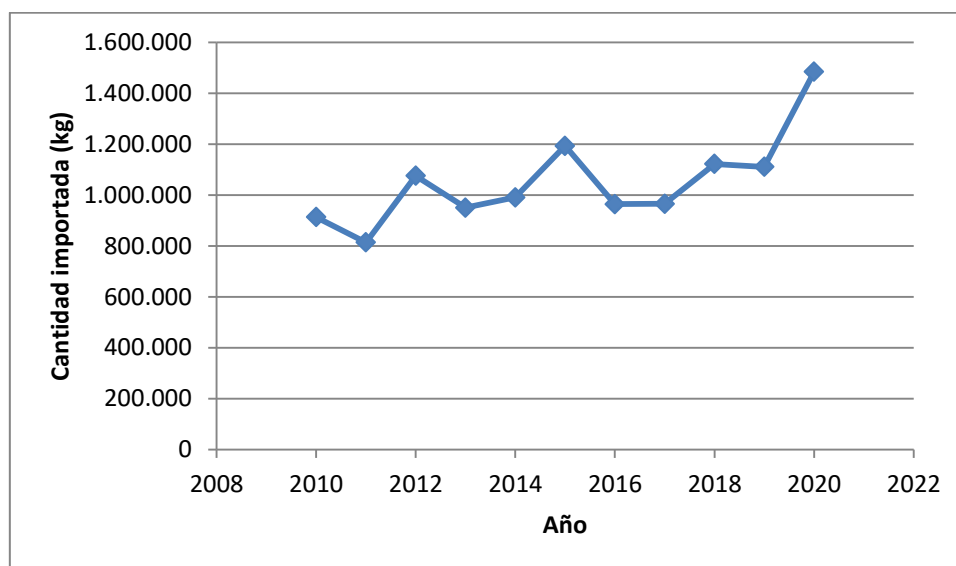


Figura 3.2 – Cantidad importada de ácido l-ascórbico desde 2010 a 2020

Elaboración propia

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

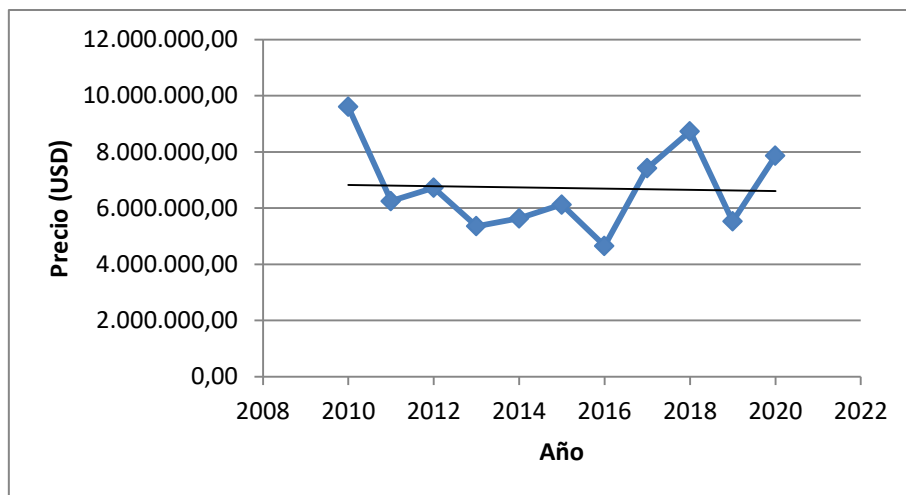


Figura 3.3 – Precios de las cantidades importadas durante el período 2010-2020

Elaboración propia

3.3.2 Exportaciones

A partir de los datos del INDEC se detalla en la tabla 3.5 la cantidad de ácido l-ascórbico exportada desde el 2010 hasta el 2020.

Argentina exporta principalmente a países de Latinoamérica entre ellos, Chile, Costa Rica y Paraguay.

Se muestra en la figura 3.4 y 3.5 los kilogramos por año y el precio en dólares de estos.

Tabla 3.5 - Exportaciones de ácido l-ascórbico durante el período 2010-2020

Exportaciones		
Año	Peso Neto (kg)	USD
2010	925	19.673,00
2011	4.898	103.471,00
2012	25.651	410.192,00
2013	405	6.892,00
2014	14	777,00
2015	31	1.317,00
2016	605	8.849,00
2017	2.586,71	21.423,47
2018	67,00	2.436,24
2019	3.457,00	53.886,00
2020	15.676,70	107.681,23

Elaboración propia. Fuente: INDEC

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

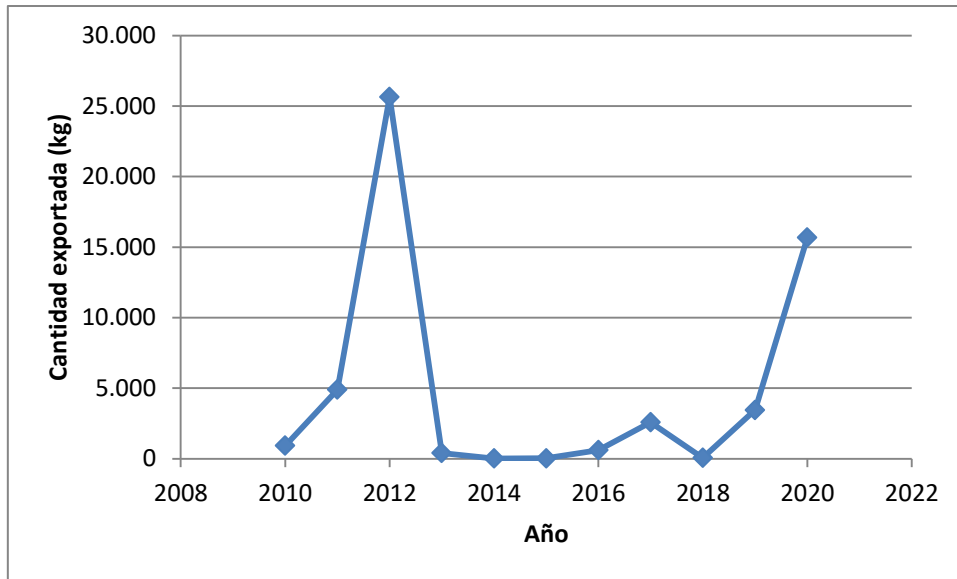


Figura 3.4 – Cantidad exportada desde 2010 a 2020

Elaboración propia

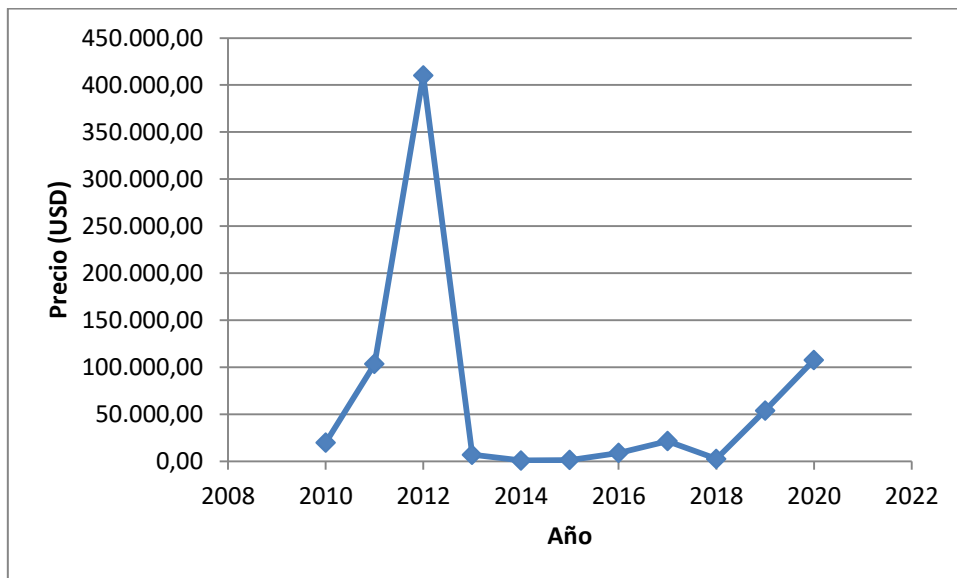


Figura 3.5 – Precio de las cantidades exportadas durante el período 2010-2020

Elaboración propia

3.3.3 Demanda insatisfecha

La demanda insatisfecha se da cuando la demanda en el mercado supera a la oferta. Se evalúa este parámetro a partir de los datos obtenidos del INDEC para el ácido L-ascórbico de la siguiente manera:

$$Demanda\ insatisfecha = Importaciones - Exportaciones$$

En la tabla 3.6 se observan los valores para la demanda insatisfecha los cuales muestran que no se logra abastecer al mercado interno.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 3.6 - Demanda insatisfecha del ácido l-ascórbico

Demanda insatisfecha	
Año	Peso neto (t)
2010	912,15
2011	808,37
2012	1.049,63
2013	949,90
2014	990,35
2015	1.192,61
2016	963,57
2017	962,42
2018	1.121,80
2019	1.106,77
2020	1.468,46

Elaboración propia

Para estimar la demanda futura se realiza la regresión lineal con los datos de la tabla 3.6 donde la ecuación permite proyectar la cantidad demandada. Para obtener un R^2 aceptable se ajustan los valores correspondientes a los años 2012 y 2015, ya que muestran una perturbación respecto a los datos restantes. El año 2010 se descarta del análisis a causa de que antecede a la crisis económica mundial.

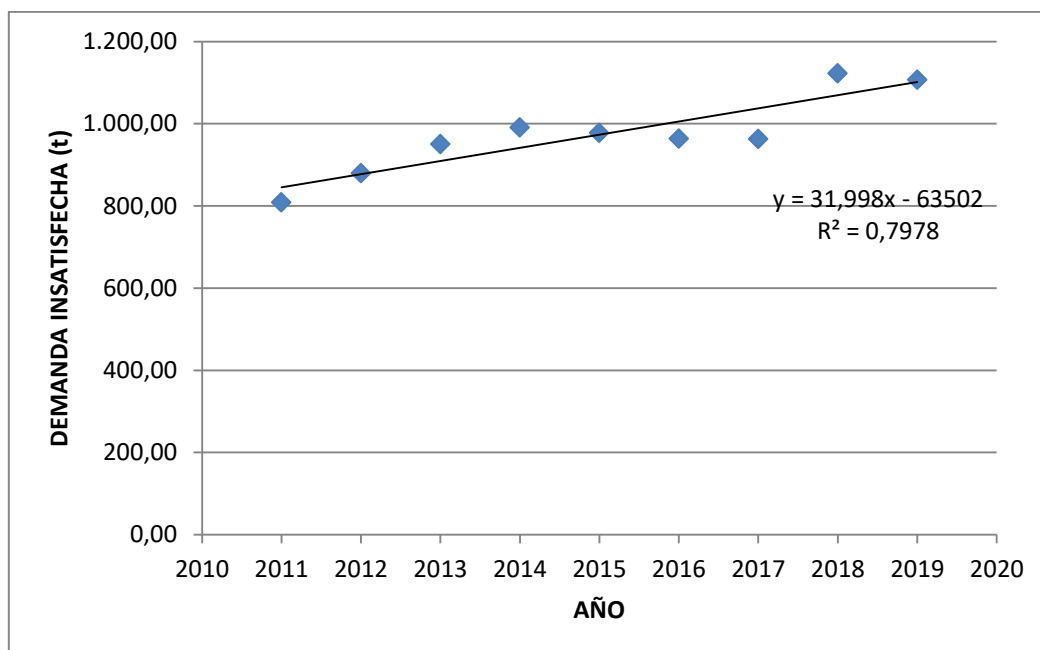


Figura 3.6 – Regresión lineal de la demanda insatisfecha durante el período 2010-2020

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

La demanda futura se muestra en la tabla 3.7 y la proyección en la figura 3.7:

Tabla 3.7 - Demanda insatisfecha durante el período 2021-2031

Demanda insatisfecha futura (t)	
2021	1.165,24
2022	1.197,24
2023	1.229,23
2024	1.261,23
2025	1.293,23
2026	1.325,23
2027	1.357,22
2028	1.389,22
2029	1.421,22
2030	1.453,22
2031	1.485,22

Elaboración propia

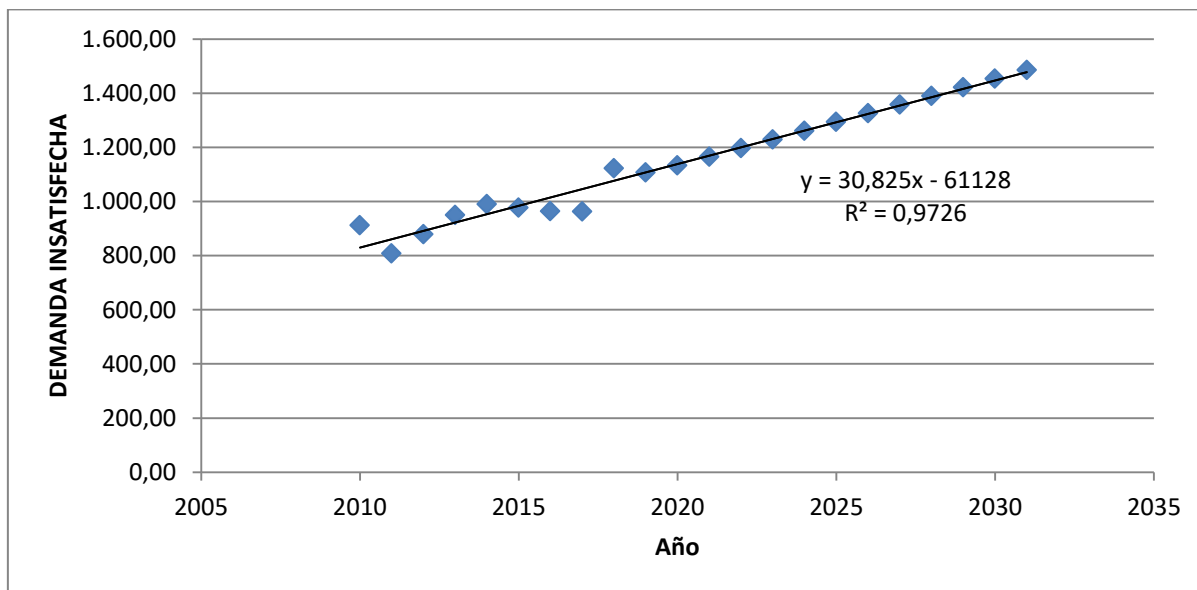


Figura 3.7 – Demanda insatisfecha, período 2010-2031

Elaboración propia

3.4 MERCADO DE LAS MATERIAS PRIMAS

3.4.1 Jarabe de alta dextrosa

En Argentina existen tres plantas productoras de jarabe de alta dextrosa las cuales, están ubicadas en:

- Arroyito, Córdoba (Arcor S.A)

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Villa Mercedes, San Luis (Glucovil S.A)
- Chacabuco, Buenos Aires (Ingredion S.A)

La producción anual de todos los jarabes derivados de la glucosa es de 650/700 mil toneladas, las cuales varían a causa de la flexibilidad del proceso; por lo general, se producen dependiendo las especificaciones de los clientes. Las exportaciones de estos productos son del orden de 15/20 mil toneladas anuales, aunque en el caso del jarabe de alta dextrosa son nulas, ya que precipita a bajas temperaturas lo que impide su comercialización.

La capacidad teórica de molienda húmeda en Argentina es aproximadamente de 4400 toneladas diarias concentradas en siete empresas dentro de las cuales se encuentran las mencionadas anteriormente. Ingredion S.A posee una capacidad de 1100 toneladas diarias de maíz, mientras que Arcor S.A procesa 1500 toneladas diarias en su planta de Arroyito; en cuanto a Glucovil S.A se estiman 1300 toneladas diarias. Estos datos fueron proporcionados por el gerente de CAFAGDA. Como se observa en la figura 3.8 la capacidad de molienda húmeda presenta una tendencia creciente, lo que indica que las industrias aumentan su producción.

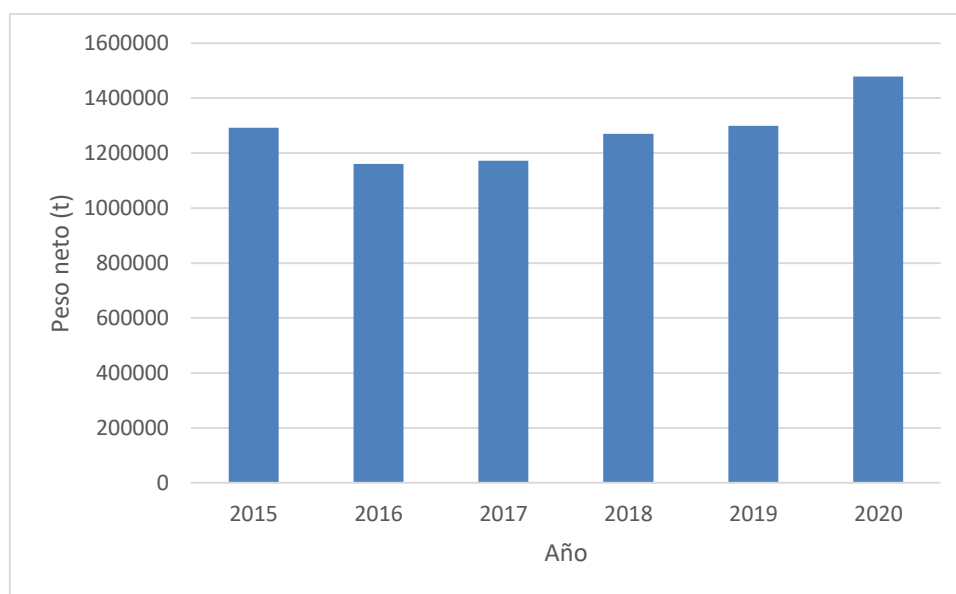


Figura 3.8 – Evolución de la molienda húmeda de maíz

Fuente: Ministerio de agroindustria

El maíz necesario para la molienda húmeda es producido en nuestro país. La industrialización del mismo es una de las actividades agroindustriales que genera mayor valor agregado, puesto que permite obtener un gran número de productos que se consumen en forma directa o son insumos de otras industrias (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, s.f.). A continuación, se visualiza en la figura 3.9 el aumento en la cantidad de maíz producida en los últimos diez años.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

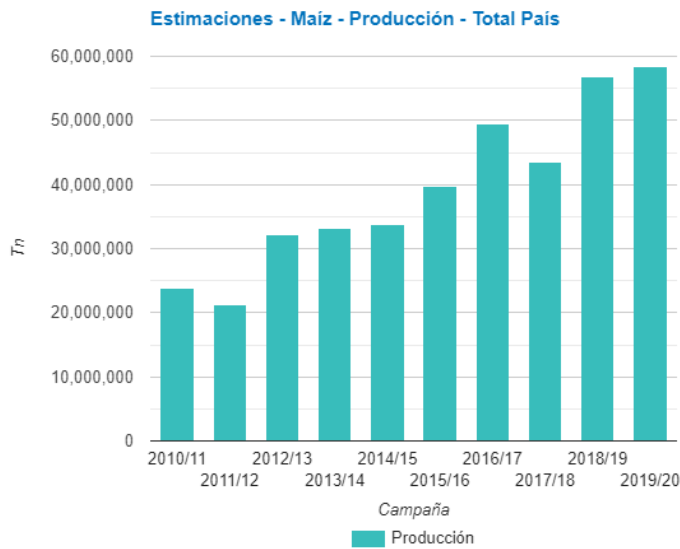


Figura 3.9 – Producción de maíz

Fuente: Ministerio de Agroindustria

3.4.2 Hidrógeno

Las empresas productoras de hidrógeno en Argentina son:

- Linde S.A
- Air Liquide S.A
- Indura S.A

Actualmente el precio del hidrógeno se encuentra entre 10 y 20 USD/kg este puede variar dependiendo si la calidad es industrial o de alta pureza; estos datos fueron otorgados por el equipo de Air Liquide S.A. Para comercializar pequeñas cantidades se hace a través de cilindros de distintos volúmenes los cuales están entre 1 m³ y 6 m³, en cambio, para cantidades mayores se transporta en camiones que poseen cilindros montados en acoplados llamados semis.

La producción anual de Air Liquide tiene como base diez mil toneladas. Cuenta con dos plantas, una pequeña la cual produce hidrógeno a partir de gas provisto por YPF, localizada en Ensenada, Buenos Aires; y la principal está ubicada en Campana, Buenos Aires, anexa a la planta de AXION, donde se genera el producto a partir de un proceso que no requiere provisión de gas.

Linde S.A es una empresa líder mundial en ingeniería y gases industriales con ventas en 2020 de 27 mil millones de dólares, la cual distribuye su producción en plantas ubicadas en diferentes provincias de Argentina como por ejemplo, Buenos Aires, Córdoba, Mendoza, Neuquén, Santa Fe y Tucumán. La misma comercializa hidrógeno comprimido o líquido, puro o en mezcla con otros gases.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Indura S.A es una empresa del grupo Air Products, líder mundial en gases industriales que opera desde hace más de 75 años. Posee sucursales en distintos puntos del país, entre ellos, Escobar (Buenos Aires), Córdoba, Rosario, Tucumán y Mendoza.

Como la principal fuente de obtención de hidrógeno es por reformación de vapor de hidrocarburos, especialmente gas natural, el precio de éste influirá sobre el del hidrógeno.

3.4.3 Microorganismos

Para adquirir los microorganismos que se necesitan en las fermentaciones, se debe recurrir a las distintas colecciones depositarias de cultivos que se encuentran a nivel global. Nuestro país tiene convenio con “American type culture collection” (ATCC) en Manassas, Estados Unidos, por lo que no se necesita autorización para conseguir una cepa. Las demás colecciones son:

- Colección Española de Cultivos Tipo (CETP);
- Colletion Nationale de Cultures de Microorganismes del Institut Pasteur (CIP), Francia;
- Northern Regional Research Laboratory (NRRL), de Peoria, USA;
- National Collection of Type Culture (NCTC), Londres, Inglaterra;
- Centraalbureau voor Schimelcultur Baarn (CBS), Holanda;
- Czechoslovak Department of Agriculture J.E.Purkine (CCM), Checoslovaquia;
- Canadian Department of Agriculture (CDDA), Ottawa, Canada;
- Commonwealth Mycological Institute (CMI), Kew, Reino Unido;
- Deutsche Sammlung von Mikroorganismen (DSM), Gottingen, Alemania.
- Korea Culture Centre of Microorganisms (KCCM), Seúl, Corea del Sur
- Biological Resource Centre (NBRC-NITE), Tsukuba, Japón.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

3.5 ANÁLISIS FODA

Fortalezas
<ul style="list-style-type: none">- La vitamina C posee múltiples aplicaciones, por lo que esta es fuertemente demandada.- No hay producción nacional, por lo que no habría competencia.- El proceso se lleva a cabo de manera biotecnológica a diferencia del proceso tradicional, el cual tiene mayor impacto medioambiental.
Oportunidades
<ul style="list-style-type: none">- En nuestro país se importa la totalidad de la vitamina C, por lo que se considera un mercado viable.- Amplia disponibilidad y accesibilidad de la materia prima.- Existencia de una demanda nacional insatisfecha.- Tendencia creciente del volumen de importaciones con una tasa de crecimiento anual del 6,41%.
Debilidades
<ul style="list-style-type: none">- Inestabilidad del mercado.- La industria farmacéutica es la mayor consumidora de vitamina C aunque al ser multinacionales, sus proveedores se encuentran en el exterior.
Amenazas
<ul style="list-style-type: none">- Fuerte oferta del mercado chino.- Crisis económica a nivel nacional.

CAPÍTULO 4:

CAPACIDAD DE LA PLANTA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

4. CAPACIDAD DE LA PLANTA

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se determina el tamaño óptimo de la planta, considerando un período de diez años. Se utiliza la proyección de la demanda futura que fue calculada en el capítulo 3. Esto tiene como objetivo encontrar el costo mínimo de operación. En base al resultado del tamaño óptimo, se evalúa la cantidad de materia prima necesaria para la cual debe verificarse la disponibilidad en función de las empresas.

4.2 PRODUCCIÓN ÓPTIMA EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA

En el capítulo 3 se muestran los valores correspondientes a la demanda insatisfecha desde el año 2010 hasta el año 2020 y se realiza la estimación de la demanda futura en un período de diez años que presenta una tendencia creciente.

Para establecer la capacidad óptima de la planta se utiliza un método de aproximación el cual, permite mantener al mínimo los costos totales durante la vida útil estimada de los equipos. La ecuación relacionada a este método es:

$$D_n = D_o * (1 + r)^n$$

Ecuación 4.1 – Tamaño óptimo del proyecto

Dónde:

- Demanda actual que satisface el proyecto (D_o)
- Tasa de crecimiento estimada del mercado (r)
- Período óptimo al que corresponde el tamaño óptimo (n)

Para estimar el período óptimo es necesario emplear la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{R^2} = 1 - 2 * \frac{1 - \alpha}{\alpha} * \frac{R - 1^{N-n}}{R + 1}$$

Ecuación 4.2 – Período óptimo

Dónde:

- Vida útil de la maquinaria y los equipos (N)
- Factor de escala (α) que se obtiene de una lista de factores calculados para distintas industrias, generada por las Naciones Unidas, Boletín n°20 “Industrialización y productividad”
- Desarrollo porcentual de la demanda (R)

Este último puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$R = r + 1$$

Ecuación 4.3 – Desarrollo porcentual de la demanda

A partir de los datos de la tabla 3.6 se obtiene el valor de la tasa de crecimiento estimada del mercado “ r ”, la cual, resultó en un valor de 0,03 por lo que, el desarrollo porcentual de la demanda “ R ” toma un valor de 1,03.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

El factor de escala “ α ” para este proyecto tiene un valor de 0,60 el cuál se lee del boletín mencionado con anterioridad.

A partir de la ecuación 4.2 se determina el período óptimo “n” a causa de la tendencia creciente que presenta la demanda, para esto se considera que la vida útil de maquinarias y equipos es de diez años. El valor del período óptimo es de 10,25 años.

Para calcular el tamaño óptimo del proyecto “ D_n ” se utiliza la ecuación 4.1, donde se toma como la demanda actual del mercado “ D_o ” al valor correspondiente al año 2019 ya que en el año 2020 se presenta una desviación debida, a la pandemia de coronavirus donde, se produjo un incremento en el consumo del producto. El tamaño óptimo es de 1471 toneladas. Comparando este valor con el obtenido con la proyección de la demanda se puede decir que concuerdan con las expectativas de crecimiento del mercado de 1486 toneladas. Con fines prácticos se toma como 1500 toneladas de capacidad para el diseño de planta.

Las ecuaciones utilizadas para estos cálculos fueron extraídas del libro “Preparación y evaluación de proyectos”, (Sapag R. , 1991)

En este proyecto se selecciona como capacidad de planta 750 toneladas por año a causa de que solo se va a abastecer a una parte de la industria ya que las industrias farmacéuticas son proveedoras de este producto.

4.3 REQUERIMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

La cantidad necesaria de jarabe de alta dextrosa para la producción de 1500 toneladas de ácido ascórbico es de 1985 toneladas. La producción de vitamina C por el método seleccionado en el capítulo 6, posee un rendimiento global a escala laboratorio del 76.75% el cual, se estima al 70% para tener en cuenta las mermas del proceso. En la tabla 4.1 se muestra la cantidad de dextrosa necesaria durante el primer año del proyecto y el último.

El abastecimiento de esta materia prima puede ser realizado por cualquiera de las empresas que fueron mencionadas en el capítulo 3 debido a la elevada producción diaria de cada una de ellas. Con la industria conveniente en función de la localización elegida en el capítulo 5, se debe realizar un contrato que garantice la calidad y las toneladas mensuales ya que, no es un producto que se comercialice normalmente con las especificaciones necesarias para este proceso. A causa de que el jarabe de alta dextrosa no se exporta, no existe el riesgo de competir por el mismo. Además, como se especificó en el capítulo 3 el maíz como materia prima para la producción de jarabe se encuentra en alta disponibilidad en el país lo que implica que las empresas pueden producirlo sin inconvenientes.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

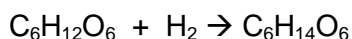
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 4.2 – Cantidad necesaria de jarabe de alta dextrosa

Año del proyecto	Producción de vitamina C (t)	Cantidad necesaria de jarabe de alta dextrosa (t)
1	583	881,50
10	750	1134

Elaboración propia

De acuerdo a la ecuación 4.4 por cada mol de dextrosa se necesita un mol de hidrógeno durante la primera etapa donde se obtiene sorbitol.



Dextrosa + Hidrógeno → Sorbitol

Ecuación 4.4 – Hidrogenación catalítica de la dextrosa

En la tabla 4.2 se muestra la cantidad de hidrógeno necesaria para la hidrogenación catalítica.

Tabla 4.3 – Cantidad de hidrógeno necesaria

Año del proyecto	Producción de vitamina C (t)	Cantidad necesaria de hidrógeno (m³)
1	583	73637,50
10	750	94716,50

Elaboración propia

De acuerdo a estos datos la cantidad necesaria para este proyecto es baja en comparación con la capacidad de producción anual de las empresas productoras de hidrógeno; por lo que, se considera una amplia disponibilidad de este compuesto.

En cuanto a los insumos necesarios como microorganismos y catalizador se adquieren una única vez ya que, el primero se mantiene por cultivo y el segundo es regenerado.

CAPÍTULO 5:

LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE LA PLANTA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

5. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se lleva a cabo la elección de la localización de la planta empleando el método de puntuaciones ponderadas. El lugar óptimo para esto es aquel que haga que los costos de producción y distribución sean mínimos. Para seleccionar la ubicación se tienen en cuenta distintos factores, en base a esto se eligen varias zonas geográficas amplias, denominadas macrolocalizaciones, dentro de las cuales se encuentra la microlocalización es decir, el punto geográfico donde se localizará la empresa.

5.2 MACROLOCALIZACIÓN

La macrolocalización o macrozona es el estudio de localización que tiene como propósito encontrar la ubicación más ventajosa para el proyecto, determinando sus características físicas e indicadores socioeconómicos más importantes.

La selección previa de una macrolocalización permitirá a través de un análisis preliminar reducir el número de soluciones posibles, al eliminar los sectores geográficos que no respondan a las condiciones requeridas por el proyecto. (Sapag R., 1991)

A continuación se enumeran los factores que se deben tener en cuenta en el estudio de la macrolocalización:

- Disponibilidad de materias primas.
- Disponibilidad de mercados o zonas de consumo.
- Disponibilidad de agua, gas, electricidad.
- Disponibilidad de transporte.
- Disponibilidad de mano de obra.

En este proyecto se utiliza el método de cribado, donde se le da prioridad a las zonas cercanas a la distribución del jarabe de alta dextrosa ya que, como se mencionó en otros capítulos este precipita a temperaturas menores a 60°C. El método consiste en seleccionar en un mapa las zonas más adecuadas al factor característico. Luego en función de estas se eligen las que mejor se adaptan para someterlas al método de las puntuaciones ponderadas y obtener así, la localización final. A continuación, se analiza el mapa de Argentina respecto a los componentes que se consideran importantes para establecer la macrolocalización:

- Disponibilidad de materia prima:

En la tabla 5.1 se observan las empresas productoras de jarabe de alta dextrosa y las respectivas provincias donde están ubicadas junto con el nivel de producción, como ya

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

se mencionó en el capítulo 3, Arcor es la que presenta una mayor capacidad de molienda húmeda, seguida por Glucovil.

Tabla 5.1 – Disponibilidad de materia

Provincia	Empresa	Nivel de producción
Córdoba	Arcor S.A	Elevado
Buenos Aires	Ingredion S.A	Elevado
San Luis	Glucovil S.A	Elevado

Elaboración propia

Las diferencias entre las capacidades de molienda húmeda de cada empresa son mínimas, por ende, este no representa un parámetro determinante, pudiéndose ubicar la planta en cualquiera de estos tres puntos geográficos.

En la figura 5.1 se encuentran sombreadas las provincias donde se ubican las plantas productoras de jarabe de alta dextrosa.



Figura 5.1 – Disponibilidad de materia prima

Elaboración propia

- Mercados o zonas de consumo:

El ácido ascórbico está destinado a distintas industrias como por ejemplo, alimentaria, farmacéutica, química, nutrición animal, cosméticas, entre otras. Por lo general, estas empresas se ubican en el centro del país, en provincias tales como, Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, como se observa en la figura 5.2. En estos puntos existe una densidad de población mayor respecto al resto del país y por ende, un mercado más amplio.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Figura 5.2 – Mercados o zonas de consumos

Elaboración propia

Las zonas de consumo son un factor importante en la decisión de la localización ya que, influyen directamente en los costos de transporte al variar las distancias.

- Disponibilidad de parques industriales:

Según el Ministerio de Desarrollo Productivo, en Argentina la mayor concentración de parques industriales se encuentra en el centro del país el cual comprende, Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos, esto se muestra en la figura 5.3. Dentro de estas provincias se ubican dos polos de aglomerados en Gran Buenos Aires y Sur de Santa Fe. El tamaño promedio de los parques en la región es de 56 hectáreas, por debajo del promedio nacional de 66,5.



Figura 5.3 – Provincias con mayor concentración de parques industriales

Elaboración propia

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Del total de parques industriales que componen la Región Centro el 35% cuenta con todos los servicios esenciales. Buenos Aires concentra el 61% de los parques con disponibilidad de los tres servicios esenciales, agua, gas y energía eléctrica.

Es importante destacar, que el 74% de los establecimientos industriales de la Región Centro tienen lotes disponibles. En promedio los mismos tienen 10,6 hectáreas de lotes disponibles. Estos datos fueron extraídos del Informe n°1 – “Programa Nacional para el Desarrollo de parques industriales de la Región Centro del país” del año 2020.

- Disponibilidad de mano de obra

Según los resultados emitidos por el INDEC a partir del último censo realizado en el año 2010, la población total de nuestro país es de 40.117.096 de habitantes, la mayor concentración se sitúa en la provincia de Buenos Aires. En la tabla 5.2 se muestran las primeras cinco provincias con elevada densidad poblacional.

Tabla 5.2 - Provincias con mayor cantidad de habitantes

Provincia	Población total año 2010
Buenos Aires	15.625.084
24 partidos del Gran Buenos Aires	9.916.715
Interior de la provincia de Buenos Aires	5.708.369
Ciudad Autónoma de Buenos Aires	2.890.151
Córdoba	3.308.876
Santa Fe	3.194.537
Mendoza	1.738.929
Entre Ríos	1.235.994

Elaboración propia

Fuente: INDEC

Respecto a todos los factores analizados en este título se encuentra que los sectores más favorables para la ubicación de la planta son las provincias de, Buenos Aires y Córdoba, ya que, cumplen con los requisitos de disponibilidad de materia prima, disponibilidad de parques industriales con servicios y disponibilidad de mano de obra. Además, estas ubicaciones tienen como ventaja que se encuentran en el centro del país lo que conlleva a una mayor conexión con las rutas más importantes del mercado; como así también, tienen cercanías a las zonas portuarias lo que favorecería en el caso de exportar el producto.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

5.3 MICROLOCALIZACIÓN

La microlocalización se evalúa para determinar el punto preciso donde se situará la empresa dentro de alguna de las macrolocalizaciones elegidas con anterioridad. Debe tenerse presente que el estudio de la microlocalización no corregirá los errores en los que puedo haberse incurrido en la macrolocalización. El análisis de microlocalización solo indicará cual es la mejor alternativa de instalación dentro de la macrozona elegida. (Sapag R. , 1991)

A continuación se detallan las localizaciones de los parques industriales situados en las provincias seleccionadas elegidas estratégicamente:

- Lote en parque industrial Ferreyra, Córdoba Capital.
- Lote en parque industrial y tecnológico, Villa María, Córdoba.
- Lote en parque industrial Pilar, Buenos Aires.
- Lote en parque industrial San Francisco, Córdoba.
- Lote en parque industrial de Fomento de Junín Presidente Arturo Frondizi, Junín, Buenos Aires.
- Lote en parque industrial Salto, Buenos Aires.
- Lote en parque industrial de Chivilcoy, Buenos Aires.
- Lote en parque industrial de Chacabuco, Buenos Aires.
- Lote en parque industrial de Alberti, Buenos Aires.

Estos parques industriales se encuentran registrados en el Registro Nacional de parques industriales de la nación (RENPI).

En la tabla 5.3 se detallan las distancias desde las ubicaciones elegidas para el análisis, hasta las empresas proveedoras de jarabe de alta dextrosa. Las mismas son de utilidad para la elección final de la localización de la planta a través del método de las puntuaciones ponderadas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 5.3 – Distancias a la materia prima

Ubicación	Empresas productoras de la materia prima		
	Arcor S.A (Arroyito, Córdoba)	Glucovil S.A (Villa Mercedes, San Luis)	Ingredion S.A (Chacabuco, Buenos Aires)
Villa María	151,7 km	261,5 km	434,6 km
Córdoba	123,5 km	337 km	578,5 km
Pilar (Buenos Aires)	612,80 km	653,1 km	164,4 km
San Francisco	93,9 km	423,3 km	460,7 km
Junín	516,2 km	439,5 km	54,7 km
Salto	493,5 km	534,1 km	52,9 km
Chivilcoy	580,9 km	543,9 km	55,2 km
Chacabuco	535 km	488,8 km	0 km
Alberti	608 km	538,4 km	83,1 km

Elaboración propia

A partir de los datos de la tabla 5.3 se realiza una selección de las posibles ubicaciones para montar la planta. Estas son elegidas con el objetivo de minimizar los costos de transporte de materia prima en función de las distancias con respecto a las proveedoras. Las ciudades que se descartan son Villa María y Pilar ya que, se ubican a una distancia mayor respecto a las localizaciones seleccionadas.

En la tabla 5.4 se muestran los servicios que posee cada punto geográfico elegido.

Tabla 5.4 – Comparación de servicios de las distintas localizaciones

Servicios	Ubicación del terreno						
	Córdoba	San Francisco	Junín	Salto	Chivilcoy	Chacabuco	Alberti
Energía eléctrica	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gas natural	✓	✓	✓		✓		✓
Internet, teléfono	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Agua potable	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Red cloacal	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Alumbrado público	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Calles internas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Playa para				✓			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

camiones							
Áreas verdes	✓	✓	✓	✓			✓
Sistema de vigilancia	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Cerco perimetral	✓		✓		✓		

Elaboración propia

Fuente: www.parquesindustriales.com.ar

En base a los datos plasmados anteriormente sobre los servicios, se filtran nuevamente las localizaciones posibles teniendo en cuenta las ventajas que posee el predio. Las ubicaciones que se someten al método de puntuaciones ponderadas son:

- Córdoba capital, Córdoba.
- San Francisco, Córdoba.
- Junín, Buenos Aires.
- Alberti, Buenos Aires.

5.3.1 Método de puntuaciones ponderadas

El método cualitativo por puntos consiste en definir los principales factores determinantes de una localización para asignarles valores ponderados de peso relativo de acuerdo con la importancia que se les atribuye. El peso relativo, sobre la base de una suma igual a uno, depende fuertemente del criterio y la experiencia del evaluador. Al comparar dos o más localizaciones opcionales, se procede a asignar una calificación a cada factor en una localización de acuerdo con una escala predeterminada, por ejemplo, de 0 a 10. La suma de las calificaciones ponderadas permitirá seleccionar la localización que acumule el mayor puntaje. (Sapag, Sapag, & Sapag, 2014)

Tabla 5.5 – Método de puntuaciones ponderadas

Factores	Ponderación	Córdoba		San Francisco		Junín		Alberti	
		%	Grado	%	Grado	%	Grado	%	Grado
Cercanía a la materia prima	300	30	90	35	105	75	225	55	165
Costo del terreno	100	25	25	50	50	70	70	90	90
Suministro de servicios	200	90	180	80	160	90	180	80	160
Disponibilidad de lotes	200	20	40	70	140	20	40	70	140
Beneficios impositivos*	100	70	70	70	70	80	80	80	80
Disponibilidad de mano de	100	70	70	60	60	80	80	50	50

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

obra									
Total	1000		475		585		675		655

Elaboración propia - *Las ponderaciones para los beneficios impositivos de San Francisco y Córdoba como para Junín y Alberti son consideradas las mismas ya que, se encuentran en las mismas provincias.

Las puntuaciones establecidas en la tabla anterior fueron asignadas debido a los datos proporcionados por cada establecimiento industrial. Para el factor “costo de terreno” los porcentajes de cada una de las ubicaciones crecen a medida que el costo de los mismos disminuye. La puntuación para la disponibilidad de mano de obra se basa en la cantidad de personas desocupadas por ciudad, la misma aumenta con el índice de desempleo.

Según el método de las puntuaciones ponderadas la mejor ubicación para establecer la planta es la ciudad de Junín, Buenos Aires. El costo del terreno dentro del parque industrial ronda los 75 USD/m². Se encuentra ubicado a las afueras de la ciudad accediendo al mismo desde Av. Circunvalación a la altura del km. 156 de la Ruta Nacional N° 188. Junín presenta como ventaja la cercanía con ciudades importantes del país tales como, Capital Federal, La Plata y Rosario, como así también al puerto de San Nicolás. El parque industrial posee una superficie de 84 hectáreas con un total de 70 empresas radicadas, el mismo se divide en áreas dependiendo las categorías de dichas empresas incluyendo a las categorías 1, 2 y 3. En la figura 5.4 se puede observar el parque en su totalidad.



Figura 5.4 – Vista panorámica del parque industrial de Fomento de Junín Presidente Arturo Frondizi La selección del lote es en función a la disponibilidad de los mismos, en la figura 5.5 se muestra el elegido para este proyecto.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Figura 5.5 – Microlocalización

CAPÍTULO 6:

DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

6. DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se plantean las distintas alternativas para la fabricación de ácido L-ascórbico a partir de D-glucosa y se elige la opción más adecuada para la generación industrial. La elección se efectúa teniendo en cuenta factores como costos, efectos contra el medio ambiente, rendimientos, disponibilidad de materia prima, y avances tecnológicos.

6.2 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO L- ASCÓRBICO

6.2.1 Método de Reichstein-Grüssner

La síntesis de Reichstein-Grüssner, fue el primer método de producción de ácido L-ascórbico, creado en el año 1934, el cual establece un rendimiento del 15-18% de la glucosa. Este procedimiento clásico sufrió modificaciones en las etapas del proceso, que lograron aumentar el rendimiento de la glucosa en un 60%. La producción de ácido L-ascórbico, se lleva a cabo por medio de las siguientes etapas:

- Hidrogenación catalítica de la D-glucosa: En este paso, se quiere obtener D-sorbitol utilizando un catalizador de níquel Raney, operando a altas presiones y temperaturas. La hidrogenación se puede llevar a cabo en operaciones continuas o batch, con formación mínima de D-manitol y L-itol, lo que sugiere un alto rendimiento de esta etapa. Antes de enviar el D-sorbitol a la siguiente operación, es necesario remover el catalizador y esterilizar la solución.
- Oxidación microbiológica de solución de D-sorbitol a L-sorbosa: Se realiza a partir del uso del microorganismo, perteneciente a la familia de *Gluconobacter oxydans*, en condiciones de operación continuas o discontinuas. La oxidación a L-sorbosa presenta rendimientos del 90% y la fermentación debe llevarse a cabo en presencia de aire, a pH entre 4 y 6 y temperaturas 30-35 °C.
- Formación del 2,3: 4,6-Di-O-isopropiliden- α -l-sorbofuranosa a partir de L-sorbosa: En esta etapa se da la protección de los 2,3 y 4,6 grupos hidroxilos de L-sorbosa, formando cetales cíclicos en presencia de acetona y ácido sulfúrico en exceso como catalizador y agente deshidratante, generalmente a bajas temperaturas. Se generan como subproductos de la reacción 2,3-O-isopropilideno- α -l-sorbofuranosa y 1,2-O-isopropilideno- α -l-sorbofuranosa. Para continuar con el proceso, es necesario separar la acetona de los productos mediante destilación; y luego, se remueve por extracción con un solvente aromático (tolueno), el 2,3: 4,6-Di-O-isopropiliden- α -l-sorbofuranosa de los subproductos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Conversión del 2,3: 4,6-Di-O-isopropiliden- α -l-sorbofuranosa a 2,3: 4,6-Di-O-isopropiliden-2-ceto-ácido l-gulónico: Esta reacción se solía llevar a cabo empleando hidróxido de sodio diluido a elevadas temperaturas con permanganato de potasio, con un rendimiento del 90% del producto. Actualmente, se usan métodos más baratos en procesos continuos para llevar a cabo tal etapa, ellos son: oxidación con hipoclorito de sodio en presencia de catalizador de cloruro o sulfato de níquel a 60°C, con rendimientos del 93%; oxidación electroquímica, la cual se da con electrodos de níquel o de óxido de níquel en solución alcalina, por lo que resulta ventajoso detener la misma en un 90% de conversión para evitar una caída en la selectividad, además, se suele completar la oxidación con una solución de hipoclorito de sodio; oxidación, empleando aire u oxígeno en presencia de un catalizador metálico (paladio o platino) en solución alcalina, obteniéndose así, buenos rendimientos. El producto de reacción ácido L-gulónico se separa como monohidrato por acidificación y precipitación.
- Conversión del 2,3: 4,6-Di-O-isopropiliden-2-ceto-ácido l-gulónico a ácido L-ascórbico: Esta se puede llevar a cabo por dos alternativas: desprotección para dar 2-ceto-L-ácido gulónico seguido por esterificación con metanol y ciclación catalizada por una base. Otra alternativa, es la ciclación catalizada por un ácido para obtener ácido L-ascórbico directamente de la forma desprotegida (2-ceto-L-ácido gulónico) o mediante la forma protegida (del 2,3: 4,6-Di-O-isopropiliden-2-ceto-ácido l-gulónico). En la actualidad, se emplea la segunda alternativa para la producción a escala industrial por medio de un solvente inerte, tal como triclorometano o tolueno, en presencia de ácido clorhídrico. La ventaja de esto es que el ácido L-ascórbico logra precipitar en la mezcla a medida que se forma, minimizando así, la descomposición durante la reacción. A continuación, el producto crudo es obtenido por filtración y luego es diluido en agua para eliminar las impurezas que contiene, empleando resinas de intercambio iónico, resinas decolorantes, o refinándolo con carbón activado, seguido de cristalización. El rendimiento de esta etapa es elevado. Las etapas de reacción anteriormente descriptas se visualizan en la figura 6.1:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

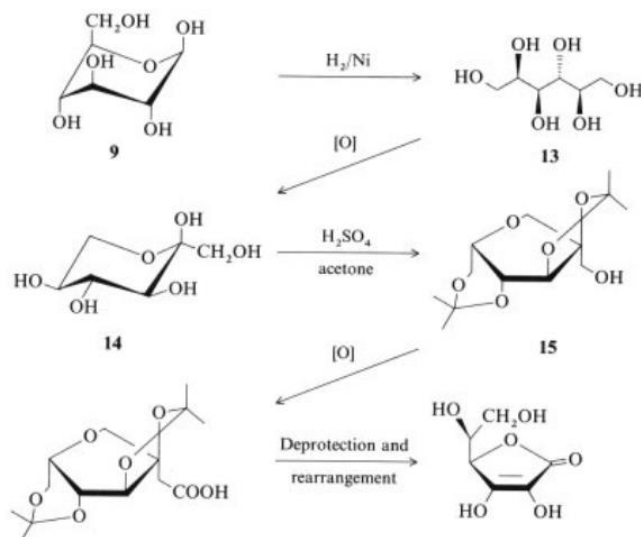


Figura 6.1 - Método de Reichstein

Fuente: Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry

6.2.2 Otros métodos de producción

A lo largo del tiempo se fueron buscando modificaciones a las etapas del proceso convencional y creando nuevas alternativas, con el fin de aumentar rendimientos, disminuir costos, disminuir el impacto negativo al ambiente entre otros cambios.

La mayoría de los enfoques conocidos no involucran directamente la síntesis de ácido L-ascórbico, sino que producen ácido 2-ceto-L-gulónico como intermedio clave, el cual, puede convertirse a ácido L-ascórbico por catálisis química convencional (Bremus, Ute, Bringer-Meyer, & Sahm, 2006).

Algunas de las alternativas planteadas son:

- Oxidación química. En esta modificación, se mantiene la etapa de hidrogenación catalítica y de fermentación de D-sorbitol de la síntesis de Reichstein. La L-sorbosa producida, se transforma de manera directa al ácido 2-ceto-L-gulónico, empleando un catalizador de un metal noble, promovido por metales pesados. La desventaja que posee este método es la baja selectividad de la reacción, además de la rápida desactivación del catalizador. Años atrás, los metales pesados que se empleaban eran plomo o bismuto, con un rendimiento hasta el 87%; pero a causa de su alta contaminación, hoy se están investigando alternativas con metales diferentes como paladio y aleaciones.
- Oxidación microbiana. Tal como se detalla en la figura 6.2, la producción microbiana de ácido 2-ceto-L-gulónico puede darse a partir de D-glucosa, D-sorbitol o L-sorbosa mediante diferentes métodos: (i) el uso de cepas pertenecientes al género *Gluconobacter*, *Acetobacter*, *Ketogulonicigenium*,

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Pseudomonas, Erwinia, y Corynebacterium, (ii) procesos de cultivo mixtos, y (iii) el uso de cepas mejoradas mediante tecnología de ADN recombinante (Bremus, Ute, Bringer-Meyer, & Sahn, 2006).

En el caso de llevarse a cabo esta etapa desde D-sorbitol, se realiza previamente, la primera etapa de la síntesis convencional.

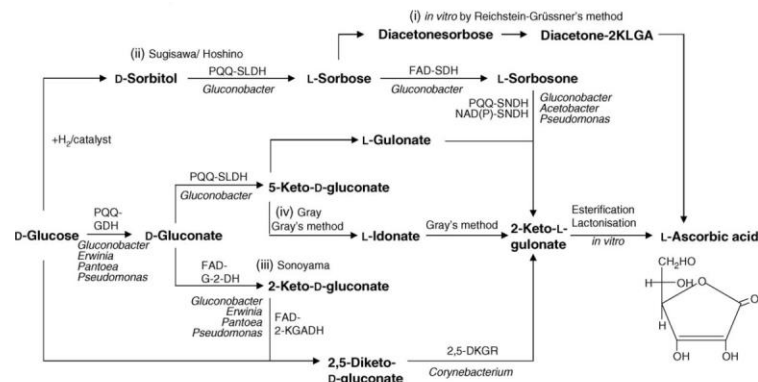


Figura 6.2 – Alternativas para la producción de ácido L-ascórbico

Fuente: The use of microorganisms in L-ascorbic acid production

Para dar el producto final, una vez producido el ácido 2-ceto-L-gulónico, se lactoniza bajo catálisis ácida, en presencia de un disolvente exclusivamente, o mezcla de disolventes, que es miscible con agua y forma *in situ* un disolvente en el que el ácido L-ascórbico formado es poco soluble.

- Síntesis a partir de ácido D-gluconico. Otras rutas desde la D-glucosa hasta el ácido L-ascórbico, comienzan con la oxidación del C-6 obteniendo derivados del ácido D-gluconico. El grupo aldehído C-1 se reduce en pasos posteriores. Los intermediarios claves de esta síntesis son la cetolactona y la L-gulonolactona, la cual puede oxidarse químicamente y microbiológicamente hasta ácido 2-ceto-L-gulónico con buenos rendimientos, o directamente convertirse a ácido L-ascórbico con L-gulonolactona deshidrogenasa.
- Síntesis a través de ácido gluconicos. En esta vía la D-glucosa es convertida a ácido L-ascórbico, sin inversión de la cadena de carbono, y la correcta configuración del C-5, se logra mediante una secuencia de óxido-reducción. Los intermediarios claves son ácido 5-cetogluconico y ácido 2,5-dicetogluconico.
- Síntesis a partir de ácido D-galacturónico. Este ácido, se obtiene por hidrólisis enzimática del ácido péctico o por transformación química de D-galactosa que está disponible en sueros que contiene lactosa. La reducción catalítica del grupo aldehído proporciona ácido galactónico que se transforma en ácido L-ascórbico por fermentación con *candida sp.* o por oxidación química a ácido 2-ceto-L-gulónico y posterior ciclación a ácido L-ascórbico.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Síntesis por microalgas. Puede lograrse con microalgas mutagenizadas del género *Chlorella*. El rendimiento y la concentración son demasiado bajos para aplicaciones industriales, pero el ácido L-ascórbico enriquece la biomasa obtenida, la cual puede ser útil como alimento para peces de acuicultura o como aditivo alimentario.

(Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2016).

Una vez obtenida la vitamina C, se llevan a cabo etapas de purificación con el objetivo de lograr los estándares correspondientes para la venta del producto.

6.3 SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Para la selección del proceso se analizan diversos factores de los métodos mencionados anteriormente. En primer lugar, se encuentra que la síntesis de Reichstein, si bien es rentable a nivel económico, posee algunas desventajas que imposibilitan su uso, como, por ejemplo, el nivel de contaminantes que genera para el medio ambiente. Se sabe que la carga de DQO generada es similar a la cantidad de ácido ascórbico producido, lo que implica un dificultoso tratamiento de efluentes. En cuanto a las alternativas mencionadas, para la oxidación química se tienen en cuenta las problemáticas nombradas anteriormente, lo que justifica su rechazo. Las opciones restantes, salvo la oxidación microbiológica, se descartan por presentar rendimientos bajos y complejidad en su método de obtención, llevando a la decisión de seleccionar para este proyecto, el uso de microorganismos como alternativa a las etapas contaminantes del proceso convencional, Reichstein.

A continuación, se describe en su totalidad el método por el cual se lleva a cabo la producción de ácido L-ascórbico.

6.3.1 Hidrogenación catalítica de la D-glucosa

En la hidrogenación catalítica, la glucosa experimenta una reacción de reducción del grupo carbonilo presente en su estructura, con la adición de átomos de hidrógeno y la consecuente formación del sorbitol (Andrade B. Silva, de S. Bispo, Dias da S. Ruy, Delgado-Araño, & M. Pontes, 2018). Esta reacción, se lleva a cabo empleando un catalizador níquel-Raney, ya que, al tratarse de un catalizador heterogéneo, es estable y puede ser reutilizado. En la figura 6.3 se muestra el mecanismo de reacción, el cual consiste en la disolución del hidrógeno del ambiente hasta la membrana líquida, seguida de su difusión en la interfaz de la solución de glucosa hasta los sitios activos del catalizador (paso 1), donde son adsorbidos. El hidrógeno adsorbido se activa en la superficie del material catalítico, debido a la diferencia de gradiente, que aumenta con el consumo de hidrógeno (paso 2). La glucosa reacciona, entonces, a través de su grupo carbonilo con la adición de dos pares de hidrógeno de forma irreversible (paso

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

3), llevando la quiebra de las conexiones de C-O, formación del grupo hidroxilo (OH^-) y generación del producto que será desorbido y se difundirá por la fase líquida presente (paso 4) (Andrade B. Silva, de S. Bispo, Dias da S. Ruy, Delgado-Arcaño, & M. Pontes, 2018).

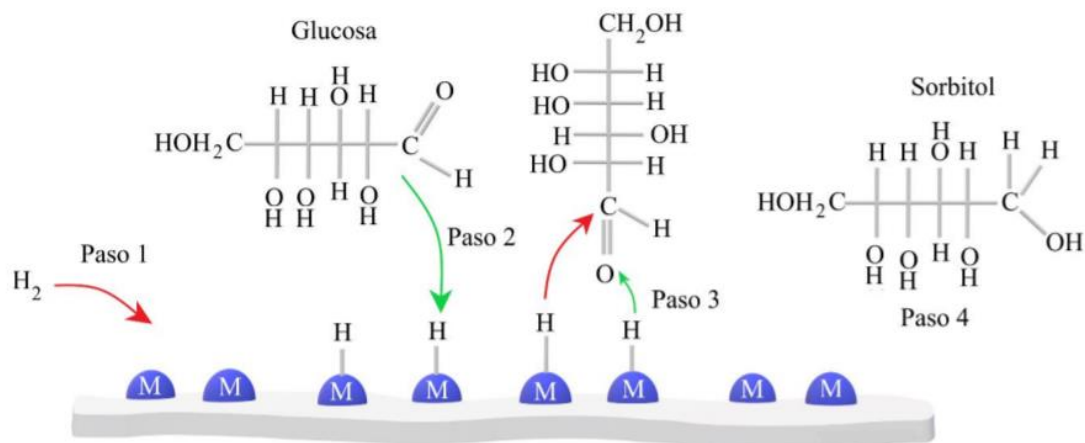


Figura 6.3 – Hidrogenación catalítica

Fuente: Revista cubana de química

El jarabe de alta dextrosa necesario para la hidrogenación catalítica se utiliza diluido a una concentración del 50% de sólidos. Esta solución se mezcla con el catalizador que se recircula de la etapa posterior de filtración y una porción de catalizador fresco.

El pH de la carga debe ajustarse a un valor comprendido entre 5 y 7, que es el rango óptimo para llevar a cabo la reacción. Un pH inferior a 5 incrementa la disolución del catalizador formando Ni^{+2} , y valores superiores a 7 aceleran la reacción de Cannizzaro a partir de la cual se forma ácido glucónico. Esta es una reacción de deshidrogenación–hidrogenación, inducida por un medio alcalino y la presencia de níquel, que conduce a la formación de una mezcla de ácido glucónico al 50% y sorbitol, tal como se muestra en la figura 6.4 (Ronco & Antonello, 2010).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

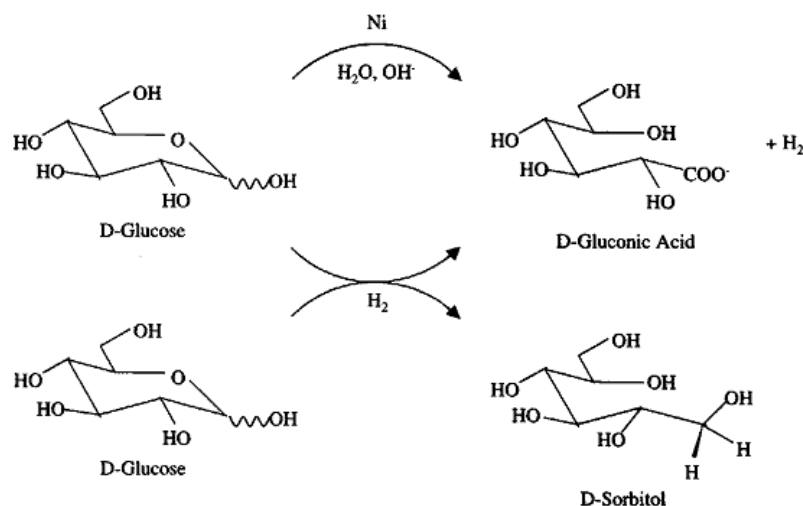


Figura 6.4 – Reacción de deshidrogenación-hidrogenación en un medio alcalino

Fuente: Proyecto final de grado, producción de sorbitol por hidrogenación catalítica

La glucosa isomeriza a fructosa, que va a propiciar la formación de manitol cuando se trabaja con pH bajos. La formación de este último se alcanza cuando existe fructosa contenida en la materia prima. El pH debe ser ajustado con una solución de NaOH 0,1N.

La producción industrial de sorbitol puede llevarse a cabo en régimen continuo o discontinuo. En el proceso continuo, se introduce constantemente hidrógeno bajo presión, a través de tubos de reacción conectados en serie. La presión necesaria es de 177,6 atm y la temperatura de 150°C. Estas condiciones, se mantienen durante un tiempo de reacción de aproximadamente 1 hora. Este régimen es más económico, pero requiere condiciones de hidrogenación estrictamente controladas. En cambio, en el régimen discontinuo, la reacción se efectúa a una presión menor de aproximadamente 66,08 atm y una temperatura entre 120 y 150°C, en un tiempo de reacción de 2 a 4 horas, dependiendo la cantidad de catalizador la cual consiste en un 3 a 6% del peso de la glucosa.

En este proyecto, se decide emplear un reactor tipo batch, debido a que es más fácil controlar las condiciones de operación, principalmente la temperatura de reacción. Además, la inversión inicial es menor que para un reactor continuo.

La primera parte de la hidrogenación consiste en calentar la solución hasta la temperatura de reacción 135 °C mediante vapor de agua que circula por el serpentín del reactor. Una vez alcanzada la misma, se comienza a suministrar el hidrógeno desde los cilindros de almacenamiento a alta presión, a través de una válvula reductora, y se dispersa en el líquido mediante un aspersor. El reactor trabaja a 69,08 atm. El hidrógeno que no reacciona alcanza la superficie líquida y se desplaza al espacio superior del reactor. Cuando la presión de este es igual a la presión de

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

entrada, la alimentación se detiene hasta que el hidrógeno del espacio superior se ha reabsorbido en el líquido y ha reaccionado (Ronco & Antonello, 2010).

Al finalizar la hidrogenación, la carga se enfría a 60 °C, haciendo circular agua por el serpentín. Es necesario enfriar la solución a esta temperatura, porque las resinas de intercambio aniónico que se utilizan para purificar el producto en una etapa posterior trabajan a temperaturas por debajo de 60 °C. A medida que se descarga la solución del reactor, se la somete a una etapa de filtración con la finalidad de retener al catalizador, donde una parte de este se purga y la otra vuelve al reactor. La cantidad purgada es de 1 kg por cada tonelada de sorbitol producido (solución al 70 % de sólidos) (Ronco & Antonello, 2010). El tiempo de hidrogenación se determinará durante la puesta a punto del proceso, y se tomará como referencia para detener la reacción. A partir de la utilización de un modelo cinético, se conoce que se requieren 3,028 horas para alcanzar una conversión del 99,5 % respecto a la dextrosa.

La solución purificada que contiene aproximadamente un 50 % de sólidos, se envía a un evaporador para ajustar esta cantidad al 70 %. El producto cede parte de su energía en un intercambiador de calor para precalentar la alimentación al evaporador, y termina de enfriarse con agua en otro intercambiador. Luego se manda al silo de almacenaje. El vapor se condensa y se almacena, para utilizarlo en la dilución del jarabe de alta dextrosa en la etapa de hidrogenación (Ronco & Antonello, 2010).

6.3.2 Oxidación microbiológica desde D-sorbitol a ácido 2-ceto-L-gulónico

El proceso continuo para la obtención de ácido 2-ceto-L-gulónico a partir de D-sorbitol, se da por fermentación. Para ello, se realizan dos etapas; en la primera, se obtiene L-sorbosa a partir de D-sorbitol, y en la segunda se obtiene ácido 2-ceto-L-gulónico a partir de L-sorbosa, empleando distintos microorganismos. Para dar inicio a la fermentación, se deben establecer los medios de cultivo necesarios, empleando fuentes de carbono y nitrógeno, sales inorgánicas y algunos nutrientes, que pueden ser utilizados de manera ventajosa para la incubación de los microorganismos. La proporción de la mezcla de estos nutrientes, varía con las propiedades genéticas de los mismos.

Las cepas necesarias para este proceso se solicitan en las colecciones de cultivos nombradas en el capítulo 2. Las mismas, se adquieren de manera liofilizada, por lo que se deben realizar operaciones previas, para disponer del microorganismo en su forma activada. Se comienza sembrando cada cepa en el medio de cultivo correspondiente, siguiendo las instrucciones del organismo proveedor. Esto se hace a escala laboratorio y luego se incrementa su volumen mediante sucesivos pasajes a distintos recipientes de cultivos, con el objetivo de conseguir la velocidad de

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

crecimiento adecuada. Con el material obtenido, se siembra los tanques de inóculos, los cuales tienen un volumen menor que los fermentadores. Los inóculos poseen composición y condiciones de operación idénticas al medio de fermentación. La tasa de inóculo que se requiere para iniciar ambas fermentaciones es de un 5% respecto al volumen del fermentador. La cepa *Gluconobacter suboxydans* NBRC 3291, se debe incubar a 28°C durante 2 días con agitación, siendo el medio de cultivo acuoso una mezcla de 10% de D-sorbitol, 0,006% de extracto de levadura, 0,02% de sulfato de magnesio, 1% de corn steep¹, 0,03% de fosfato monopotásico y 0,06% de carbonato de calcio. La cepa *Gluconobacter oxydans* DSM 4025, se incuba a 28°C en un período de 3 días con agitación, donde el medio acuoso contiene 4% de L-sorbosa, 0,5% de urea, 0,05% de glicérido, 0,25% de sulfato de magnesio, 1,75% de corn steep, 5% de extracto de levadura y 1,5% de carbonato de calcio. Los porcentajes de los medios de cultivo están expresados en base peso/volumen.

Antes de comenzar la fermentación, se esterilizan los reactores y equipos auxiliares. Luego, se alimenta el primer reactor con el medio de cultivo que contiene D-sorbitol, donde el pH en el medio, se mantiene empleando una solución de hidróxido de sodio 7,5 M, en un valor de 6,8. La temperatura de reacción es de 18°C y la presión total del sistema de 1 atm. Debido a que el microorganismo es de carácter aerobio, necesita un suministro de oxígeno para su crecimiento, por lo que la concentración de oxígeno disuelto es del 2% y la presión parcial del mismo de 0,59 atm. Durante el proceso, a causa del metabolismo de las bacterias, se genera dióxido de carbono por la respiración celular, el cual debe removerse. La L-sorbosa generada es esterilizada a 140°C antes de ingresar al segundo fermentador. El pH en tal equipo se ajusta de la misma manera que el reactor anterior a un valor de 7. La temperatura en esta etapa de 28°C y la presión total de 1 atm. Además, la presión parcial de oxígeno es de 0,51 atm y la concentración de oxígeno disuelto que debe suministrarse del 10%.

Para establecer un régimen entre ambas fermentaciones, se busca que la tasa de suministro del medio de cultivo al segundo recipiente de fermentación, se ajuste con la tasa de suministro del caldo de fermentación del primer recipiente y la tasa de descarga del caldo de fermentación del segundo recipiente; de modo que el volumen de trabajo en el segundo reactor se mantenga sustancialmente constante (Estados Unidos Patente nº US 6. 238. 897 B1, 2001).

El producto final de esta etapa de oxidación, ácido 2-ceto-L-gulónico, debe ser separado y purificado del caldo de fermentación. Este se somete a una operación de ultrafiltración para retener biomasa e impurezas insolubles y las sales poco solubles.

¹ Subproducto derivado de la molienda húmeda de maíz.

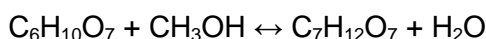
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Luego la solución se concentra en un evaporador con el objetivo de llegar a una concentración del 90% p/p de ácido 2-ceto-L-gulónico.

6.3.3 Esterificación de ácido 2-ceto-L-gulónico

Durante esta etapa reacciona el ácido 2-ceto-gulónico con el metanol para formar el éster denominado 2-ceto-L-gulonato de metilo. El metanol se utiliza en exceso debido a que es una reacción de equilibrio por lo que se busca desplazar el mismo siempre hacia el lado de los productos deseados, en consecuencia, debe utilizarse un catalizador ácido. En este proyecto se adquiere una resina de intercambio D001. La reacción se lleva a cabo a 65°C y 0,5 atm en un reactor tanque agitado que opera en batch y de manera isotérmica por lo que posee un sistema de enfriamiento; el tiempo de esta etapa es de 2,5 horas. A continuación, se observa la reacción que se lleva a cabo:

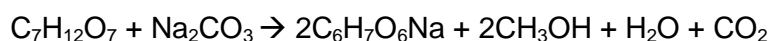


(Baoyun, y otros, 2008)

Una vez finalizada la reacción, los productos se remiten a un filtro para separar el catalizador que está en suspensión, el cual, se recircula nuevamente al reactor. El filtrado se envía a una torre de destilación donde se separa agua-metanol del éster generado. La corriente del tope se condensa y se envía a un tamiz molecular para aumentar la concentración del metanol al 99% y así retornarlo al reactor. En cambio, el éster, el producto del fondo, pasa a la siguiente etapa de lactonización, donde se obtiene la sal del ácido ascórbico. La columna de destilación trabaja a una presión de 0,5 atm, la temperatura del tope es de 43°C y la del fondo de 134°C.

6.3.4 Lactonización de 2-ceto-L-gulonato de metilo

En esta etapa se produce principalmente la sal del ácido ascórbico denominada ascorbato de sodio y como productos secundarios se generan agua, metanol y dióxido de carbono. La reacción consiste en la transposición del éster en presencia de carbonato de sodio. Se lleva a cabo en un reactor discontinuo que posee un sistema de enfriamiento para bajar la temperatura de la corriente que proviene de la destilación hasta 65°C, temperatura de reacción. Es una reacción exotérmica por lo que también se debe remover el calor generado para que la misma ocurra de manera isotérmica. La estequiometría de la reacción es la siguiente:



(Ming, HE, Yang, & Wang, 2011)

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

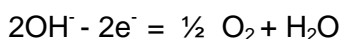
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

El tiempo de reacción es de 2,5 horas y se emplea una relación molar de reactivos de 0,60. El rendimiento de la reacción en función del ascorbato de sodio es del 98%.

6.3.5 Membrana de electrodiálisis

Al finalizar la reacción de la etapa anterior, todos los productos de reacción menos el dióxido de carbono, se envían a una columna de electrodiálisis con membrana bipolar que tiene como objetivo generar ácido ascórbico mediante el intercambio iónico de protones H^+ pertenecientes al agua y ascorbato de sodio. El funcionamiento de esta membrana genera a su vez hidróxido de sodio por acción del contacto del ion Na^+ con el ion OH^- del agua. Las reacciones redox que ocurren en el equipo son las siguientes:

En el ánodo



En el cátodo



(Zhang, Yu, Lin, & Jian, 2002)

La membrana opera a una temperatura de 40°C en un tiempo de 3,8 horas. Para su mayor eficiencia se debe mantener el sistema a un pH de 1,70. Los electrodos del equipo generan una diferencia de potencial de 2-2,5 voltios.

6.3.6 Evaporación de metanol y agua

Con el objetivo de concentrar la solución de ácido ascórbico, se somete la corriente de salida de la membrana bipolar a una evaporación al vacío. De esta manera, la corriente que sale por el tope del equipo en forma de vapor, puede condensarse y enviarse al tamiz molecular para concentrar y recircular el alcohol; mientras que la corriente que sale por el fondo, el ácido, continua con el proceso de purificación. En este equipo se busca que la concentración de metanol no supere el 3% p/p en la corriente del fondo debido a que es una especificación necesaria para que opere posteriormente la torre de secado.

6.3.7 Purificación en torre de carbón activado

En esta etapa se busca eliminar las impurezas que contiene el ácido ascórbico las cuales fueron generadas en etapas anteriores. El equipo que se utiliza es una torre de carbón activado el cual, es capaz de adsorber en su superficie a las impurezas de origen orgánico.

Se logra alcanzar un porcentaje de pureza de ácido ascórbico dentro del rango exigido por el ANMAT para su comercialización.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

6.3.8 Secado

La última etapa del proceso consiste en removerle la humedad al producto final, empleando una torre de secado que alimenta aire caliente con tal fin. Tras esta operación se obtiene vitamina C de alta pureza en un 98% p/p lista para ser embalada y comercializada.

6.3.9 Resumen de las etapas del proceso de obtención de ácido L-ascórbico

En la siguiente figura, se puede observar un resumen de las etapas necesarias para la generación industrial de vitamina C.

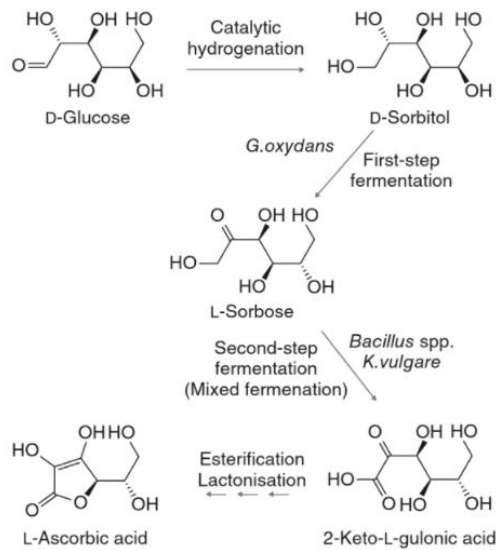


Figura 6.5- Etapas del proceso de obtención de ácido L-ascórbico
Fuente: Industrial Biotechnology of Vitamins, Biopigments, and Antioxidants.

CAPÍTULO 7:

BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

7.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describen los cálculos correspondientes al balance de masa y energía de la producción de ácido ascórbico. Para realizar los mismos se tiene en cuenta la demanda a satisfacer, obtenida en el capítulo 4.

Los valores obtenidos de composiciones másicas y requerimientos energéticos son indispensables para el dimensionamiento de los equipos necesarios.

Para conocer la cantidad de materia prima que se debe procesar se establece la cantidad de días que funciona la planta, en este proyecto se toman en cuenta 350 días por año de actividad, contando con turnos continuos de 24 horas. Los días restantes se utilizan para paradas de mantenimiento e imprevistos.

En la tabla 7.1 se detallan los datos de producción del ácido ascórbico.

Tabla 7.1 - Cantidades a producir y tiempos de trabajo

Datos de producción de vitamina C	
Días productivos (días/año)	350
Días de mantenimiento (días/año)	15
Días de paradas imprevistas (días/año)	5
Capacidad adoptada (t/año)	750
Producción anual considerando las pérdidas (t/año)	766,54
Producción horaria (kg/h)	89,28

Se necesitan 89,28 kg/h para cumplir con la demanda insatisfecha nacional, pero por cuestiones de contemplar pérdidas en el proceso, se estima una producción extra del 2,20% respecto a al caudal másico total, lo que equivale a una producción de 91.25 kg/h.

7.2 BALANCE DE MASA

Para realizar el balance de masa se tienen en cuenta ciertas consideraciones como, por ejemplo, la operación en estado estacionario de la planta lo que implica que no hay acumulación de masa en el sistema ni fluctuaciones de las variables del sistema.

Dentro del proceso hay etapas discontinuas y continuas las cuales, son ajustadas de manera tal para que la planta funcione en régimen continuo. Cada una de las operaciones involucradas conlleva un rendimiento asignado.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

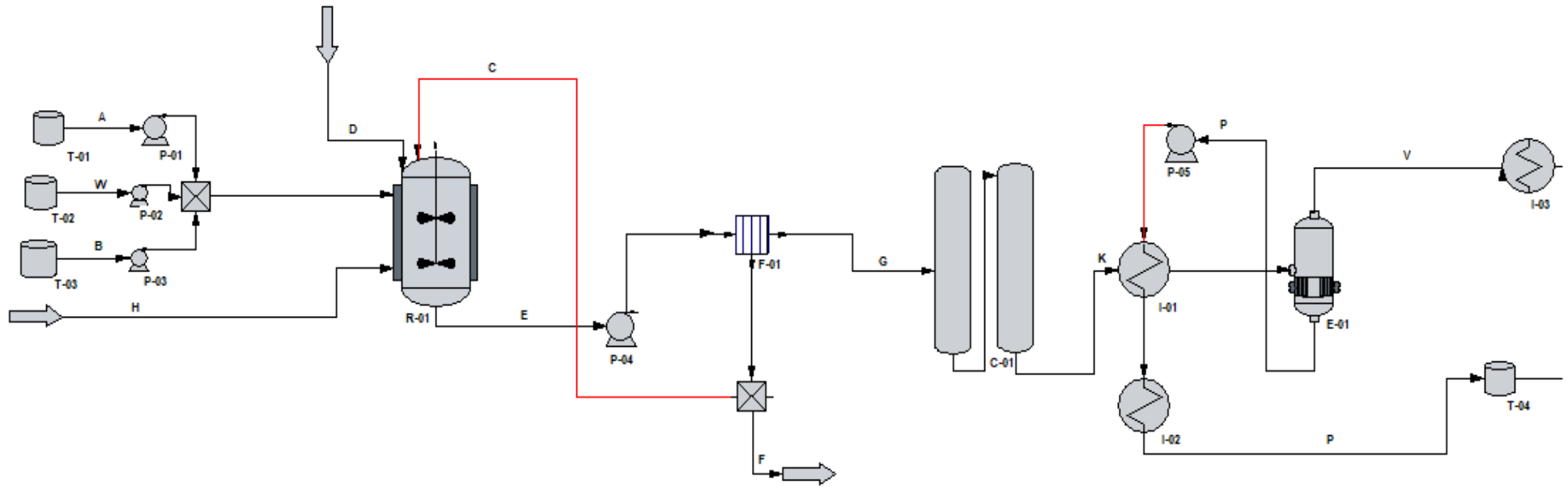


Figura 7.1 – Primera parte del diagrama de flujo de proceso

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

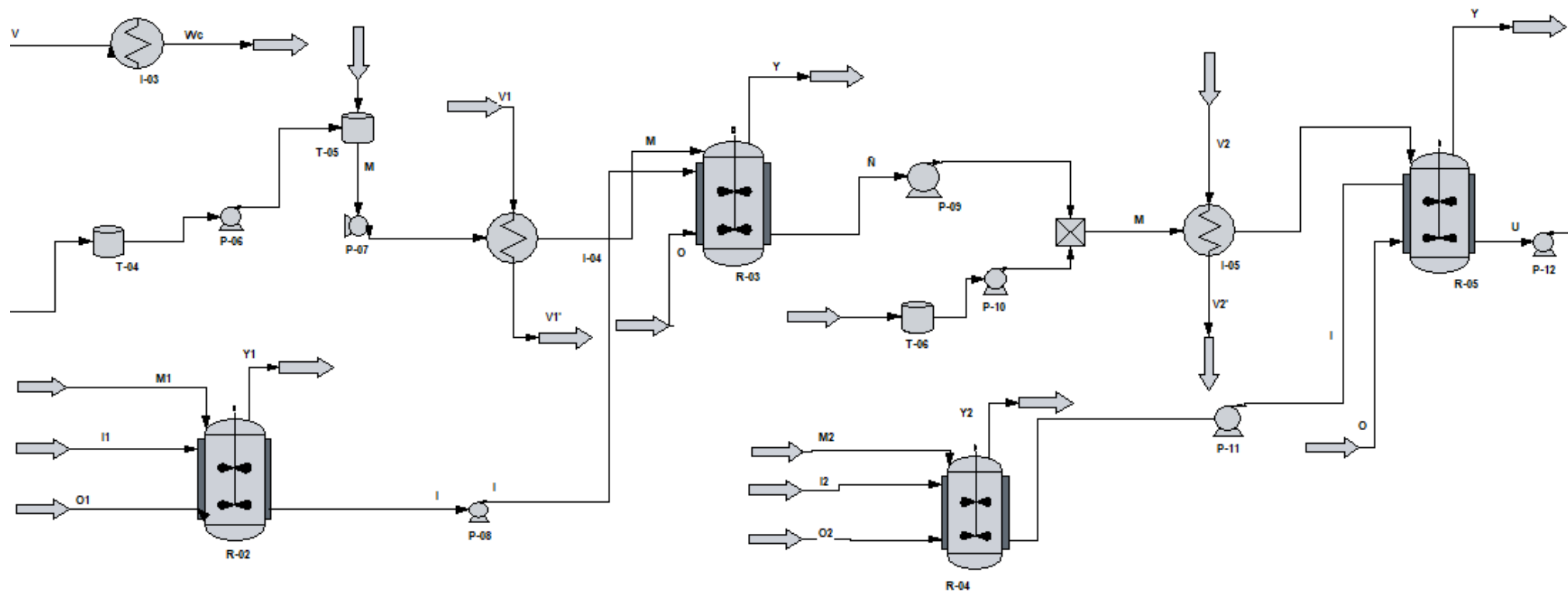


Figura 7.2. – Segunda parte del diagrama de flujo del proceso

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

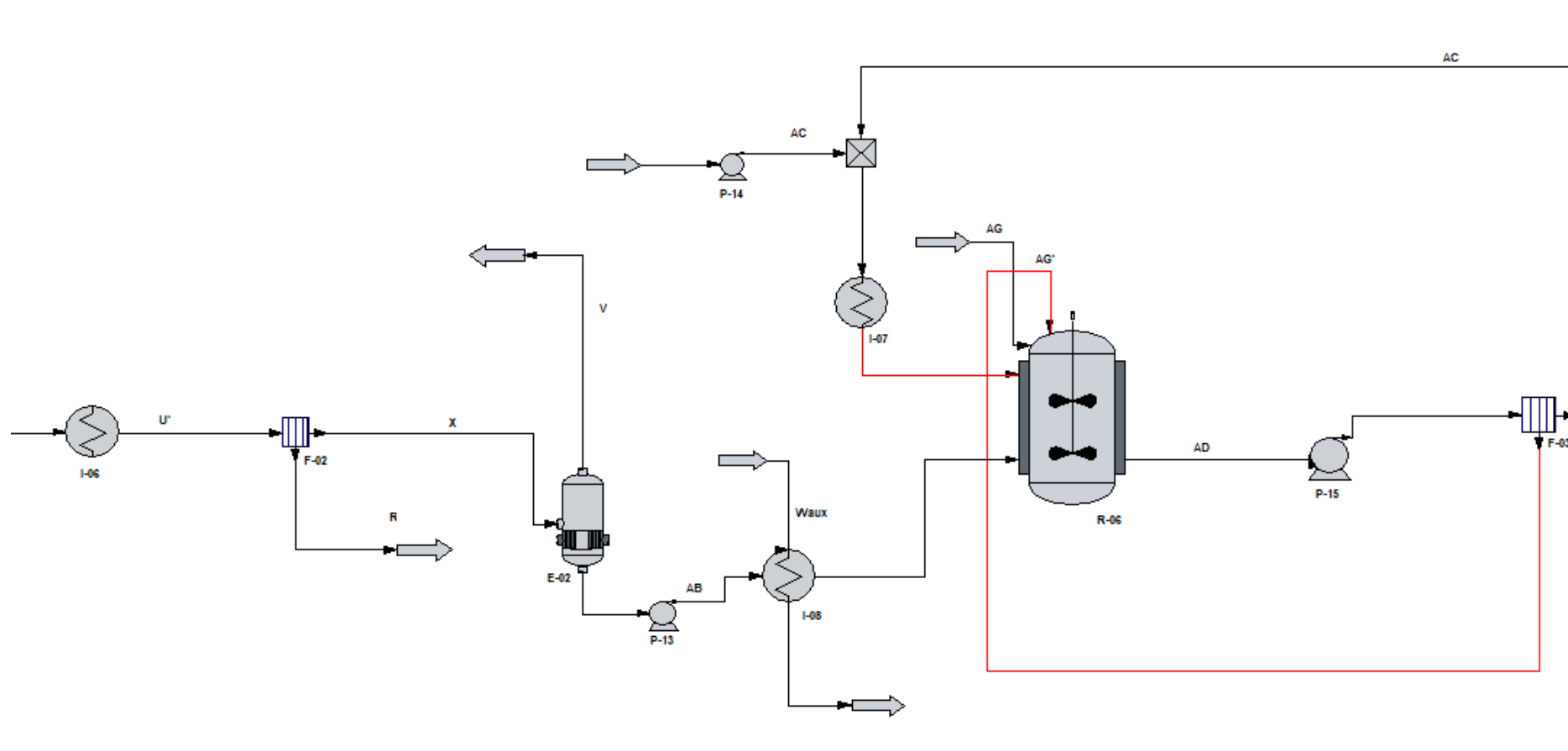


Figura 7.3 – Tercera parte del diagrama de flujo de proceso

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

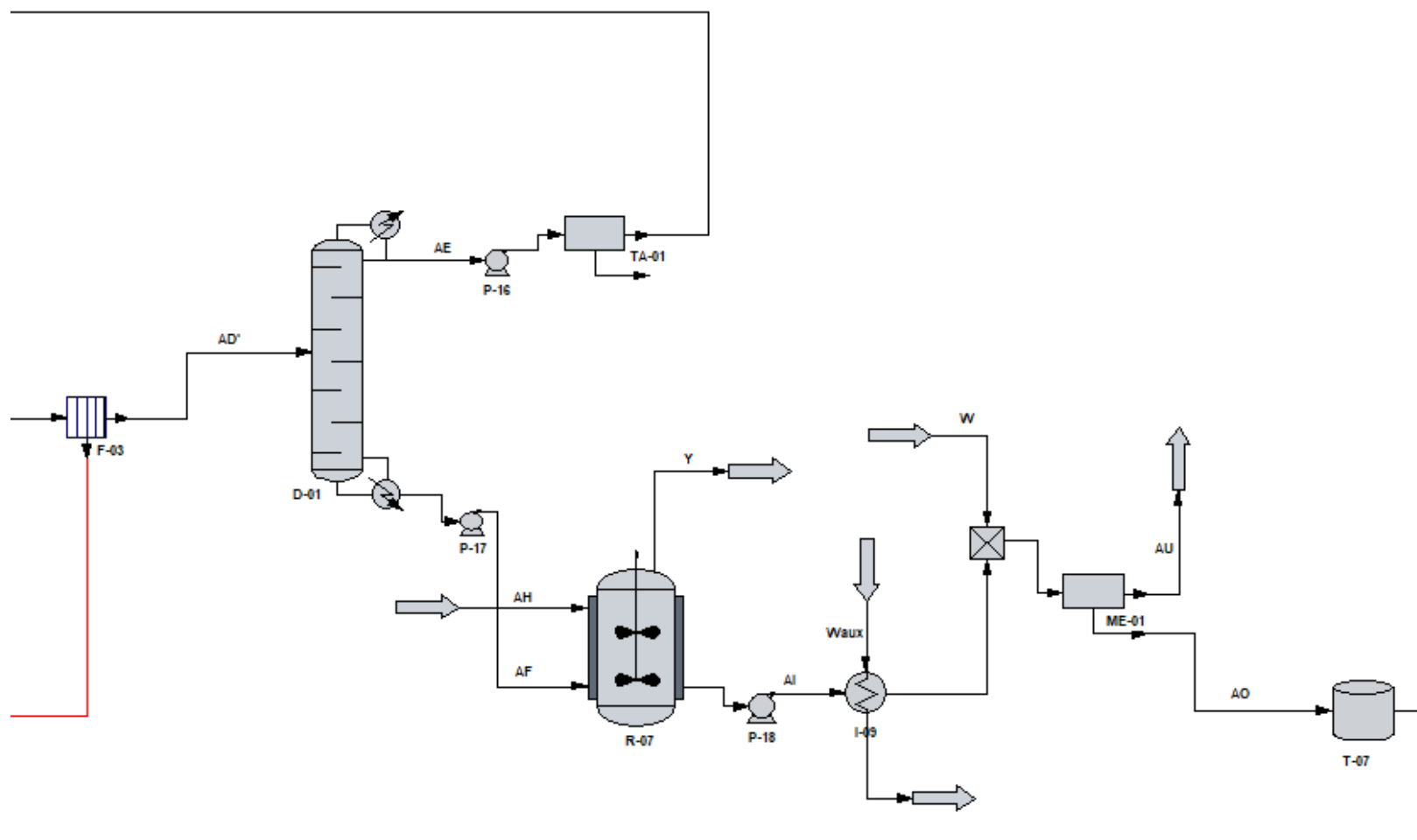


Figura 7.4 – Cuarta parte del diagrama de flujo de proceso

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

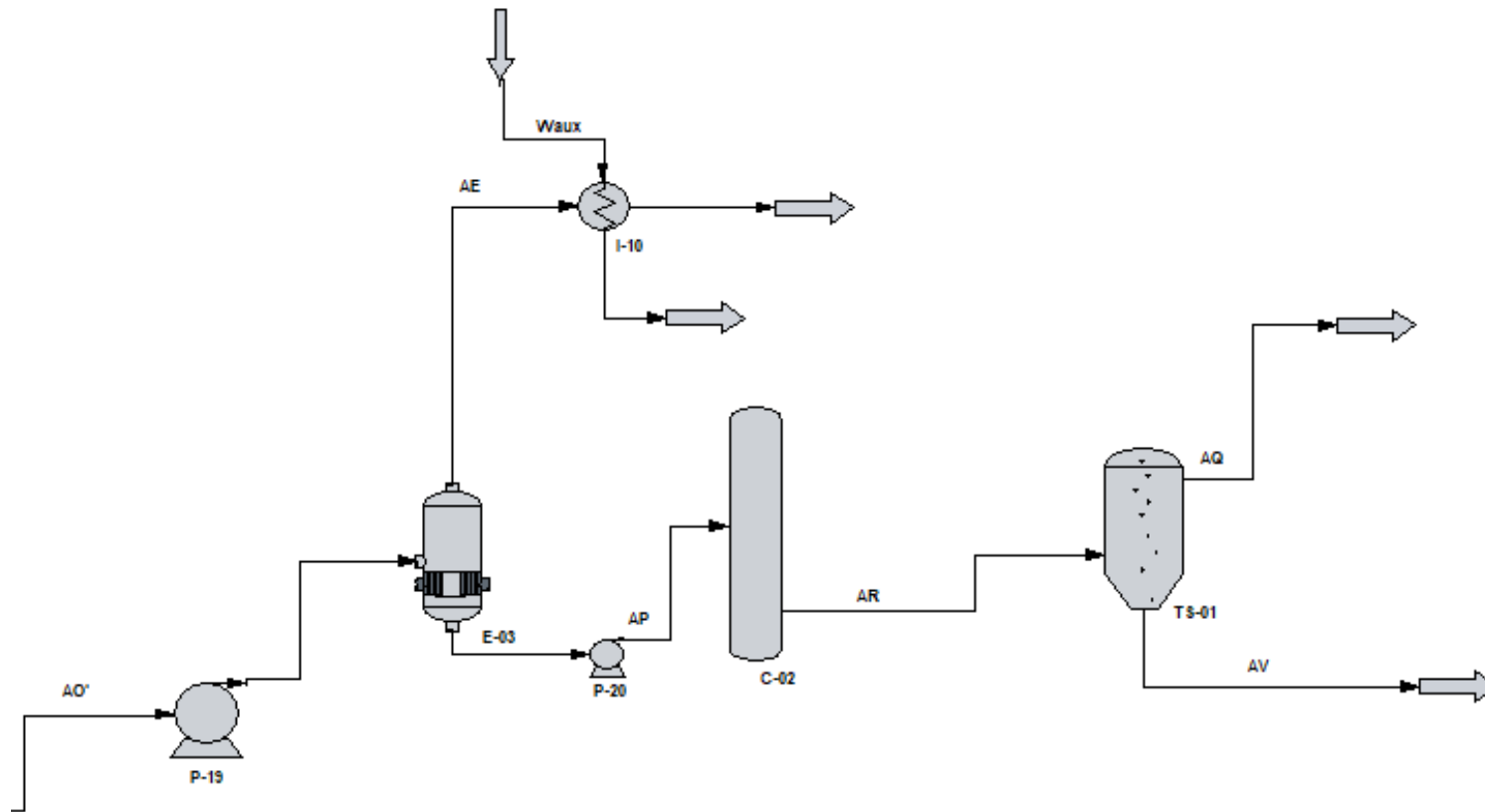


Figura 7.5 – Quinta parte del diagrama de flujo de proceso

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

7.2.1 Hidrogenación catalítica del sorbitol

En la figura 7.6 se observa un esquema representativo del proceso de la hidrogenación en el cual se basa el balance de masa. En la tabla 7.2 se detallan la denominación de las corrientes involucradas y en la 7.3 los componentes de las mismas.

Tabla 7.2 – Nomenclatura de las corrientes involucradas en la hidrogenación

Corriente	Descripción
A	Jarabe de alta dextrosa
B	Solución de NaOH 0.1 N
W	Agua desmineralizada
C	Catalizador recirculado
D	Catalizador fresco
H	Hidrógeno
E	Solución hidrogenada
F	Catalizador purgado
G	Solución filtrada que entra a las columnas de intercambio iónico
J	Cationes eliminados por intercambio iónico
L	Aniones eliminados por intercambio iónico
K	Solución purificada
V	Agua evaporada
P	Producto sorbitol al 70%

Tabla 7.3 – Componentes

Componente	Descripción
w	Agua
d	Dextrosa
l	Levulosa
m	Maltosa
h	Hidrógeno
s	Sorbitol
n	Manitol
b	Maltitol
e	NaOH
c	Catalizador
g	Gluconato
i	Ni ⁺²

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

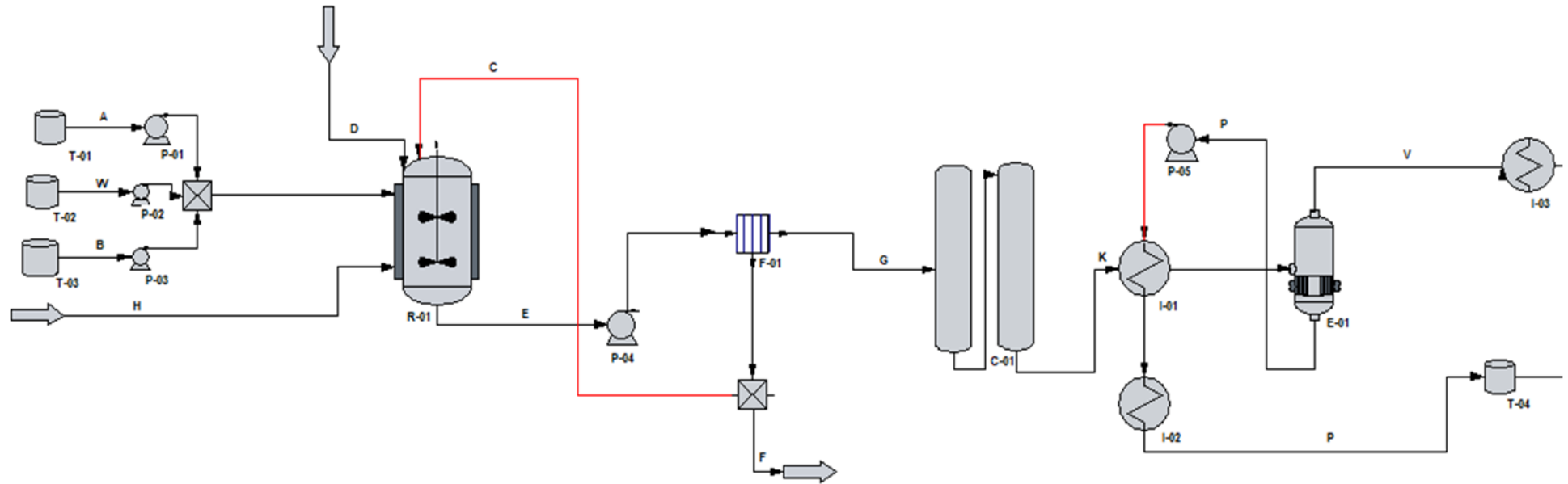


Figura 7.6 – Diagrama de flujo de la sección de hidrogenación catalítica
Elaboración propia

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

En la tabla 7.4 se plasman los equipos que intervienen en esta etapa.

Tabla 7.4 – Denominación de los equipos

Denominación	Equipo	Descripción
C-01	Columna	Columna de intercambio iónico
E-01	Evaporador	Concentra el producto hasta una concentración del 70%.
F-01	Filtro	Filtro que retiene el catalizador
I-01	Intercambiador de calor	Intercambio de calor entre las corrientes P y K.
I-02	Intercambiador de calor	Enfriamiento del sorbitol al 70% para su almacenamiento.
I-03	Intercambiador de calor	Condensador del vapor de agua proveniente del evaporador.
P-01	Bomba	Bomba que alimenta dextrosa al reactor (R-01)
P-02	Bomba	Bomba que alimenta agua al reactor (R-01)
P-03	Bomba	Bomba que alimenta solución de NaOH (R-01)
P-04	Bomba	Bomba que alimenta al filtro (F-01)
P-05	Bomba	Bomba que alimenta a intercambiador (I-01)
P-06	Bomba	Bomba que alimenta a tanque (T-03)
R-01	Reactor	Reactor hidrogenación
T-01	Tanque	Tanque de almacenamiento de jarabe de dextrosa
T-02	Tanque	Tanque de almacenamiento de sorbitol al 70%

- Balance de masa en el reactor R-01:

En la tabla 7.5 se muestra el balance de masa que se realiza en el reactor de hidrogenación.

Tabla 7.5 – Ecuaciones de balance de masa hidrogenación

	Ecuaciones de balance
	Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance global	$A + W + D + C + B = E$
Balance parcial dextrosa	$A \cdot dA + C \cdot dE = E \cdot dE + (A \cdot dA \cdot \alpha) + [(E \cdot gE - C \cdot gC) \cdot (360/195)]$
Balance parcial hidrógeno	$H = A \cdot dA \cdot \alpha \cdot (2/180) + A \cdot IA \cdot (2/180) + A \cdot mA \cdot (2/342)$
Balance parcial de	$W + B \cdot wB + D \cdot wD + C \cdot wE = E \cdot wE$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

agua	
Balance parcial de sorbitol	$C.sE = E.sE - A.dA.a.(182/180) - E.gE.(360/195) - 0,5.A.IA.(182/180)$
Balance parcial de manitol	$C.nE = E.nE - 0,5.A.IA.(182/180)$
Balance parcial de maltitol	$C.bE = E.bE - A.mA*(344/342)$
Balance parcial NaOH	$B.eB + C.eE = E.eE$
Balance parcial catalizador	$D.cD + C.cC = E.cE + (E.iE - C.iE)$

La fracción que no es catalizador en las corrientes E y C presentan la misma composición, por lo cual se pueden establecer las siguientes relaciones. Además, deben cumplirse las siguientes condiciones:

- La cantidad de agua desmineralizada debe ser la necesaria para diluir el contenido de sólidos del jarabe de alta dextrosa al 50 %.
- La cantidad de catalizador que ingresa al reactor debe ser igual al 3% en peso respecto al contenido de dextrosa del jarabe.
- La cantidad de catalizador fresco (sin considerar el agua de la suspensión en la que viene), debe ser de 1 kg por cada 522 kg de jarabe de alta dextrosa.
- El pH de la carga del reactor debe ajustarse a un valor comprendido entre 5 y 7, que es el rango óptimo para llevar a cabo la reacción. Esto se realizará con una solución de NaOH 0,1 N. El pH del jarabe de alta dextrosa puede encontrarse entre 3.7 y 6.7. Se tomará el caso extremo de un valor de pH igual a 3,7 para los cálculos de la cantidad de solución de NaOH a agregar, y del balance de masa. Por cálculos previos se determinó que la cantidad de solución de NaOH (kg) a agregar por kg de carga al reactor es 0,00095, para alcanzar un pH igual a 6.

Para la resolución de esta etapa se adapta el contenido del proyecto final realizado por Ronco Ludmila y Antonello Emanuel “Producción de sorbitol por hidrogenación catalítica”.

En la tabla 7.6 se observan los resultados del balance de masa para el reactor de hidrogenación.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
Tabla 7.6 – Resultados del balance de masa de hidrogenación

Entrada/Salida	Corriente	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	A	603,10	d	0,95500
			m	0,03500
			l	0,01000
Entrada	B	11,78	w	0,99600
			e	0,00400
Entrada	W	603,10	w	1,00000
Entrada	D	2,30	w	0,50000
			c	0,50000
Entrada	C	35,94	g	0,00100
			i	0,00010
			c	0,45000
			w	0,27640
			b	0,00952
			d	0,00027
			n	0,00136
			e	0,00002
			s	0,26237
Entrada	H	6,55	h	1,00000
Salida	E	1262,78	e	0,00003
			b	0,01700
			c	0,01358
			s	0,47057
			w	0,49572
			d	0,00049
			n	0,00245
			g	0,00100
			i	0,00010

Se utiliza el tiempo de reacción que se obtuvo en la bibliografía mencionada con anterioridad, los tiempos muertos de la carga se calculan para la cantidad de masa correspondiente a nuestro proyecto en el capítulo 8.

- Balance de masa en el filtro F-01:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.7 – Ecuaciones de balance de masa en el filtro

	Ecuaciones de balance
	Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$E = C + F + G$
Balance parcial agua	$E.wE = C.wC + F.wF + G.wG$
Balance parcial sorbitol	$E.sE = C.sC + F.sF + G.sG$
Balance parcial catalizador	$E.cE = C.cC + F.cF$
Balance parcial de Ni ⁺²	$E.iE = C.iC + F.iF + G.iG$
Balance parcial maltitol	$E.bE = C.bC + F.bF + G.bG$
Balance parcial NaOH	$E.eE = C.eC + F.eF + G.eG$
Balance parcial dextrosa	$E.dE = C.dC + F.dF + G.dG$
Balance parcial gluconato	$E.gE = C.gC + F.gF + G.gG$
Balance parcial manitol	$E.nE = C.nC + F.nF + G.nG$

Tabla 7.8 – Resultados del balance de masa en el filtro

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	E	1262,78	e	0,00003
			b	0,01700
			c	0,01358
			s	0,47057
			a	0,49572
			d	0,00049
			n	0,00245
			g	0,00100
			i	0,00010
Salida	C	35,94	g	0,00100
			i	0,00010
			c	0,45000
			w	0,27640
			b	0,00952
			d	0,00027
			n	0,00136
			e	0,00002

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

			s	0,26237
Salida	F	2,33	g	0,00100
			i	0,00010
			c	0,45000
			w	0,27640
			b	0,00952
			d	0,00027
			n	0,00136
			e	0,00002
			s	0,26237
			Salida	G
e	0,00003			
s	0,48582			
d	0,00050			
n	0,00243			
b	0,01723			
i	0,00010			
g	0,00100			

- Balance de masa en columnas de intercambio iónico C-01:

Tabla 7.9 – Ecuaciones de balance de masa en columnas de intercambio iónico

	Ecuaciones de balance Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$G = J + L + K$
Balance parcial agua	$G.aG = K.aK$
Balance parcial sorbitol	$G.sG = K.sK$
Balance parcial Ni^{+2}	$G.iG = J.iJ$
Balance parcial maltitol	$G.bG = K.bK$
Balance parcial Na^+	$G.eG = J.eJ$
Balance parcial dextrosa	$G.dG = K.dK$
Balance parcial gluconato	$G.gG = L.gL$
Balance parcial manitol	$G.nG = K.nK$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.10 – Resultados del balance de masa en columnas de intercambio iónico

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	G	1224,51	w	0,51129
			e	0,00003
			s	0,48582
			d	0,00050
			n	0,00243
			b	0,01723
			i	0,00010
Salida	J	0,16	e	0,23076
			i	0,76923
Salida	L	1,34	g	1,00000
Salida	K	1223,01	w	0,51157
			d	0,00050
			n	0,00240
			b	0,01701
			s	0,48554

- Balance de masa en el evaporador

Tabla 7.11 – Ecuaciones de balance de masa en el evaporador

	Ecuaciones de balance
	Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$K = V + P$
Balance parcial agua	$K.wK = V + P.Wp$
Balance parcial dextrosa	$K.dK = P.dP$
Balance parcial sorbitol	$K.sK = P.sP$
Balance parcial manitol	$K.nK = P.nP$
Balance parcial maltitol	$K.bK = P.bP$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.12 – Resultados del balance de masa en el evaporador

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	K	1223,01	w	0,51157
			d	0,00050
			n	0,00240
			b	0,01701
			s	0,48554
Salida	P	836,88	d	0,00073
			n	0,00350
			b	0,02484
			w	0,27661
			s	0,70000
Salida	V	386,12	w	1,00000

- Balance de masa en el tanque de almacenamiento

El tanque almacena sorbitol producido en un día para que la fermentación opere de modo continuo durante 6 días. La cantidad de sorbitol necesario por hora para la fermentación se calcula con la ecuación 7.1.

$$P' = \frac{P \cdot t_{\text{hidrogenación}}}{t_{\text{fermentación}}}$$

Ecuación 7.1

Donde

$$t_{\text{hidrogenación}} = 24 \text{ h}$$

$$t_{\text{fermentación}} = 144 \text{ h}$$

$$P' = \frac{836,88 \text{ kg/h} \cdot 24 \text{ h}}{144 \text{ h}}$$

$$P' = 139,48 \text{ kg/h}$$

7.2.2 Fermentación de D-Sorbitol para obtener L-Sorbosa

En la tabla 7.13 se muestran las corrientes que intervienen en esta etapa, y en la tabla 7.14 se observan los componentes de estas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.13 – Corrientes involucradas en la fermentación

Corriente	Descripción
M	Medio de cultivo
I	Inoculo
Y	Dióxido de carbono
O	Oxígeno
R	Biomasa
N	Salida del fermentador

Tabla 7.14 – Componentes

Componente	Descripción
w	Agua
s	Sorbitol
y	Extracto de levadura
r	Corn steep
z	Sulfato de magnesio
p	Fosfato dipotásico
j	Sorbosa
k	Carbonato de calcio
a	Biomasa
q	Dióxido de carbono
o	Oxígeno
ma	Medio de cultivo agotado

En la figura 7.7 se muestra el diagrama de procesos de esta etapa de fermentación la cual incluye prefermentación y esterilización.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

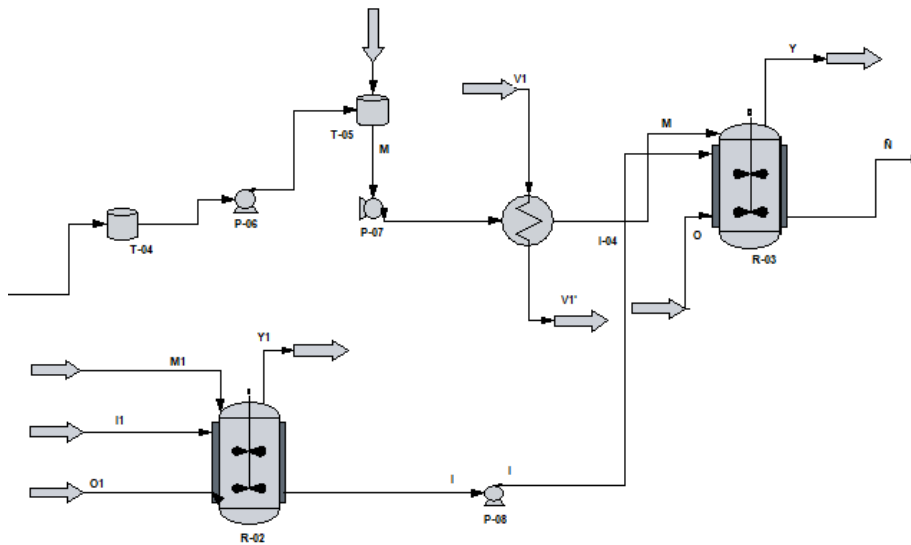


Figura 7.7 – Diagrama de flujo de la sección de la primera fermentación

En la tabla 7.15 se detallan los equipos que intervienen en esta etapa.

Tabla 7.15- Equipos que participan en la primera fermentación

Denominación	Equipo	Descripción
I-04	Intercambiador de calor	Esterilizador de la corriente que alimenta a R-03
P-06	Bomba	Alimenta a tanque T-03 con sorbitol
P-07	Bomba	Impulsa medio de cultivo de T-03
P-08	Bomba	Impulsa inóculo de R-02
P-09	Bomba	Impulsa producto de fermentación 1
R-02	Reactor	Prefermentador donde se genera inóculo
R-03	Reactor	Fermentador de sorbitol a sorbosa
T-02	Tanque	Almacenamiento de sorbitol
T-03	Tanque	Almacenamiento de medio de cultivo

- Balance en el prefermentador R-02:

En el prefermentador se genera el inóculo necesario para producir la fermentación principal. El tamaño del inóculo es del 1% v/v por lo que se realiza en 5 etapas, la primera de ellas se realiza en laboratorio mientras que, las restantes se hacen en planta. El período de incubación de la bacteria es de 2 días a una temperatura de 28°C en un reactor con agitación, el medio de cultivo necesario es el mismo que se utiliza para la fermentación principal. En la tabla 7.16 se muestran las corrientes con sus respectivos componentes que intervienen en esta etapa.

Tabla 7.16 – Especificaciones de las corrientes que participan en la prefermentación

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

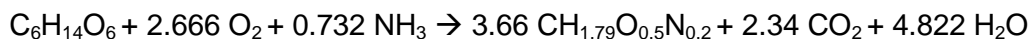
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	M1	18,91	s	0,10000
			y	0,00006
			r	0,01000
			z	0,00020
			p	0,00030
			k	0,00006
Entrada	I1	18,70	a	0,05000
			ma	0,95000
Entrada	O1	0,88	o	1,00000
Salida	Y1	1,06	q	1,00000
Salida	I	18,87	a	0,05000
			ma	0,95000

- Balance en el fermentador R-03

Para realizar el balance de masa de la fermentación se tiene en cuenta la ecuación del metabolismo celular la cual, se muestra a continuación.

Sorbitol + Oxígeno + Amonio → Biomasa + Dióxido de carbono + Agua



Con la estequiometría de reacción y los datos de crecimiento celular es posible predecir el consumo de los componentes del medio de cultivo durante la fermentación, los resultados de esto se observan en la tabla 7.17. Esta etapa se realiza de manera continua. La composición del medio de cultivo se encuentra plasmada en el capítulo 6 en el apartado 6.3.2. Esta etapa tiene un tiempo de retención de 8 horas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.17 – Especificaciones de las corrientes que intervienen en la primera fermentación

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	M	1394,81	s	0,10000
			y	0,00006
			r	0,01000
			z	0,00020
			p	0,00030
			k	0,00006
Entrada	I	18,87	a	0,05000
			ma	0,95000
Entrada	O	77,60	o	1,00000
Salida	Y	78,86	q	1,00000
Salida	Ñ	1543,36	a	0,04529
			ma	0,86533
			j	0,08938

7.2.3 Fermentación de L-sorbose a ácido 2-ceto-L-gulónico

En la tabla 7.18 se observan las corrientes que pertenecen a esta segunda etapa de fermentación y en la tabla 7.19 se plasman sus componentes.

Tabla 7.18 – Corrientes involucradas en la fermentación

Corriente	Descripción
M	Medio de cultivo
I	Inoculo
Y	Dióxido de carbono
O	Oxígeno
R	Biomasa
U	Salida del fermentador
U'	Salida del esterilizador
X	Salida del filtro
V	Agua evaporada
AB	Ácido cetogulónico

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.19 - Componentes

Componente	Descripción
w	Agua
y	Extracto de levadura
r	Corn steep
z	Sulfato de magnesio
u	Urea
j	Sorbosa
k	Carbonato de calcio
gl	Glicéridos
a	Biomasa
q	Dióxido de carbono
o	Oxígeno
ma	Medio de cultivo agotado
ab	Ácido cetogulónico

En la figura 7.8 se visualiza el diagrama de proceso de esta etapa de fermentación donde se incluyen etapas como, prefermentación, fermentación principal, esterilización, separación de biomasa y concentración del producto.

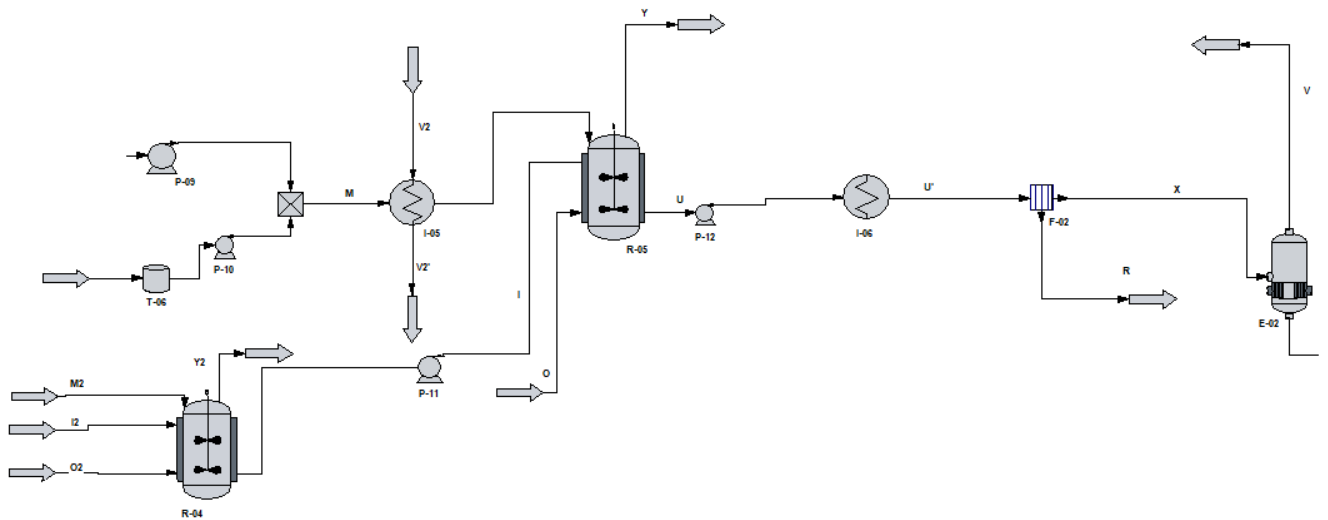


Figura 7.8 – Diagrama de flujo de la sección de la segunda fermentación

En la tabla 7.20 se detallan los equipos que se plasman en la figura anterior.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.20- Equipos que intervienen en la segunda fermentación

Denominación	Equipo	Descripción
E-02	Evaporador	Se concentra la solución de ácido cetogulónico al 90%
F-02	Filtro	Filtro que retiene la biomasa
P-09	Bomba	Impulsa producto de fermentación
P-10	Bomba	Alimenta con medio de cultivo de T-04
P-11	Bomba	Alimenta con inóculo de R-04
P-12	Bomba	Impulsa con producto de fermentación de R-05
R-04	Reactor	Prefermentador donde se genera inóculo
R-05	Reactor	Fermentador de sorbitol a ácido cetogulónico
T-04	Tanque	Tanque de almacenamiento de medio de cultivo
I-05	Intercambiador de calor	Esterilizador de placas
I-06	Intercambiador de calor	Esterilizador de placas

- Balance de masa en el prefermentador R-04

Esta etapa tiene el mismo objetivo que el prefermentador R-03, se busca generar el inóculo para la fermentación principal. En este caso el periodo de incubación de la bacteria es de 3 días a 28°C en un reactor con agitación. El medio de cultivo es el mismo que se utiliza en la fermentación principal.

Tabla 7.21 – Especificaciones de las corrientes involucradas en la prefermentación

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	M2	100,77	j	0,04000
			u	0,05000
			gl	0,00050
			z	0,00250
			r	0,01750
			y	0,05000
			k	0,01500
Entrada	I2	33,07	a	0,01600

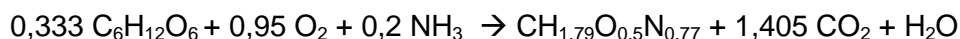
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

			ma	0,98400
Entrada	O2	2,04	o	1,00000
Salida	Y2	4,15	q	1,00000
Salida	I	99,63	a	0,01600
			ma	0,98400

- Balance de masa en el fermentador R-05

La resolución del balance de masa de la fermentación se realiza con la ecuación estequiométrica que se muestra a continuación y con datos cinéticos de la misma.



La composición del medio de cultivo necesario para esta etapa se detalla en el capítulo 6 en el apartado 6.3.2. El tiempo de residencia para esta etapa es de 22.2 horas.

Tabla 7.22 – Especificaciones de las corrientes que intervienen en la fermentación

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	M	2811,19	j	0,04000
			u	0,05000
			gl	0,00050
			z	0,00250
			r	0,01750
			y	0,05000
			k	0,01500
Entrada	I	99,63	a	0,01600
			ma	0,98400
Entrada	O	76,97	o	1,00000
Salida	U	2912,70	ab	0,04150
			a	0,01750
			ma	0,94100
Salida	Y	115,91	q	1,00000

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Balance de masa en el filtro F-02

En esta etapa se retiene la biomasa y las impurezas que salen del reactor y pasan por el esterilizador. El filtro tiene un rendimiento del 95%. Las ecuaciones que se utilizan para este balance se muestran en la tabla 7.23

Tabla 7.23 – Ecuaciones de balance de masa en el filtro

	Ecuaciones de balance
	Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$U' = X + R$
Balance parcial agua	$U'.wU' = X.wX$
Balance parcial ácido cetogulónico	$U'.abU' = X.abX$
Balance parcial biomasa	$U'.aU' = R$

Tabla 7.24 – Resultados del balance de masa en el filtro

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	U'	2912,70	ab	0,041607
			a	0,016402
			ma	0,941991
Salida	X	2867,31	ab	0,042265
			w	0,957735
Salida	R	45,39	a	1,000000

- Balance de masa en el evaporador E-02

En el evaporador se concentra el ácido cetogulónico al 90% p/p ya que es la concentración necesaria para pasar a la próxima etapa del proceso.

Las ecuaciones que se utilizan para el balance se muestran en la tabla 7.25.

Tabla 7.25 – Ecuaciones de balance de masa en el evaporador

	Ecuaciones de balance
	Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$X = AB + V$
Balance parcial agua	$X.wX = V + AB.wAB$
Balance parcial ácido cetogulónico	$X.abX = AB.abAB$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
Tabla 7.26 – Resultados del balance de masa en el evaporador

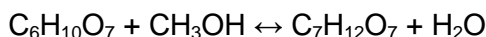
Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	X	2867,31	ab	0,042265
			w	0,957735
Salida	AB	133,81	ab	0,900000
			w	0,100000
Salida	V	2733,51	w	1,000000

7.2.4 Esterificación

En la tabla 7.27 se visualizan las corrientes que pertenecen a esta etapa de esterificación y en la tabla 7.28 se detallan sus componentes.

En la figura 7.9 se muestran los equipos que intervienen en la esterificación. Los mismos, se observan en la tabla 7.29

Para realizar el balance de masa se tiene en cuenta la ecuación estequiométrica:



El metanol se encuentra en exceso, en una relación de 35,6 moles por 1 mol de ácido cetogulónico mientras que, de catalizador se utiliza un 21,3% de la masa total de ácido cetogulónico. El rendimiento de la reacción bajo las condiciones determinadas en el capítulo 6 es de 99%.

El metanol que recircula al reactor proviene del tamiz molecular TA-01 lo que implica que, la cantidad de metanol fresco que se añade disminuya.

Tabla 7.27 – Corrientes involucradas en la esterificación

Corriente	Descripción
AB'	Ácido cetogulónico al 90%
AC	Metanol recirculado
AC'	Metanol fresco
AD	Salida del reactor R-06
AD'	Salida del filtro F-03
AE	Agua-metanol
AF	Producto de fondo de D-01
AG	Catalizador recirculado
AG'	Catalizador fresco

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.28 - Componentes

Componente	Descripción
ab	Ácido cetogulónico
ac	Cetogulonato de metilo
ad	Catalizador
me	Metanol
w	Agua

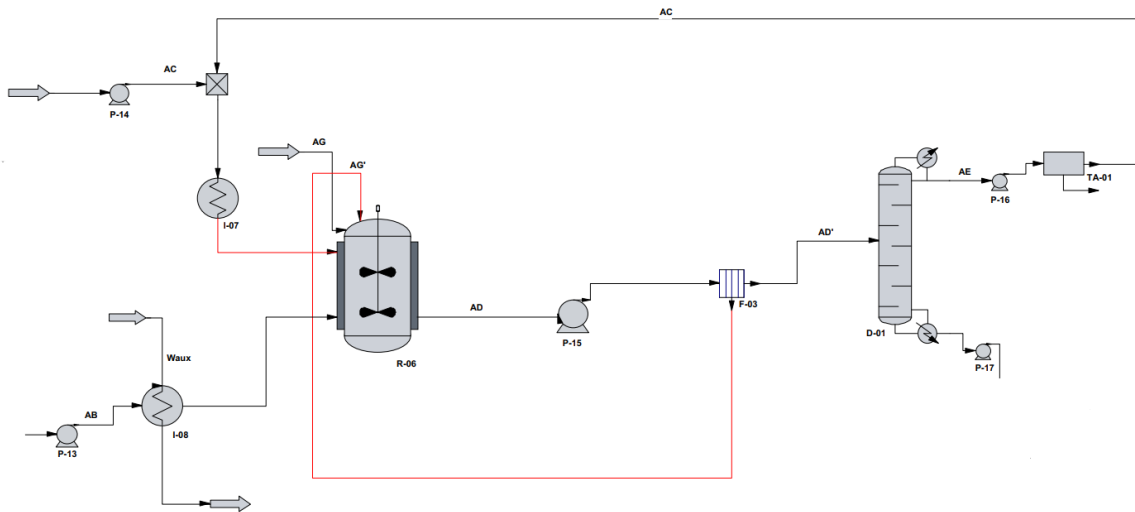


Figura 7.9 – Diagrama de flujo en la sección de esterificación

Tabla 7.29 – Equipos que participan en la esterificación

Denominación	Equipo	Descripción
D-01	Torre de destilación	Separa el cetogulonato de metilo de metanol-agua
I-07	Intercambiador de calor	Pre calentamiento del metanol que ingresa al reactor
I-08	Intercambiador de calor	Enfriamiento del ácido cetogulónico proveniente de la fermentación
P-13	Bomba	Alimenta a intercambiador I-08
P-14	Bomba	Alimenta a intercambiador I-07
P-15	Bomba	Alimenta a filtro F-03
P-16	Bomba	Alimenta a tamiz molecular TA-01
P-17	Bomba	Bombea fondos de la torre D-01

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

R-06	Reactor	Ocurre la esterificación
TA-01	Tamiz molecular	Concentra el metanol al 99%

- Balance de masa en el reactor R-06

En la tabla 7.30 se observan las ecuaciones del balance de masa y en la tabla 7.31 se plasman los resultados de estas.

Tabla 7.30 – Ecuaciones de balance de masa de esterificación

	Ecuaciones de balance
	Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$AB' + AC + AG = AD$
Balance parcial agua	$AB'.wAB' = AD'.wAD' - AB'.wAB'.0,99.(18/194,1)$
Balance parcial ácido cetogulónico	$AB'.abAB' = AD.abAD + AB'.ab.0,99$
Balance parcial metanol	$AC = AD.meAD + AB'.abAB'.0,99.(32/194,1)$
Balance parcial cetogulonato de metilo	$0 = AD.acAD - AB'.abAB'.0,99.(208/194,1)$
Balance parcial catalizador	$AG = AD.adAD$

La masa de catalizador que ingresa al reactor es el 21,3% de la masa de ácido cetogulónico de la corriente AB'.

Tabla 7.31 – Resultados del balance de masa en esterificación

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	AB'	133,81	w	0,10000
			ab	0,90000
Entrada	AC	765,20	me	1,00000
Entrada	AC'	20,25	me	1,00000
Entrada	AG	25,51	ad	1,00000
Entrada	AG'	0,13	ad	1,00000
Salida	AD	944,90	ab	0,00127
			me	0,81044
			w	0,02586
			ac	0,13520

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

			ad	0,02714
--	--	--	----	---------

- Balance de masa en el filtro F-03

En los cálculos se supone que el filtro tiene como finalidad retener el total del catalizador que sale del reactor. En la tabla 7.32 se encuentran las ecuaciones que se utilizan para realizar el balance de masa.

	Ecuaciones de balance Entrada = Salida – Tabla 7.32 – Ecuaciones de balance de masa en el filtro Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$AD = AD' + AG$
Balance parcial ácido cetogulónico	$AD.abAD = AD'.abAD'$
Balance parcial metanol	$AD.meAD = AD'.meAD'$
Balance parcial agua	$AD.wAD = AD'.wAD'$
Balance parcial cetogulonato de metilo	$AD.acAD = AD'.acAD'$
Balance parcial catalizador	$AD.adAD = AG$

En la siguiente tabla 7.33 se especifican los resultados del balance de masa.

Tabla 7.33 – Resultados del balance de masa en el filtro

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	AD	944,90	ab	0,00127
			me	0,81044
			w	0,02586
			ac	0,13520
			ad	0,02714
Salida	AD'	919,39	ac	0,13874
			ab	0,00123
			w	0,02569
			me	0,83247
Salida	AG	25,51	ad	1,00000

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Balance de masa en la columna de destilación D-01

Para la resolución del balance de masa de la columna de destilación se utiliza el simulador CHEMCAD 6.1. Se usa un módulo SCDS con los parámetros de presión y temperatura detallados en el capítulo 6 apartado 6.3.3.

En la tabla 7.34 se detallan las ecuaciones del balance de masa y en la 7.35 el resultado de estas.

Tabla 7.34 – Ecuaciones de balance de masa en la columna de destilación

	Ecuaciones de balance
	Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$AD' = AE + AF$
Balance parcial ácido cetogulónico	$AD'.abAD' = AF.abAF$
Balance parcial cetogulonato de metilo	$AD'.acAD' = AF.meAF$
Balance parcial agua	$AD'.wAD' = AE.wAE + AF.wAF$
Balance parcial metanol	$AD'.meAD' = AE.meAE$

Tabla 7.35 – Resultados del balance de masa en la columna de destilación

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	AD'	919,39	ac	0,13874
			ab	0,00123
			w	0,02569
			me	0,83247
Salida	AE	788,05	w	0,02900
			me	0,97100
Salida	AF	131,34	w	0,01400
			ac	0,96960
			ab	0,00700

- Balance de masa en el tamiz molecular TA-01

En la tabla 7.36 se observan las ecuaciones que se utilizan en el balance de masa y en la 7.37 los resultados de este.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.36 – Ecuaciones de balance de masa en el tamiz molecular

	Ecuaciones de balance
	Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$AE = AC + W$
Balance parcial metanol	$AE \cdot me_{AE} = AC$
Balance parcial agua	$AE \cdot w_{AE} = W$

Tabla 7.37 – Resultados del balance de masa en el tamiz molecular

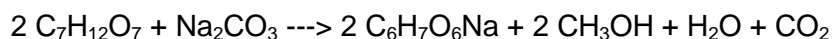
Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	AE	788,05	w	0,02900
			me	0,97100
Salida	AC	765,19	me	1,00000
Salida	W	22,85	w	1,00000

7.2.5 Lactonización

En la tabla 7.38 se representan las corrientes que pertenecen a esta etapa de esterificación y en la tabla 7.39 se enumeran sus componentes.

En la figura 7.10 se manifiestan los equipos que intervienen en la lactonización. Los mismos, se observan en la tabla 7.40.

La reacción estequiométrica de esta etapa se muestra a continuación:



El rendimiento de esta reacción es del 98%. El carbonato de sodio se introduce de manera estequiométrica al reactor.

Tabla 7.38 – Corrientes que involucra la etapa de esterificación

Corriente	Descripción
AH	Carbonato de sodio
AF	Producto de fondo D-01
Y	Dióxido de carbono
AI	Salida de R-07

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.39 - Componentes

Componente	Descripción
me	Metanol
w	Agua
ab	Ácido cetogulónico
ae	Ascorbato de sodio
q	Dióxido de carbono
af	Carbonato de sodio

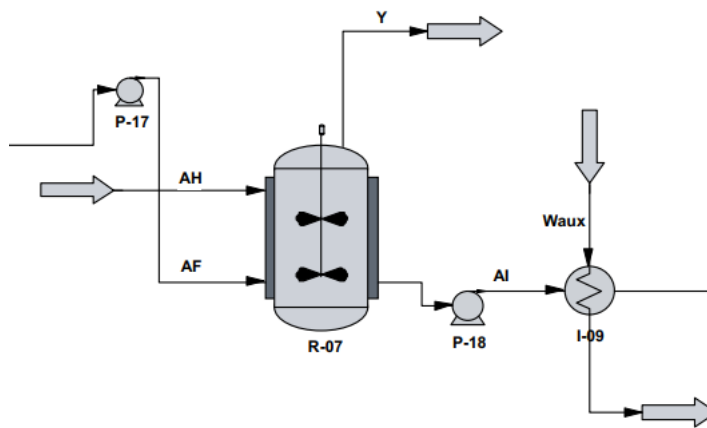


Figura 7.10 – Diagrama de flujo en la sección de lactonización

Tabla 7.40 – Equipos que intervienen en la lactonización

Denominación	Equipo	Descripción
I-09	Intercambiador de calor	Enfriamiento de cetogulonato de metilo
P-17	Bomba	Alimenta a R-07 con éster
P-18	Bomba	Alimenta a intercambiador I-09
R-07	Reactor	Ocurre la transposición del cetogulonato de metilo

Tabla 7.41 – Ecuaciones de balance de masa en lactonización

	Ecuaciones de balance
	Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$AF + AH = Y + AI$
Balance parcial dióxido de	$0 = Y - AF \cdot acAF \cdot 0,98$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

carbono	
Balance parcial cetogulonato de metilo	$AF.acAF = AI.acAI + AF.acAF.0,98$
Balance parcial metanol	$0 = AI.meAI - AF.acAF.0,98.(2.32/2.208)$
Balance parcial agua	$AF.wAF = AI.wAI - AF.acAF.0,98.(18/2.208)$
Balance parcial ascorbato de sodio	$0 = AI.ae - AF.acAF.0,98.(2.198,1/2.208)$
Balance parcial carbonato de sodio	$AH = AI.afAI + AF.acAF.0,98.(105,98/2.208)$
Balance parcial ácido cetogulónico	$AF.abAF = AI.abAI$

Tabla 7.42– Resultados del balance de masa de lactonización

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	AF	131,34	w	0,01400
			ac	0,96960
			ab	0,00700
Entrada	AH	33,46	af	1,00000
Salida	AI	151,65	me	0,12613
			ae	0,78087
			af	0,01176
			w	0,04760
			ac	0,01673
			ab	0,00696
Salida	Y	13,15	q	1,00000

7.2.6 Membrana bipolar de electrodiálisis

En la tabla 7.43 se muestran las corrientes que intervienen en este proceso el cual se visualiza en la figura 7.11 los equipos del mismo se visualizan en la tabla 7.44. Los componentes de las corrientes se observan la tabla 7.45

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
Tabla 7.43 – Corrientes que participan en la membrana

Corriente	Descripción
AI	Salida de R-07
AO	Salida de ME-01
AU	Hidróxido de sodio

Tabla 7.44 - Componentes

Componente	Descripción
w	Agua
me	Metanol
ab	Ácido cetogulónico
ac	Cetogulonato de metilo
ae	Ascorbato de sodio
e	Hidróxido de sodio
af	Carbonato de sodio
ag	Ácido ascórbico

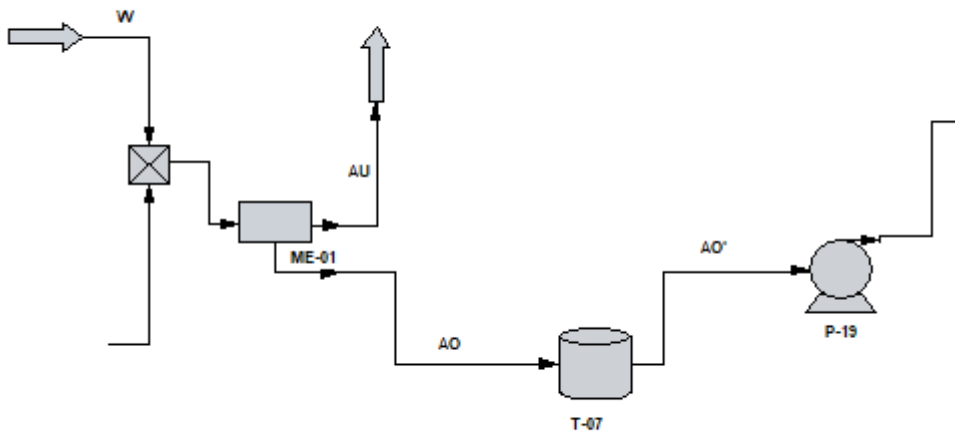


Figura 7.11 – Diagrama de flujo en la membrana de electrodiálisis

Tabla 7.45 – Equipos involucrados durante el uso de la membrana

Denominación	Equipo	Descripción
ME-01	Membrana de electrodiálisis	Ocurre la transformación de ascorbato de sodio a ácido ascórbico
P-19	Bomba	Bombee solución de ácido ascórbico
T-05	Tanque	Almacenamiento de solución de ácido

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

		ascórbico
--	--	-----------

El rendimiento considerado en la membrana es del 97%. En la tabla 7.46 se muestran las ecuaciones que se utilizan en el balance de masa.

Tabla 7.46 – Ecuaciones de balance de masa en la membrana

	Ecuaciones de balance
	Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Balance total	$AI = AO + AU$
Balance parcial metanol	$AI.meAI = AO.meAO$
Balance parcial agua	$AI.wAI = AU.wAU + AI.aeAI.0,97.(18/198,1) + AO.wAO$
Balance parcial hidróxido de sodio	$AI.eAI = AU.eAU - AI.aeAI.0,97.(40/198,1)$
Balance parcial ácido ascórbico	$0 = AO.agAO - AI.aeAI.0,97.(176/198,1)$
Balance parcial ácido cetogulónico	$AI.agAI = AO.agAO$
Balance parcial cetogulonato de metilo	$AI.acAI = AO.acAO$
Balance parcial carbonato de sodio	$AI.afAI = AO.afAO$
Balance parcial ascorbato de sodio	$AI.aeAI = AO.aeAO - AI.aeAI.0,97$

Se debe adicionar 125 kg de agua a la corriente que sale del lactonizado para el correcto funcionamiento de la membrana.

Tabla 7.47– Resultados del balance de masa en la membrana

Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	AI	151,65	me	0,12613
			ae	0,78087
			af	0,01176
			w	0,04760
			ac	0,01673

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

			ab	0,00696
Entrada	W	125,00	w	1,00000
Salida	AO	188,24	w	0,30000
			ag	0,56000
			me	0,09666
			ab	0,00483
			ac	0,01288
			af	0,00886
			ae	0,01884
Salida	AU	88,39	w	0,73778
			e	0,26222

- Tanque de almacenamiento, T-05

El tanque almacena el producto que sale de la membrana dipolar producido durante 6 días para que la última etapa de evaporación, purificación y secado se lleve a cabo en un día de trabajo.

$$AO' = \frac{AO * t_{membrana}}{t_{evap}}$$

Ecuación 7.2

Donde

$$t_{membrana} = 144 \text{ h}$$

$$t_{eva} = 14 \text{ h}$$

$$AO' = \frac{188,24 \text{ kg/h} * 144 \text{ h}}{14 \text{ h}}$$

$$AO' = 1936,28 \text{ kg/h}$$

7.2.7 Evaporación, purificación y secado

Estas últimas etapas tienen lugar durante un día de la semana donde se procesa lo producido en 6 días. El tiempo de operación es de 14 horas funcionando de manera continua.

Tabla 7.48 – Corrientes involucradas en las tres etapas

Corriente	Descripción
AO'	Entrada al evaporador E-03
AP	Entrada a la torre de carbón activado C-02
AE	Metanol-Agua que ingresa al tamiz molecular TA-01
AQ	Impurezas
AR	Entrada a la torre de secado TS-01

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

AV	Producto final
AG	Agua + Metanol

Tabla 7.49 - Componentes

Componente	Descripción
w	Agua
me	Metanol
ab	Ácido cetogulónico
ag	Ácido ascórbico
ac	Cetogulonato de metilo
ae	Ascorbato de sodio
e	Hidróxido de sodio
af	Carbonato de sodio
ai	Impurezas (ácido cetogulónico + cetogulonato de metilo + ascorbato de sodio + carbonato de sodio)

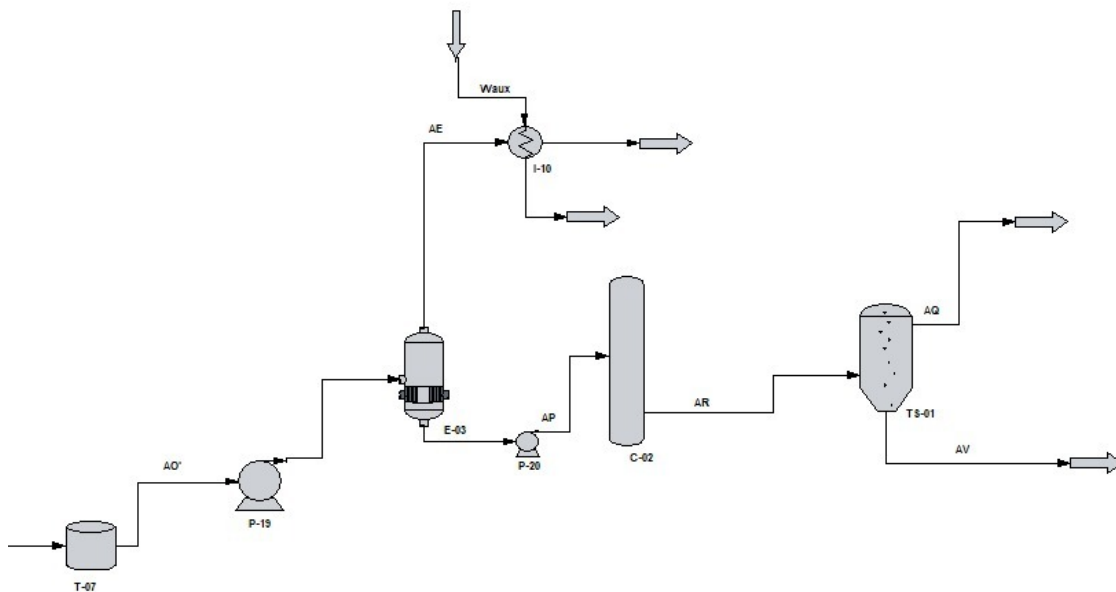


Figura 7.12 – Diagrama de flujo en la sección de evaporación, purificación y secado

Tabla 7.50 - Equipos

Denominación	Equipo	Descripción
C-02	Torre de carbón activado	Elimina las impurezas presentes en la corriente-
E-03	Evaporador	Elimina metanol y agua de la corriente de ingreso
I-10	Condensador	Condensa los vapores provenientes del

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

		evaporador
P-19	Bomba	Alimenta a evaporador E-03
P-20	Bomba	Alimenta a torre de carbón activado C-02
T-05	Tanque de almacenamiento	Almacena el producto diluido
TS-01	Torre de carbón activado	Transforma el ácido ascórbico en polvo eliminando la humedad del mismo

Tabla 7.51 – Ecuaciones del balance de masa

	Ecuaciones de balance Entrada = Salida – Generación por reacción + Desaparición por reacción
Evaporador	
Balance total	$AO' = AP + AE$
Balance parcial metanol	$AO'.meAO' = AE.meAE + AP.meAP$
Balance parcial agua	$AO'.wAO' = AP.wAP + AE.wAE$
Balance parcial ácido ascórbico	$AO'.agAO' = AP.agAP$
Balance parcial cetogulonato de metilo	$AO'.acAO' = AP.acAP$
Balance parcial ácido cetogulónico	$AO'.abAO' = AP.abAP$
Balance parcial carbonato de sodio	$AO'.afAO' = AP.afAP$
Balance parcial ascorbato de sodio	$AO'.aeAO' = AP.aeAP$
Torre de carbón activado	
Balance total	$AP = AQ + AR$
Balance parcial ácido ascórbico	$AP.agAP = AR.agAR$
Balance parcial agua	$AP.wAP = AR.wAR$
Balance parcial metanol	$AP.mAP = AR.mAR$
Balance parcial impurezas	$AP.aiAP = AR.aiAR + AQ.aiAQ$
Torre de secado	
Balance total	$AR = AV + AG$
Balance parcial metanol	$AR.mAR = AG.mAG$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Balance parcial agua	$AR.wAR = AG.wAG$
Balance parcial impurezas	$AR.aiAR = AV.aiAV$
Balance parcial ácido ascórbico	$AR.agAR = AV.agAV$

Tabla 7.52 - Resultados del balance de masa

Evaporador				
Entrada/Salida	Corrientes	Flujo másico (kg/h)	Componentes	Composiciones (fracción en peso)
Entrada	AO'	1936,18	w	0,30000
			ag	0,56000
			me	0,09666
			ab	0,00483
			ac	0,01288
			af	0,00886
			ae	0,01884
Salida	AP	1642,90	w	0,25000
			me	0,03814
			ab	0,0056
			af	0,01037
			ac	0,01414
			ag	0,66000
			ae	0,02121
Salida	AE	293,37	w	0,58000
			me	0,42000
Torre de carbón activado				
Entrada	AP	1642,90	w	0,25000
			me	0,03814
			ab	0,0056
			af	0,01037
			ac	0,01414
			ag	0,66000
			ae	0,02121
Salida	AQ	80,76	ai	1,00000

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Salida	AR	1562,14	ag	0,69412
			w	0,26292
			me	0,03996
			ai	0,00151
Torre de secado				
Entrada	AR	1562,14	ag	0,69412
			w	0,26292
			me	0,03996
			ai	0,00151
Salida	AV	1095,63	ag	0,98430
			ai	0,00142
Salida	AG	467,08	w	0,86956
			me	0,13043

7.3 BALANCE DE ENERGÍA

Se efectúa un balance energético de todo el sistema y de cada etapa que contempla el proceso, para mantener óptimas las condiciones de operación de cada etapa. Para ello se tiene en cuenta el calor intercambiado en cada equipo, condiciones de isotermita, cambios de entalpía en una corriente, entre otras cuestiones operativas que influyen en el rendimiento.

Para la descripción de este apartado se hace uso de la nomenclatura establecida en el punto 7.2 de balance de masa. En la tabla 7.53 se puede visualizar el significado de cada variable empleada en los cálculos y su denominación.

Tabla 7.53 – Variables del proceso

Variable	Descripción
V	Vapor saturado
V*	Vapor condensado, kg/h
AE	Agua de enfriamiento, kg/h
H	Entalpía, kcal/kg
h	Entalpía específica, kcal/kg
U	Energía interna, kcal
ΔH_f	Entalpía de formación estándar, kcal/kg
ΔH	Calor de reacción, kcal
λ	Calor de vaporización/condensación
Cp	Calor específico, kcal/°C kg
Q	Calor intercambiado con el medio, kcal/h

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Te	Temperatura de entrada, °C
Ts	Temperatura de salida, °C
Tr	Temperatura de referencia, °C
t	Tiempo, h
q	Flujo de calor, kcal/h m

7.3.1 Hidrogenación catalítica del sorbitol

- Balance de energía en el silo de almacenamiento del jarabe de alta dextrosa, T-01:

A causa de que el jarabe de alta dextrosa empleado como materia prima en este proceso, debe almacenarse a una temperatura superior a 60°C para evitar problemas de cristalización; se diseña el tanque, tal como se detalla en el capítulo 8; con un material de aislación que impida tal efecto. Se comprueba que no se requiere un sistema de calentamiento en el mismo por un balance energético, suponiendo condiciones externas drásticas de 0°C. Haciendo uso de la ecuación planteada en (Kern) del flujo de calor a través de la pared de un tubo y las dimensiones establecidas para el tanque se obtiene el valor del calor intercambiado.

$$q = \frac{\pi(T_s - T_a)}{\frac{2.3}{2.kc} \log \frac{D_1}{D_2} + \frac{1}{ha.D_1}}$$

Ecuación 7.3

Dónde:

Ts = temperatura dentro del silo = 63 °C.

Ta = temperatura exterior = 0 °C.

kc = conductividad térmica del aislante = 0,018 kcal/h.m.°C (poliuretano expandido).

ha = coeficiente superficial de transferencia de calor = 4,032 kcal/h.m².°C.

D₁ = Diámetro exterior del silo, incluido el espesor del aislante = 1,70 m.

D₂ = Diámetro exterior del silo, sin el aislante = 1,80 m

$$q = 115,18 \text{ kcal/h.m}$$

La altura del líquido en el silo es 1,20 m.

Si se considera que el silo se llena una vez a la semana ya que el reactor opera 1 día a la semana, y se toma en consideración que el mismo está 3 días lleno antes de la producción, se obtiene que el calor intercambiado con el sistema o de pérdida es de 9951,51 kcal (Q1). A partir de esto, se calcula el cambio de temperatura que experimenta el tanque al igualar el calor que posee en su interior y el calor que intercambia al exterior. A medida que el silo se descarga la pérdida calorífica

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
disminuye; por ende, siempre para el cálculo se toman en cuenta las condiciones más desfavorables; es decir como si estuviera lleno más del tiempo real.

Dónde:

M_H = masa de jarabe dentro del silo = 3618,60 kg (cuando el silo está lleno, teniendo en cuenta una capacidad para abastecer los 6 batch semanales que se realizan en el proceso).

$$C_{pM} = 0,838 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$M_H \cdot C_{pM} \cdot \Delta T = Q_1$$

Ecuación 7.4

$$\Delta T = 2,81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Este resultado nos indica que no es necesario instalar un sistema de calentamiento en este silo.

- Balance de energía en el reactor de hidrogenación, R-01:

Como este es un reactor batch, existen tres etapas que involucran transferencia de calor: el calentamiento de la carga del reactor hasta la temperatura de reacción, mediante vapor saturado; la eliminación del calor generado por la reacción exotérmica, mediante agua de enfriamiento, para mantener condiciones isotérmicas; y por último el enfriamiento de la carga hasta la temperatura deseada (Ronco & Antonello, 2010).

Los balances energéticos correspondientes a cada etapa se detallan a continuación:

- a. Balance de energía para el calentamiento de la carga:

La carga del reactor debe calentarse hasta 135 °C, por medio de vapor saturado a 150 °C y 3,5 atm; el cual, circula por el serpentín del equipo. Para calcular los kg de vapor saturado en función de los kg que alimentan el reactor, se tienen en cuenta las condiciones a las que se encuentra el sistema cuando se alcanza esa temperatura. Dado que el punto de ebullición del agua es de 100°C, la carga del equipo estará comprendida por vapor que ocupara la parte superior del reactor y limitará el caudal másico de vapor saturado que pueda ingresar por el serpentín. Por ende, se calcula la relación de vapor y carga del interior del tanque con la ecuación 7.5.

Dónde:

Densidad de vapor: 1,639 kg/m³

V_{SUP} (Volumen superior del reactor): 0,22 m³, calculado en el capítulo de diseño.

M_H : carga del reactor en kg

$$\frac{\text{Vapor}}{\text{Carga}} = \frac{V_{sup} * \text{Densidad vapor}}{\text{carga}} = \frac{\text{masa de vapor}}{\text{carga}} = 0,000286 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

Ecuación 7.5

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

El siguiente balance de energía para todo el sistema, determina los kilogramos de vapor saturado.

Dónde:

$H_{\text{vapor agua (135 °C)}} : 650,81 \text{ kcal/kg.}$

$h_{V1} : 655,49 \text{ kcal/kg.}$

$h_{V1^*} : 150,89 \text{ kcal/kg.}$

$C_{pMH} : 0,87 \text{ kcal/ kg}^\circ\text{C.}$

$C_{pA} : 0,84 \text{ kcal/ kg}^\circ\text{C.}$

$C_{pC} : 0,54 \text{ kcal/ kg}^\circ\text{C.}$

Ecuación de B.E.:

$$U_s - U_e = (H_A + H_W + H_B + H_D + H_C) + V1 \cdot (h_{V1} - h_{V1^*}) - Q2$$

$$U_e = 0$$

$$H_W = H_B = H_D = 0$$

$$(M_H - 0,000286) \cdot C_{pM} \cdot (T_{SM} - T_r) + 0,000286 \cdot M \cdot H_{\text{vap}} = A \cdot C_{pA} \cdot (T_{sA} - T_r) + C \cdot C_{pC} \cdot (T_{eC} - T_r) + V1 \cdot (h_{V1} - h_{V1^*})$$

$$V1/M = 0,473 \text{ kg de vapor/kg de carga al reactor}$$

Las pérdidas de calor se desprecian, ya que el reactor se encontrará aislado, y el tiempo de calentamiento no es prolongado. El tiempo de calentamiento de detalla en el capítulo de diseño.

b. Balance de energía para la reacción química

Se calcula el calor de reacción a 135 °C, a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta H_{\text{reacción (135 °C)}} = \Delta H_{\text{Productos (135 °C)}} - \Delta H_{\text{Reactivos (135 °C)}}$$

La entalpía de los reactivos y productos a 135 °C será igual a la suma de la entalpía de formación estándar, más el calor sensible para pasar de 25 a 135 °C, el calor latente de cambio de fase en el caso que ocurra, y como la reacción se da en solución también se sumará el calor de disolución (Ronco & Antonello, 2010).

$$\Delta H_{\text{dextrosa (135 °C)}} = \Delta H_{f \text{ dextrosa}}^\circ + \int_{25}^{135} c_{p \text{ dextrosa}} dT + \Delta H_{\text{disolución dextrosa}}$$

$$\Delta H_{\text{sorbitol (135 °C)}} = \Delta H_{f \text{ sorbitol}}^\circ + \int_{25}^{94,3} c_{p \text{ sorbitol sólido}} dT + \Delta H_{\text{cambio fase}} + \int_{94,3}^{135} c_{p \text{ sorbitol líquido}} dT + \Delta H_{\text{disolución sorbitol}}$$

$$\Delta H_f^\circ (H_2) = 0$$

$$\Delta H_{H_2 (135 °C)} = \int_{25}^{135} c_{p H_2} dT$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Para obtener un valor más exacto, en este caso se utilizaron las siguientes expresiones para calcular los Cp (Fuente: CHEMCAD 6.1):

$$Cp_{\text{glucosa}} = 3,887 \cdot 10^{-3} + 5,552 \cdot 10^{-4} \cdot T - 1,661 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 \text{ (kcal/kg } ^\circ\text{C)}$$

$$Cp_{\text{sorbitol sólido}} = 0,395 \text{ (kcal/kg } ^\circ\text{C)}$$

$$Cp_{\text{sorbitol líquido}} = 0,137 + 4,996 \cdot 10^{-4} \cdot T \text{ (kcal/kg } ^\circ\text{C)}$$

$$Cp_{\text{H}_2} = 0,34 + 9,100 \cdot 10^{-6} T - 3,929 \cdot 10^{-7} T^2 - 1,038 \cdot 10^{-10} T^3 \text{ (kcal/kg } ^\circ\text{C)}$$

Dónde:

$$\int_{25}^{135} cp_{\text{dextrosa}} dT$$

$$\int_{25}^{94,3} cp_{\text{sorbitol sólido}} dT$$

$$\int_{94,3}^{135} cp_{\text{sorbitol líquido}} dT$$

$$\int_{25}^{135} cp_{\text{H}_2} dT$$

En la siguiente tabla 7.54 se encuentran los valores de entalpías.

Tabla 7.54 – Entalpías

	ΔH_f° (kcal/kg)	$\Delta H_{\text{cambio fase}}$ (kcal/kg)	$\Delta H_{\text{disolución}}$ (kcal/kg)
Glucosa	-1689,72	-	1415,98
Sorbitol	-1776,69	39,61 $T_{\text{fusion}} = 94,3^\circ\text{C}$	26,47
H ₂	0	-	-

A partir de lo expuesto se puede plantear que el calor total de reacción:

$$\Delta H_{\text{reacción (135 } ^\circ\text{C)}} = -60,88 \text{ kcal/kg (Reacción exotérmica)}$$

O también se puede expresar como:

$$\Delta H_{\text{reacción (135 } ^\circ\text{C)}} = -36,092 \text{ kcal/kg (Reacción exotérmica)}$$

Para mantener las condiciones isotérmicas de reacción, es necesario retirar el calor generado por la misma, para lo cual se utilizará agua de enfriamiento.

Como la reacción se lleva a cabo en forma batch, el calor generado se irá reduciendo con el tiempo, en la medida que disminuya la velocidad de reacción. Por este motivo es necesario que el caudal de agua se ajuste a las necesidades de cada momento. Esto será posible mediante un sistema de control automático, que accione una válvula para regular el caudal, según cambios en la temperatura del medio reaccionante (Ronco & Antonello, 2010).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

En función de lo detallado y por uso de la siguiente expresión, se obtiene los kilogramos de agua de enfriamiento necesarios a pasar por el serpentín.

$$\Delta H_r \cdot \frac{M_H}{\rho} \cdot r = (H_{W_{aux} \text{ caliente}} - H_{W_{aux} \text{ fría}}) - H_{H_2}$$

Ecuación 7.6

Se desprecian las pérdidas de calor al medio. Como la temperatura de entrada del H₂ es 25 °C, igual que la temperatura de referencia considerada, H_{H₂} = 0.

Dónde:

r = velocidad de reacción

M_H = carga del reactor

ρ = densidad promedio de la solución

$$\Delta H_r \cdot \frac{M_H}{\rho} \cdot r = W_{aux1} C_{p_{W_{aux}}} (T_s - T_e)$$

Ecuación 7.7

Como “r” va variando con el tiempo, y W_{aux1} también, entonces la ecuación anterior debe resolverse para cada instante de tiempo. Para ello, a partir de los valores de velocidad de reacción obtenidos para cada instante en función a la cinética de la reacción, se obtiene la masa de agua fría en cada punto. Es importante aclarar que la ecuación de la velocidad de reacción se detalla en el diseño de tal equipo en el capítulo 8.

Los datos que involucran la expresión anterior son:

T_e = 25 °C.

T_s = 35 °C.

C_{p_{W_{aux1}}} = 1 kcal/kg°C.

ρ = 1192.4 kg/m³.

Para que se establezca una consistencia en el sistema de unidades a emplear, se debe utilizar la expresión del calor de reacción en kcal/mol. En la tabla 7.55 se puede apreciar los valores de velocidad y tiempo, junto con los valores que arroja la resolución de la ecuación anterior.

Tabla 7.55 – Cantidad de agua de enfriamiento en función de la velocidad de reacción

Tiempo de reacción (h)	r (mol/m ³ * s)	W _{aux1} /M _H (kg/kg h)
0	-0,411	1,237
0,5186	-0,409	1,231
1,041	-0,405	1,219
1,571	-0,394	1,186

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

1,68	-0,389	1,171
1,79	-0,381	1,147
1,904	-0,365	1,099
2,026	-0,325	0,978
2,081	-0,283	0,852
2,154	-0,172	0,518
2,184	-0,108	0,325

(Ronco & Antonello, 2010)

La figura 7.13 demuestra la relación entre los kilogramos de agua fría sobre kilogramos de alimentación en función del tiempo, que permiten sacar el área bajo la curva o resolver la integral de la ecuación utilizada para obtener un resultado más exacto. Este valor corresponde a $W_{aux1\ total}/M_H = 2.541$ kg/kg de carga al reactor.

Variación del caudal de agua de enfriamiento durante la reacción

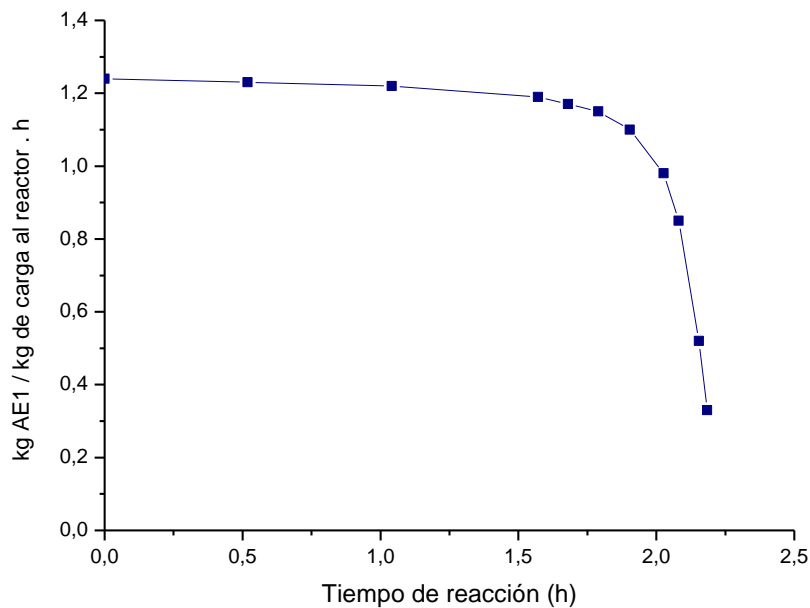


Figura 7.13

(Ronco & Antonello, 2010)

c. Balance de energía para enfriamiento de la corriente de salida del reactor

Considerando constante la cantidad de agua calculada en el inciso b, se enfría la corriente a 60°C, durante un tiempo de 0,43 horas, el cual se detalla en el capítulo 8.

$$W_{enf} = \frac{3192,05 \text{ kg}_{\text{agua}} \cdot 0,43}{1262,78 \text{ kg}_{\text{carga}}}$$

$$W_{enf} = 1,09 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{carga}}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Balance de energía en el filtro F-01:

Para el cálculo se considera un rendimiento térmico del 96%, por lo que un 4% son pérdidas de calor. Se calcula la temperatura de salida del equipo a partir del siguiente balance:

$$H_E = H_G + H_C + H_f + Q_3$$

Donde:

CpE: 0,86 kcal/kg°C

CpG: 0,86 kcal/kg°C

CpC: 14,18 kcal/kg °C

CpF: 0,64 kcal/kg°C

$$ECp_E(T_E - T_r) = GCp_G(T_G - T_r) + CCp_C(T_C - Tr) + FCp_F(T_F - Tr) + 0,04ECp_E(T_E - Tr)$$

Ecuación 7.6

$$T_C = T_F = T_G$$

$$T_C = T_F = T_G = 59 \text{ °C}$$

- Balance de energía en las columnas de intercambio iónico C-01:

Suponiendo un rendimiento térmico del 90%, se calcula a partir de un balance de entalpías, la temperatura de salida de las columnas, considerando como temperatura de ingreso la temperatura de salida del filtro.

Dónde:

CpK: 0,86 kcal/kg°C

CpG: 0,86 kcal/kg°C

$$H_G = H_K + Q_4$$

$$G * Cp_G(T_G - Tr) = K Cp_K(T_K - Tr) + Q_4$$

$$Q_4 = 0,1 * G * cG * (TG - Tr)$$

$$T_K = 56.38 \text{ °C}$$

- Balance de energía en el intercambiador de calor I-01:

La temperatura de P a la entrada del equipo es la temperatura con la que sale del evaporador.

Dónde:

CpK: 0,86 kcal/kg°C

CpG: 0,86 kcal/kg°C

TsP: 80°C

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

TeP: 104°C

$$H_{P \text{ caliente}} + H_{K \text{ fría}} = H_{P \text{ frío}} + H_{K \text{ caliente}}$$

$$PCp_P(Te - Tr) + KCp_K(Te - Tr) = PCp_P(Ts - Tr) + KCp_K(Ts - Tr)$$

$$KCp_K(Ts - Te) = PCp_P(Te - Ts)$$

$$Ts_K = 72,03 \text{ °C}$$

- Balance de energía en el evaporador E-01:

Como medio calefactor para la evaporación, se utilizará vapor saturado a 150 °C. V es vapor sobrecalentado a 1 atm.

Dónde:

V2: corriente de vapor saturado que ingresa al equipo a 150°C.

V: Corriente que sale del evaporador, ver balance de masa.

CpK: 0,86 kcal/kg°C

CpG: 0,86 kcal/kg°C

TsP: 104°C

TeK: 56.38°C

Tr: 25°C

H_{V (135 °C)}: 650,81 kcal/kg.

he_{V2}: 655,49 kcal/kg, a 150°C

hs_{V2}: 150,89 kcal/kg, a 104°C

Se supondrán despreciables las pérdidas de calor, porque el recipiente se encontrará aislado y el tiempo de residencia no es prolongado.

$$H_K + H_{V_e} = H_V + H_P + H_{V_s}$$

$$K.Cp_K.(Te_K - Tr) + V2.(h_{sV2} - h_{eV2}) = V.H_V + P.Cp_P.(Ts_P - Tr)$$

Resolviendo la ecuación anterior se obtiene:

$$V2 = 500,098 \text{ kg/h}$$

$$V/V2 = 0,77$$

- Balance de energía en el intercambiador de calor I-02:

En este equipo se debe enfriar el producto hasta una temperatura de 30 °C.

CpW_{aux}: 1 kcal/kg °C

CpG: 0,86 kcal/kg°C

TsP: 45°C

TeP: 80°C

TsW_{aux2}: 35°C

Te W_{aux2}: 20°C

Ecuación de B.E.:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$H_{P \text{ caliente}} + H_{W_{\text{aux2}}} = H_{P \text{ frío}} + H_{W_{\text{aux2}}}$$

$$P \cdot C_{pP} \cdot (T_{sP} - T_{eP}) + W_{\text{aux2}} \cdot C_{pW_{\text{aux2}}} \cdot (T_{sW_{\text{aux2}}} - T_{eW_{\text{aux2}}}) = P \cdot C_{pP} \cdot (T_{sP} - T_{eP}) + W_{\text{aux2}} \cdot C_{pW_{\text{aux2}}} \cdot (T_{sW_{\text{aux2}}} - T_{eW_{\text{aux2}}})$$

$$W_{\text{aux2}} \cdot C_{pW_{\text{aux2}}} (T_{sW_{\text{aux2}}} - T_{eW_{\text{aux2}}}) = P \cdot C_{pP} \cdot (T_{sP} - T_{eP})$$

$$W_{\text{aux2}} = 3470,35 \text{ kg/h}$$

- Balance de energía en el tanque de almacenamiento T-02
En este caso se tienen las mismas consideraciones que en el tanque de almacenamiento T-01 por lo que se considera que no hay que acoplar un sistema de calentamiento ya que el aislante funciona correctamente.

- Balance de energía en el condensador del evaporador I-03:

Dónde:

VS: Corriente de vapor sobrecalentado a 104 °C

WC: Corriente de condensado a 80°C

W_{aux3}: Corriente de agua de pozo a 20°C

T_{sW_{aux3}}: Temperatura de salida del agua de pozo 70°C

C_{pW_{aux3}}: 1kcal/kg°C

C_{pWC}: 1kcal/kg°C

H_{WC}: 536,75 kcal/kg.

Ecuación de B.E.:

$$H_{VS} + H_{W_{\text{aux3fría}}} = H_{WC} + H_{W_{\text{aux3caliente}}}$$

$$W_{\text{aux3}} \cdot C_{pW_{\text{aux3}}} \cdot (T_{sW_{\text{aux3}}} - T_{eW_{\text{aux3}}}) = W_C \cdot C_{pWC} \cdot (T_{sWC} - T_{eWC}) + W_C \cdot \lambda_{WC}$$

$$W_{\text{aux3}} = 3775,97 \text{ kg/h}$$

7.3.2 Primera fermentación

Las etapas que se tienen en cuenta para el balance de energía son:

- Esterilización

Para ahorrar energía se precalienta la alimentación al esterilizador con el medio de cultivo que fue esterilizado con anterioridad por lo que este le entrega calor reduciendo así su temperatura para ingresar al enfriamiento.

T1 = Temperatura medio de cultivo (30°C)

T2 = Temperatura con la que ingresa a la esterilización (80°C)

T3 = Temperatura de esterilización (140°C)

T4 = Temperatura de ingreso al enfriamiento (90°C)

T5 = Temperatura de ingreso al segundo enfriamiento (40°C)

T6 = Temperatura de ingreso a la fermentación (18°C)

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

T7 = Temperatura agua pozo de enfriamiento (20°C)

T8 = Temperatura de salida de agua de pozo (50°C)

T9 = Temperatura agua del segundo enfriamiento (15°C)

T10 = Temperatura agua de salida del segundo enfriamiento (40°C)

Tabla 7.56 – Balance de energía de esterilización

Balance de energía	
Precalentamiento	$-M \cdot C_{p_{\text{mediocultivo}}} \cdot (T4-T3) = M \cdot C_{p_{\text{mediocultivo}}} \cdot (T2-T1)$
Esterilización	$M \cdot C_{p_{\text{mediocultivo}}} \cdot (T3-T2) = V_{\text{aux}} \cdot C_{p_{\text{vapor}}} \cdot (T_{\text{vap}} - T_{\text{liq}}) + V_{\text{aux}} \cdot \lambda_{\text{aux}}$
Primer enfriamiento	$W_{\text{aux}} \cdot C_{p_{\text{agua}}} \cdot (T8-T7) = M \cdot C_{p_{\text{mediocultivo}}} \cdot (T4-T5)$
Segundo enfriamiento	$W_{\text{aux}2} \cdot C_{p_{\text{agua}}} \cdot (T10-T9) = M \cdot C_{p_{\text{mediocultivo}}} \cdot (T6-T5)$

Para la esterilización se utiliza vapor sobrecalentado a 3,5 atm y 150°C. La temperatura de esterilización estándar es de 140°C. El valor de la capacidad calorífica adoptado para el medio de cultivo es de 0,94 kcal/kg°C.

Las especificaciones del vapor y condensado que se utiliza se muestran en la tabla 7.57.

Tabla 7.57 – Especificaciones del vapor

Corriente	Descripción	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Entalpía específica (kcal/kg)	Calor latente de vaporización (kcal/kg)
V_{aux}	Vapor sobrecalentado	150	3,5	659,88	505,28
V'_{aux}	Líquido saturado	133,86	3,5	134,52	

Los datos de temperaturas de las corrientes en las tres etapas que comprende la esterilización se muestran en la siguiente tabla.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.58 – Descripción de las corrientes involucradas en la esterilización

Precalentamiento				
Corriente	Descripción	Masa (kg/h)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)
H	Medio de cultivo	1394,81	30	80
H'	Medio de cultivo esterilizado	1394,81	140	90
Esterilización				
H	Medio de cultivo	1394,81	80	140
V _{aux}	Vapor de agua	151,93	150	-
V _{aux}	Líquido saturado	151,93	-	133,86
Enfriamiento				
H	Medio de cultivo esterilizado	1394,81	90	18
W _{aux}	Agua de enfriamiento	2185,20	20	50
W _{aux2}	Agua de enfriamiento	1153,78	15	40

- 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. 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 o cambios de fase), flujo de calor sensible y transferencias al fluido.

Tabla 7.59 – Balance de energía global

Balance general de energía	$Q_{man} + Q_{agit} + Q_{abs} = Q_{acumulado}$
Balance de enfriamiento	$Q_{acumulado} = Q_{enf}$

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

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

Q_{abs} : absorción de calor del medioambiente por geometría y transferencia.

$Q_{acumulado}$: velocidad de acumulación de calor.

Q_{enf} : calor de enfriamiento.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- 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):

$$Y_H = \frac{Y_{x/s}}{\Delta H_s}$$

Dónde:

$Y_{x/s}$: gramos de masa celular producida por gramo de sustrato consumido. En este caso el valor utilizado es 0,60 g/g.

ΔH_s : calor de combustión por masa de sustrato. Se utiliza un valor de 3,95 kcal/gramo de sustrato.

Se utilizan los valores mencionados con anterioridad por lo que valor de Y_H es de 0,15 g/kcal.

En la tabla 7.60 se muestran los calores involucrados en esta etapa con sus respectivos parámetros.

Tabla 7.60 – Calores que intervienen en la fermentación

Tipo de calor	Relación para el calculo	Parámetros solicitados	Valor calculado (kcal/h)
Calor de mantenimiento (Q_{man})	$Q_{man} = \frac{\mu \cdot X \cdot V}{Y_H}$	$\mu = 0,126 \text{ h}^{-1}$	61716,34
		$X = 6180 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$	
		$V = 12\text{m}^3$	
		$Y_H = 0,15 \frac{\text{g}}{\text{kcal}}$	
Calor de agitación (Q_{agit})	$P_g = 1 \cdot \left(\frac{P^2 \cdot N \cdot D_i^3}{F_{aire}^{0,56}}\right)^{0,45}$	$P = 3099,88 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	1552,22
		$N = 86,94 \text{ rpm}$	
		$D_i = 1,07 \text{ m}$	
		$F_{aire} = 1,68 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$	
Absorción de calor por geometría y transferencia	$Q_{abs} = A \cdot Q_t \cdot \Delta T$	$A = 80,88\text{m}^3$	1438,17
		$Q_t = 2,54 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$	
		$\Delta T = 7$	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Los resultados del balance global de la fermentación se muestran en la tabla 7.61.

Tabla 7.61 – Resultados del balance global de energía

Velocidad de acumulación de calor (Q_{ac}) kcal/h	64706,74
Calor de enfriamiento (Q_{enf}) kcal/h	64706,74
Masa total de agua de enfriamiento a 15°C (kg)	8088,34
ΔT (°C)	8

- Balance Prefermentación

Los resultados del balance de energía para el prefermentador se muestran en la tabla 7.62 y 7.63

Tabla 7.62 – Calores que intervienen en la prefermentación

Tipo de calor	Relación para el calculo	Parámetros solicitados	Valor calculado (kcal/h)
Calor de mantenimiento (Q_{man})	$Q_{man} = \frac{\mu \cdot X \cdot V}{Y_H}$	$\mu = 0,126 \text{ h}^{-1}$	6154,24
		$X = 6180 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$	
		$V = 1,20 \text{ m}^3$	
		$Y_H = 0,15 \frac{\text{g}}{\text{kcal}}$	
Calor de agitación (Q_{agit})	$P_g = 1 \cdot \left(\frac{P^2 \cdot N \cdot Di^3}{F_{aire}^{0,56}} \right)^{0,45}$	$P = 70,61 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	21,41
		$N = 201 \text{ rpm}$	
		$Di = 0,30 \text{ m}$	
		$F_{aire} = 0,168 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$	
Absorción de calor por geometría y transferencia	$Q_{abs} = A \cdot Qt \cdot \Delta T$	$A = 6,50 \text{ m}^3$	115,58
		$Qt = 2,54 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$	
		$\Delta T = 7$	

Tabla 7.63 – Resultados del balance global de energía de prefermentación

Velocidad de acumulación de calor (Q_{ac}) kcal/h	6293,23
Calor de enfriamiento (Q_{enf}) kcal/h	6293,23
Masa total de agua de enfriamiento a 15°C (kg)	786,65

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ΔT (°C)	8
-----------------	---

7.3.3 Segunda fermentación

- Esterilización

T11 = Temperatura medio de cultivo (28°C)

T12 = Temperatura con la que ingresa a la esterilización (80°C)

T13 = Temperatura de esterilización (140°C)

T14 = Temperatura de ingreso al enfriamiento (88°C)

T15 = Temperatura de ingreso a la fermentación (28°C)

T16 = Temperatura agua pozo de enfriamiento (20°C)

T17 = Temperatura de salida de agua de pozo (50°C)

Tabla 7.64 – Balance de energía de esterilización

Balance de energía	
Precalentamiento	$M \cdot C_{p_{\text{mediocultivo}}} \cdot (T_{12} - T_{11}) = -M \cdot C_{p_{\text{mediocultivo}}} \cdot (T_{14} - T_{13})$
Esterilización	$M \cdot C_{p_{\text{mediocultivo}}} \cdot (T_{13} - T_{12}) = V_{\text{aux}} \cdot C_{p_{\text{vapor}}} \cdot (T_{\text{vap}} - T_{\text{liq}}) + V_{\text{aux}} \cdot \lambda_{\text{aux}}$
Enfriamiento	$W_{\text{aux}} \cdot C_{p_{\text{agua}}} \cdot (T_{17} - T_{16}) = M \cdot C_{p_{\text{mediocultivo}}} \cdot (T_{15} - T_{14})$

Para la esterilización se utiliza vapor sobrecalentado a 3,5 atm y 150°C. La temperatura de esterilización estándar es de 140°C. El valor de la capacidad calorífica adoptado para el medio de cultivo es de 0,94 kcal/kg°C.

Las especificaciones del vapor y condensado que se utiliza se muestran en la tabla 7.65.

Tabla 7.65 – Especificaciones de la corriente de vapor

Corriente	Descripción	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Entalpía específica (kcal/kg)	Calor latente de vaporización (kcal/kg)
V_{aux}	Vapor sobrecalentado	150	3,5	659,88	505,28
V'_{aux}	Líquido saturado	133,86	3,5	134,52	

Los datos de temperaturas de las corrientes en las tres etapas que comprende la esterilización se muestran en la siguiente tabla.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.66 – Descripción de las corrientes que participan en la esterilización

Precalentamiento				
Corriente	Descripción	Masa (kg/h)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)
H	Medio de cultivo	2811,19	30	80
H'	Medio de cultivo esterilizado	2811,19	140	88
Esterilización				
H	Medio de cultivo	2811,19	80	140
V _{aux}	Vapor de agua	316,86	150	-
V _{aux}	Líquido saturado	316,86	-	133,86
Enfriamiento				
H	Medio de cultivo esterilizado	2811,19	88	28
W _{aux}	Agua de enfriamiento	5468,88	20	50

- Fermentación

Como en la fermentación anterior se tienen en cuenta los distintos calores que intervienen en la reacción.

Tabla 7.67 – Balance de energía global

Balance general de energía	$Q_{man} + Q_{agit} - Q_{per} = Q_{acumulado}$
Balance de enfriamiento	$Q_{acumulado} = Q_{enf}$

Dónde:

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

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

Q_{per} : pérdida de calor hacia el medioambiente por geometría y transferencia.

$Q_{acumulado}$: velocidad de acumulación de calor.

Q_{enf} : calor de enfriamiento.

En la tabla 7.68 se muestran los calores involucrados en esta etapa con sus respectivos parámetros.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.68 – Calores que intervienen en la fermentación

Tipo de calor	Relación para el calculo	Parámetros solicitados	Valor calculado (kcal/h)
Calor de mantenimiento (Q_{man})	$Q_{man} = \frac{\mu \cdot X \cdot V}{Y_H}$	$\mu = 0,045 \text{ h}^{-1}$	307788,51
		$X = 13724 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$	
		$V = 60 \text{ m}^3$	
		$Y_H = 0,12 \frac{\text{g}}{\text{kcal}}$	
Calor de agitación (Q_{agit})	$P_g = 1 \cdot \left(\frac{P^2 \cdot N \cdot D_i^3}{F_{aire}^{0,56}} \right)^{0,45}$	$P = 3324,65 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	1389,01
		$N = 78,60 \text{ rpm}$	
		$D_i = 1,12 \text{ m}$	
		$F_{aire} = 3,60 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$	
Perdida de calor por geometría y transferencia	$Q_{per} = A \cdot Q_t \cdot \Delta T$	$A = 88,62 \text{ m}^2$	675,31
		$Q_t = 2,54 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$	
		$\Delta T = 3$	

Los resultados del balance global de la fermentación se muestran en la tabla 7.69.

Tabla 7.69 – Resultados del balance global de fermentación

Velocidad de acumulación de calor (Q_{ac}) kcal/h	309852,83
Calor de enfriamiento (Q_{enf}) kcal/h	309852,83
Masa total de agua de enfriamiento (kg/h)	77463,20
ΔT ($^\circ\text{C}$)	4

- Prefermentador

Tabla 7.70 – Calores que intervienen en la prefermentación

Tipo de calor	Relación para el calculo	Parámetros solicitados	Valor calculado (kcal/h)
Calor de mantenimiento (Q_{man})	$Q_{man} = \frac{\mu \cdot X \cdot V}{Y_H}$	$\mu = 0,045 \text{ h}^{-1}$	30778,85
		$X = 13724 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$	
		$V = 6 \text{ m}^3$	
		$Y_H = 0,12 \frac{\text{g}}{\text{kcal}}$	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Calor de agitación (Q_{agit})	$P_g = 1 \cdot \left(\frac{P^2 \cdot N \cdot D_i^3}{F_{aire}^{0,56}} \right)^{0,45}$	$P = 332,73 \frac{kcal}{h}$	113,86
		$N = 131 \text{ rpm}$	
		$D_i = 0,52 \text{ m}$	
		$F_{aire} = 0,81 \frac{m^3}{min}$	
Perdida de calor por geometría y transferencia	$Q_{per} = A \cdot Q_t \cdot \Delta T$	$A = 19,10 \text{ m}^3$	145,57
		$Q_t = 2,54 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$	
		$\Delta T = 3$	

Tabla 7.71 – Resultados del balance global de energía

Velocidad de acumulación de calor (Q_{ac}) kcal/h	31038,28
Calor de enfriamiento (Q_{enf}) kcal/h	31038,28
Masa total de agua de enfriamiento (kg/h)	7759,57
ΔT ($^\circ C$)	4

Una vez finalizada la fermentación se debe esterilizar el producto para posteriormente eliminar la biomasa e impurezas generadas en el reactor. Se procede de la misma manera que en las dos esterilizaciones anteriores.

Tabla 7.72 – Descripción de las corrientes en la purificación del producto

Precalentamiento				
Corriente	Descripción	Masa (kg/h)	Temperatura de entrada ($^\circ C$)	Temperatura de salida ($^\circ C$)
U	Caldo de fermentación + producto	2912,70	28	80
U'	Caldo de fermentación + producto esterilizado	2912,70	140	88
Esterilización				
U	Caldo de fermentación + producto	2912,70	80	140

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

V_{aux}	Vapor de agua	328,31	150	-
V_{aux}	Líquido saturado	328,31	-	133,86
Enfriamiento				
U'	Caldo de fermentación + producto esterilizado	2912,70	88	40
W_{aux}	Agua de enfriamiento	4533,09	20	50

- Filtro:

Luego de esterilizar la salida del fermentador se debe filtrar para remover las impurezas y la biomasa muerta. Se supondrá un rendimiento térmico del 95% respecto a la corriente U, por lo tanto, las pérdidas de calor se tomarán como el 5% de la entalpía de U. La temperatura de salidas de todas las corrientes es la misma.

$$H_{U'} = H_X + H_R + Q_f$$

$$\begin{aligned}
 U' \cdot Cp_{U'} \cdot (T_{filtración} - T_{ref}) &= X \cdot Cp_X \cdot (T_{salida} - T_{ref}) + R \cdot Cp_R \cdot (T_{salida} - T_{ref}) \\
 &+ 0,05 \cdot U' \cdot Cp_{U'} \cdot (T_{filtración} - T_{ref}) \\
 T_{salida} &= 39^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

- Evaporador:

Se debe concentrar el ácido cetogulónico hasta un 90% p/p por lo que se utiliza un evaporador.

$$-Q_{vapor} = Q_{evap}$$

$$\begin{aligned}
 V_{aux} \cdot Cp_{aux} \cdot (T_{liqsat} - T_{vapsc}) + V_{aux} \cdot \lambda_{aux} \\
 = AB \cdot Cp_{AB} \cdot (T_{evap} - T_{filtración}) + V \cdot Cp_v \cdot (T_{evap} - T_{filtración}) + V \cdot \lambda_v
 \end{aligned}$$

$$Cp_{vap} = 0,47 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Cp_v = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{aux} = \lambda_v = 544,25 \text{ kcal/kg}$$

$$Cp_{ab} = 0,573 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$V_{aux} = 3108,62 \text{ kg/h}$$

La masa de ácido cetogulónico que sale del evaporador se debe enfriar en el intercambiador I-08 para entrar a la esterificación.

$$Q_{abs} = Q_{enf}$$

$$W_{aux} \cdot Cp_w \cdot (T_{ws} - T_{we}) = -AB \cdot Cp_{AB} \cdot (T_{est} - T_{evap})$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$T_{ws} = 50^{\circ}\text{C}$$

$$T_{we} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$T_{est} = 65^{\circ}\text{C}$$

$$T_{evap} = 103^{\circ}\text{C}$$

$$C_{pAB} = 0,573 \text{ kcal/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$W_{aux} = 97,17 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

7.3.4 Esterificación

En primer lugar, se considera la resolución del balance para un intercambiador de calor capaz de ajustar la temperatura de la alimentación que ingresa al reactor R-07. El metanol que emerge del tamiz y recircula al reactor se encuentra a $43,5^{\circ}\text{C}$, mientras que el metanol fresco que se debe añadir al mismo está a temperatura ambiente. Las masas correspondientes al compuesto en cuestión se dirigen al intercambiador de calor para que salgan a 65°C y $0,5 \text{ atm}$. La corriente de ácido cetogulónico en solución es apta para ingresar directamente al equipo. Además de lo que se establece, se considera el balance energético comprendido en el reactor, su posterior filtro, y en la columna de destilación. Posterior al último equipo, se ve involucrado un tamiz molecular, el cual se considera que no posee pérdidas energéticas. A continuación, se detallan los cálculos y miramientos determinados para cada operación nombrada.

- Balance para el intercambiador de calor I-07:

En primera instancia se mezclan las corrientes AC de metanol fresco y la corriente AC' de metanol que recircula desde el tamiz molecular. El delta de temperatura es el siguiente:

$$Q_{ACfresco} = Q_{ACrecirculado}$$

$$AC \cdot Cp_{AC} \cdot (T_s - 43,5^{\circ}\text{C}) = AC' \cdot Cp_{AC'} \cdot (T_s - 65^{\circ}\text{C})$$

$$T_s = 42,93^{\circ}\text{C}$$

A continuación, se envía todo el metanol a un intercambiador de calor para que logre alcanzar la temperatura de reacción.

Dónde:

VC: Corriente de líquido saturado que sale de otras etapas en las que se usaron vapor saturado,

$$C_{pVC} = 1 \text{ kcal/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{metanol}} = 0,594 \text{ kcal/kg}\cdot^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{eACmezcla} = 42,93^{\circ}\text{C}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

TsACmezcla: 65°C

TeVC: 133,8°C

TsVC: 90°C

$$Q_{corriente} = QVC$$

$$mezcla \cdot Cpmezcla \cdot (Tsmezcla - Temezcla) = VC \cdot CpVC \cdot (TsVC - TeVC)$$

$$VC = 143,047 \text{ kg/h}$$

- Balance de energía en el reactor de esterificación R-06:

A causa de que se conoce el comportamiento exotérmico que presenta la reacción, es posible calcular la masa de agua de enfriamiento necesaria, para mantener las condiciones de isoterminia en el proceso. El calor de reacción está establecido en la siguiente bibliografía: (Baoyun, y otros, 2008), y es de -2,860 kcal/mol. La reacción de esterificación es una reacción reversible, y se necesita evitar el sentido inverso; por ende, se utilizan para los cálculos los datos del sentido de izquierda a derecha.

Empleando el simulador comercial CHEMCAD 6.1, se considera un modelo de reactor cinético, en el cual se introducen los parámetros de la reacción y el programa devuelve el valor del calor que intercambia el sistema. Dichos valores se encuentran en la misma bibliografía y son:

A: Factor de frecuencia de colisión, $1,58 \times 10^6 \text{ (mol} \cdot \text{min/L)}^{-1}$.

Ea: Energía de activación, 12,06 kcal.

T: Temperatura de reacción, 65 °C.

P: Presión, 0,5 atm.

t: Tiempo de residencia, 2,5 horas.

El valor del calor intercambiado en el reactor es de -1447,95 kcal/h. Por el siguiente balance, se calcula la cantidad de agua a circular por el serpentín para mantener la temperatura.

$$Q \text{ libera el sistema} = Q \text{ absorbe el agua}$$

$$Q \text{ libera el sistema} = W_{aux} \cdot CpW_{aux} \cdot (TsW_{aux} - TeW_{aux})$$

Dónde:

TsW_{aux}: 35°C.

TeW_{aux}: 20°C.

$$W_{aux} = 96,53 \text{ kg/h}$$

- Balance de energía en el filtro F-03:

Se calcula la temperatura de salida del filtro con un rendimiento térmico del 96%, por lo que un 4% son pérdidas de calor. El balance entálpico de este equipo es:

$$H_{AD} = H_{AD'} + H_{AG} + Q5$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$AD \cdot (1 - agAD) \cdot Cp_{AD} \cdot (Te_{AD} - Tr) + AD \cdot agAD \cdot Cp_{cat} \cdot (Te_{AD} - Tr) = AD' \cdot Cp_{AD'} \cdot (Ts - Tr) +$$

$$AG \cdot Cp_{AG} \cdot (Ts - Tr) + 0,04 AD \cdot (1 - agAD) \cdot Cp_{AD} \cdot (Te_{AD} - Tr) + AD \cdot agAD \cdot Cp_{cat} \cdot (Te_{AD} - Tr)$$

Dónde:

$$Cp_{AD \text{ sin catalizador}}: 0,57 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}.$$

$$Cp_{AG}: 0,62 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$Cp_{AD}: 0,57 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_s = 63,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Balance de energía en la torre de destilación, D-01:

A partir de una simulación usando un módulo SCDS en el programa CHEMCAD 6.1, se puede calcular la temperatura de operación del equipo, y los calores del rehervidor y condensador. Se le entrega como datos a la torre los valores de las composiciones de la corriente de entrada, la presión y la temperatura del producto de fondo.

Los resultados que arroja la simulación son los siguientes:

Temperatura de la corriente del fondo: 135°C

Temperatura de la corriente del tope: 43,5°C

Presión de operación: 0,5 atm

Calor del rehervidor: 24299,8 kcal/h

Calor del condensador: -246040 kcal/h

λ_{metanol} : 0,25 kcal/kg

λ_{agua} : 550,83 kcal/kg

Cp_{agua} : 1 kcal/kg°C

Con los datos descritos anteriormente, es posible efectuar un balance de energía en el rehervidor y condensador, y calcular la masa de vapor y agua fría para operar.

En el condensador:

$$Q_{\text{condensador}} = W_{aux} \cdot Cp_{\text{agua}} \cdot (TsW_{aux} - TeW_{aux})$$

Dónde:

W_{aux} : Masa de agua fría que ingresa al condensador

TsW_{aux} : 50°C

TeW_{aux} : 20°C

$$W_{aux} = 6151 \text{ kg/h}$$

En el rehervidor:

$$Q_{\text{rehervidor}} = V4 \cdot cp_{\text{agua}} \cdot (TsV4 - TeV4) + V4 \cdot \lambda_{\text{agua}}$$

Dónde:

$V4$: Masa de vapor saturado a 3,5 atm que ingresa al rehervidor.

$TsV4$: 133,86°C, dato de la simulación

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

TeV4: 150°C

$$V4 = 45,446 \text{ kg/h}$$

7.3.5 Lactonización

El balance de energía para el reactor de lactonización R-07, contempla el balance de energía para la reacción química y el cálculo de la cantidad de agua a pasar por el serpentín que posee el equipo para mantener la temperatura de reacción a causa del comportamiento exotérmico de la reacción. A su vez, se considera el enfriamiento de la corriente de salida en el intercambiador de calor I-08 para ingresar a la temperatura adecuada al siguiente equipo.

- Balance de energía para la reacción química en R-07:

Se calcula el calor de reacción considerando la temperatura óptima de reacción, 65°C, y la temperatura de entrada de las corrientes que ingresan al reactor AF a 134 °C y AH a 25°C. Se emplea la siguiente expresión:

$$\Delta H_{\text{reacción}} (65 \text{ }^\circ\text{C}) = \Delta H_{\text{formación estándar}} + \Delta H_{\text{calentamiento de productos}} - \Delta H_{\text{enfriamiento de reactivos}} + \Delta H_{\text{no reaccionante}}$$

$$\Delta H_{\text{formación estándar}} = \Delta H_{\text{productos}} - \Delta H_{\text{reactivos}}$$

$$\Delta H_{\text{calentamiento, enfriamiento o no reaccionante}} = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Dónde:

m: masa en kg.

Cp: calor específico en kcal/kg°C.

ΔT: delta de temperatura.

Los resultados de entalpías de formación para cada compuesto se encuentran en la tabla 7.73 acompañados de los valores de cada parámetro a emplear en el cálculo.

Tabla 7.73 – Entalpías de formación y calores específicos

	Cp (kcal/kg °C)	ΔH_f° (kcal/kg) a 25°C	$\Delta H_{\text{enf}}^\circ$ (kcal/kg) De T _{entrada AH} a 25°C	$\Delta H_{\text{cal}}^\circ$ (kcal/kg) De 25 a 65°C	$\Delta H_{\text{no reacc}}^\circ$ (kcal/kg)
Agua	1	-3792,01	-	40	-69,00
Metanol	0,594	-1784,28	-	23,76	-
Ácido 2 ceto L gulónico	0,573	-	-	-	-39,53
2 ceto L gulonato de metilo	0,351	1337,05	-38,259	-	-

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Carbonato de sodio	0,427	-2547,91	-	-	-
Ascorbato de sodio	0,689	-1403,86	-	27,54	-
Dióxido de carbono	0,473	-2135,68	-	18,90	-

$$\Delta H \text{ reacción (65 } ^\circ\text{C)} = -1911,494 \text{ kcal/h}$$

- Balance de energía para mantener la temperatura de reacción en R-07:

La cantidad de agua a circular por el serpentín para mantener la temperatura a 65°C es:

$$\Delta H \text{ reacción} = Q \text{ absorbe el agua}$$

$$Q \text{ libera el sistema} = W_{aux} \cdot CpW_{aux} \cdot (TsW_{aux} - TeW_{aux})$$

Donde:

TsW_{aux} : 35°C.

TeW_{aux} : 20°C.

$$W_{aux} = 191,149 \text{ kg/h}$$

- Balance de energía para el enfriamiento de la carga I-09:

La corriente de salida AI que sigue su curso hacia la membrana electrolítica, debe estar a 40°C, por lo que antes de ser bombeada a la misma, se hace pasar por un intercambiador de calor que intercambie energía calorífica con agua de pozo a 20°C. Por un simple balance y las siguientes condiciones de operación, se obtiene la masa de agua necesaria por hora.

Dónde:

CpW_{aux} : 1 kcal/kg°C.

$CpAI$: 0,682 kcal/kg°C.

TeW_{aux} : 20°C.

TsW_{aux} : 30°C.

$TeAI$: 65°C.

$TsAI$: 40°C.

$$QW_{aux} = QAI$$

$$W_{aux} \cdot CpW_{aux} \cdot (TsW_{aux} - TeW_{aux}) = AI \cdot CpAI \cdot (TsAI - TeAI)$$

$$W_{aux} = 258,563 \text{ kg/h}$$

7.3.6 Membrana bipolar de electrodiálisis

En esta etapa del proceso se convierte ascorbato de sodio en ácido ascórbico mediante una membrana que trabaja con un ánodo y un cátodo generando una

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
diferencia de potencial eléctrico, que se transforma en energía calorífica. Por esta razón se desprecia la pérdida energética de la corriente que ingresa al equipo. La corriente de salida del mismo se manda al tanque de almacenamiento T-03 que posee un material aislante para mantener la temperatura y ahorrar energía en el evaporador. A continuación, se describe el balance del último:

Haciendo uso de la ecuación planteada en (Kern) del flujo de calor a través de la pared de un tubo y las dimensiones establecidas para el tanque se obtiene el valor del calor intercambiado.

$$q = \frac{\pi(T_s - T_a)}{\frac{2.3}{2.kc} \log \frac{D_1}{D_2} + \frac{1}{ha.D_1}}$$

Dónde:

T_s = temperatura dentro del tanque = 40 °C.

T_a = temperatura exterior = 0 °C.

kc = conductividad térmica del aislante = 0,018 kcal/h.m.°C (poliuretano expandido).

ha = coeficiente superficial de transferencia de calor = 4,073 kcal/h.m².°C

D₁ = Diámetro exterior del silo, incluido el espesor del aislante = 2,60 m

D₂ = Diámetro exterior del silo, sin el aislante = 2,50 m

$$q = 106,58 \text{ kcal/h.m}$$

La altura del líquido en el silo es 4 m.

Si se considera que el tanque almacena la producción equivalente a 6 días de trabajo y que solo en el último día estará casi lleno antes de que opere la última etapa del proceso, se obtiene que el calor intercambiado con el sistema o de pérdida es de 10232,22 kcal (Q₂). A partir de esto, se calcula el cambio de temperatura que experimenta el tanque al igualar el calor que posee en su interior y el calor que intercambia al exterior. A medida que el silo se descarga la pérdida calorífica disminuye; por ende, siempre para el cálculo se toman en cuenta las condiciones más desfavorables.

Dónde:

M_M = masa total que va a guardar el tanque en los 6 días = 27107,92 kg

C_{pMM} = 0,605 kcal/kg °C

$$M_M \cdot C_{pMM} \cdot \Delta T = Q_2$$

$$\Delta T = 2,61 \text{ °C}$$

Este resultado define que la temperatura de la corriente de ingreso al evaporador E-02 es de 37,39°C.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

7.3.7 Evaporación

Se buscan los kilogramos de vapor de agua mediante una simulación en CHEMCAD 6.1 en función de los siguientes datos:

VS: corriente de vapor sobrecalentado a 3,5 atm

Temperatura de salida VS: 133,56 °C

Temperatura de entrada VS: 150 °C

Temperatura de entrada de AO: 37,39°C

Presión: 0,4 atm

Los resultados que arroja la simulación son los siguientes:

TsAP: 75°C

VS: 86,23 kg/h

Q: 45372,20 kcal/h, calor que intercambia el sistema

7.3.8 Condensador

Se calcula la cantidad de agua de enfriamiento necesaria para condensar la mezcla de metanol agua proveniente del evaporador, para esto se realiza un balance de energía.

$C_{pAE} = 0,807 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$T_{sAE} =$ Temperatura de salida del condensado 30°C

$T_{eAE} =$ Temperatura de entrada del condensado 75°C

$T_{s\text{agua}} =$ Temperatura de salida agua de enfriamiento 60°C

$T_{e\text{agua}} =$ Temperatura de entrada agua 20°C

$$AE \cdot C_{pAE} \cdot (T_{sAE} - T_{eAE}) + AE \cdot \lambda_{AE} = W_{\text{aux}} \cdot C_{p\text{agua}} \cdot (T_{s\text{agua}} - T_{e\text{agua}})$$

$$W_{\text{aux}} = 3397,84 \text{ kg/h}$$

7.3.9 Torre de carbón activado

Al tratarse de una columna empacada, se considera una pérdida energética similar a las columnas de intercambio iónico. Este valor ronda el 90%. El balance es el siguiente:

Dónde:

$C_{pAR} = 0,565 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$C_{pAP} = 0,572 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$$H_{AP} = H_{AR} + Q \quad \square$$

$$AP \cdot C_{pAP} (T_{AP} - Tr) = AR \cdot C_{pAR} (T_{AR} - Tr) + Q \quad \square$$

$$Q = 0,1 * AP * C_{pAP} * (T_{AP} - Tr)$$

$$T_{AR} = 72,326 \text{ } ^\circ\text{C}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

7.3.10 Torre de secado

Igualando el calor que absorbe el aire al calor que libera la corriente, se obtiene la cantidad de aire necesario que debe administrarse al equipo. Los datos de temperatura y la cantidad de agua de a evaporar por hora son proporcionadas por el proveedor. Los datos son los siguientes:

$$T_{e_{aire}}: 180^{\circ}\text{C}$$

$$T_{s_{aire}}: 80^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e_{AR}}: 72,326^{\circ}\text{C}$$

$$T_{s_{AR}}: 130^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{agua}}: 1 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{aire}}: 0,24 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{metanol}}: 0,594 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{aire} = Q_{agua}$$

$$-m_{s_{aire}} \cdot c_{p_{aire}} \cdot (T_{s_{aire}} - T_{e_{aire}})$$

$$= AR \cdot m_{e_{AR}} \cdot C_{p_{me}} \cdot (T_{s_{AR}} - T_{e_{AR}}) + AR \cdot w_{AR} \cdot C_{p_{agua}} \cdot (T_{s_{AR}} - T_{e_{AR}})$$

$$m_{s_{aire}} = 2197,72 \text{ kg/h}$$

El calor que se intercambia en el sistema equivale a:

$$Q_{aire} = 52745,33 \text{ kcal/h}$$

7.4 RESUMEN

En la tabla 7.74, 7.75 y 7.76 se encuentran detallados los valores máxicos de las corrientes de entrada y salida de cada etapa involucrada en el proceso, como así también, el consumo existente de servicios auxiliares necesarios para el proceso y los consumos unitarios de los insumos principales por kg de ácido L ascórbico.

Tabla 7.74 – Consumo existente de servicios auxiliares

	Consumo total (kg/h)
Vapor de agua a 150°C y 3,5 atm	4100,71
Agua de enfriamiento a 20 °C y 1 atm	103920,82
Agua de enfriamiento a 15°C y 1 atm	8874,99

Tabla 7.75– Consumo de insumos por kg de ácido ascórbico

	Relación másica (kg insumos/ kg de ácido ascórbico)
Jarabe de alta dextrosa	0,55
Sorbitol al 70%	0,76
Sorbosa	0,12

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Ácido 2 ceto L gulónico	0,12
2 ceto L gulonato de metilo	0,11
Ascorbato de sodio	0,13
Vapor sobrecalentado 150°C a 3,5 atm	3,74
Agua de enfriamiento a 20°C	94,89
Agua de enfriamiento a 15°C	8,33

CAPÍTULO 8: DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8. DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

8.1 INTRODUCCIÓN

8.2 ADOPCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

En este proceso hay tres tanques de almacenamiento que se adoptan de la siguiente manera.

8.2.1 Tanque de almacenamiento para el jarabe de alta dextrosa T-01

Se calcula el volumen del tanque en función de la cantidad de jarabe necesario para producir durante un día completo sorbitol al 70%.

El depósito de almacenamiento deberá estar provisto de aislación térmica para mantener la temperatura ya que así se evita que el jarabe de alta dextrosa precipite.

El cálculo de la capacidad se realiza de la siguiente manera:

V = Volumen de tanque

M_H = Masa de jarabe de alta dextrosa = 3618,60 kg

ρ = Densidad de M = 1321,3 kg/m³

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

$$V = 2,74 \text{ m}^3$$

Se adopta un tanque de 3 m³. Para esta aplicación se adoptarán tanques de P.R.F.V. (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio). El P.R.F.V. es un material compuesto, constituido por una estructura resistente de fibra de vidrio y un material plástico que actúa como aglomerante de las mismas.

Entre las ventajas de este tipo de material se pueden citar:

- Son resistentes a la corrosión de la mayoría de los productos químicos y agentes microbianos.
- El P.R.F.V. es 4,4 veces más liviano que el acero al carbono.
- Actúa como aislante térmico, siendo entre 50 y 150 veces menos transmisor del calor que el acero inoxidable al carbono.
- Alta resistencia mecánica. La elevada tenacidad de la fibra de vidrio le confiere una gran resistencia mecánica, principalmente a los golpes. Ante eventuales roturas, es de muy fácil reparación.

(Ronco & Antonello, 2010)

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

El tanque adoptado tiene las siguientes características:

- Cilindro vertical con fondo plano y cabezal toriesférico.
- Diámetro: 1,70 m
- Altura: 1,60 m
- Recubrimiento térmico de poliuretano: 50mm de espesor, 40 kg/m³ de densidad

8.2.2 Tanque de almacenamiento de agua T-02

El tanque se adopta para almacenar el agua necesaria para la dilución del jarabe de dextrosa al 50%.

El cálculo de la capacidad se realiza de la siguiente forma:

V = Volumen de tanque

W = Masa de agua = 3618,60 kg

ρ = Densidad del agua = 1000 kg/m³

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

ρ

$$V = 21,71 \text{ m}^3$$

Se adopta una capacidad de 25 m³. El material de construcción de este tanque es de las mismas características que el tanque T-01.

El tanque posee las siguientes características:

- Cilindro vertical con fondo plano y cabezal toriesférico
- Diámetro: 3,20 m
- Altura: 3,65 m

8.2.3 Tanque de almacenamiento para hidróxido de sodio T-03

La capacidad del tanque se calcula de la misma manera que los tanques anteriores, se tiene en cuenta la masa de hidróxido de sodio necesario para un día completo de hidrogenación.

V = Volumen de tanque

B = Masa de hidróxido de sodio 0,1N = 70,68 kg

ρ = Densidad del hidróxido de sodio 0,1N = 1090 kg/m³

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

ρ

$$V = 0,065 \text{ m}^3$$

Se elige un tanque de 100 litros que posee las siguientes características:

- Cilindro vertical con fondo plano y cabezal toriesférico

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Diámetro: 64 cm
- Altura: 47 cm

8.2.4 Tanque de almacenamiento para sorbitol al 70% T-04

El tanque se adopta para almacenar el sorbitol necesario para que la fermentación funcione continuamente durante una semana.

El cálculo de la capacidad se realiza de la siguiente manera:

V = Volumen de tanque

P = Masa de sorbitol al 70% = 20085,33 kg

ρ = Densidad de sorbitol = 1489 kg/m³

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

ρ

$$V = 13,49 \text{ m}^3$$

Se adopta una capacidad de 15 m³. El material de construcción de este tanque es de las mismas características que el tanque T-01.

El tanque posee las siguientes características:

- Cilindro vertical con fondo plano y cabezal toriesférico
- Diámetro: 2,5 m
- Altura: 3,44 m
- Recubrimiento térmico de poliuretano: 50mm de espesor, 40 kg/m³ de densidad

8.2.5 Tanque de almacenamiento de medio de cultivo primera fermentación T-05

Para calcular la capacidad de este tanque se utiliza la masa de medio de cultivo sin considerar el sorbitol ya que este se adiciona desde T-04.

El cálculo de la capacidad se realiza de la siguiente manera:

V = Volumen de tanque

M = Masa de medio de cultivo necesaria para 24hs = 20539,20 kg

ρ = Densidad de la mezcla = 1480,03 kg/m³

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

ρ

$$V = 13,87 \text{ m}^3$$

Se adopta un tanque con las siguientes características:

- Cilindro vertical con fondo plano y cabezal toriesférico
- Acero inoxidable AISI 304L
- Diámetro: 2,63 m
- Altura: 3,50 m

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.2.6 Tanque de almacenamiento de medio de cultivo para la segunda fermentación T-06

Para calcular la capacidad de este tanque se utiliza la masa de medio de cultivo necesaria para 24 horas de operación.

El cálculo de la capacidad se realiza de la siguiente manera:

V = Volumen de tanque

M = Masa de medio de cultivo = 67482,48 kg

ρ = Densidad de la mezcla = 1052 kg/m³

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

ρ

$$V = 64,14 \text{ m}^3$$

Se adopta un tanque con las siguientes características:

- Cilindro vertical con fondo plano y cabezal toriesférico
- Acero inoxidable AISI 304L
- Diámetro: 3,20 m
- Altura: 9,15 m

8.2.7 Tanque de almacenamiento de vitamina C diluida T-07

Este equipo se adapta para almacenar el producto diluido que sale de la membrana ME-01 durante 6 días.

El cálculo de la capacidad se realiza de la siguiente manera:

V = Volumen de tanque

AO = Masa de vitamina C diluida obtenida en 6 días = 27107,92 kg

ρ = Densidad de la mezcla = 1380,15 kg/m³

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

ρ

$$V = 19,64 \text{ m}^3$$

Se adopta una capacidad de 20 m³. El material de construcción de este tanque es de las mismas características que el tanque T-01.

El tanque posee las siguientes características:

- Cilindro vertical con fondo plano y cabezal toriesférico
- Diámetro: 2,5 m
- Altura: 4,465 m
- Recubrimiento térmico de poliuretano: 50mm de espesor, 40 kg/m³ de densidad

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.3 ADOPCIÓN DE FILTROS

8.3.1 Filtro para la recuperación de catalizador Níquel Raney F-01

Para la recuperación del catalizador, se utiliza un filtro tubular denominado HyPulse LSM, producido por la empresa Mott Corporation. Este tipo de filtro está diseñado para la filtración de catalizadores, principalmente aquellos con una alta densidad como el Níquel Raney.

Las ventajas de este filtro son las siguientes:

- Muy buena calidad de filtrado, con menos de 1 ppm de partículas. Los elementos filtrantes construidos de metal poroso están específicamente diseñados para la recuperación total de las partículas.
- Se recupera entre el 95 a 100 % del filtrado, y el 100 % del catalizador, que puede ser devuelto al reactor al final de cada ciclo. Esto es muy importante en este caso, debido al costo del catalizador.
- La descarga de la torta se realiza por un retrolavado con una porción del filtrado, con lo cual el catalizador no toma contacto con el aire, factor que es fundamental para el níquel Raney que es pirofórico.

En la figura 8.1 se puede ver la forma del filtro, y las corrientes involucradas en el funcionamiento.

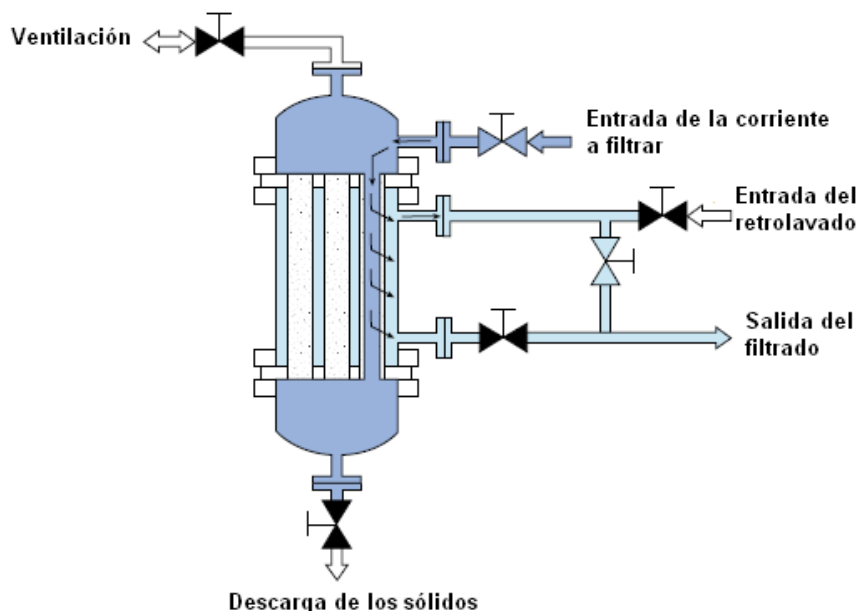


Figura 8.1 – Filtro para la recuperación de Níquel Raney

La forma de filtración que utiliza este equipo se denomina inside – outside, porque la torta se forma en el interior de los tubos. Este sistema permite una deposición de los sólidos más uniforme. (Ronco & Antonello, 2010)

El proceso de filtración se realiza a presión constante. En este caso, el área requerida para la filtración, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$t = \frac{\mu}{(-\Delta P)} \left[\frac{c \cdot \alpha}{2} \left(\frac{V}{A} \right)^2 + R_m \frac{V}{A} \right]$$

(“Operaciones unitarias en ingeniería química” – McCabe, Smith, ecuación 28.25)

El área obtenida para esta etapa es de 1,20 m² adoptando un margen de seguridad del 15%.

Tabla 8.4 – Especificaciones del filtro adoptado

HyPulse LSM	
Área de filtración	1,20 m ²
Caída global de presión	20 psi
Elementos filtrantes	Grado: 0,5
	Longitud: 30 pulg.
	Diámetro: 2 ½ pulg.
	Espesor: 0.047 pulg.
	Cantidad: 8 tubos

8.3.2 Filtro para la separación de biomasa F-02

Se elige adoptar un filtro que presenta una tecnología de microfiltración es decir, posee la capacidad de detener virus y bacterias debido a que tiene un grado de retención más pequeño que un filtro convencional. En este caso los elementos filtrantes son cartuchos de PRFV de 10 pulgadas de diámetro y la longitud puede ser entre 10 y 50 pulgadas. El tamaño de poro va desde 1 a 20 μm. La marca que comercializa este tipo de filtros se denomina LAMA.

Las características del equipo son:

- Área: 10,84 m² (se estima un margen de seguridad del 15%)
- Cantidad de cartuchos: 4
- Diámetro del cartucho: 10 pulgadas
- Altura del cartucho: 30 pulgadas
- Presión de trabajo: 7,74 atm

Materiales de construcción:

- Cuerpo: poliamida reforzada con fibra de vidrio (PRFV).
- Juntas de cierre: caucho sintético nitrilo 60° Shore.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Aro centrador: acero inoxidable AISI 316L



Figura 8.2 – Filtro adoptado para la separación de la biomasa

8.3.3 Filtro para la retención de la resina F-03

Para la retención de la resina que actúa como catalizador en la esterificación se utiliza un filtro continuo producido por la empresa Mott Corporation. Este filtro es del mismo tipo que el filtro para la retención del catalizador Níquel Raney, filtro tubular denominado HyPulse LSM.

Una de las características fundamentales de este filtro es que se adaptan de buena manera con reactores continuos y permiten trabajar de manera ininterrumpida por largos ciclos.

El área necesaria para el filtrado se determina con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{V}{t_c} \cdot \left(\frac{c \cdot \alpha_0 \cdot \mu \cdot t_c}{2 \cdot (-\Delta P)^{1-s} \cdot g_c \cdot f} \right)^{\frac{1}{2}}$$

(“Operaciones unitarias en ingeniería química” – McCabe, Smith, ecuación 28.36)

El área obtenida es de 4,15 m² considerando un margen de seguridad del 15%.

Tabla 8.5 –Especificaciones del filtro adoptado

HyPulse LSM	
Área de filtración	4,15 m ²
Caída global de presión	20 psi
Elementos filtrantes	Grado: 0,5
	Longitud: 70 pulg.
	Diámetro: 2 ½ pulg.
	Espesor: 0.047 pulg.
	Cantidad: 10 tubos

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.4 INTERCAMBIADORES DE CALOR

8.4.1 Intercambiador de calor I-01

Con el objetivo de ahorrar energía se decide aprovechar el calor que posee el producto que sale del evaporador para precalentar la corriente de ingreso al mismo, se utilizará un intercambiador de calor de casco y tubos.

El diseño de este equipo se realizó según el método propuesto en “Procesos de transferencia de calor - Kern”.

Tabla 8.6 – Propiedades de las corrientes involucradas

	Fluido caliente: Producto a la salida del evaporador (P)	Fluido frío: Alimentación al evaporador (K)
Flujo másico kg/h (lb/h)	836,88 (1845)	1223,01 (2696,28)
Ce kJ/kg °C (BTU/lb °F)	3,47 (0,83)	3,64 (0,87)
Temperatura Alta °C (°F)	$T_1 = 104$ (219,2)	$t_2 = 72$ (161,6)
Temperatura Baja	$T_2 = 80$ (176)	$t_1 = 56,37$ (133,48)

MLDT = diferencia de temperatura media logarítmica

$$MLDT = \frac{(T_2 - t_1) - (T_1 - t_2)}{2.3 \log \left(\frac{(T_2 - t_1)}{(T_1 - t_2)} \right)}$$

$$MLDT = 49,65 \text{ °F}$$

Se utilizará un intercambiador 1 - 4 (un paso por la coraza, 4 pasos por los tubos).

Corrección de MLDT:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = 1,53 \qquad S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = 0,32$$

$F_t = 0,97$ (Kern, figura 18)

Δt = diferencia verdadera de temperatura

$$\Delta t = F_t \cdot MLDT = 48,16 \text{ °F}$$

$U_D = 30 \text{ BTU/°F} \cdot \text{h} \cdot \text{pie}^2$ (valor inicial del coeficiente global para comenzar con los cálculos, según Kern, tabla 8, sustancias orgánicas medias)

$Q = 66192,23 \text{ BTU/h}$ (calor intercambiado)

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$A = \frac{Q}{\Delta t \cdot U} = 45,80 \text{ pie}^2$$

Intercambiador:

Coraza: DI = 8 pulg.

Espaciado de los deflectores: 1,6 pulg.

Pasos = 1

Tubos: 3/4 pulg BWG 16, arreglo en triángulo de 1 pulg.

Número = 24

Longitud = 16 pies

Pasos = 4

Tabla 8.7 – Especificaciones del equipo diseñado

Coraza: Producto a la salida del evaporador (P)	Tubos: alimentación al evaporador (K)
$a = \text{área de flujo} = \frac{DI \cdot C' \cdot B}{144 \cdot P_T} \text{ (pie}^2\text{)}$ DI = diámetro interior = 8 pulg C' = espacio entre los tubos = 0,25 pulg B = espacio de los deflectores = 1,6 pulg PT = paso en los tubos = 1 pulg $a = 0,022 \text{ pie}^2$ G = velocidad másica = W/a $G = 83025 \text{ lb/h.pie}^2$ De = diámetro equivalente = 0,061 pie (figura 28, Kern) $Re = N^{\circ} \text{ de Reynolds} = \frac{G \cdot De}{\mu}$ $\mu = \text{viscosidad} = 46,34 \text{ lb/h.pie (a temp. media)}$ Re = 109,27	$a = 0,302 \text{ pulg}^2 \text{ (área de flujo de un tubo)}$ $a_t = \frac{N \cdot a}{144 \cdot n} \text{ (área de flujo total)}$ N = número de tubos n = pasos en los tubos = 4 $a_t = 0,013 \text{ pie}^2$ $G = 214273,907 \text{ lb/h.pie}^2$ DI = diámetro interior del tubo = 0.62 pulg $\mu = 18,11 \text{ lb/h.pie (a temp. media)}$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

<p>Jh = 5 (factor adimensional para transferencia de calor, figura 28, Kern)</p> <p>ho = coeficiente de transferencia de calor</p> $ho = Jh \frac{k}{De} \left(\frac{Ce\mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$ <p>Ce = calor específico = 0,87 BTU/lb. °F k = conductividad térmica = 0,20 BTU/h pie °F μw = viscosidad a la temp. de la pared</p> <p>(para la primer aproximación el cociente de viscosidades se toma = 1)</p> <p>ho = 96,30 BTU/°F. h. pie²</p>	<p>Re = 611,59</p> <p>Jh = 2,5 (figura 24, Kern)</p> <p>Ce = 0.87 BTU/lb. °F k = 0.252 BTU/h pie °F</p> <p>hi = 47,63 BTU/°F. h. pie²</p> <p>hio = hi DI/DE</p> <p>hio = 39,37 BTU/°F. h. pie²</p>
$Uc = \frac{ho \cdot hio}{ho + hio} \text{ (coeficiente global limpio)}$ <p>Uc = 27,95 BTU/°F. h. pie²</p> <p>Rd = 0,005 °F . h . pie²/BTU (factor de obstrucción requerido)</p> <p>Ud = Q/A . Δt (coeficiente global de diseño)</p> <p>A = área disponible para la transferencia de calor = 75,37 pie²</p> <p>Ud = 18,23 BTU/°F. h. pie²</p> $Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc \cdot Ud} = 0,019 \text{ (factor de obstrucción disponible)}$	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Como este valor es mayor que el factor de obstrucción requerido, el equipo es adecuado para la transferencia de calor.	
Cálculos de la pérdida de carga	
$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot D \cdot (N+1)}{5.22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \phi}$ <p> ΔP = caída de presión (lb/pulg²) D = diámetro interno coraza = 0,667 pie $(N+1)$ = N° de cruces = 12 L/B = 120 L = largo de la coraza = 8 pie s = gravedad específica = 1,233 f = factor de fricción = 0,006 (figura 29, Kern) </p> <p style="text-align: center;">$\Delta P = 1,04 \text{ lb/pulg}^2$</p>	$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L \cdot n}{5.22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \phi}$ <p> L = largo de los tubos = 16 pie n = pasos en los tubos D = 0,052 pie s = 1,16 f = 0,0007 (figura 26, Kern) </p> <p style="text-align: center;">$\Delta P = 0,76 \text{ lb/pulg}^2$</p> <p>Pérdida de carga por retorno:</p> $\Delta Pr = \frac{4 \cdot n \cdot V^2}{s \cdot 2 \cdot g'}$ <p> $\frac{V^2}{2 \cdot g'}$ = 0,058 (figura 27, Kern) </p> <p style="text-align: center;">$\Delta Pr = 0,748 \text{ lb/pulg}^2$</p> <p style="text-align: center;">$\Delta P_{\text{total}} = 1,51 \text{ lb/pulg}^2$</p>
Los valores de pérdida de carga son inferiores al permitido de 10 lb/pulg ² , por lo tanto el equipo es adecuado.	

8.4.2 Intercambiador de calor I-02

El sorbitol al 70% obtenido en el evaporador se utiliza en I-01 para precalentar la alimentación, es decir, cede calor. A pesar de esto, se debe continuar removiendo calor del mismo ya que, la temperatura es muy elevada para almacenarlo. Por tal

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

motivo, se coloca un intercambiador de casco y tubos para llevarlo a 45 °C, con agua de enfriamiento.

Para el diseño de este equipo se utilizará el mismo procedimiento planteado en el diseño del intercambiador I-01.

Tabla 8.8 – Propiedades de las corrientes involucradas

	Fluido caliente: Producto a la salida del intercambiador I-01 (P)	Fluido frío: Agua de enfriamiento (W _{aux2})
Flujo másico kg/h (lb/h)	836,88 (1845)	7650,81
Ce kJ/kg °C (BTU/lb °F)	3,47 (0,83)	4,184 (1)
Temp. Alta °C (°F)	T ₁ = 80 (176)	t ₂ = 35 (95)
Temp. Baja °C (°F)	T ₂ = 45 (113)	t ₁ = 25 (77)

$$MLDT = \frac{(T_2 - t_1) - (T_1 - t_2)}{2.3 \log \left(\frac{(T_2 - t_1)}{(T_1 - t_2)} \right)}$$

$$MLDT = 55,49 \text{ °F}$$

Se utilizará un intercambiador 1 - 4 (un paso por la coraza, 4 pasos por los tubos).

Corrección de MLDT:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = 3,5 \qquad S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = 0,182$$

Ft = 0,97 (Kern, figura 18)

$\Delta t = Ft \cdot MLDT = 53,82 \text{ °F}$

U_D = 50 BTU/°F. h. pie² (valor inicial del coeficiente global para comenzar con los cálculos, según Kern, tabla 8, enfriador: agua – sustancias orgánicas pesadas)

$$A = \frac{Q}{\Delta t \cdot U} = 44,37 \text{ pie}^2$$

Intercambiador:

Coraza: DI = 8 pulg

Espaciado de los deflectores: 1,6 pulg

Pasos = 1

Tubos: ¾ pulg BWG 16, arreglo en triángulo de 1 pulg

Número de tubos= 24

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Longitud = 16 pies

Pasos = 4

Tabla 8.9 – Especificaciones del equipo diseñado

Coraza: Producto a la salida del intercambiador I-01 (P)	Tubos: Agua de enfriamiento (W_{aux3})
$a = \frac{DI \cdot C' \cdot B}{144 \cdot P_T}$ (pie ²) DI = 8 pulg C' = 0,25 pulg B = 1,6 pulg PT = 15/16 pulg a = 0,022 pie ² G = 83025 lb/h.pie ² De = 0.061 pie (figura 28, Kern) μ = viscosidad = 57 lb/h.pie (a temp. media) Re = 109,27 Jh = 5 (figura 28, Kern) $h_o = Jh \frac{k}{De} \left(\frac{C_e \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$ Ce = 0,83 BTU/lb. °F k = 0,202 BTU/h pie °F (para la primer aproximación el cociente de viscosidades se toma = 1)	$a = 0.302 \text{ pulg}^2$ (área de flujo de un tubo) $a_t = \frac{N \cdot a}{144 \cdot n}$ (área de flujo total) N = 32 n = 2 $a_t = 0.0335 \text{ pie}^2$ $G = 260809 \text{ lb/h.pie}^2$ DI = diámetro interior del tubo = 0.62 pulg μ = 2.057 lb/h.pie (a temp. media) Re = 6551 $G_t = \frac{W_{aux2}}{a_t}$ $G_t = 608011,391 \text{ lg/h.pie}^2$ $V = \frac{G_t}{3600 \cdot \rho}$ V = 2,70 pies/s $h_i = 650 \text{ BTU/}^\circ\text{F} \cdot \text{h} \cdot \text{pie}^2$ (Fig. 25) $h_i' = h_i \cdot 0,82$ $h_{io} = h_i' \cdot DI/DE$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$h_o = 96,30 \text{ BTU/}^\circ\text{F. h. pie}^2$	$h_{io} = 444,19 \text{ BTU/}^\circ\text{F. h. pie}^2$
$U_c = \frac{h_o \cdot h_{io}}{h_o + h_{io}} \text{ (coeficiente global limpio)}$ $U_c = 79,14 \text{ BTU/}^\circ\text{F. h. pie}^2$ <p>$R_d = 0,005 \text{ }^\circ\text{F. h. pie}^2/\text{BTU}$ (factor de obstrucción requerido)</p> <p>$U_d = Q/A \cdot \Delta t$ (coeficiente global de diseño)</p> <p>$A = \text{área disponible para la transferencia de calor} = 75,37 \text{ pie}^2$</p> $U_d = 29,43 \text{ BTU/}^\circ\text{F. h. pie}^2$ $R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \cdot U_d} = 0,021 \text{ (factor de obstrucción disponible)}$ <p>Como este valor es mayor que el factor de obstrucción requerido, el equipo es adecuado para la transferencia de calor.</p>	
<p align="center">Cálculos de la pérdida de carga</p>	
$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot D \cdot (N+1)}{5.22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \phi}$ <p>$\Delta P = \text{caída de presión (lb/pulg}^2\text{)}$ $D = 0,667 \text{ pie}$ $(N+1) = 12 \text{ L/B} = 120$ $L = 8 \text{ pie}$ $s = 1.253$</p> <p>$f = \text{factor de fricción} = 0.0054$ (figura 29, Kern)</p> <p align="center">$\Delta P = 2.06 \text{ lb/pulg}^2$</p>	$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L \cdot n}{5.22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \phi}$ <p>$L = 8 \text{ pie}$ $n = 4$ $D = 0,052 \text{ pie}$ $s = 1$</p> <p>$f = 0,00019$ (figura 26, Kern)</p> <p align="center">$\Delta P = 1,667 \text{ lb/pulg}^2$</p>

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

	<p>Pérdida de carga por retorno:</p> $\Delta Pr = \frac{4 \cdot n}{s} \frac{V^2}{2 \cdot g'}$ $\frac{V^2}{2 \cdot g'} = 0,045 \text{ (figura 27, Kern)}$ <p style="text-align: center;">$\Delta Pr = 0,72 \text{ lb/pulg}^2$</p> <p style="text-align: center;">$\Delta P_{\text{total}} = 2,38 \text{ lb/pulg}^2$</p>
<p>Los valores de pérdida de carga son inferiores al permitido de 10 lb/pulg^2, por lo tanto el equipo es adecuado.</p>	

8.4.3 Intercambiador de calor I-03

A la salida del evaporador donde se concentra el sorbitol, se debe colocar un condensador para el vapor de agua proveniente del mismo. Las corrientes involucradas en esta etapa se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 8.10 - Propiedades de las corrientes involucradas

	Fluido caliente: Producto a la salida del evaporador E-01 (P)	Fluido frío: Agua de enfriamiento (W_{aux3})
Flujo másico kg/h	386,12	3775,97
Temp. Alta °C	$T_1 = 104$	$t_2 = 70$
Temp. Baja °C	$T_2 = 80$	$t_1 = 20$

El fluido caliente se introduce en la coraza y el fluido frío en los tubos. El diseño se realiza en el simulador ChemCad 6.1 y se muestra a continuación:

Tabla 8.11 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Casco y tubo
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Orientación	Vertical
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (día)	1
Tubos	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Número de tubos	66
Diámetro externo de tubos (m)	0,0254
Largo de los tubos (m)	3,65
Número de pasos	2
Coeficiente de película (W/m ² .K)	737,55
Número de Reynolds	3230
Velocidad (m/s)	0,08000
Coraza	
Diámetro externo de la coraza (m)	0,36
Número de pasos	1
Coeficiente de película (W/m ² .K)	8676,61
Reynolds	178
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	17,83
Área calculada (m ²)	19,22
Área en exceso (%)	27,36%
ΔTML	37,67
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	479,33/376,37
Baffles	
Número de baffles	48
Tipo	Segmento simple
Corte del baffle	15%
Espacio interno (m)	0,1967

8.4.4 Intercambiador de calor I-04

Con el objetivo de mantener el medio de cultivo y el fermentador estériles antes de dar inicio a la fermentación, se debe optar por emplear un método capaz de eliminar la carga microbiana. Se sabe que existen diversos métodos para realizar tal tarea, pero el hecho de pensar a gran escala nos lleva a seleccionar la aplicación de calor. Se puede aplicar calor al sistema de manera directa o indirecta. La primera consiste en una sección de mantenimiento donde el medio se mantiene a la temperatura requerida, y un enfriador flash donde el medio caliente es pasado por una válvula de expansión a una cámara de vacío, dando como resultado un enfriamiento virtualmente instantáneo. Como desventaja de esta opción de esterilización se encuentra la formación de condensados que generan una dilución en el medio de cultivo, y la formación de espumas. Por otro lado, se puede optar por la segunda manera de aplicar calor, por calentamiento indirecto, empleando un sistema de intercambiadores de calor, que no produce las ventajas del otro sistema y a su vez logran recuperar la energía del sistema. El calentamiento indirecto, consiste en una serie de placas calentadas con vapor por las cuales circula el medio hasta alcanzar el nivel deseado de temperatura, a la cual el medio es mantenido durante el tiempo calculado y luego es enfriado hasta la temperatura de fermentación en otra parte del equipo. Los

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
intercambiadores de placas son los más utilizados en este tipo de operación. A continuación, se especifican los intercambiadores diseñados.

Tabla 8.12 – Propiedades de las corrientes involucradas

Precalentamiento				
Corriente	Descripción	Masa (kg/h)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)
H	Medio de cultivo	1394,81	30	80
H'	Medio de cultivo esterilizado	1394,81	140	90
Esterilización				
H	Medio de cultivo	1394,81	80	140
V _{aux}	Vapor de agua	151,93	150	-
V _{aux}	Líquido saturado	151,93	-	133,86
Enfriamiento				
H	Medio de cultivo esterilizado	1394,81	90	18
W _{aux}	Agua de enfriamiento	2185,20	20	50
W _{aux2}	Agua de enfriamiento	1153,78	15	40

- Precalentamiento de medio de cultivo del primer fermentador

Tabla 8. 13 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Tipo de placas	Chevron, 80 grados
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Número de placas	25
Ancho de placas (m)	0,5000
Alto de placas (m)	1,5
Espacio entre placas (m)	0,20
Número de pasos lado frío	1
Número de pasos lado caliente	2
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,25400

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Boquilla de salida del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,25400
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	12,67
Área calculada (m ²)	12,38
Área en exceso (%)	2,3%
ΔTML	51,59
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	120/117
Factor de Fouling lado frío (m ² .K/W)	0,0034
Factor de Fouling lado caliente (m ² .K/W)	0,0034
Coefficiente de película para el lado caliente (W/m ² .K)	1419,6
Coefficiente de película para el lado frío (W/m ² .K)	1419,6
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,061
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,029
NRe del fluido caliente	930,2
NRe del fluido frío	196,9

- Esterilización de medio de cultivo del primer fermentador

Tabla 8.14 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Tipo de placas	Chevron, 80 grados
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Número de placas	8
Ancho de placas (m)	0,5000
Alto de placas (m)	1,5
Espacio entre placas (m)	0,20
Número de pasos lado frío	1
Número de pasos lado caliente	1
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,25400
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	4,05
Área calculada (m ²)	3,86
Área en exceso (%)	5,0%
ΔTML	28,85
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	349/332
Factor de Fouling lado frío (m ² .K/W)	0,00070
Factor de Fouling lado caliente (m ² .K/W)	0,00070

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Coeficiente de película para el lado caliente (W/m ² .K)	1419,60
Coeficiente de película para el lado frío (W/m ² .K)	1419,60
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,020
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,065
NRe del fluido caliente	386,60
NRe del fluido frío	725,50

- Enfriamiento de medio de cultivo del primer fermentador

Tabla 8.15 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Tipo de placas	Chevron, 80 grados
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Número de placas	20
Ancho de placas (m)	0,50000
Alto de placas (m)	1,5
Espacio entre placas (m)	0,20
Número de pasos lado frío	1
Número de pasos lado caliente	1
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,25400
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	10,13
Área calculada (m ²)	9,79
Área en exceso (%)	3,5%
ΔT _{ML}	9,69
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	349/337
Factor de Fouling lado frío (m ² .K/W)	0,00070
Factor de Fouling lado caliente (m ² .K/W)	0,00070
Coeficiente de película para el lado caliente (W/m ² .K)	1419,6
Coeficiente de película para el lado frío (W/m ² .K)	1419,6
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,036
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,031
NRe del fluido caliente	162,50
NRe del fluido frío	132,20

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.4.5 Intercambiador de calor I-05

Tabla 8.16 – Propiedades de las corrientes involucradas

Precalentamiento				
Corriente	Descripción	Masa (kg/h)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)
H	Medio de cultivo	2811,19	30	80
H'	Medio de cultivo esterilizado	2811,19	140	88
Esterilización				
H	Medio de cultivo	2811,19	80	140
V _{aux}	Vapor de agua	316,86	150	-
V _{aux}	Líquido saturado	316,86	-	133,86
Enfriamiento				
H	Medio de cultivo esterilizado	2811,19	88	28
W _{aux}	Agua de enfriamiento	5468,88	20	50

- Precalentamiento de medio de cultivo del segundo fermentador

Tabla 8.17 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Tipo de placas	Chevron, 80 grados
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Número de placas	19
Ancho de placas (m)	0,5000
Alto de placas (m)	1,5
Espacio entre placas (m)	0,20
Número de pasos lado frío	1
Número de pasos lado caliente	2
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,25400
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	9,29900
Área calculada (m ²)	9,62400

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Área en exceso (%)	3,6%
ΔTML	52,8700
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	323/312
Factor de Fouling lado frío (m ² .K/W)	0,00070
Factor de Fouling lado caliente (m ² .K/W)	0,00070
Coeficiente de película para el lado caliente (W/m ² .K)	1220,60
Coeficiente de película para el lado frío (W/m ² .K)	1220,60
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,00200
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,00100
NRe del fluido caliente	2463,90
NRe del fluido frío	591,300

- Esterilización de medio de cultivo del segundo fermentador

Tabla 8.18 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Tipo de placas	Chevron, 80 grados
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Número de placas	62
Ancho de placas (m)	0,5000
Alto de placas (m)	1,5
Espacio entre placas (m)	0,20
Número de pasos lado frío	1
Número de pasos lado caliente	2
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,25400
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	31,0900
Área calculada (m ²)	31,4200
Área en exceso (%)	1,1%
ΔTML	19,1150
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	323/319
Factor de Fouling lado frío (m ² .K/W)	0,00070
Factor de Fouling lado caliente (m ² .K/W)	0,00070
Coeficiente de película para el lado caliente (W/m ² .K)	1220,60
Coeficiente de película para el lado frío (W/m ² .K)	1220,60
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,00200

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Velocidad del fluido frío (m/s)	0,00100
NRe del fluido caliente	220,400
NRe del fluido frío	357,900

- Enfriamiento de medio de cultivo del segundo fermentador

Tabla 8.19 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Tipo de placas	Chevron, 80 grados
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Número de placas	54
Ancho de placas (m)	0,50000
Alto de placas (m)	1,5
Espacio entre placas (m)	0,20
Número de pasos lado frío	2
Número de pasos lado caliente	1
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,25400
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	31,3660
Área calculada (m ²)	27,0130
Área en exceso (%)	1,3%
ΔT_{ML}	21,8380
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	323/319
Factor de Fouling lado frío (m ² .K/W)	0,00070
Factor de Fouling lado caliente (m ² .K/W)	0,00070
Coeficiente de película para el lado caliente (W/m ² .K)	1220,60
Coeficiente de película para el lado frío (W/m ² .K)	1220,60
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,00100
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,00100
NRe del fluido caliente	189,400
NRe del fluido frío	552,900

8.4.6 Intercambiador de calor I-06

A la salida del reactor R-05, se encuentra el mismo sistema que se establece para los dos intercambiadores anteriores, que corresponden a la esterilización en forma indirecta. A continuación, en las siguientes tablas se encuentran las corrientes y equipos involucrados en esta etapa.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
Tabla 8.20 – Propiedades de las corrientes involucradas

Precalentamiento				
Corriente	Descripción	Masa (kg/h)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)
U	Caldo de fermentación + producto	2912,70	28	80
U'	Caldo de fermentación + producto esterilizado	2912,70	140	88
Esterilización				
U	Caldo de fermentación + producto	2912,70	80	140
V _{aux}	Vapor de agua	328,31	150	-
V _{aux}	Líquido saturado	328,31	-	133,86
Enfriamiento				
U'	Caldo de fermentación + producto esterilizado	2912,70	88	40
W _{aux}	Agua de enfriamiento	4533,09	20	50

- Precalentamiento de la corriente de salida del segundo fermentador

Tabla 8.21 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Tipo de placas	Chevron, 80 grados
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Número de placas	18
Ancho de placas (m)	0,500000

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Alto de placas (m)	1,5
Espacio entre placas (m)	0,20000
Número de pasos lado frío	2
Número de pasos lado caliente	2
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,25400
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	9,12200
Área calculada (m ²)	8,77200
Área en exceso (%)	4%
ΔT _{ML}	60,4000
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	323/310
Factor de Fouling lado frío (m ² .K/W)	0,00070
Factor de Fouling lado caliente (m ² .K/W)	0,00070
Coeficiente de película para el lado caliente (W/m ² .K)	1220,60
Coeficiente de película para el lado frío (W/m ² .K)	1220,60
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,00200
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,00200
N _{Re} del fluido caliente	2643,50
N _{Re} del fluido frío	1107,30

- Esterilización de la corriente de salida del segundo fermentador

Tabla 8.22 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Tipo de placas	Chevron, 80 grados
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Número de placas	48
Ancho de placas (m)	0,5000
Alto de placas (m)	1,5
Espacio entre placas (m)	0,20
Número de pasos lado frío	1
Número de pasos lado caliente	1
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,25400
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	24,325
Área calculada (m ²)	23,834
Área en exceso (%)	1,9%

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ΔTML	26,030
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	323/317
Factor de Fouling lado frío (m ² .K/W)	0,00070
Factor de Fouling lado caliente (m ² .K/W)	0,00070
Coeficiente de película para el lado caliente (W/m ² .K)	1220,60
Coeficiente de película para el lado frío (W/m ² .K)	1220,60
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,00100
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,00100
NRe del fluido caliente	293,600
NRe del fluido frío	476,800

- Enfriamiento de la corriente de salida del segundo fermentador

Tabla 8.23 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Placas
Tipo de placas	Chevron, 80 grados
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Número de placas	37
Ancho de placas (m)	0,50000
Alto de placas (m)	1,5
Espacio entre placas (m)	0,20
Número de pasos lado frío	2
Número de pasos lado caliente	1
Boquilla de entrada del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de entrada del lado caliente (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado frío (m)	0,25400
Boquilla de salida del lado caliente (m)	0,25400
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	18,7510
Área calculada (m ²)	18,9380
Área en exceso (%)	1%
ΔTML	26,2760
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	323/319
Factor de Fouling lado frío (m ² .K/W)	0,00070
Factor de Fouling lado caliente (m ² .K/W)	0,00070
Coeficiente de película para el lado caliente (W/m ² .K)	1220,60
Coeficiente de película para el lado frío (W/m ² .K)	1220,60
Velocidad del fluido caliente (m/s)	0,00100
Velocidad del fluido frío (m/s)	0,00100

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

NRe del fluido caliente	337,300
NRe del fluido frío	663,400

8.4.7 Intercambiador de calor I-07

Para acondicionar la temperatura a la que debe ingresar el metanol al reactor de esterificación, es necesario emplear un intercambiador de calor de casco y tubo. El diseño efectuado corresponde al simulador CHEMCAD 6.1.

Tabla 8.24 – Propiedades de las corrientes involucradas

Datos de las corrientes		
	Fluido caliente: Agua	Fluido frío: Metanol
Flujo másico kg/h	143,047	805,70
Temp. Alta °C	$T_1 = 133,86$	$t_2 = 65$
Temp. Baja °C	$T_2 = 90$	$t_1 = 42,93$

Tabla 8.25 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Casco y tubo
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Tubos	
Número de tubos	20
Diámetro externo de tubos (m)	0,01905
Largo de los tubos (m)	2,44000
Número de pasos	2
Coefficiente de película (W/m ² .K)	1996,
Reynolds	1139,00
Velocidad (m/s)	14,6800
Coraza	
Diámetro externo de la coraza (m)	0,1778
Número de pasos	1
Coefficiente de película (W/m ² .K)	4460,27
Reynolds	Laminar
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	2,11000
Área calculada (m ²)	2,92000
Área en exceso (%)	27,83%
ΔT_{ML}	52,8400
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	755,18/590,70
Baffles	
Número de baffles	37
Tipo	Segmento simple
Corte del baffle	15%
Espacio interno (m)	0,20627

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.4.8 Intercambiador de calor I-08

Se adopta un intercambiador de calor de casco y tubo para el enfriamiento de la corriente que egresa del evaporador E-02. A continuación, se detallan los resultados que arroja la simulación del equipo mediante el uso de CHEMCAD 6.1.

Corriente de líquido saturado que sale de otras etapas en las que se usa vapor saturado.

Tabla 8.26 – Propiedades de las corrientes

Datos de las corrientes		
	Fluido caliente: Corriente que egresa del evaporador E-02	Fluido frío: Agua de enfriamiento
Flujo másico kg/h	133,81	97,17
Temp. Alta °C	$T_1 = 103$	$t_2 = 50$
Temp. Baja °C	$T_2 = 65$	$t_1 = 20$

Tabla 8.27 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Casco y tubo
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Tubos	
Número de tubos	10
Diámetro externo de tubos (m)	0,01900
Largo de los tubos (m)	1,52000
Número de pasos	4
Coeficiente de película (W/m ² .K)	684,740
Reynolds	1139,00
Velocidad (m/s)	0,06000
Coraza	
Diámetro externo de la coraza (m)	00,1500
Número de pasos	1
Coeficiente de película (W/m ² .K)	155,270
Reynolds	96
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	0,67000
Área calculada (m ²)	0,91000
Área en exceso (%)	22,60%
ΔT_{ML}	44,4400
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	115,86/94,50
Baffles	
Número de baffles	23
Tipo	Segmento simple
Corte del baffle	15%
Espacio interno (m)	0,12700

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.4.9 Intercambiador de calor I-09

Se adopta un intercambiador de calor doble tubo para acondicionar la temperatura de salida de la corriente que emerge del reactor de lactonización R-07. Para el diseño del mismo se hace uso de CHEMCAD 6.1.

Tabla 8.28 – Propiedades de las corrientes involucradas

Datos de las corrientes		
	Fluido caliente: Corriente que sale del reactor R-07	Fluido frío: Agua de enfriamiento
Flujo másico kg/h	151,65	258,53
Temp. Alta °C	$T_1 = 65$	$t_2 = 30$
Temp. Baja °C	$T_2 = 40$	$t_1 = 20$

Tabla 8.29 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Doble tubo
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (días)	6
Tubo interno	
Número de tubos	1
Diámetro externo de tubos (m)	0,07620
Largo de los tubos (m)	3,15000
Número de pasos	1
Coeficiente de película (kcal/h.m ² .°C)	202,580
Reynolds	1315,00
Velocidad (m/s)	0,02000
Tubo externo	
Diámetro externo de la coraza (m)	0,43810
Número de pasos	1
Coeficiente de película (kcal/h.m ² .°C)	26,9500
Reynolds	137
Velocidad (m/s)	0,01000
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	0,74000
Área calculada (m ²)	0,75000
ΔT_{ML}	23,5000
U calculado (kcal/h.m ² .°C)	23,4400

8.4.10 Intercambiador de calor I-10

A la salida del evaporador donde se concentra el ácido ascórbico se coloca un condensador para el vapor de agua proveniente del mismo. Las corrientes involucradas en esta etapa se detallan en la siguiente tabla:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.30 – Propiedades de las corrientes involucradas

	Fluido caliente: Metanol-agua proveniente de E-03	Fluido frío: Agua de enfriamiento
Flujo másico kg/h	293,37	3397,84
Temp. Alta °C	$T_1 = 75$	$t_2 = 60$
Temp. Baja °C	$T_2 = 30$	$t_1 = 20$

El fluido caliente se introduce en la coraza y el fluido frío en los tubos. El diseño se realiza en el simulador ChemCad 6.1 y se muestra a continuación:

Tabla 8.31 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales	
Tipo de intercambiador	Casco y tubo
Fabricante	SERVINOX S.A.
Material	Acero inoxidable AISI-SAE 304L
Flujo	Contracorriente
Orientación	Vertical
Régimen de trabajo	Continuo
Tiempo de operación (día)	1
Tubos	
Número de tubos	80
Diámetro externo de tubos (m)	0,0254
Largo de los tubos (m)	4,88
Número de pasos	1
Coeficiente de película (W/m ² .K)	519,90
Número de Reynolds	1013
Velocidad (m/s)	0,03
Coraza	
Diámetro externo de la coraza (m)	0,36
Número de pasos	1
Coeficiente de película (W/m ² .K)	3286,25
Reynolds	476
Datos de transferencia de calor	
Área efectiva de transferencia (m ²)	29,05
Área calculada (m ²)	31,13
Área en exceso (%)	20,33%
ΔT_{ML}	19,14
U calculado/U servicio (W/m ² .K)	293,64/244,02
Baffles	
Número de baffles	65
Tipo	Segmento simple
Corte del baffle	15%
Espacio interno (m)	0,10

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.5 EVAPORADORES

Las etapas de evaporación que se encuentran en el proceso en cuestión, se llevan a cabo empleando un evaporador de película descendente. Si bien en la industria existe una amplia variedad de estos equipos, se selecciona este en particular por sus puntos a favor a la hora de concentrar una solución. En estos evaporadores la alimentación es introducida por la parte superior del equipo que produce una distribución homogénea del producto dentro de los tubos en la parte superior del evaporador, generando una película descendente de iguales características en la totalidad de los mismos produciendo la evaporación parcial; por ende, el producto que está siendo concentrado, permanece en íntimo contacto con el vapor que se genera. Los dos fluidos, tanto el producto como su vapor, tienen igual sentido de flujo, por lo que la salida de ambos es por la parte inferior de los tubos. En la parte inferior del evaporador se produce la separación de estas dos fases. El concentrado es tomado por bombas y el vapor se envía al condensador. A continuación, se describen las especificaciones de los equipos diseñados en CHEMCAD 6.1.

8.5.1 Evaporador de solución de sorbitol E-01

Tabla 8.29 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de las corrientes		
Fluido frío: Corriente		
Fluido caliente: Corriente de vapor saturado		
Flujo másico kg/h frío	2867,31	
Flujo másico kg/h caliente	500,09	
Temp. Entrada vapor °C	T= 150	
Temp. Salida producto °C	T = 104	
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
Régimen de trabajo	Continuo	
Propiedades fluido dinámicas de las corrientes		
U calculado/U servicio (kcal/h.m ² .°C)	994,28/922,59	
Caída de presión (atm)	0,160	
Especificaciones de construcción		
Área total (m ²)	13,680	
Área efectiva de transferencia(m ²)	15,980	
Área en exceso (%)	7,770	
Tubos		
Longitud (m)	3,660	
Diámetro externo (m)	0,019	
Diámetro interno (m)	0,015	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Número de tubos	73
Número de pasos	2
BWG	16
Tipo de arreglo	Triangular 30°
Coraza	
Diámetro externo (m)	0,279
Diámetro interno (m)	0,254
Número de pasos	1
Número de bafles	59
Espesor de bafles (m)	0,005
Corte del baffle (% área de coraza)	15
Cámara inferior de separación	
Longitud (m)	30% longitud de los tubos

8.5.2 Evaporador de ácido cetogulónico E-02

Tabla 8.30 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de las corrientes		
Fluido frío: Corriente		
Fluido caliente: Corriente de vapor saturado		
Flujo másico kg/h frío	2867,31	
Flujo másico kg/h caliente	3108,62	
Temp. Entrada vapor °C	T= 150	
Temp. Salida producto °C	T = 103	
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
Régimen de trabajo	Continuo	
Propiedades fluido dinámicas de las corrientes		
U calculado/U servicio (kcal/h.m ² .°C)	1246,64/1102,91	
Caída de presión (atm)	0,260	
Especificaciones de construcción		
Área total (m ²)	15,980	
Área efectiva de transferencia(m ²)	13,720	
Área en exceso (%)	13,030	
Tubos		
Longitud (m)	3,660	
Diámetro externo (m)	0,019	
Diámetro interno (m)	0,015	
Número de tubos	73	
Número de pasos	2	
BWG	16	
Tipo de arreglo	Triangular 30°	
Coraza		
Diámetro externo (m)	0,279	
Diámetro interno (m)	0,254	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Número de pasos	1
Número de bafles	10
Espesor de bafles (m)	0,005
Corte del baffle (% área de coraza)	15
Cámara inferior de separación	
Longitud (m)	30% longitud de los tubos

8.5.3 Evaporador de ácido ascórbico E-03

Tabla 8.31 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de las corrientes		
Fluido frío: Corriente		
Fluido caliente: Corriente de vapor saturado		
Flujo másico kg/h frío	1936,28	
Flujo másico kg/h caliente	86,23	
Temp. Entrada vapor °C	T= 150	
Temp. Salida producto °C	T = 75	
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
Régimen de trabajo	Continuo	
Propiedades fluido dinámicas de las corrientes		
U calculado/U servicio (kcal/h.m ² .°C)	1071,65/975,71	
Caída de presión (atm)	0,010	
Especificaciones de construcción		
Área total (m ²)	0,730	
Área efectiva de transferencia(m ²)	0,790	
Área en exceso (%)	9,830	
Tubos		
Longitud (m)	1,220	
Diámetro externo (m)	0,019	
Diámetro interno (m)	0,016	
Número de tubos	10	
Número de pasos	4	
BWG	16	
Tipo de arreglo	Triangular 30°	
Coraza		
Diámetro externo (m)	0,180	
Diámetro interno (m)	0,150	
Número de pasos	1	
Número de bafles	17	
Espesor de bafles (m)	0,005	
Corte del baffle (% área de coraza)	15	
Cámara inferior de separación		
Longitud (m)	30% longitud de los tubos	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.6 REACTORES

8.6.1 Reactor de hidrogenación

Para lograr un contacto eficaz entre el hidrógeno y el jarabe de alta dextrosa, se opta por emplear un reactor de sólidos en suspensión conocido como slurry. Este equipo se encontrará funcionando a una capacidad de 6 batch/día para dar con los requerimientos de sorbitol que se necesitan para continuar con el proceso de vitamina C.

8.6.1.1 Cinética de la reacción

Para el diseño del equipo se necesita conocer la cinética que posee la reacción de hidrogenación, para obtener el tiempo total de operación y los requerimientos de servicios auxiliares para controlar la temperatura de reacción, como de salida de la corriente a la siguiente etapa.

La velocidad de reacción correspondiente es la siguiente:

$$-r_d = \frac{1}{\frac{1}{k_{H2l}a_i} + \frac{1}{k_{H2c}a_c} + \frac{1}{(k \cdot C_{do} (1 - x_d) C_{H2}^{0.6-1}) \xi \cdot f_S \cdot \rho_c}} \frac{P_{H2}}{H_{H2}} \quad (\text{mol/m}^3 \cdot \text{s})$$

(Ronco & Antonello, 2010)

Dónde:

C_{do} = Concentración inicial de dextrosa

ξ = factor de eficacia del catalizador.

k_{H2l} = coeficiente de transferencia de masa gas – líquido (m/s)

k_{H2c} = coeficiente de transferencia de masa líquido – sólido (m/s)

a_i = área interfacial burbuja – líquido por unidad de volumen de líquido (m^2/m^3)

a_c = área externa de las partículas catalíticas por unidad de volumen de líquido (m^2/m^3)

k = Constante de velocidad de reacción ($\text{mol/kg} \cdot \text{s}$) (m^3/mol) 1.6

H_{H2} = constante de la ley de Henry ($\text{bar}/\text{m}^3 \cdot \text{Mol}$)

P_{H2} = presión del sistema (bar)

El uso de la ecuación anterior en la que se encuentra debajo, nos permite obtener el tiempo de reacción.

El tiempo total de reacción se obtiene que la expresión siguiente y devuelve un resultado de 2,18 horas. La sigla x_d representa el delta de concentración.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$t = C_{do} \int_{x_i}^{x_f} \frac{1}{-r_d} dx_d$$

(Ronco & Antonello, 2010)

Al resultado anterior se le suman tiempos de calentamiento de la carga al reactor, enfriamiento de la misma, por ende:

Tiempo de reacción: 2,18 h

Tiempo de calentamiento: 0,68 h (ver, cálculo del tiempo de calentamiento)

Tiempo de enfriamiento: 0,93 h (ver, cálculo del tiempo de enfriamiento)

Tiempo total de cada batch: 3,71 h

Tiempo de carga y descarga: 0,2 h

Tiempo total: 4 h

El procedimiento para obtener el tiempo de calentamiento de la carga, sale de realizar los siguientes cálculos:

$$\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2}\right) = \frac{U.A.\theta}{M.Ce}$$

(“Procesos de transferencia de calor” – Kern, ecuación 18.5)

T_1 = Temperatura del vapor saturado = 150 °C

t_1 = temperatura inicial de la carga del reactor = 51 °C (aplicando un balance de energía con las corrientes de entrada al reactor)

t_2 = temperatura final de la carga del reactor = 135 °C

M = kg cargados al reactor = 1262,78 kg

Ce = calor específico de la carga = 3,635 kJ/kg °C

A = área de intercambio de calor

U = coeficiente total de transferencia de calor

θ = tiempo de calentamiento

Para aplicar esta ecuación es necesario calcular U . El coeficiente de película dentro del reactor (h_o), se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{h_o \cdot Do}{k} = 0.17 \left(\frac{Da^2 Np_L}{\mu} \right)^{0.67} \left(\frac{Ce \cdot \mu}{k} \right)^{0.37} \left(\frac{Da}{D} \right)^{0.1} \left(\frac{Do}{D} \right)^{0.5}$$

(Perry, ecuación 10-80, para turbina de disco de aleta plana)

μ = viscosidad de la solución = 0,00685 kg/m.s

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ρ_L = densidad de la solución = 1192,4 kg/m³

k = conductividad térmica de la solución = 0,000718 kJ/s.m.°C

D = diámetro interno del reactor = 1,2 m

D_o = diámetro externo del tubo del serpentín = 0,0381 m (tubo de 1 ½ pulg, BWG 8)

D_a = diámetro del agitador = 0,4 m

N = velocidad del agitador = 4,167 rps

$$h_o = 4,7 \text{ kJ/s.m}^2.\text{°C}$$

El coeficiente de película para el vapor de agua condensante, dentro del serpentín, respecto al área externa del tubo, es:

$h_{io} = 8.517 \text{ kJ/s.m}^2.\text{°C}$ (valor tomado de “Procesos de transferencia de calor” – Kern, página 201).

El coeficiente total limpio es:

$$U_c = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$U_c = 3,028 \text{ kJ/s.m}^2.\text{°C}$$

Considerando un factor de obstrucción (R_d) igual a 0,176 s.m².°C/kJ, el coeficiente total de diseño es:

$$1/U_d = 1/U_c + R_d$$

$$U_d = 1,976 \text{ kJ/s.m}^2.\text{°C}$$

El área de transferencia de calor es igual al área externa del serpentín.

$$A = 1,770 \text{ m}^2$$

Aplicando la ecuación 18.5 de Kern, el tiempo de calentamiento es:

$$\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2}\right) = \frac{U \cdot A \cdot \theta}{M \cdot C_e}$$

$$\theta = 0,68 \text{ h}$$

Por otro lado, para obtener el tiempo de enfriamiento de la carga, una vez completada la reacción; se procede como se muestra:

$$\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1}\right) = \frac{w \cdot C_{e \text{ agua}}}{M \cdot C_e} \left(\frac{K_2 - 1}{K_2}\right) \theta$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$K_2 = e^{\frac{U.A}{w.Ce_{\text{agua}}}}$$

(Ronco & Antonello, 2010)

Para la solución al final de la hidrogenación:

$$\rho = 1138 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,00568 \text{ kg/m.s}$$

$$k = 0,00044 \text{ kJ/s.m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Aplicando la ecuación 10-80 del Perry, se obtiene el coeficiente de película dentro del reactor, y con la 6.2 del Kern, el coeficiente dentro del serpentín:

$$\frac{h_o.D_o}{k} = 0.17 \left(\frac{Da^2 N_{pL}}{\mu} \right)^{0.67} \left(\frac{Ce.\mu}{k} \right)^{0.37} \left(\frac{Da}{D} \right)^{0.1} \left(\frac{D_o}{D} \right)^{0.5}$$

(Perry, ecuación 10-80, para turbina de disco de aleta plana)

$$h_o = 3,56 \text{ kJ/s.m}^2.\text{ } ^\circ\text{C} \text{ (para el reactor)}$$

Donde, el coeficiente de película para el agua que circula por el serpentín, se calculó por la siguiente ecuación:

$$\frac{h_i.D_i}{k} = 0.027 \left(\frac{Di.G}{\mu} \right)^{0.8} \left(\frac{Ce.\mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

(Procesos de transferencia de calor – Kern, ecuación 6.2)

$$\mu_w = \text{viscosidad a la temperatura de la pared} = 0,00055 \text{ kg/m.s} \text{ (a } 50 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

Al valor encontrado de h_i , hay que multiplicarlo por el siguiente factor:

$$1 + 3.5 (Di/D_H)$$

$$D_H = \text{diámetro del serpentín} = 0,9 \text{ m}$$

$$D_i = \text{diámetro interno del tubo} = 0,02972 \text{ m (tubo de } 1 \frac{1}{2} \text{ pulg, BWG 8)}$$

$$h_i = 2,589 \text{ kJ/s.m}^2.\text{ } ^\circ\text{C} \text{ (en el serpentín)}$$

$$h_{io} = 2,020 \text{ kJ/s.m}^2.\text{ } ^\circ\text{C} \text{ (respecto al área externa)}$$

$$U_c = 1,289 \text{ kJ/s.m}^2.\text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_d = 0,176 \text{ s.m}^2.\text{ } ^\circ\text{C/kJ}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
Ud = 1,05 kJ/s.m².°C

Con este valor se obtiene que el tiempo para enfriar la carga es:

$$\theta = 0,93 \text{ h}$$

8.6.1.2 Volumen del reactor

Con el tiempo total de cada batch, se puede determinar la carga que ingresa al reactor por cada batch. De esa manera se permite el cálculo del volumen y las dimensiones del recipiente. Para el primero, se debe conocer el volumen que ocupa el gas hidrógeno y el volumen que ocupa el líquido. A continuación, se definen los parámetros necesarios para la resolución del mismo.

- Volumen de hidrógeno

Conociendo la retención de gas (φ_G), es decir, la fracción en volumen de la mezcla gas – líquido en el tanque que está ocupada por el gas, se logra calcular el volumen que ocupa el hidrógeno.

Las ecuaciones a emplear se encuentran en “Operaciones de transferencia de masa” – Treybal.

$$\varphi_G = \frac{a \cdot d_p}{6} \text{ (Ecuación 6.9, Treybal)}$$

Dónde:

a = área interfacial gas – líquido (m²/m³)

d_p = diámetro de las burbujas (m)

$$a = a_o \left(8.33 \cdot 10^{-5} N_{Re}^{0.7} \left(\frac{N_{Da}}{V_G} \right)^{0.3} - 1.5 \right) \text{ (Ecuación 6.22, Treybal)}$$

a_o = área interfacial específica producida sólo por el gas que se alimenta al impulsor.

a = es el área interfacial que incluye también el gas arrastrado desde el espacio que queda por encima del líquido.

V_G = velocidad superficial del gas, definida como el flujo volumétrico del gas dividido el área transversal del tanque. = 0,0003266 m/s

N_{Re} = 116058

$$a_o = 1.44 \left(\left(\frac{P_G}{v_L} \right)^{0.4} \left(\frac{\rho_L}{\sigma^3} \right)^{0.2} \right) \left(\frac{V_G}{V_t} \right)^{0.5} \text{ (Ecuación 6.21, Treybal)}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

P_G = potencia del impulsor en presencia de gas (W)

v_L = volumen de líquido = 1,013 m³

σ = tensión superficial del líquido = 0,0405 N/m

V_t = velocidad de ascensión de las burbujas (m/s)

ρ_L = densidad del líquido = 1132,22 kg/m³

$$P_G = P \left(1 - 12.2 \frac{Q_G}{N D a^3} \right) \text{ (Ecuación 6.19, Treybal)}$$

Q_G = flujo volumétrico de gas = 0,0204 m³/s

P_G = 4341 W (para un solo rodete)

Para $d_p < 0.7$ mm. Las burbujas son esféricas y se comportan como esferas rígidas; para estas burbujas, la velocidad Terminal está dada por la ley de Stokes:

$$V_t = \frac{g d_p^2 (\rho_L - \rho_G)}{18 \mu_L} \text{ (Ecuación 6.6, Treybal)}$$

ρ_G = densidad del gas (H₂) = 4,05 kg/m³

μ_L = viscosidad del líquido = 0,00685 kg/m.s

g = aceleración de la gravedad = 9,8 m/s²

El diámetro medio para la burbuja, en turbinas de hojas planas de disco, está dado por:

$$d_p = K \left[\left(\frac{v_L}{P_G} \right)^{0.4} \left(\frac{\sigma^3}{\rho_L} \right)^{0.2} \right] \left(\frac{a d_p}{6} \right)^m \left(\frac{\mu_G}{\mu_L} \right)^{0.25} \text{ (ecuación 6.23, Treybal)}$$

$K = 1,9$

$m = 0,65$

μ_G = viscosidad del H₂ = 0,000015 kg/m.s

Estas ecuaciones deben resolverse en forma iterativa. Se supone un valor de V_t para iniciar la iteración. Con ésta se calcula “ a_0 ” con la ecuación 6.21, “ a ” con la 6.22, d_p con la 6.23 y luego un nuevo valor de V_t con la 6.6. Cuando se obtenga una convergencia, se obtiene φ_G con la ecuación 6.9. (Ronco & Antonello, 2010)

Los valores encontrados son los siguientes:

$V_t = 0,0020$ m/s

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$a_o = 375,29 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$a = 1258,29 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$d_p = 0,00015 \text{ mm}$$

$$\varphi_G = 0,032 \text{ m}^3 \text{ gas}/\text{m}^3 \text{ líquido} + \text{gas}$$

El volumen de H_2 es $0,037 \text{ m}^3$.

- Volumen del líquido

El volumen de líquido se obtiene en función de la carga del reactor y la densidad media de la misma.

$$V_l = \frac{\text{carga}}{\rho_{\text{media}}} = 1,013$$

El reactor se diseñará con un factor de seguridad (o sobre diseño) del 20 % (según: “Plant design and economics for chemical engineers”, Peters, Timmerhaus, capítulo 2, tabla 6). Por lo tanto, el volumen del equipo se obtiene como:

$$V_R = V_{\text{liq}} + 0,2 V_{\text{liq}} + V_{\text{H}_2} = 1,38 \text{ m}^3$$

8.6.1.3. Agitación

El diseño del sistema de agitación tiene el propósito de favorecer las condiciones de reacción, tanto la transferencia de calor, como el contacto entre el catalizador y los reactivos. Se decide emplear un agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas (6 aletas), que se emplea para dispersar o disolver gases en líquidos. Las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas. El disco evita que el gas escape hacia arriba sin pasar por la zona de corte alto de las puntas de las aspas del propulsor. El agitador tendrá como función reintroducir el H_2 del espacio hacia el líquido. Además, para evitar la formación de vórtices y flujo circulatorio, se colocarán cuatro placas deflectoras (Ronco & Antonello, 2010).

Las dimensiones de ambos agitadores serán las mismas y se definen en función de lo planteado:

$$D_a = \text{Diámetro del agitador} = D/3$$

$$W = \text{alto de las aletas} = D_a/5$$

$$L = \text{largo de las aletas} = D_a/4$$

$$E = \text{Distancia al fondo del reactor} = D_a \text{ (para el agitador i)}$$

$$C = \text{Distancia desde el agitador r al nivel de líquido} = D_a/2$$

$$J = \text{Ancho de las placas deflectoras} = D/12$$

Donde:

$$D_a = 0,4 \text{ m}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$W = 0,08 \text{ m}$$

$$L = 0,1 \text{ m}$$

$$E = 0,4 \text{ m}$$

$$C = 0,2 \text{ m}$$

$$J = 0,1 \text{ m}$$

Para garantizar una buena dispersión de las burbujas del gas en el líquido, se hace uso de la ecuación planteada por la bibliografía, "Operaciones de transferencia de masa", Treybal.

$$\frac{N \cdot Da}{\left(\frac{\sigma \cdot g}{\rho_L}\right)^{0,25}} = 1,22 + 1,25 \frac{D}{Da}$$

Donde:

N = velocidad del agitador

σ = Tensión superficial de la solución = 0,0405 N/m

ρ_L = densidad de la solución = 1192,4 kg/m³

g = aceleración de la gravedad = 9,8 m/s²

Se obtiene:

$$N = 1,61 \text{ rps} = 100,7 \text{ rpm}$$

Se adopta una velocidad superior, para mejorar la dispersión, y facilitar la transferencia de calor (Ronco & Antonello, 2010). El valor adoptado es:

$$N = 250 \text{ rpm} = 4,167 \text{ rps}$$

La potencia del motor del agitador se calcula de la siguiente forma:

$$P = \Phi \cdot N^3 \cdot Da^5 \cdot \rho_L$$

Donde:

P = potencia del motor del agitador

Φ = función de potencia (depende del N_{Re})

$$N_{Re} = \text{Número de Reynolds} = \frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho_L}{\mu_L}$$

El valor de $\mu_L = 0.00685 \text{ kg/m.s}$, (calculada como una mezcla de agua y jarabe de alta dextrosa, mediante la siguiente expresión: $\ln \mu_L = x_1 \ln \mu_1 + x_2 \ln \mu_2$, donde x_1 y x_2 son las fracciones en peso de ambos componentes y μ_1 y μ_2 sus respectivas viscosidades).

Como el agitador tiene dos rodets sobre el mismo eje, la potencia obtenida será 1,9 veces la potencia de un solo rodete.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$N_{Re} = 116058$$

$\Phi = 5$ (“Operaciones de transferencia de masa”, Treybal, figura 6.5, curva c)

$$P = 4416,3 \text{ W} = 4,416 \text{ kW}$$

$$P_{\text{total}} = 1,2 \cdot (4,416)$$

$$P_{\text{total}} = 5,29 \text{ kW} = 7,10 \text{ HP}$$

El valor de 4,416 kW cantidad se sobredimensiona en un 20 %, debido al consumo del reductor del motor. Por lo tanto, la potencia del motor del agitador será de 5,29 kW, lo que equivale a 7,10 HP. A partir de este resultado se adopta un motor de 7,5 HP trifásico de marca WEG que posee las siguientes características:

Frecuencia: 50 Hz

Voltaje nominal: 220/380 V

Temperatura Ambiente: -20°C – +40°C

Momento de inercia: 0,07668 kgm²

Masa aproximada: 58,5kg

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.

$$\text{Relación de reducción} = i = \frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{agitador}}}$$

$$i = 11,998$$

$$N_{\text{motor}} = 314 \text{ rpm}$$

$$N_{\text{agitador}} = 250 \text{ rpm}$$

De acuerdo a la potencia solicitada. La caja reductora se adopta de la firma LENTAX S.A:

$$i = 13,57$$

$$\text{Velocidad de salida (rpm)} = 108$$

$$\text{Modelo} = \text{C3T2 12,50}$$

$$\text{Potencia de entrada (HP)} = 12,50$$

8.6.1.4 Dimensiones del reactor

En función al volumen calculado del reactor y del diámetro establecido se determinan las especificaciones restantes:

L_C = altura de la parte cilíndrica

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

L_1 = altura de fondo y tapa

V_C = volumen de la parte cilíndrica

V_1 = volumen de fondo y tapa

D = diámetro

L = altura total del reactor

Para el diseño se adopta el fondo y la tapa del reactor de forma elíptica. Todas las dimensiones anteriores están referidas a la parte interna del reactor, sin considerar los espesores de las paredes que serán calculados posteriormente.

Resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones para el valor de D obtenemos los valores a posteriori:

$$V_R = V_C + 2 V_1$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^3}{24}$$

$$V_C = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L_C}{4}$$

$$L_1 = D/4$$

$$L_T = L_C + 2 \cdot L_1$$

Resultados:

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$L = 1,40 \text{ m}$$

$$L_C = 0,80 \text{ m}$$

$$L_1 = 0,30 \text{ m}$$

$$L_{liq} = 1,22 \text{ m}$$

$$V_1 = 0,22 \text{ m}^3$$

$$V_C = 0,91 \text{ m}^3$$

Estas cantidades se consideran adecuadas porque la relación L/D obtenida, está dentro de las utilizadas en equipos de estas características.

8.6.1.5 Diseño del serpentín

Para mantener las condiciones isotérmicas de la reacción, se decide colocar un serpentín helicoidal en el interior del reactor. Se adoptó un serpentín que tuviera un área de transferencia lo más grande posible, de acuerdo a las dimensiones del reactor, para minimizar los tiempos de calentamiento y enfriamiento de la carga. Las características del mismo son las siguientes (Ronco & Antonello, 2010):

Tubo: 1 ½ pulg, BWG 8.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Diámetro = 0,9 m

Vueltas = 6

Espacio entre vueltas = 0,04 m

Área total exterior = 1,77 m²

Longitud del serpentín= 0,716 m

Volumen que ocupa el serpentín= 0,456 m³

Aclaración: El recipiente se encontrará totalmente aislado con 50 mm de lana mineral para evitar pérdidas de energía.

8.6.1.6 Diseño mecánico

Cálculo de espesores de paredes

El espesor de las paredes del reactor, se determinó según los requisitos expuestos en el código ASME, que contiene reglas para el diseño, fabricación e inspección de calderas y recipientes sometidos a presión. Se utilizó la Sección VIII, división 1, de este código. Para los recipientes sometidos a presión interna, el espesor del material de construcción se calcula según las siguientes ecuaciones (Ronco & Antonello, 2010):

- Carcasa cilíndrica:

$$t = \frac{P.R}{S.E - 0.6.P}$$

- Fondo y cabeza elipsoidal:

$$t = \frac{P.D}{2.S.E - 0.2.P}$$

t = espesor (m)

R = radio del reactor (m)

D = diámetro del reactor (m)

P = presión de diseño (bar)

E = La eficiencia de la soldadura. Se trata de un factor que reduce la tensión máxima admisible y puede ser E = 0,85 para radiografiado por puntos y E = 1 para radiografiado total. En el proyecto se tomará el segundo valor.

S = máximo esfuerzo permitido del material (unidad de presión)

Al espesor calculado debe agregarse un margen por corrosión de 0,3175 cm.

(ASME Boiler and Pressure Vessels Code, 2013)

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Además, este mismo valor se sumará al radio o diámetro (dos veces en el caso de diámetro) del reactor, en el cálculo del espesor.

El material de construcción elegido es un acero al carbono de baja aleación denominado SA – 515 grado 70, que se usa habitualmente en este tipo de recipientes porque tiene una muy buena resistencia mecánica, bajo las condiciones de trabajo utilizadas.

La presión de diseño será un 10 % superior a la presión de trabajo.

Cálculo del espesor de la carcasa cilíndrica:

$$R = 0,60 \text{ m}$$

$$E = 1$$

S = 1206,9 bar para el SA -515 grado 70 hasta 343 °C (fuente: “Manual de recipientes a presión” – Eugene Megyesy)

$$P = (70 \text{ bar} + L_{\text{liq.}} \cdot \rho \cdot G) \cdot 1.1$$

$$P = [70 + (1,83 \text{ m} \cdot 1192,5 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}) \cdot (1/100000)] \cdot 1.1 = 77,51 \text{ bar}$$

$$t = 4,014 \text{ cm} + 0,3175 \text{ cm}$$

$$t = 4,33 \text{ cm}$$

Cálculo del espesor del fondo y tapa:

$$D = 1,20635 \text{ m}$$

$$P_{\text{tapa}} = 77 \text{ bar}$$

$$P_{\text{fondo}} = 77,23$$

$$t_{\text{tapa}} = 3,5000 \text{ cm} + 0,3175 \text{ cm} = 3,8175 \text{ cm}$$

$$t_{\text{fondo}} = 3,9000 \text{ cm} + 0,3175 \text{ cm} = 4,2175 \text{ cm}$$

Se adoptará el mismo espesor que el de la carcasa cilíndrica.

8.6.2 Sistema de la primera fermentación

Los cálculos del diseño del fermentador y prefermentador se plasman a continuación:

8.6.2.1 Cálculo del volumen y sus dimensiones

Para el fermentador R-02 el volumen se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\text{reactor}} = \frac{Qv}{D}$$

Qv = caudal volumétrico (m³/h)

D = tasa de dilución (h⁻¹)

$$V_{\text{reactor}} = \frac{1,51 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,126 \text{h}^{-1}}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$V_{reactor} = 12,03 m^3$$

El reactor se diseñará con un factor de seguridad (o sobre diseño) del 20 % (según: “Plant design and economics for chemical engineers”, Peters, Timmerhaus, capítulo 2, tabla 6). Por lo tanto el volumen ocupado por el líquido será:

$$V = V_{reactor} \cdot 1,2$$

$$V = 14,40 m^3$$

Las dimensiones del reactor se calculan teniendo en cuenta que el fondo y la tapa del reactor tendrán forma elíptica. Todas las dimensiones están referidas a la parte interna del reactor, sin considerar los espesores de las paredes que serán calculados posteriormente.

LC = altura de la parte cilíndrica

L1 = altura de fondo y tapa

VC = volumen de la parte cilíndrica

V1 = volumen de fondo y tapa

D = diámetro

L = altura total del reactor

Se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$V1 = \frac{\pi \cdot D^3}{24}$$

$$Vc = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot Lc}{4}$$

$$L1 = \frac{D}{4}$$

$$LT = LC + 2 \cdot L1$$

$$V = Vc + 2 \cdot V1$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores para un valor de D determinado se obtiene:

$$D = 1,95 m$$

$$Vc = 12,42 m$$

$$Lt = 5,09 m$$

$$L1 = 0,49 m$$

$$Lc = 4,12 m$$

$$V1 = 0,98 m$$

$$L/D = 2,5$$

Estas cantidades se consideran adecuadas porque la relación L/D obtenida, está dentro de las utilizadas en equipos de estas características.

Para el caso del pre fermentador el volumen se establece como el 10% del volumen del reactor por lo que el dimensionamiento de este se realiza de la misma manera que el anterior:

$$V_{pref} = V_{reactor} \cdot 0,10$$

$$V_{pref} = 1,20 m^3$$

Se considera un 20% de sobredimensionamiento como factor de seguridad.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$V_{total} = V_{pref} \cdot 1,20$$

$$V_{total} = 1,44 \text{ m}^3$$

Las dimensiones del pre fermentador se plasman a continuación:

$$D = 0,90 \text{ m}$$

$$V_c = 1,24 \text{ m}$$

$$L_t = 2,36 \text{ m}$$

$$L_1 = 0,22 \text{ m}$$

$$L_c = 1,91 \text{ m}$$

$$V_1 = 0,09 \text{ m}$$

$$L/D = 2,5$$

8.6.2.2 Diseño del sistema de agitación

El sistema consta de un agitador con dos impulsores, los cuales sirven 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. Para evitar la generación de vórtices se colocaran placas deflectoras.

Las dimensiones del agitador son:

Da = Diámetro del agitador

W = alto de las aletas

L = largo de las aletas

E = Distancia al fondo del reactor

C = Distancia desde el agitador superior al nivel de líquido

J = Ancho de las placas deflectoras

Hi = Distancia entre cada impulsor

$$Da = 1,07 \text{ m}$$

$$W = 0,21 \text{ m}$$

$$L = 0,49 \text{ m}$$

$$E = 1,07 \text{ m}$$

$$C = 0,53 \text{ m}$$

$$J = 0,19 \text{ m}$$

$$Hi = 1,07 \text{ m}$$

La velocidad del agitador se define en el capítulo 7 y tiene un valor de 87 rpm. Se adopta un valor superior para mejorar la dispersión y facilitar la transferencia.

$$N = 95 \text{ rpm}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

La potencia del motor del agitador se calcula de la siguiente forma:

$$P = \phi \cdot N^3 \cdot Da^5 \cdot \rho_L$$

P = potencia del motor del agitador

Φ = función de potencia (depende del NRe)

NRe = Número de Reynolds = $Da^2 \cdot N \cdot \rho_L / \mu_L$

$\mu_L = 0,019 \text{ kg/m.s}$

NRe = 85965,86

$\Phi = 9$

$P = 4703,70 \text{ W} = 4,70 \text{ kW}$

Como la fermentación tiene aireación la potencia calculada disminuye la cual se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$P_g = 1 \cdot \left(\frac{P^2 \cdot N \cdot Di^3}{F_{aire}^{0,56}} \right)^{0,45}$$

$F_{aire} = 1,68 \text{ m}^3/\text{min}$

$P_g = 2387,22 \text{ W}$

Se calcula el número de impulsores necesarios para la fermentación:

$$\frac{L1 - Da}{Da} > n > \frac{L1 - 2 \cdot Da}{Da}$$

$$2.17 > n > 1.71$$

Se necesitan dos impulsores por lo que, la potencia obtenida será 1.9 veces la potencia de un solo rodete.

$$P_{total} = P_g \cdot 1,9$$

$P_{total} = 4537,71 \text{ W} = 4,53 \text{ kW}$

Esta cantidad se sobredimensiona un 20% debido al consumo del reductor. Por lo tanto, la potencia del motor será de 5,45 kW. Esta potencia es la que se debe suministrar directamente al eje del agitador, para seleccionar el motor se debe 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 7,67 HP.

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.

Tabla 8.32 – Especificaciones del motor adoptado

Motor	
Fabricante	WEG S.A
Carcasa	132M

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Potencia	10 HP
Frecuencia	50 Hz
Voltaje nominal	220/380 V
Corriente nominal	27,6/16,0 A

Para establecer que reductor utilizar se decide consultar catálogos y seleccionar, en función de la potencia de entrada y de la relación de reducción, el más adecuado.

$$N_{\text{motor}} = 3000 \text{ rpm}$$

$$N_{\text{agitador}} = 95 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación de reducción} = i = \frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{agitador}}}$$

$$i = 31,57$$

Tabla 8.33 – Especificaciones de la caja reductora adoptada

Caja reductora	
Marca	LENTAX S.A
Modelo	C4T2
Factor de seguridad	1,40
Factor de servicio	1,50
Velocidad de salida (rpm)	95

Los cálculos plasmados con anterioridad se realizan también para diseñar el sistema de agitación de prefermentación.

Las dimensiones del agitador son:

Da = Diámetro del agitador

W = alto de las aletas

L = largo de las aletas

C = Distancia desde el agitador superior al nivel de líquido

E = Distancia al fondo del reactor

J = Ancho de las placas deflectoras

Hi = Distancia entre impulsores

$$Da = 0,30 \text{ m}$$

$$W = 0,06 \text{ m}$$

$$L = 0,22 \text{ m}$$

$$C = 0,15 \text{ m}$$

$$E = 0,30 \text{ m}$$

$$J = 0,091 \text{ m}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
Hi = 0,30 m

La velocidad del agitador se define en el capítulo 7 y tiene un valor de 201 rpm. Se adopta un valor superior para mejorar la dispersión y facilitar la transferencia.

$$N = 250 \text{ rpm}$$

La potencia del motor del agitador se calcula de la siguiente forma:

$$P = \varphi \cdot N^3 \cdot Da^5 \cdot \rho_L$$

P = potencia del motor del agitador

Φ = función de potencia (depende del N_{Re})

N_{Re} = Número de Reynolds = $\frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho_L}{\mu_L}$

μ_L

$\mu_L = 0,019 \text{ kg/m.s}$

$N_{Re} = 18151,8$

$\Phi = 9$

$P = 156,20 \text{ W} = 0,156 \text{ kW}$

Se calcula la disminución de la potencia por aireación:

$$P_g = 1 \cdot \left(\frac{P^2 \cdot N \cdot Di^3}{F_{aire}^{0,56}} \right)^{0,45}$$

$F_{aire} = 0,168 \text{ m}^3/\text{min}$

$P_g = 27,44 \text{ W}$

Se calcula el número de impulsores necesarios para el fermentador:

$$\frac{L1 - Da}{Da} > n > \frac{L1 - 2 \cdot Da}{Da}$$

$$5,08 > n > 4,08$$

Se necesitan cinco impulsores por lo que, la potencia obtenida será 5 veces la potencia de un solo rodete.

$$P_{total} = P_g \cdot n$$

$P_{total} = 137,2 = 0,137 \text{ kW}$

Esta cantidad se sobredimensiona un 20% debido al consumo del reductor. Por lo tanto, la potencia del motor será de 0,164 kW. Esta potencia es la que se debe suministrar directamente al eje del agitador, para seleccionar el motor se debe 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 0,23 HP.

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.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.34 – Especificaciones del motor adoptado

Motor	
Fabricante	WEG S.A
Carcasa	63M
Potencia	0,25 HP
Frecuencia	50 Hz
Voltaje nominal	380/660 V
Corriente nominal	0,640/0,368 A

Para establecer que reductor utilizar se decide consultar catálogos y seleccionar, en función de la potencia de entrada y de la relación de reducción, el más adecuado.

$$N_{\text{motor}} = 3000 \text{ rpm}$$

$$N_{\text{agitador}} = 250 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación de reducción} = i = \frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{agitador}}}$$

$$i = 12$$

Tabla 8.35 – Especificaciones de la caja reductora adoptada

Caja reductora	
Marca	LENTAX S.A
Modelo	C00T2
Factor de seguridad	6,25
Factor de servicio	1,50
Velocidad de salida (rpm)	250

8.6.2.3 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. Este valor se determina de la siguiente manera:

$$H_0\% = \left(\frac{P_0}{V}\right)^{0.4} \cdot V_s^{0.5}$$

P_0/V = Potencia por unidad de volumen del sistema sin gasificar

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

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.36 – Cálculo del hold-up en fermentación

	Prefermentador	Fermentador
Hold-up (Ho%)	14,37	19,03

8.6.2.4 Cálculo del sistema de enfriamiento

Para eliminar el calor generado en la fermentación y mantener la temperatura del reactor en 18°C, se utiliza un serpentín sumergido, en el cual ingresa como fluido refrigerante agua fría a 20°C.

Es necesario determinar el área requerida para la transferencia térmica, en el momento de mayor generación de calor.

Se calcula el coeficiente de película dentro del reactor de la siguiente manera:

$$\frac{ho \cdot Do}{k} = 0,17 \cdot \left(\frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^{0,67} \left(\frac{Cp \cdot \mu}{k} \right)^{0,37} \cdot \left(\frac{Da}{D} \right)^{0,1} \cdot \left(\frac{Do}{D} \right)^{0,1}$$

Da = diámetro del agitador = 1,07m

D = diámetro del tanque = 1,96 m

Do = diámetro exterior del tubo = 0,038m

N = número de revoluciones (rps) = 1,58

k = 0,00058 kJ/s m² °C constante de conductividad

Cp = calor específico del medio de cultivo = 3,93 kJ/kg.°C

$$ho = 10,06 \frac{kJ}{s \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

El coeficiente de película para el agua que circula por el serpentín, se calcula por la siguiente ecuación:

$$\frac{hi \cdot Di}{k} = 0,027 \left(\frac{Di \cdot G}{\mu} \right)^{0,8} \left(\frac{Ce \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

(Procesos de transferencia de calor – Kern, ecuación 6.2)

G se calcula a partir de esta ecuación:

$$G = \frac{w}{\pi \cdot \frac{Di^2}{4}}$$

$$G = 3238,69 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$hi = 10,34 \frac{kJ}{s \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

Al valor encontrado de hi, hay que multiplicarlo por el siguiente factor:

$$1 + 3.5 (Di/D_H)$$

D_H = diámetro del serpentín = 1,55 m

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

D_i = diámetro interno del tubo = 0,029 m (tubo de 1 ½ pulg, BWG 8)

Área de flujo = $6,937 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Para el agua de enfriamiento:

$C_e = 4,184 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$

$\mu = 0,000837 \text{ kg/m.s}$

$\rho = 993,7 \text{ kg/m}^3$

$k = 0,0006125 \text{ kJ/s m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$Q_{\text{agua}} = \text{caudal de agua} = 2,24 \text{ kg/s}$

$\mu_w = \text{viscosidad a la temperatura de la pared} = 0,00032 \text{ kg/m.s}$

Coeficiente de película respecto al área externa:

$$h_{io} = h_i (D_i/D_o) = 8,59 \text{ kJ/s.m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_c = 4,63 \text{ kJ/s.m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_d = 0,176 \text{ s.m}^2 \cdot ^\circ\text{C/kJ}$$

$$U_d = 2,55 \text{ kJ/s.m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Con el coeficiente total anterior, el área de intercambio de calor requerida al comienzo de la reacción es:

$$A = 12,31 \text{ m}^2$$

El área de transferencia por vuelta de serpentín es:

$$A_s = \pi \cdot D_e \cdot A_e = 0,331 \text{ m}^2$$

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:

$$N = \frac{A}{A_s}$$

$$N = 37 \text{ vueltas} \rightarrow N+2 = 39 \text{ vueltas (margen de seguridad)}$$

8.6.2.5 Diseño mecánico

Para los recipientes sometidos a presión interna, el espesor del material de construcción se calcula según las siguientes ecuaciones:

- Carcasa cilíndrica:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0.6 \cdot P}$$

- Fondo y cabeza elipsoidal:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$t = \frac{P.D}{2.S.E - 0.2.P}$$

t = espesor (m)

R = radio del reactor (m)

D = diámetro del reactor (m)

P = presión de diseño (bar)

E = La eficiencia de la soldadura. Se trata de un factor que reduce la tensión máxima admisible y puede ser E = 0,85 para radiografiado por puntos y E = 1 para radiografiado total. En el proyecto se tomará el segundo valor.

S = máximo esfuerzo permitido del material (unidad de presión)

Al espesor calculado debe agregarse un margen por corrosión de 0.3175 cm.

Además este mismo valor se sumará al radio o diámetro (dos veces en el caso de diámetro) del reactor, en el cálculo del espesor.

El material de construcción elegido es acero al carbono de baja aleación, tal como el equipo anterior.

La presión de diseño será un 10 % superior a la presión de trabajo.

Cálculo del espesor de la carcasa cilíndrica:

R = 0,98 m

E = 1

S = 1206,9 bar para el SA -515 grado 70 hasta 343 °C (fuente: "Manual de recipientes a presión" – Eugene Megyesy)

P = (70 bar + L_{liq.} ρ. G). 1.1

P = [70 + (1.83 m . 1192.5 kg/m³ . 9.8 m/s).(1/100000)] . 1.1 = 77,43 bar

t = 6,539 cm + 0.3175 cm

$$t = 6,85 \text{ cm}$$

Cálculo del espesor del fondo y tapa:

D = 1,95 m

P_{tapa} = 77 bar

P_{fondo} = 77,43 bar

t_{tapa} = 5,721 cm + 0,3175 cm = 6,038 cm

t_{fondo} = 6,328 cm + 0,3175 cm = 6,646 cm

Se adoptará el mismo espesor que el de la carcasa cilíndrica.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.6.3 Sistema de la segunda fermentación

Los cálculos del diseño del fermentador y prefermentador se plasman a continuación:

8.6.3.1 Cálculo del volumen y sus dimensiones

Para el fermentador R-05 el volumen se calcula de la siguiente manera:

$$V_{reactor} = \frac{Q_v}{D}$$

Q_v = caudal volumétrico (m^3/h)

D = tasa de dilución (h^{-1})

$$V_{reactor} = \frac{2,67 \frac{m^3}{h}}{0,045 h^{-1}}$$

$$V_{reactor} = 59,38 m^3$$

El reactor se diseñará con un factor de seguridad (o sobre diseño) del 20 % (según: “Plant design and economics for chemical engineers”, Peters, Timmerhaus, capítulo 2, tabla 6). Por lo tanto el volumen ocupado por el líquido será:

$$V = V_{reactor} \cdot 1,2$$

$$V = 72 m^3$$

Las dimensiones del reactor se calculan teniendo en cuenta que el fondo y la tapa del reactor tendrán forma elíptica. Todas las dimensiones están referidas a la parte interna del reactor, sin considerar los espesores de las paredes que serán calculados posteriormente.

LC = altura de la parte cilíndrica

$L1$ = altura de fondo y tapa

VC = volumen de la parte cilíndrica

$V1$ = volumen de fondo y tapa

D = diámetro

L = altura total del reactor

Se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$V1 = \frac{\pi \cdot D^3}{24}$$

$$VC = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot LC}{4}$$

$$L1 = \frac{D}{4}$$

$$LT = LC + 2 \cdot L1$$

$$V = VC + 2 \cdot V1$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores para un valor de D determinado se obtiene:

$$D = 3,35 m$$

$$VC = 62,02 m$$

$$Lt = 8,68 m$$

$$L1 = 0,84 m$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$L_c = 7,00 \text{ m}$$

$$V_1 = 4,94 \text{ m}$$

$$L/D = 2,5$$

Estas cantidades se consideran adecuadas porque la relación L/D obtenida, está dentro de las utilizadas en equipos de estas características.

Para el caso del prefermentador el volumen se establece como el 10% del volumen del reactor por lo que el dimensionamiento del mismo se realiza de la misma manera que el anterior:

$$V_{pref} = V_{reactor} \cdot 0,10$$

$$V_{pref} = 5,93 \text{ m}^3$$

Se considera un 20% de sobredimensionamiento como factor de seguridad.

$$V_{total} = V_{pref} \cdot 1,20$$

$$V_{total} = 7,20 \text{ m}^3$$

Las dimensiones del prefermentador se plasman a continuación:

$$D = 1,55 \text{ m}$$

$$V_c = 6,20 \text{ m}$$

$$L_t = 4,02 \text{ m}$$

$$L_1 = 0,39 \text{ m}$$

$$L_c = 3,24 \text{ m}$$

$$V_1 = 0,49 \text{ m}$$

$$L/D = 2,5$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.6.3.2 Diseño del sistema de agitación

El sistema consta de un agitador con dos impulsores, los cuales sirven 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. Para evitar la generación de vórtices se colocaran placas deflectoras.

Las dimensiones del agitador son:

Da = Diámetro del agitador

W = alto de las aletas

L = largo de las aletas

E = Distancia al fondo del reactor

C = Distancia desde el agitador superior al nivel de líquido

J = Ancho de las placas deflectoras

Hi = Distancia entre cada impulsor

$$Da = 1,12 \text{ m}$$

$$W = 0,22 \text{ m}$$

$$L = 0,83 \text{ m}$$

$$E = 1,12 \text{ m}$$

$$C = 0,55 \text{ m}$$

$$J = 0,33 \text{ m}$$

$$Hi = 1,12 \text{ m}$$

La velocidad del agitador se define en el capítulo 7 y tiene un valor de 79 rpm. Se adopta un valor superior para mejorar la dispersión y facilitar la transferencia.

$$N = 95 \text{ rpm}$$

La potencia del motor del agitador se calcula de la siguiente forma:

$$P = \Phi \cdot N^3 \cdot Da^5 \cdot \rho_L$$

P = potencia del motor del agitador

Φ = función de potencia (depende del NRe)

N_{Re} = Número de Reynolds = $Da^2 \cdot N \cdot \rho_L / \mu_L$

$$\mu_L = 0,019 \text{ kg/m.s}$$

$$N_{Re} = 2,08 \cdot 10^6$$

$$\Phi = 9$$

$$P = 6754,06 \text{ W} = 6,75 \text{ kW}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Como la fermentación tiene aireación la potencia calculada disminuye la cual se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$P_g = 1. \left(\frac{P^2 \cdot N \cdot D_i^3}{F_{aire}^{0,56}} \right)^{0,45}$$

$$F_{aire} = 3,60 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$P_g = 2901,55 \text{ W}$$

Se calcula el número de impulsores necesarios para la fermentación:

$$\frac{L1 - Da}{Da} > n > \frac{L1 - 2 \cdot Da}{Da}$$

$$5,04 > n > 4,04$$

Se necesitan cinco impulsores por lo que, la potencia obtenida será 1.9 veces la potencia de un solo rodete.

$$P_{total} = P_g \cdot 5$$

$$P_{total} = 8077,0 \text{ W} = 8,07 \text{ kW}$$

Esta cantidad se sobredimensiona un 20% debido al consumo del reductor. Por lo tanto, la potencia del motor será de 9,69 kW. Esta potencia es la que se debe suministrar directamente al eje del agitador, para seleccionar el motor se debe 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 11,38 HP.

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.

Tabla 8.37 – Especificaciones del motor adoptado

Motor	
Fabricante	WEG S.A
Carcasa	160 M
Potencia	15 HP
Frecuencia	50 Hz
Voltaje nominal	220/380 V
Corriente nominal	40,0/23,2 A

Para establecer que reductor utilizar se decide consultar catálogos y seleccionar, en función de la potencia de entrada y de la relación de reducción, el más adecuado.

$$N_{motor} = 3000 \text{ rpm}$$

$$N_{agitador} = 95 \text{ rpm}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$\text{Relación de reducción} = i = \frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{agitador}}}$$

$$i = 31,57$$

Tabla 8.38 – Especificaciones de la caja reductora adoptada

Caja reductora	
Marca	LENTAX S.A
Modelo	C45T3
Factor de seguridad	1,85
Factor de servicio	1,50
Velocidad de salida (rpm)	95

Los cálculos plasmados con anterioridad se realizan también para diseñar el sistema de agitación de prefermentación

Las dimensiones del agitador son:

Da = Diámetro del agitador

W = alto de las aletas

L = largo de las aletas

C = Distancia desde el agitador superior al nivel de líquido

E = Distancia al fondo del reactor

J = Ancho de las placas deflectoras

Hi = Distancia entre impulsores

$$Da = 0,52 \text{ m}$$

$$W = 0,10 \text{ m}$$

$$L = 0,39 \text{ m}$$

$$C = 0,26 \text{ m}$$

$$E = 0,52 \text{ m}$$

$$J = 0,15 \text{ m}$$

$$Hi = 0,52 \text{ m}$$

La velocidad del agitador se define en el capítulo 7 y tiene un valor de 132 rpm. Se adopta un valor superior para mejorar la dispersión y facilitar la transferencia.

$$N = 150 \text{ rpm}$$

La potencia del motor del agitador se calcula de la siguiente forma:

$$P = \Phi \cdot N^3 \cdot Da^5 \cdot \rho_L$$

P = potencia del motor del agitador

Φ = función de potencia (depende del N_{Re})

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$N_{Re} = \text{Número de Reynolds} = \frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho_L}{\mu_L}$$

$$\mu_L = 0,019 \text{ kg/m.s}$$

$$N_{Re} = 71000$$

$$\Phi = 9$$

$$P = 573,94 \text{ W} = 0,573 \text{ kW}$$

Se calcula la disminución de la potencia por aireación:

$$P_g = 1 \cdot \left(\frac{P^2 \cdot N \cdot Di^3}{F_{aire}^{0,56}} \right)^{0,45}$$

$$F_{aire} = 0,81 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$P_g = 200,31 \text{ W}$$

Se calcula el número de impulsores necesarios para el prefermentador:

$$\frac{L1 - Da}{Da} > n > \frac{L1 - 2 \cdot Da}{Da}$$

$$1,93 > n > 0,93$$

Se necesita un impulsor por lo que, la potencia obtenida será la calculada anteriormente.

$$P_{total} = P_g \cdot n$$

$$P_{total} = 200,31 \text{ W} = 0,20 \text{ kW}$$

Esta cantidad se sobredimensiona un 20% debido al consumo del reductor. Por lo tanto, la potencia del motor será de 0,24 kW. Esta potencia es la que se debe suministrar directamente al eje del agitador, para seleccionar el motor se debe 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 0,33 HP.

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.

Tabla 8.39 – Especificaciones del motor adoptado

Motor	
Fabricante	WEG S.A
Carcasa	63M
Potencia	0,50 HP
Frecuencia	50 Hz
Voltaje nominal	380/660 V
Corriente nominal	0,640/0,368 A

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Para establecer que reductor utilizar se decide consultar catálogos y seleccionar, en función de la potencia de entrada y de la relación de reducción, el más adecuado.

$$N_{\text{motor}} = 3000 \text{ rpm}$$

$$N_{\text{agitador}} = 150 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación de reducción} = i = \frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{agitador}}}$$

$$i = 20$$

Tabla 8.40 – Especificaciones de la caja reductora adoptada

Caja reductora	
Marca	LENTAX S.A
Modelo	C00T2
Factor de seguridad	5,10
Factor de servicio	1,50
Velocidad de salida (rpm)	150

8.6.3.3 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. Este valor se determina de la siguiente manera:

$$H_0\% = \left(\frac{P_0}{V}\right)^{0.4} \cdot V_s^{0.5}$$

P_0/V = Potencia por unidad de volumen del sistema sin gasificar

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

Tabla 8.41 – Resultados de hold-up en fermentación

	Prefermentador	Fermentador
Hold-up ($H_0\%$)	11,24	19,20

8.6.3.4 Cálculo del sistema de enfriamiento

Para eliminar el calor generado en la fermentación y mantener la temperatura del reactor en 28°C, se utiliza un serpentín sumergido, en el cual ingresa como fluido refrigerante agua fría a 20°C.

Es necesario determinar el área requerida para la transferencia térmica, en el momento de mayor generación de calor.

Se calcula el coeficiente de película dentro del reactor de la siguiente manera:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$\frac{h_o \cdot D_o}{k} = 0,17 \cdot \left(\frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^{0,67} \left(\frac{Cp \cdot \mu}{k} \right)^{0,37} \cdot \left(\frac{Da}{D} \right)^{0,1} \cdot \left(\frac{D_o}{D} \right)^{0,1}$$

Da = diámetro del agitador = 1,07m

D = diámetro del tanque = 3,36 m

Do = diámetro exterior del tubo = 0,038m

N = número de revoluciones (rps) = 1,31

k = 0,00058 kJ/s m² °C constante de conductividad

Cp = calor específico del medio de cultivo = 4,07 kJ/kg.°C

$$h_o = 7,13 \frac{kJ}{s \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

El coeficiente de película para el agua que circula por el serpentín, se calcula por la siguiente ecuación:

$$\frac{h_i \cdot D_i}{k} = 0,027 \left(\frac{D_i \cdot G}{\mu} \right)^{0,8} \left(\frac{C_e \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

(Procesos de transferencia de calor – Kern, ecuación 6.2)

G se calcula a partir de esta ecuación:

$$G = \frac{w}{\pi \cdot \frac{D_i^2}{4}}$$

$$G = 31017,40 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$h_i = 63,81 \frac{kJ}{s \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

Al valor encontrado de hi, hay que multiplicarlo por el siguiente factor:

$$1 + 3.5 (D_i/D_H)$$

D_H = diámetro del serpentín = 2,68 m

D_i = diámetro interno del tubo = 0,029 m (tubo de 1 ½ pulg, BWG 8)

Área de flujo = 6,937.10⁻⁴ m²

Para el agua de enfriamiento:

C_e = 4,184 kJ/kg °C

μ = 0,000837 kg/m.s

ρ = 993,7 kg/m³

k = 0,0006125 kJ/s m² °C

Q_{agua} = caudal de agua = 21,51 kg/s

μ_w = viscosidad a la temperatura de la pared = 0,00032 kg/m.s

Coeficiente de película respecto al área externa:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$h_{io} = h_i (D_i/D_o) = 53,06 \text{ kJ/s.m}^2.\text{°C}$$

$$U_c = 6,28 \text{ kJ/s.m}^2.\text{°C}$$

$$R_d = 0,176 \text{ s.m}^2.\text{°C/kJ}$$

$$U_d = 2,98 \text{ kJ/s.m}^2.\text{°C}$$

Con el coeficiente total anterior, el área de intercambio de calor requerida al comienzo de la reacción es:

$$A = 26,92 \text{ m}^2$$

El área de transferencia por vuelta de serpentín es:

$$A_s = \pi \cdot D_e \cdot A_e = 0,331 \text{ m}^2$$

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:

$$N = \frac{A}{A_s}$$

$$N = 81 \text{ vueltas} \rightarrow N+2 = 83 \text{ vueltas (margen de seguridad)}$$

8.6.3.5 Diseño mecánico

Para los recipientes sometidos a presión interna, el espesor del material de construcción se calcula según las siguientes ecuaciones:

- Carcasa cilíndrica:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0.6 \cdot P}$$

- Fondo y cabeza elipsoidal:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P}$$

t = espesor (m)

R = radio del reactor (m)

D = diámetro del reactor (m)

P = presión de diseño (bar)

E = La eficiencia de la soldadura. Se trata de un factor que reduce la tensión máxima admisible y puede ser E = 0,85 para radiografiado por puntos y E = 1 para radiografiado total. En el proyecto se tomará el segundo valor.

S = máximo esfuerzo permitido del material (unidad de presión)

Al espesor calculado debe agregarse un margen por corrosión de 0,3175 cm.

Además este mismo valor se sumará al radio o diámetro (dos veces en el caso de diámetro) del reactor, en el cálculo del espesor.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

El material de construcción es un acero al carbono de baja aleación.

La presión de diseño será un 10 % superior a la presión de trabajo.

Cálculo del espesor de la carcasa cilíndrica:

$$R = 1,68 \text{ m}$$

$$E = 1$$

S = 1206,9 bar para el SA -515 grado 70 hasta 343 °C (fuente: "Manual de recipientes a presión" – Eugene Megyesy)

$$P = (70 \text{ bar} + L_{\text{liq. p. G}}) \cdot 1.1$$

$$P = [70 + (1.83 \text{ m} \cdot 1192.5 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.8 \text{ m/s}) \cdot (1/100000)] \cdot 1.1 = 77,72 \text{ bar}$$

$$t = 11,261 \text{ cm} + 0.3175 \text{ cm}$$

$$t = 11,58 \text{ cm}$$

Cálculo del espesor del fondo y tapa:

$$D = 3,36 \text{ m}$$

$$P_{\text{tapa}} = 77 \text{ bar}$$

$$P_{\text{fondo}} = 77,43 \text{ bar}$$

$$t_{\text{tapa}} = 9,807 \text{ cm} + 0,3175 \text{ cm} = 10,125 \text{ cm}$$

$$t_{\text{fondo}} = 10,896 \text{ cm} + 0,3175 \text{ cm} = 11,214 \text{ cm}$$

Se adoptará el mismo espesor que el de la carcasa cilíndrica.

8.6.3.6 Adopción del compresor

Para suministrar el oxígeno necesario para llevar a cabo las reacciones de fermentación involucradas en el proceso es necesario adoptar un equipo compresor de aire. Tal equipo, genera una sobrepresión que facilita la incorporación del gas, mejorando la transferencia del mismo al líquido por dispersión de las burbujas.

Para la adopción del compresor se considera la masa de oxígeno calculada en el capítulo 7, que con la densidad del aire y la concentración de oxígeno, se transforma en volumen. Luego de este valor, es posible emplear la siguiente ecuación para obtener el caudal volumétrico normal.

$$V = \frac{Qm \cdot R \cdot TN}{pm \cdot PN}$$

Donde

V= volumen de gas

R= constante de los gases ideales (0,008205 l.atm/mol.K)

TN= temperatura (K)

Qm= Caudal másico (kg/m³)

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

TN= temperatura en condiciones normales (273 K)

PN= Presión en condiciones normales (1 atm)

Para convertir este caudal en las condiciones de trabajo del compresor, se hace empleo de la ecuación que se detalla. La cual contempla la ecuación de los gases ideales y que la masa de aire es la misma.

$$Q_{op} = Q_t \cdot \frac{T_{op} \cdot P_N}{P_{op} \cdot P_N}$$

Donde, Qop y Pop son caudal y presión de trabajo, mientras que Top se adopta como la temperatura ambiente.

La potencia necesaria para la compresión se calcula como se detalla en la bibliografía Mc Cabe & Smith (1991).

$$P = \left(\frac{T_a \cdot Q_o}{3513,51\eta} \right) \cdot \log \left(\frac{P_b}{P_a} \right)$$

Donde:

Ta= la temperatura de admisión en Rankine (°R)

Qo= caudal en ft³/min

η=rendimiento en porcentaje

Pb y Pa= presiones de salida y entrada

P= potencia en CV

En la siguiente tabla, se encuentran los datos necesarios para la adopción del equipo en cada fermentación y las especificaciones del compresor adoptado.

Tabla 8.42 – Diseño del compresor

1° fermentación	
Caudal volumétrico normal, l/h	300775,19
Volumen de gas, l	23231,92
Caudal volumétrico en condiciones de trabajo, l/h	216626
Potencia, CV-kW	7,63-5,69
2° fermentación	
Caudal volumétrico normal, l/h	298333,33
Volumen de gas, l	23043,31
Caudal volumétrico en condiciones de trabajo, l/h	168682,88
Potencia, CV-kW	7,85-5,85

- Compresor seleccionado

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Se decide adoptar como equipo compresor de la marca Atlas Copco S.A.C.I, de tipo pistón lubricado con aceite Automan con las siguientes especificaciones:

Capacidad (l/s)= 1,7 – 12,9

Presión de trabajo (bar)= 2 – 14

Potencia instalada (kW)= 1,5 – 8,1

8.6.4 Reactor de esterificación

8.6.4.1 Cinética de la reacción

La reacción se encuentra representada por la siguiente ecuación de velocidad:

$$\frac{dCMG}{dt} = k_1 \cdot C_2KGA \cdot CMeOH - k_2 \cdot CMG \cdot CH_2O$$

Se obtiene a partir de efectuar una regresión lineal por Arrhenius, donde los coeficientes son:

$$A_1 = 1,58 \times 10^6 \text{ (mol.min/L)}^{-1}$$

$$E_{a1} = 50,46 \text{ kJ/mol}$$

$$A_2 = 3,19 \times 10^8 \text{ (mol.min/L)}^{-1}$$

$$E_{a2} = 62,43 \text{ kJ/mol}$$

La expresión resultante es:

$$\frac{dCMG}{dt} = 1,58 * 10^6 \cdot e^{\left(-50,46 * \frac{10^4}{R.T}\right)} \cdot C_2KGA \cdot CMeOH$$

Dónde:

C₂KGA= Concentración de ácido 2 ceto L gulónico

CMeOH= Concentración de metanol

CMG= Concentración de 2 ceto L gulonato de metilo

CH₂O= Concentración de agua

k₁ y k₂= Constantes de velocidad de reacción de sentido directo e inverso

A causa de que se necesita que la reacción se desplace a la derecha para la producción del éster de interés, se toma el sentido directo para los cálculos, ver capítulo 7.

8.6.4.2 Volumen del reactor

Al igual que el reactor de hidrogenación, el reactor se diseñará con un factor de seguridad (o sobre diseño) del 20 % (según: "Plant design and economics for chemical engineers", Peters, Timmerhaus, capítulo 2, tabla 6). Por lo tanto, el volumen del equipo se obtiene como:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$V_R = V_{liq} + 0,2 V_{liq} + V_{H_2} = 1,382 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que el volumen del líquido es igual a $1,085 \text{ m}^3$, se obtiene:

$$V_R = 1,302 \text{ m}^3$$

8.6.4.3 Dimensionamiento del reactor

De igual manera que lo establecido para el reactor R-01, se resuelve el sistema de ecuaciones que se puede visualizar, en función de las mismas consideraciones de diseño elíptico para las tapas de fondo y tope.

$$V_R = V_C + 2 V_1$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^3}{24}$$

$$V_C = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L_C}{4}$$

$$L_1 = D/4$$

$$L_T = L_C + 2 \cdot L_1$$

Resultados:

$$D = 1,20 \text{ m}$$

$$L = 1,35 \text{ m}$$

$$L_C = 0,70 \text{ m}$$

$$L_1 = 0,30 \text{ m}$$

$$L_{liq} = 0,95 \text{ m}$$

$$V_1 = 0,22 \text{ m}^3$$

$$V_C = 0,85 \text{ m}^3$$

Estas cantidades se consideran adecuadas porque la relación L/D obtenida, está dentro de las utilizadas en equipos de estas características.

8.6.4.4 Diseño mecánico

El espesor de las paredes del reactor, se determina según los requisitos expuestos en el código ASME, donde como se detalló, para los recipientes sometidos a presión interna, el espesor del material de construcción se calcula según las siguientes ecuaciones (Ronco & Antonello, 2010):

- Carcasa cilíndrica:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$t = \frac{P.R}{S.E - 0.6.P}$$

- Fondo y cabeza elipsoidal:

$$t = \frac{P.D}{2.S.E - 0.2.P}$$

t = espesor (m)

R = radio del reactor (m)

D = diámetro del reactor (m)

P = presión de diseño (bar)

E = La eficiencia de la soldadura. Se toma E=1.

S = máximo esfuerzo permitido del material (unidad de presión)

Al espesor calculado debe agregarse un margen por corrosión de 0,3175 cm. El material de construcción es acero al carbono de baja aleación.

(ASME Boiler and Pressure Vessels Code, 2013)

La presión de diseño será un 10 % superior a la presión de trabajo.

Cálculo del espesor de la carcasa cilíndrica:

R = 0,60 m

E = 1

S = 1206,9 bar para el SA -515 grado 70 hasta 343 °C (fuente: "Manual de recipientes a presión" – Eugene Megyesy)

P = (70 bar + $L_{liq} \cdot \rho \cdot G$). 1.1

P = [70 + (1,83 m . 1192,5 kg/m³ . 9,8 m/s).(1/100000)] . 1.1 = 77,51 bar

t = 4,000 cm + 0,3175 cm

t = 4,3175 cm

Cálculo del espesor del fondo y tapa:

D = 1,20635 m

P_{tapa} = 77 bar

P_{fondo} = 77,23

t_{tapa} = 3,5000 cm + 0,3175 cm = 3,8175 cm

t_{fondo} = 3,9000 cm + 0,3175 cm = 4,175 cm

Se adoptará el mismo espesor que el de la carcasa cilíndrica.

Como se observa se presenta la misma configuración de diseño que R-01.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.6.4.5 Agitación

En este apartado se establece la potencia necesaria del motor para la transferencia de materia. A partir de seleccionar un agitador de 6 palas planas con 4 baffles, se determina el valor de la misma. En primer lugar, se establecen las revoluciones del agitador. De la ecuación planteada por la bibliografía, “Operaciones de transferencia de masa”, Treybal.

$$\frac{N \cdot Da}{\left(\frac{\sigma \cdot g}{\rho_L} \right)^{0.25}} = 1.22 + 1.25 \frac{D}{Da}$$

Dónde:

N = velocidad del agitador

σ = Tensión superficial de la solución = 0,0405 N/m

ρ_L = densidad de la solución = 1192,4 kg/m³

g = aceleración de la gravedad = 9,8 m/s²

Se obtiene:

N = 93,6 rpm = 1,56 rpm

Se adoptará una velocidad superior, para mejorar la dispersión, y facilitar la transferencia de calor (Ronco & Antonello, 2010). El valor adoptado es:

$$N = 200 \text{ rpm} = 3,33 \text{ rps}$$

Las dimensiones del agitador se dan en función de:

Da = Diámetro del agitador = D/3

W = alto de las aletas = Da/5

L = largo de las aletas = Da/4

E = Distancia al fondo del reactor = Da (para el agitador inferior)

C = Distancia desde el agitador superior al nivel de líquido = Da/2

J = Ancho de las placas deflectoras = D/12

Dónde:

Da = 0,4 m

W = 0,08 m

L = 0,1 m

E = 0,4 m

C = 0,2 m

J = 0,1 m

La potencia del motor del agitador se calcula de la siguiente forma:

$$P = \Phi \cdot N^3 \cdot Da^5 \cdot \rho_L$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Dónde:

P = potencia del motor del agitador

Φ = función de potencia (depende del N_{Re})

$N_{Re} = \text{Número de Reynolds} = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho_L}{\mu_L}$

$\mu_L = 0,00029 \text{ kg/m.s}$

$N_{Re} = 1635067,70$

$\Phi = 8$ (“Operaciones de transferencia de masa”, Treybal, figura 6.5, curva c)

$P = 2699,132 \text{ W} = 2,69 \text{ kW}$

$P_{\text{total}} = 1,2 \times 2,69 \text{ kW}$

$P_{\text{total}} = 3,23 \text{ kW}$

Esta cantidad se sobredimensiona en un 20 %, debido al consumo del reductor del motor. Se adopta un motor de 5,5 HP trifásico de marca WEG que posee las siguientes características:

Potencia: 5,5 HP

Frecuencia: 50 Hz

Voltaje nominal: 220/380 V

Temperatura Ambiente: $-20^\circ\text{C} - +40^\circ\text{C}$

Masa aproximada: 43 kg

Momento de inercia: $0,01798 \text{ kgm}^2$

Se selecciona un reductor para ajustar la velocidad del proceso.

$$\text{Relación de reducción} = i = \frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{agitador}}}$$

$$i = 15$$

$$N_{\text{motor}} = 3000 \text{ rpm}$$

$$N_{\text{agitador}} = 200 \text{ rpm}$$

De acuerdo a la potencia solicitada. La caja reductora se adopta de la firma LENTAX

S.A:

$i = 16,48$

Velocidad de salida (rpm) = 87

Modelo= C3T2 5,50

Potencia de entrada (HP) = 5,50

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.6.5 Reactor de lactonización

8.6.5.1 Cinética de la reacción

Empleando el método diferencial, es posible obtener la ecuación de velocidad que gobierna la reacción. A partir de datos de conversión y tiempo encontrados en la bibliografía, es posible desarrollar tal método. La siguiente figura, representa tales valores:

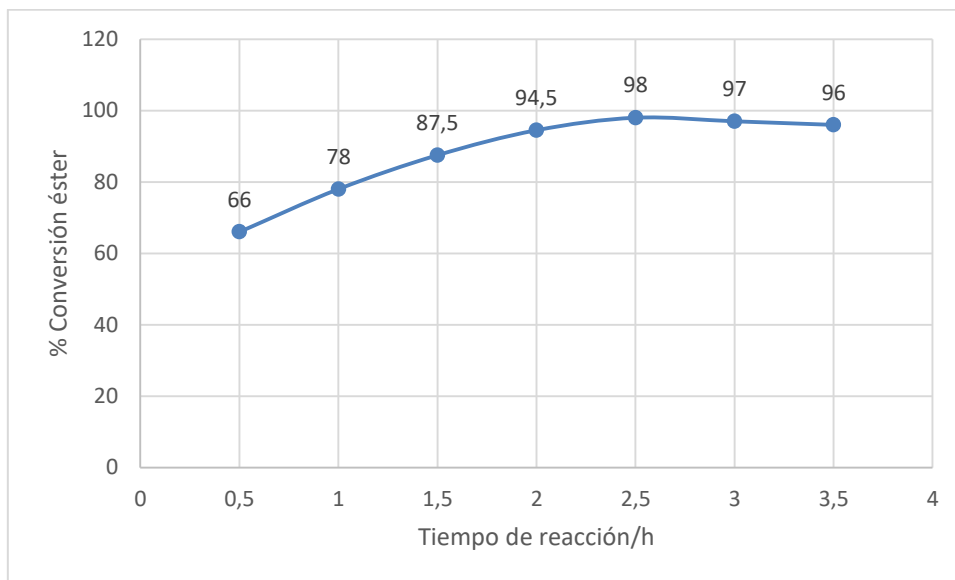


Figura 8.3- Conversión másica vs tiempo de reacción
(Ming, HE, Yang, & Wang, 2011)

Como se observa, cuando la reacción supera el tiempo de 2,5 horas se nota una disminución en la conversión de la misma. Por ende, se toma como tiempo de retención dicho valor al trabajar en forma continua. Con la relación conversión-tiempo, se obtienen los logaritmos de tales valores para con ello dar con la ecuación que representa tal función. En la tabla 8.43 se muestran los datos necesarios para la operación. Calculando la pendiente en cada punto de la gráfica anterior, es decir la tangente; se obtiene el valor de velocidad en cada uno de los mismos, que luego, tomando logaritmo y graficando, podemos dar con el orden de la reacción. Para saber qué número toma la constante de velocidad, se grafica el logaritmo de concentración vs velocidad.

Tabla 8.43 – Análisis diferencial

XA	TIEMPO	CA ₀	CA	log(r)	(-)r	log CA
0,66	0,5	1	0,340	0,12057393	1,32	0
0,78	1,0	1	0,220	-0,6197888	0,24	-0,4685211
0,875	1,5	1	0,125	-0,7212464	0,19	-0,6575773
0,945	2,0	1	0,055	-0,853872	0,14	-0,90309
0,98	2,5	1	0,02	-1,154902	0,07	-1,2596373

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

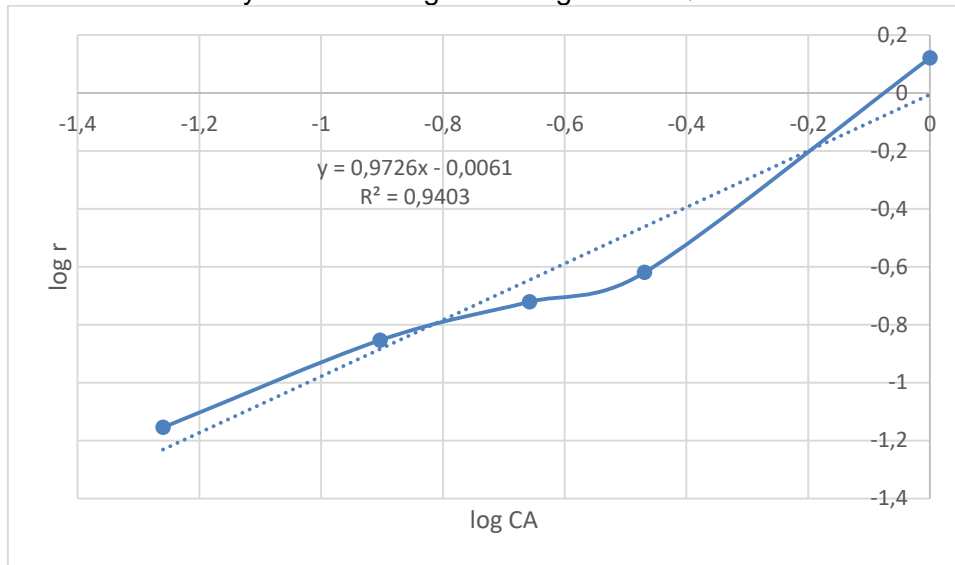


Figura 8.4- Orden de reacción
Elaboración propia

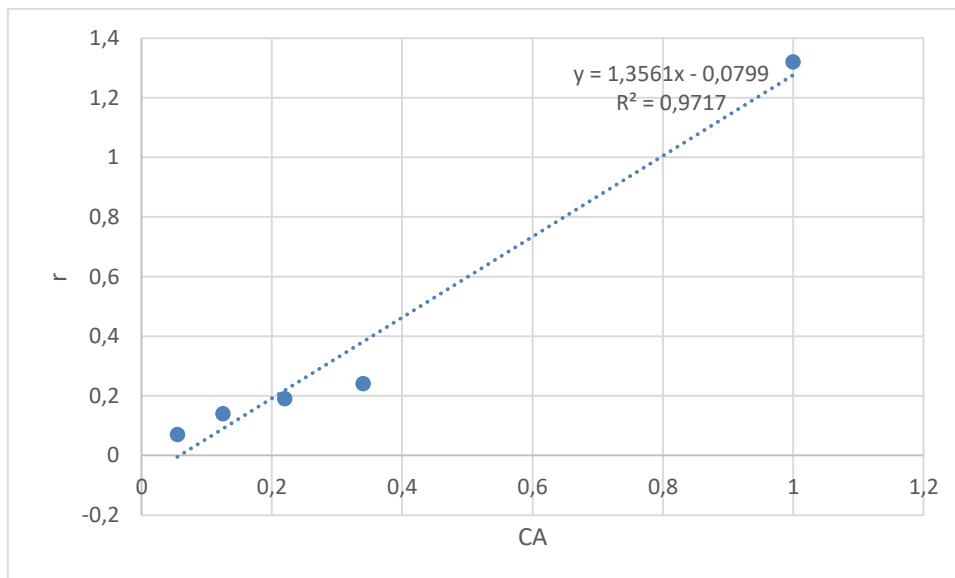


Figura 8.5- Valor de constante cinética

En la figura 8.4 se puede ver que el valor del orden es 0,97 por lo que se toma orden 1; y en la figura 8.5, se puede ver el valor de $k = 1,356 \text{ 1/h}$. En resumen, la expresión de velocidad se define como:

$$r = 1,356 \cdot CA^1 = \frac{kg}{l \cdot h}$$

8.6.5.2 Volumen del reactor

El volumen del equipo se obtiene como:

$$V_R = V_{liq} + 0,2 V_{liq} + V_{H_2}$$

Según: "Plant design and economics for chemical engineers", Peters, Timmerhaus, capítulo 2, tabla 6). Se diseña con un factor de seguridad del 20%.

Teniendo en cuenta que el volumen del líquido es igual a 1,085 m³, se obtiene:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
 $V_R = 0,116 \text{ m}^3$

8.6.4.2 Dimensionamiento del reactor

Se emplean las ecuaciones a continuación. Se establece diseño elíptico para las tapas de fondo y tope.

$$V_R = V_C + 2 V_1$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^3}{24}$$

$$V_C = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L_C}{4}$$

$$L_1 = D/4$$

$$L_T = L_C + 2 \cdot L_1$$

Resultados:

$$D = 0,500 \text{ m}$$

$$L = 0,670 \text{ m}$$

$$L_C = 0,420 \text{ m}$$

$$L_1 = 0,120 \text{ m}$$

$$L_{liq} = 0,495 \text{ m}$$

$$V_1 = 0,016 \text{ m}^3$$

$$V_C = 0,083 \text{ m}^3$$

Estas cantidades se consideran adecuadas porque la relación L/D obtenida, está dentro de las utilizadas en equipos de estas características.

8.6.5.4 Diseño mecánico

Cálculo de espesores de paredes

Al igual que el resto de los reactores, el espesor de las paredes del reactor, se determina según los requisitos expuestos en el código ASME donde como se detalló, para los recipientes sometidos a presión interna, el espesor del material de construcción se calcula según las siguientes ecuaciones (Ronco & Antonello, 2010):

- Carcasa cilíndrica:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0.6 \cdot P}$$

- Fondo y cabeza elipsoidal:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$t = \frac{P.D}{2.S.E - 0.2.P}$$

t = espesor (m)

R = radio del reactor (m)

D = diámetro del reactor (m)

P = presión de diseño (bar)

E = La eficiencia de la soldadura. Se toma E=1.

S = máximo esfuerzo permitido del material (unidad de presión)

Al espesor calculado debe agregarse un margen por corrosión de 0,3175 cm.

El material de construcción elegido es acero al carbono de baja aleación denominado SA – 515 grado 70.

(ASME Boiler and Pressure Vessels Code, 2013)

La presión de diseño será un 10 % superior a la presión de trabajo.

Cálculo del espesor de la carcasa cilíndrica:

R = 0,25 m

E = 1

S = 1206,9 bar para el SA -515 grado 70 hasta 343 °C (Megyesy)

P = (70 bar + $L_{liq} \cdot \rho \cdot G$). 1.1

P = [70 + (1,83 m . 1192,5 kg/m³ . 9,8 m/s).(1/100000)] . 1.1 = 77,51 bar

t = 1,700 cm + 0,3175 cm

t = 2,0175 cm

Cálculo del espesor del fondo y tapa:

D = 0,50 m

P_{tapa} = 77 bar

P_{fondo} = 77,23

t_{tapa} = 0,015 cm + 0,3175 cm = 0,3325 cm

t_{fondo} = 0,016 cm + 0,3175 cm = 0,3335 cm

Se adoptará el mismo espesor que el de la carcasa cilíndrica.

Como se observa se presenta la misma configuración de diseño que R-01 y R-06.

8.6.5.5 Agitación

Siguiendo el mismo esquema que en el resto de los reactores, se establece la potencia necesaria del motor para la transferencia de materia. Se emplea un agitador de 6 palas planas con 4 baffles, se determina el valor de la misma. En primer lugar, se

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
establecen las revoluciones del agitador. De la ecuación planteada por la bibliografía, (Treybal).

$$\frac{N \cdot Da}{\left(\frac{\sigma \cdot g}{\rho_L}\right)^{0.25}} = 1.22 + 1.25 \frac{D}{Da}$$

Donde:

N = velocidad del agitador

σ = Tensión superficial de la solución = 0,0405 N/m

ρ_L = densidad de la solución = 1192,4 kg/m³

g = aceleración de la gravedad = 9,8 m/s²

Se obtiene:

N = 190,8 rpm = 3,18 rps

Se adoptará una velocidad superior, para mejorar la dispersión, y facilitar la transferencia de calor (Ronco & Antonello, 2010). El valor adoptado es:

$$N = 250 \text{ rpm} = 4,167 \text{ rps}$$

Las dimensiones del agitador se dan en función de:

Da = Diámetro del agitador = D/3

W = alto de las aletas = Da/5

L = largo de las aletas = Da/4

E = Distancia al fondo del reactor = Da (para el agitador inferior)

C = Distancia desde el agitador superior al nivel de líquido = Da/2

J = Ancho de las placas deflectoras = D/12

Donde:

Da = 0,167 m

W = 0,033 m

L = 0,042 m

E = 0,167 m

C = 0,083 m

J = 0,042 m

La potencia del motor del agitador se calcula de la siguiente forma:

$$P = \Phi \cdot N^3 \cdot Da^5 \cdot \rho_L$$

Donde:

P = potencia del motor del agitador

Φ = función de potencia (depende del N_{Re})

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$N_{Re} = \text{Número de Reynolds} = \frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho_L}{\mu_L}$$

$$\mu_L = 0,00044 \text{ kg/m.s}$$

$$N_{Re} = 450005,29$$

$\Phi = 4$ (“Operaciones de transferencia de masa”, Treybal, figura 6.5, curva c)

$$P = 63,658 \text{ W} = 0,063 \text{ kW}$$

$$P_{\text{total}} = 1,2 \times 0,063 \text{ kW}$$

$$P_{\text{total}} = 0,076 \text{ kW} = 0,102 \text{ HP}$$

El valor de 0,06365 kW se sobredimensiona en un 20 %, debido al consumo del reductor del motor. Se adopta un motor de 0,25 HP trifásico de marca WEG que posee las siguientes características:

Potencia: 0,25 HP

Frecuencia: 50 Hz

Voltaje nominal: 220/380 V

Temperatura Ambiente: -20°C – +40°C

Momento de inercia: 0,00061 kgm²

Masa aproximada: 8 kg

Se selecciona un reductor para ajustar la velocidad del proceso.

$$\text{Relación de reducción} = i = \frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{agitador}}}$$

$$i = 11,99$$

$$N_{\text{motor}} = 3012,04 \text{ rpm}$$

$$N_{\text{agitador}} = 250 \text{ rpm}$$

De acuerdo a la potencia solicitada. La caja reductora se adopta de la firma LENTAX S.A:

$$i = 11,69$$

$$\text{Velocidad de salida (rpm)} = 117,00$$

$$\text{Modelo} = \text{C3T2 0,33}$$

$$\text{Potencia de entrada (HP)} = 0,33$$

8.7 COLUMNAS

Dentro de esta sección, se encuentran los diseños correspondientes a las torres de intercambio iónico y carbón activado. La principal función de ambas es la de remover impurezas que arrastra la corriente como consecuencia de las reacciones que se van llevando a cabo.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.7.1 Columna de intercambio iónico

La solución filtrada contiene cationes de níquel (Ni^{+2}), debido a disolución del catalizador, y gluconato ($\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_7^-$), generado por una reacción secundaria durante la hidrogenación. Estos iones se eliminan del producto mediante intercambio iónico.

Para la eliminación del Ni^{+2} , se utiliza una resina de intercambio catiónico de ácido fuerte, por ejemplo la resina Dowex G-26 (H).

Como el gluconato proviene de la disociación de un ácido débil, se elimina con una resina aniónica de base fuerte, por ejemplo Dowex Marathon A tipo 1.

Estas resinas se tomarán como referencia para el diseño de las columnas de intercambio iónico (Ronco & Antonello, 2010).

El ciclo de trabajo se compone por las siguientes etapas:

- Servicio: eliminación de los iones presentes en la corriente de proceso.
- Retrolavado: consiste en hacer pasar agua desde la parte inferior del lecho de resina hacia arriba, consiguiendo la expansión del lecho, y con el objetivo de eliminar las partículas de resina más pequeñas que aumentan la pérdida de carga.
- Regeneración: etapa en la cual se regenera la capacidad de intercambio de la resina, haciendo circular una solución de regenerante en la misma dirección del flujo de servicio.
- Enjuague con agua para eliminar el regenerante.

A continuación, se encuentra una tabla con las especificaciones de cada producto según el fabricante. Estos datos son de utilidad a la hora de diseñar el equipo.

Tabla 8.44 – Especificaciones de las resinas adoptadas

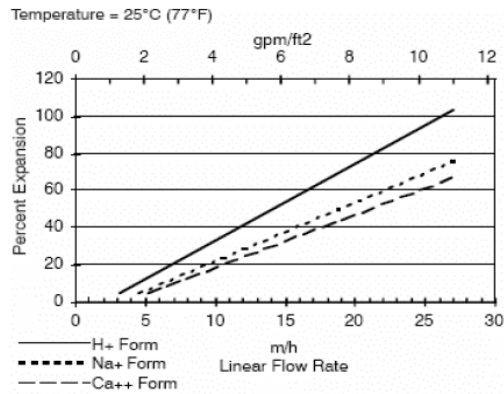
Características de las resinas utilizadas		
Resina	Dowex G-26 (H)	Marathon A Tipo 1
Capacidad de intercambio mínima	2 eq/l	1 eq/l
Hinchamiento durante el servicio	7 %	20 %
Temperatura máxima de operación	130 °C	60 °C
pH de operación	0 - 14	0 - 14
Profundidad mínima del lecho	0.45 m	0.8 m
Regenerante	1 - 10% H_2SO_4 o 4 - 8% HCl	2-5% NaOH
Tiempo de regeneración	30 – 45 min	30 – 45 min
Tiempo de retrolavado	20 min	20 min
Expansión requerida del lecho	60 - 80 %	60 – 80 %
Velocidad de flujo de servicio y enjuague	5 - 150 m/h	5-60 m/h

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Velocidad de flujo de regeneración	1 - 10 m/h	1 - 10 m/h
Agua necesaria de enjuague	3 a 6 volúmenes de lecho	3 a 6 volúmenes de lecho

Las siguientes figuras (8.5 y 8.6) permiten determinar la velocidad de flujo de retrolavado para conseguir una expansión del lecho especificada.



For other temperatures use:

$$F_T = F_{77°F} [1 + 0.008 (T_F - 77)], \text{ where } F \equiv \text{gpm/ft}^2$$

$$F_T = F_{25°C} [1 + 0.008 (1.8T_C - 45)], \text{ where } F \equiv \text{m/h}$$

Figura 8.6 – Expansión del lecho por retrolavado para la resina Dowex G-26 (H)

(Fuente: Información de producto - Dowex G-26 H)

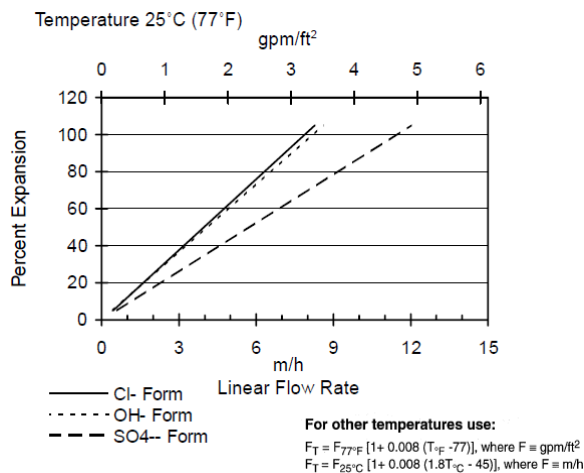


Figura 8.7- Expansión del lecho por retrolavado para la resina Dowex Marathon A tipo 1. (Fuente:

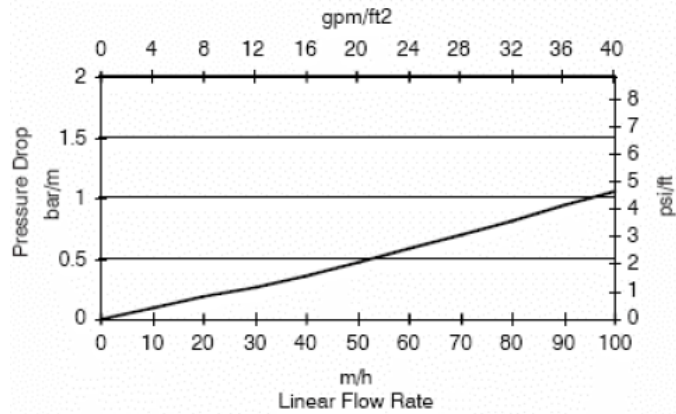
Información de producto – Dowex Marathon A tipo 1)

La pérdida de carga durante el servicio no debe superar 1 bar. La misma se obtiene de las figuras 8.7 y 8.8.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Temperature = 20°C (68°F)



For other temperatures use:

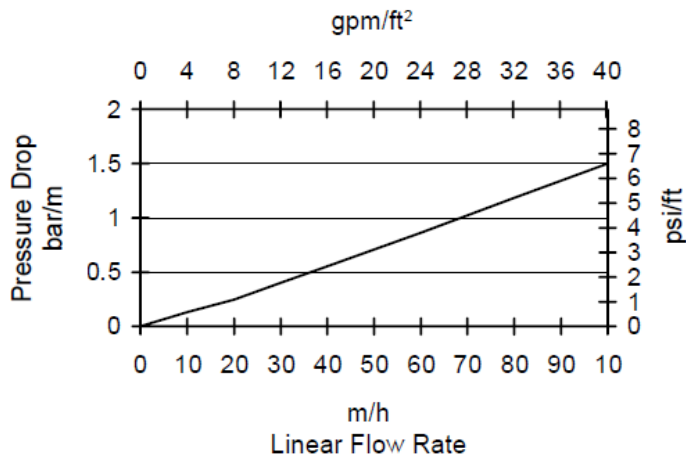
$$P_T = P_{20^\circ\text{C}} / (0.026 T_{\text{C}} + 0.48), \text{ where } P \equiv \text{bar/m}$$

$$P_T = P_{68^\circ\text{F}} / (0.014 T_{\text{F}} + 0.05), \text{ where } P \equiv \text{psi/ft}$$

Figura 8.8 - Pérdida de carga por la resina Dowex G-26 (H)

(Fuente: Información de producto – Dowex G-26 H)

Temperature 25°C (77°F)



For other temperatures use:

$$P_T = P_{25^\circ\text{C}} / (0.026 T_{\text{C}} + 0.48), \text{ where } P \equiv \text{bar/m}$$

$$P_T = P_{77^\circ\text{F}} / (0.014 T_{\text{F}} + 0.05), \text{ where } P \equiv \text{psi/ft}$$

Figura 8.9 - Pérdida de carga por la resina Marathon A tipo 1

(Fuente: Información de producto – Dowex Marathon A tipo 1)

Se sabe que el tiempo de operación de las columnas es de 24 horas, un día a la semana. Cualquiera de los días que la misma no esté operando será válido para la regeneración del equipo. Se establecen los tiempos de cada etapa y con ello se plasma el diseño.

Tiempo de servicio: 24 h

Tiempo de retrolavado: 0,33 h

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tiempo de regeneración: 0,75 h (45 min)

Tiempo de enjuague: 1 h (ver tabla 8.44)

Tiempo total del ciclo: 25,08 h

Tabla 8.45 – Especificaciones del equipo diseñado

	Columna de intercambio catiónica (C-01)	Columna de intercambio aniónica (C-02)
Caudal a tratar (kg/h)	1224,51	1224,36
Carga de iones (eq/l)	0,00421	0,00605
Densidad (kg/m ³) (a 55.6 °C)	1163	1163
Cantidad necesaria de resina (m ³)	$\frac{(1224,51) \cdot (24) \cdot (0,00421)}{(1163) \cdot (2)} = 0,05$ <p style="text-align: center;">$\rho = 1163 \text{ kg/m}^3$</p>	$\frac{(1224,36) \cdot (24) \cdot (0,00605)}{(1163) \cdot (1)} = 0,15$
Altura del lecho (m)	0,71	0,95
Diámetro del lecho (m)	0,30	0,45
Relación L/D para el lecho	2,36	2,11
Hinchamiento durante el servicio (m ³)	$(0,05) \cdot (0,07) = 0,0035$	$(0,15) \cdot (0,2) = 0,03$
Altura del lecho durante el servicio (m)	0,75	1,3
Velocidad de flujo durante el servicio (m/h)	$\frac{(1224,51)}{(1163) \cdot (0,30)^2 \cdot (\pi/4)} = 14,90$ <p style="text-align: center;">(está dentro de los valores requeridos)</p>	$\frac{(1224,36)}{(1163) \cdot (0,45)^2 \cdot (\pi/4)} = 6,62$ <p style="text-align: center;">(está dentro de los valores requeridos)</p>
Altura requerida para el lecho durante la expansión por retrolavado (m)	$(0,75 \text{ m}) \cdot (1 + 0,7) = 1,27$ <p style="text-align: center;">(Se adopta un porcentaje de expansión del 70 %)</p>	$(1,3 \text{ m}) \cdot (1 + 0,7) = 2,21$ <p style="text-align: center;">(Se adopta un porcentaje de expansión del 70 %)</p>

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Velocidad de flujo de agua durante el retrolavado (m/h)	28 (figura 8.5, corregido para la temperatura de operación)	8,7 (figura 8.6, corregido para la temperatura de operación)
Regenerante	HCl al 5 %	NaOH al 4 %
Velocidad de flujo del regenerante (m/h)	5 (adoptado según el rango permitido por el fabricante)	5 (adoptado según el rango permitido por el fabricante)
Cantidad de regenerante necesario (m ³ /regeneración)	$\frac{\pi \cdot (0,30)^2 \cdot (5) \cdot (0,75)}{4} = 0,265$	$\frac{\pi \cdot (0,45)^2 \cdot (5) \cdot (0,75)}{4} = 0,59$
Velocidad del flujo del agua de enjuague (m/h)	9,44 (Igual que en el servicio)	5,31 (Igual que en el servicio)
Cantidad de agua de enjuague (m ³)	0,20 (4 volúmenes de lecho)	0,6 (4 volúmenes de lecho)
Tiempo de enjuague (h)	$\frac{(0,20)}{(9,44) \cdot (0,30)^2 \cdot (\pi/4)} = 0,30$ (Como las dos columnas trabajan en serie se toma el tiempo de la otra para el cálculo del tiempo total del ciclo de operación)	$\frac{(0,6)}{(5,31) \cdot (0,45)^2 \cdot (\pi/4)} = 0,71$
Perdida de carga durante el servicio (el máximo permitido es 1 bar)	0,042 bar (figura 6.5.3, corregido para la temperatura de operación)	0,076 bar (figura 6.5.4, corregido para la temperatura de operación)

8.7.2 Columna de carbón activado

Se decide utilizar este tipo de material para retener impurezas orgánicas que no son más que trazas de material sin reaccionar de todas las reacciones involucradas hasta la conversión de ascorbato de sodio en ácido ascórbico. Por adsorción, el material es capaz de atrapar moléculas de diversos compuestos en sus poros, que establecen una gran área superficial interna. Además, este tipo de material es útil para remover pigmentos, por lo que logra darle un aspecto más claro al producto final.

Para el diseño de la torre, es necesario tener en cuenta la capacidad de absorción de material orgánico por parte del producto. Haciendo uso de la siguiente curva se puede optimizar la columna, la cual representa la adsorción isotérmica específica para el carbón activo. En el eje horizontal se encuentra la concentración, y en el eje vertical la cantidad necesaria de carbón.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

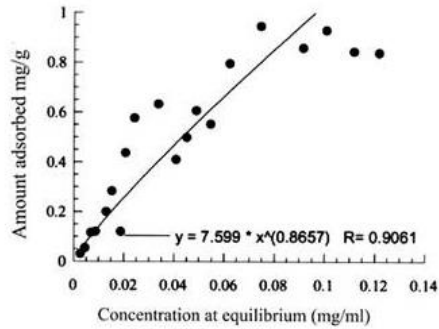


Figura 8.10 – Adsorción isotérmica

Fuente: Lenntech

A partir de los datos correspondientes al balance de masa, se establece que la concentración de impurezas a eliminar es de 2,095 mg/l o kg/m^3 . De esta manera, reemplazando en la ecuación de la gráfica, saco la cantidad absorbida por gramo de carbón activado. El valor resultante es de 14,415 mg/g, lo que se traduce a 174,402 kg de carbón activado a emplear al tener en cuenta la masa de la corriente y la concentración de impurezas.

Si la densidad del carbón es de 500 kg/m^3 . El volumen que ocupa el material granulado es:

$$\text{Volumen carbón} = \frac{174,402 \text{ kg}}{500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,349 \text{ m}^3$$

Tomando un diámetro de 0,50 m, tenemos un área equivalente a $0,196 \text{ m}^2$. Considerando un margen de seguridad del 20%, se obtiene que la altura que presenta el equipo es de 2,132 m.

El tiempo de uso de la columna es de 14 horas continuas.

- Regeneración de la columna

Cada vez que el equipo necesita que el material adsorbente sea regenerado, se necesita agregar un 10% de la masa inicial de carbón. El método más empleado para llevar a cabo esta tarea es la regeneración térmica, debido a su capacidad de retirar material orgánico atrapado en la superficie interna del poro del carbón. Para este proceso se debe tener en cuenta tres pasos los cuales son:

- El paso secante: el carbón activado se debe colocar en un deshidratador a una temperatura aproximada de 30-100°C.
- Paso de calentamiento: la evaporación de las sustancias adsorbidas debe ser 100-800°C.
- Reactivación: Mediante hornos rotativos o camas fluidizadas.

El hecho de que se necesite que la columna opere un tiempo relativamente corto, da lugar a efectuar la reactivación del material.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.8 TAMIZ MOLECULAR

El diseño y construcción de un deshidratador por absorción con tamices moleculares para la obtención de alcohol anhidro se realiza con el objeto de reducir sustancialmente el porcentaje de agua en el etanol, para aumentar su grado alcohólico y poder así reutilizarlo durante la esterificación.

Se calcula la cantidad de zeolita necesaria para absorber el agua y las dimensiones del tamiz con las siguientes ecuaciones:

$$M_{\text{zeolita}} = \frac{M_{\text{solución}} \cdot X_{\text{H}_2\text{O}}}{X_{\text{adsorción}}}$$

$$M_{\text{solución}} = 788,5 \text{ kg}$$

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = 0,028$$

$$X_{\text{adsorción}} = 0,15$$

$$M_{\text{zeolita}} = 147,10 \text{ kg}$$

$$V_{\text{zeolita}} = \frac{M_{\text{zeolita}}}{\rho_{\text{zeolita}}}$$

$$\rho_{\text{zeolita}} = 740 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{zeolita}} = 0,2 \text{ m}^3$$

Se establece un 20% de exceso en el volumen por cuestiones de seguridad y un diámetro de 0,50m.

$$V = V_{\text{zeolita}} \cdot 1,2$$

$$V = 0,24 \text{ m}^3$$

Se calcula la altura con la siguiente ecuación:

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h$$

$$h = 1,22 \text{ m}$$

8.9 BOMBAS

Se necesita una fuerza impulsora para lograr que un fluido se conduzca de un extremo de la cañería a otro. Es por eso que se busca elegir el mejor diseño de una en función de la necesidad de la corriente en cuestión. El tipo más utilizado de bombas es la centrífuga a causa de las ventajas que presenta este diseño en comparación con las bombas de desplazamiento positivo. Principalmente, el modo de operación de este equipo consiste en aumentar la energía mecánica de un fluido para que con ello se logre aumentar la velocidad, presión y elevación del mismo. Los cambios de energía ocurren en virtud de dos partes principales de la bomba, el impulsor y la voluta. El impulsor es la parte que está girando y convierte la energía del motor en energía cinética. La voluta es la parte estacionaria que convierte la energía cinética en energía de presión.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Para el cálculo, se utiliza la ecuación de Bernoulli corregida para tener en cuenta la fricción del fluido:

$$\eta \cdot W_e + \frac{P_a}{\delta} + \frac{g \cdot Z_a}{g_c} + \frac{V_a^2}{2 \cdot g_c} = \frac{P_b}{\delta} + \frac{g \cdot Z_b}{g_c} + \frac{V_b^2}{2 \cdot g_c} + h_f$$

Dónde:

η : rendimiento mecánico de la bomba

W_e : Trabajo de la bomba (para una bomba ideal)

P_a y P_b : Presión sobre el fluido en los puntos de succión y descarga respectivamente

δ : densidad 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

g_c : factor de proporcionalidad de la ley de Newton

Es importante considerar la altura de aspiración neta positiva (NPSH) disponible, para que, en concordancia con la requerida, pueda adoptarse la bomba apropiada, de manera tal que $NPSH_{dis} > NPSH_{req}$.

A continuación, se detallan los datos de las bombas adoptadas:

8.9.1 Bomba P-01

- Bomba que alimenta con jarabe de alta dextrosa al reactor R-01.

Tabla 8.46 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,913	Viscosidad (P)	0,38
Densidad (kg/m ³)	1321	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	18	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Díámetro interior (mm)	56,44		
Velocidad de flujo (m/s)	0,10	Factor de fricción	0,218
Número de Reynolds	294,10	Pérdida de carga h_f (m)	0,08
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	28,4	Accesorios	3 codos 90°
Díámetro interior (mm)	23,8		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Velocidad de flujo (m/s)	0,57	Factor de fricción (f)	0,129
Número de Reynolds	496,18	Pérdida de carga h_F (m)	2,82
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,036		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	2,375 in; 2 in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	1,07 in; 3/4 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	ECOMAT 10		
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable		
Material	AISI 316L, acero inoxidable		
Motor	Trifásico		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120		
Potencia (Hp – kW)	1-0,75		

8.9.2 Bomba P-02

- Bomba que alimenta con agua al reactor R-01.

Tabla 8.47 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1,20	Viscosidad (P)	0,1
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	9,5	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	23,8		
Velocidad de flujo (m/s)	0,75	Factor de fricción	0,03
Número de Reynolds	2142	Pérdida de carga h_F (m)	0,493
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	10,40	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	14,84		
Velocidad de flujo (m/s)	1,93	Factor de fricción (f)	0,025
Número de Reynolds	4452	Pérdida de carga	8,04

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

	h_f (m)
Parámetros obtenidos para la bomba	
Eficiencia	80%
Margen de seguridad, potencia	10%
Potencia (Hp)	0,072
Sistema de tuberías	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	1,05 in; 3/4 in
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,675 in; 3/8 in
Bomba adoptada	
Proveedor	HASA
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HM045
Material	AISI 304, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,4 – 0,3

8.9.3 Bomba P-03

- Bomba que alimenta con NaOH al reactor R-01.

Tabla 8.48 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,022	Viscosidad (P)	0,1
Densidad (kg/m ³)	1090	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	8	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	8,56		
Velocidad de flujo (m/s)	0,104	Factor de fricción	0,229
Número de Reynolds	279,11	Pérdida de carga h_f (m)	0,981
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	12,40	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	8,56		
Velocidad de flujo (m/s)	0,104	Factor de fricción (f)	0,057
Número de Reynolds	1119,61	Pérdida de carga h_f (m)	6,08
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad,	10%		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

potencia	
Potencia (Hp)	0,001
Sistema de tuberías	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	0,405 in; 1/8 in
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,405 in; 1/8 in
Bomba adoptada	
Proveedor	HASA
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HM045
Material	AISI 304, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,4 – 0,3

8.9.4 Bomba P-04

- Bomba que alimenta al filtro con el producto proveniente de R-01.

Tabla 8.49 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1,073	Viscosidad (P)	0,076
Densidad (kg/m ³)	1177	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	11	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	23,80		
Velocidad de flujo (m/s)	0,678	Factor de fricción	0,041
Número de Reynolds	3317,28	Pérdida de carga h _f (m)	0,783
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	14	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	11,48		
Velocidad de flujo (m/s)	2,879	Factor de fricción (f)	0,031
Número de Reynolds	5333,68	Pérdida de carga h _f (m)	17,34
Perdida de carga por diferencias de presión			
h _f (m)	24,06		
Perdida de carga total			
h _f (m)	42,19		
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Margen de seguridad, potencia	10%
Potencia (Hp)	0,263
Sistema de tuberías	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	0,405 in; 1/8 in
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,405 in; 1/8 in
Bomba adoptada	
Proveedor	HASA
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. ECO-MAT 7.5
Material	AISI 316L, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,75-0,55

8.9.5 Bomba P-05

- Bomba que alimenta al evaporador con solución diluida de sorbitol

Tabla 8.50 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,683	Viscosidad (P)	0,189
Densidad (kg/m ³)	1225	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	11	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	23,80		
Velocidad de flujo (m/s)	0,427	Factor de fricción	0,069
Número de Reynolds	925,55	Pérdida de carga h _f (m)	0,587
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	29	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	11,48		
Velocidad de flujo (m/s)	1,83	Factor de fricción (f)	0,043
Número de Reynolds	1488	Pérdida de carga h _f (m)	22,15
Pérdida de carga por diferencias de presión			
h _f (m)	1,46		
Pérdida de carga total			
h _f (m)	24,20		
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Margen de seguridad, potencia	10%
Potencia (Hp)	0,13
Sistema de tuberías	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	1,315 in; 1 in
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,540 in; 1/4 in
Bomba adoptada	
Proveedor	HASA
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. ECO-MAT 7.5
Material	AISI 316L, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,75-0,55

8.9.6 Bomba P-06

- Bomba dosificadora de sorbitol al 70% para el medio de cultivo

Tabla 8.51 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,111	Viscosidad (P)	0,4
Densidad (kg/m ³)	1260	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	8	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	11,48		
Velocidad de flujo (m/s)	0,297	Factor de fricción	0,59
Número de Reynolds	108,48	Pérdida de carga h _F (m)	0,587
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	9,1	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	8,56		
Velocidad de flujo (m/s)	0,536	Factor de fricción (f)	0,198
Número de Reynolds	323,53	Pérdida de carga h _F (m)	22,15
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,015		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Sistema de tuberías	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	0,540 in; 1/4 in
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,405 in; 1/8 in
Bomba adoptada	
Proveedor	HASA
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. ECO-MAT 7.5
Material	AISI 316L, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,75-0,55

8.9.7 Bomba P-07

- Bomba dosificadora de medio de cultivo al esterilizador

Tabla 8.52 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1,516	Viscosidad (P)	0,189
Densidad (kg/m ³)	920	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	9	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	23,80		
Velocidad de flujo (m/s)	0,947	Factor de fricción	0,061
Número de Reynolds	1043	Pérdida de carga h _F (m)	0,959
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	14,75	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	14,84		
Velocidad de flujo (m/s)	2,435	Factor de fricción (f)	0,03
Número de Reynolds	2167	Pérdida de carga h _F (m)	13,47
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,125		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Diámetro exterior y nominal tubería de succión	1,050 in; 3/4 in
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,675 in; 3/8 in
Bomba adoptada	
Proveedor	VERDEFLEX
Tipo y código del equipo	Verdeflex rollit 30 hygienic
Material	AISI 316L, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,49-0,37
Caudal volumétrico máximo (m ³ /h)	2,68

8.9.8 Bomba P-08

- Bomba dosificadora de inoculo al esterilizador

Tabla 8.53 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,019	Viscosidad (P)	0,189
Densidad (kg/m ³)	1011	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	9	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	8,56		
Velocidad de flujo (m/s)	0,09	Factor de fricción	0,28
Número de Reynolds	228,94	Pérdida de carga h _F (m)	0,959
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	14,75	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	8,56		
Velocidad de flujo (m/s)	0,09	Factor de fricción (f)	0,093
Número de Reynolds	686,83	Pérdida de carga h _F (m)	13,47
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,002		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316L		
Diámetro exterior y	0,405 in; 1/8 in		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

nominal tubería de succión	
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,405 in; 1/8 in
Bomba adoptada	
Proveedor	VERDEFLEX
Tipo y código del equipo	Verdeflex rapid R2S
Material	AISI 316L, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,49-0,37
Caudal volumétrico máximo (m ³ /h)	0,0225

8.9.9 Bomba P-09

- Bomba que alimenta al segundo esterilizador con la sorbosa generada

Tabla 8.54 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1,527	Viscosidad (P)	0,15
Densidad (kg/m ³)	1011	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	19	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	44,58		
Velocidad de flujo (m/s)	0,272	Factor de fricción	0,071
Número de Reynolds	901,40	Pérdida de carga h _F (m)	0,139
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	16,25	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	23,8		
Velocidad de flujo (m/s)	0,953	Factor de fricción (f)	0,033
Número de Reynolds	1925	Pérdida de carga h _F (m)	1,667
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,092		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316L		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	1,90 in; 1 1/2 in		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	1,050 in; 3/4 in
Bomba adoptada	
Proveedor	VERDEFLEX
Tipo y código del equipo	Verdeflex rollit 30 hygienic
Material	AISI 316L, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,49-0,37
Caudal volumétrico máximo (m ³ /h)	2,68

8.9.10 Bomba P-10

- Bomba que alimenta al segundo esterilizador con medio de cultivo

Tabla 8.55 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2,67	Viscosidad (P)	0,15
Densidad (kg/m ³)	1052	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	18	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	38,6		
Velocidad de flujo (m/s)	0,634	Factor de fricción	0,026
Número de Reynolds	2436	Pérdida de carga h _F (m)	0,506
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	16,25	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	18,57		
Velocidad de flujo (m/s)	2,741	Factor de fricción (f)	0,020
Número de Reynolds	3907	Pérdida de carga h _F (m)	7,29
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,187		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316L		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	1,660 in; 1 1/4 in		
Diámetro exterior y	0,840 in; 1/2 in		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

nominal tubería de expulsión	
Bomba adoptada	
Proveedor	VERDEFLEX
Tipo y código del equipo	Verdeflex rollit 30 hygienic
Material	AISI 316L, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,49-0,37
Caudal volumétrico máximo (m ³ /h)	2,68

8.9.11 Bomba P-11

- Bomba que alimenta al segundo esterilizador con inoculo

Tabla 8.56 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,126	Viscosidad (P)	0,15
Densidad (kg/m ³)	1052	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	4,50	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	12,19		
Velocidad de flujo (m/s)	0,339	Factor de fricción	0,045
Número de Reynolds	1433	Pérdida de carga h _F (m)	0,08
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	16,50	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	6,098		
Velocidad de flujo (m/s)	0,609	Factor de fricción (f)	0,015
Número de Reynolds	4274	Pérdida de carga h _F (m)	4,953
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,013		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316L		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	1,660 in; 1 1/4 in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,840 in; 1/2 in		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Bomba adoptada	
Proveedor	HASA
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HMO45
Material	AISI 304L, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,30-0,22

8.9.12 Bomba P-12

- Bomba que impulsa corriente de salida de R-05

Tabla 8.57 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2,76	Viscosidad (P)	0,025
Densidad (kg/m ³)	1052	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	26	Accesorios	2 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	80,79		
Velocidad de flujo (m/s)	0,14	Factor de fricción	0,038
Número de Reynolds	5206,52	Pérdida de carga h _F (m)	0,14
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	25,83	Accesorios	2 codos 90°
Diámetro interior (mm)	40,39		
Velocidad de flujo (m/s)	0,65	Factor de fricción (f)	0,03
Número de Reynolds	9637,68	Pérdida de carga h _F (m)	0,39
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,33		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	3,5 in; 3 in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	1,660 in; 1 ¼ in		
Bomba adoptada			
Proveedor	HASA		
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HMO45 T		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Material	AISI 304, acero inoxidable
Motor	Trifásico
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120
Potencia (Hp – kW)	0,4 – 0,3

8.9.13 Bomba P-13

- Bomba que impulsa salida de E-02

Tabla 8.58 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,076	Viscosidad (P)	0,06
Densidad (kg/m ³)	1757	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	3,5	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	14,84		
Velocidad de flujo (m/s)	0,12	Factor de fricción	0,041
Número de Reynolds	656,77	Pérdida de carga h _F (m)	0,026
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	6,44	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	8,56		
Velocidad de flujo (m/s)	0,36	Factor de fricción (f)	0,032
Número de Reynolds	1515,35	Pérdida de carga h _F (m)	0,583
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,004		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	0,675 in; 3/8 in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,405 in; 1/8 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	HASA		
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HMO45 T		
Material	AISI 304, acero inoxidable		
Motor	Trifásico		
Rango de	-10 a 120		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

temperatura de trabajo (°C)	
Potencia (Hp – kW)	0,4 – 0,3

8.9.14 Bomba P-14

- Bomba que alimenta metanol fresco a I-07

Tabla 8.59 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,026	Viscosidad (P)	0,005
Densidad (kg/m ³)	792	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	9	Accesorios	2 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	8,56		
Velocidad de flujo (m/s)	0,123	Factor de fricción	0,031
Número de Reynolds	2033,85	Pérdida de carga h _F (m)	0,038
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	15,3	Accesorios	2 codos 90°
Diámetro interior (mm)	8,56		
Velocidad de flujo (m/s)	0,123	Factor de fricción (f)	0,031
Número de Reynolds	8135,42	Pérdida de carga h _F (m)	1,017
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,001		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	0,405 in; 1/8 in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,405 in; 1/8 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	HASA		
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HMO45 T		
Material	AISI 304, acero inoxidable		
Motor	Trifásico		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120		
Potencia (Hp – kW)	0,4 – 0,3		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.9.15 Bomba P-15

- Bomba que alimenta a filtro F-03

Tabla 8.60 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,538	Viscosidad (P)	0,018
Densidad (kg/m ³)	1756	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	7	Accesorios	1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	38,60		
Velocidad de flujo (m/s)	0,128	Factor de fricción	0,035
Número de Reynolds	5693,30	Pérdida de carga h _F (m)	0,007
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	39,270	Accesorios	6 codos 90°
Diámetro interior (mm)	18,470		
Velocidad de flujo (m/s)	0,558	Factor de fricción (f)	0,029
Número de Reynolds	10893,89	Pérdida de carga h _F (m)	1,132
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,176		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	1,660 in; 1 ¼ in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,840 in; ½ in		
Bomba adoptada			
Proveedor	HASA		
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HMO45 T		
Material	AISI 304, acero inoxidable		
Motor	Trifásico		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120		
Potencia (Hp – kW)	0,4 – 0,3		

8.9.16 Bomba P-16

- Bomba que alimenta corriente a tamiz molecular TA-01

Tabla 8.61 – Especificaciones del equipo diseñado

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,995	Viscosidad (P)	0,005
Densidad (kg/m ³)	792	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	13,80	Accesorios	2 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	56,42		
Velocidad de flujo (m/s)	0,111	Factor de fricción	0,028
Número de Reynolds	12964,58	Pérdida de carga h _F (m)	0,008
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	29,87	Accesorios	2 codos 90°
Diámetro interior (mm)	23,80		
Velocidad de flujo (m/s)	0,621	Factor de fricción (f)	0,026
Número de Reynolds	21875,74	Pérdida de carga h _F (m)	0,599
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,087		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	2,375 in; 2 in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	1,050 in; 3/4 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	HASA		
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HMO45 T		
Material	AISI 304, acero inoxidable		
Motor	Trifásico		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120		
Potencia (Hp – kW)	0,4 – 0,3		

8.9.17 Bomba P-17

- Bomba que alimenta a R-07

Tabla 8.62 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,075	Viscosidad (P)	0,063
Densidad (kg/m ³)	1757	Presión (atm)	1

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Lado de aspiración			
Longitud total (m)	5	Accesorios	2 codos 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	14,84		
Velocidad de flujo (m/s)	0,123	Factor de fricción	0,103
Número de Reynolds	619,361	Pérdida de carga h_f (m)	0,034
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	22,60	Accesorios	3 codos 90°
Diámetro interior (mm)	8,56		
Velocidad de flujo (m/s)	0,123	Factor de fricción (f)	0,029
Número de Reynolds	1429,039	Pérdida de carga h_f (m)	1,822
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,023		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	0,675 in; 3/4 in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,405 in; 3/8 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	HASA		
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. ECO-MAT 7.5		
Material	AISI 316L, acero inoxidable		
Motor	Trifásico		
Temperatura máxima (°C)	100		
Potencia (Hp – kW)	0,75 – 0,55		
Viscosidad (cPs)	350		
Aspiración máxima (m)	6		

8.9.18 Bomba P-18

- Bomba que alimenta a I-09

Tabla 8.63 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,086	Viscosidad (P)	0,053
Densidad (kg/m ³)	1757	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	3	Accesorios	2 codos 90°

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Diámetro interior (mm)	14,299		1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,139	Factor de fricción	0,103
Número de Reynolds	737,801	Pérdida de carga h_f (m)	0,035
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	25,60	Accesorios	6 codos 90°
Diámetro interior (mm)	7,133		
Velocidad de flujo (m/s)	0,417	Factor de fricción (f)	0,029
Número de Reynolds	1702,311	Pérdida de carga h_f (m)	2,458
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,028		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	0,675 in; 3/4 in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,405 in; 3/8 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	HASA		
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HMO45 T		
Material	AISI 304, acero inoxidable		
Motor	Trifásico		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120		
Potencia (Hp – kW)	0,4 – 0,3		

8.9.19 Bomba P-19

- Bomba que alimenta a E-03

Tabla 8.64 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,092	Viscosidad (P)	0,029
Densidad (kg/m ³)	1650	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	2	Accesorios	1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	14,840		
Velocidad de flujo	0,148	Factor de fricción	0,103

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

(m/s)			
Número de Reynolds	960,989	Pérdida de carga h_F (m)	0,005
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	6,83	Accesorios	2 codos 90°
Diámetro interior (mm)	8,560		
Velocidad de flujo (m/s)	0,444	Factor de fricción (f)	0,029
Número de Reynolds	2217,268	Pérdida de carga h_F (m)	0,425
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,003		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	0,675 in; 3/8 in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	0,405 in; 1/8 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	HASA		
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HMO45 T		
Material	AISI 304, acero inoxidable		
Motor	Trifásico		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120		
Potencia (Hp – kW)	0,4 – 0,3		

8.9.20 Bomba P-20

- Bomba que alimenta a C-02

Tabla 8.65 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,099	Viscosidad (P)	0,005
Densidad (kg/m ³)	1650	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	14	Accesorios	1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	56,42		
Velocidad de flujo (m/s)	0,111	Factor de fricción	0,029
Número de Reynolds	2536,594	Pérdida de carga h_F (m)	0,009
Lado de impulsión			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Longitud total (m)	30,50	Accesorios	2 codos 90°
Diámetro interior (mm)	23,80		
Velocidad de flujo (m/s)	0,622	Factor de fricción (f)	0,032
Número de Reynolds	4280,109	Pérdida de carga h_f (m)	0,682
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	80%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	0,178		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal tubería de succión	2,375 in; 2 in		
Diámetro exterior y nominal tubería de expulsión	1,050 in; 3/4 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	HASA		
Tipo y código del equipo	Electrobombas centrífugas multicelulares en acero inoxidable. 3HMO45 T		
Material	AISI 304, acero inoxidable		
Motor	Trifásico		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 120		
Potencia (Hp – kW)	0,4 – 0,3		

8.10 TORRE DE DESTILACIÓN

En este equipo existe una separación de los componentes de una corriente líquida al considerar la diferencia de puntos de ebullición que posee cada uno o la existencia de distintos valores de presión de vapor. En principio, el líquido que llega al calderín es vaporizado parcialmente y asciende a la columna, mientras que el resto es retirado como producto de fondo. El vapor que asciende es condensado cuando llega al tope y de allí, una parte se extrae como producto destilado y el resto se introduce nuevamente en la columna, hablando de relación de reflujo. En el interior del equipo, se busca que se genere un buen contacto entre la fase gas y la fase líquida. Esto se puede lograr empleando platos o relleno en su interior. Las columnas de platos son el tipo más común empleado en la industria, debido a las ventajas que poseen intervalos de operación más amplios que el tipo en comparación. En función a esto, se establece el diseño de una torre de platos para esta etapa del proyecto haciendo uso del simulador comercial CHEMCAD 6.1. A continuación se detallan los resultados.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.66 – Especificaciones del equipo diseñado

Datos generales de la columna	
Número de etapas	20
Plato de alimentación	9
Relación de reflujo	0,1000
Diámetro de la columna (m)	0,4576
Espacio entre platos (m)	0,6096
Caída de presión (atm)	0,0920
Número de secciones	1
Eficiencia (%)	85
Flood (%)	65
Material	Acero al carbono
Platos	
Tipo de platos	Platos de válvulas
Material	Acero al carbono

Como se observa en la tabla 8.66 el plato elegido para este equipo es tipo válvula. Las perforaciones en un plato de válvulas se cubren con capuchones que se elevan cuando el gas sube a través de las perforaciones, cayendo a su lugar para tapar la perforación cuando el flujo de gas disminuye. Las válvulas dirigen al gas en sentido horizontal hacia el líquido, con lo cual se obtiene un mayor mezclado que en los platos de malla, en donde el gas pasa directamente hacia arriba a través del líquido. En la figura 8.8 se visualiza un esquema de este tipo de plato.



Figura 8.11 – Platos tipo válvulas

La empresa FLEXITRAY, posee una amplia variedad de este tipo de plato, en función con las necesidades del ingeniero. En este caso puntual, se adoptan válvulas tipo A de características estándares para bajos valores de caída de presión y alta eficiencia. Se ve en la figura 8.8.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

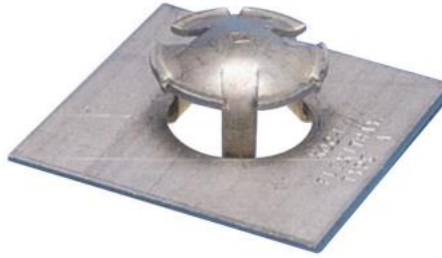


Figura 8.12 - Válvula

El condensador y rehervidor se diseñan de la misma manera que los intercambiadores de casco y tubo de la sección de este capítulo 8.4 Intercambiadores de calor.

8.11 MEMBRANA BIPOLAR

El aspecto básico de la electrodiálisis con membranas bipolares es la combinación de la electrodiálisis para la separación de sales con la disociación del agua de electrodiálisis para la conversión de una sal en su correspondiente ácido y base. Las membranas bipolares mejoran la separación del agua en protones e iones de hidróxido.

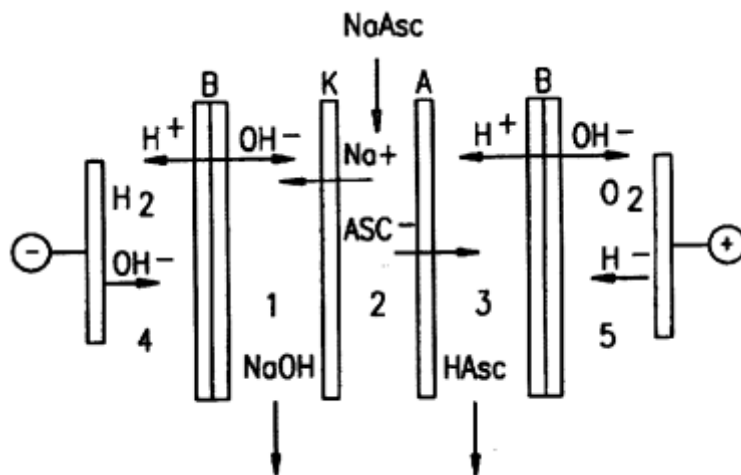


Figura 8.13 – funcionamiento de membrana bipolar

El proveedor del cual se adopta la membrana dipolar es SUEZ. Las características generales de la membrana son:

- Baja resistencia eléctrica
- Elevada permeabilidad selectiva
- Estructura fuerte y alta resistencia al estallido
- Excelente estabilidad a largo plazo hasta 70°C
- Resistencia a largo plazo a soluciones acuosas ácidas
- Alta estabilidad dimensional
- Alta resistencia a la incrustación de materiales orgánicos

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.12 TORRE DE SECADO

Se elige emplear este tipo de equipo para terminar de concentrar la solución de ácido ascórbico por su ventaja de alto rendimiento en tiempos relativamente cortos. Durante el secado, se pulveriza la solución o suspensión en una corriente de aire caliente que deshidrata fácilmente dejando un polvo. Además de remover agua, los secadores son capaz de remover hasta un 3% en peso de la corriente de alcoholes. A continuación, se establece el equipo que se adopta para el proceso.

Tabla 8.67 – Especificaciones del equipo diseñado

Diseño	
Dimensiones, m	6 x 6 Alt. 8,50
Material	Acero inoxidable
Marca	RyR térmica S.A
Modelo	3530
Modo de operación	Continuo

En la figura 8.11 se observa el diseño del equipo y sus especificaciones

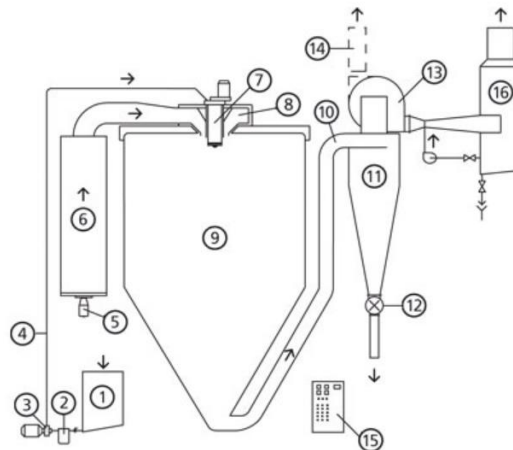


Figura 8.14 – Esquema de torre de secado

- 1) Tanque de alimentación.
- 2) Filtro de producto.
- 3) Bomba dosificadora.
- 4) Conjuntos de cañerías, válvulas y accesorios
- 5) Quemador completo.
- 6) Generador de gases calientes directo
- 7) Atomizador completo.
- 8) Dispersor de aire caliente con puerta y mirillas
- 9) Cámara de secado
- 10) Conductos de interconexión.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

11) Ciclón de salida de producto.

12) Válvula rotativa.

13) Ventilador de aspiración.

14) Chimenea.

15) Tablero de control y comando.

16) Lavador de gases efluentes

Según las especificaciones proporcionadas por la empresa RyR térmica; para el modelo en cuestión, la secadora consume 30 kW/h de energía eléctrica y posee un consumo de combustible de 80000 kcal/h. Si se considera el consumo de gas natural anual del equipo al operar 14 horas a la semana, durante 350 días laborables; se obtiene que se necesitan $5,6 \cdot 10^7$ kcal/año. De igual manera, se requieren $2,4 \cdot 10^4$ kW/año.

CAPÍTULO 9:

SERVICIOS AUXILIARES

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

9. SERVICIOS AUXILIARES

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, vapor de agua, gas natural, vacío, aire comprimido y electricidad.

9.2 AGUA DE POZO

El agua utilizada en el Parque Industrial de Junín proviene de perforaciones subterráneas: se utilizan equipos de bombeo e impulsión, y posee una red de distribución interna. El predio cuenta, por lo tanto, con red de agua potable. Este servicio se utiliza para proveer de agua corriente a las oficinas, el laboratorio, los baños, los vestidores y el comedor. Para el 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 ácido ascórbico, el agua es el componente principal del medio de cultivo de ambas fermentaciones, se utiliza también en otras etapas. En la tabla 9.1 se detallan los consumos diarios de cada equipo y el consumo diario total.

Tabla 9.1 – Consumos diarios de agua por etapa

Etapa	Consumo de agua (m ³ /día)
Hidrogenación	283,95
Primera fermentación	240,69
Segunda fermentación	2287,72
Esterificación	149,94
Lactonización	10,79
Purificación	81,54
Total	3054,65

En el proceso de producción de la vitamina C 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 recircula en el proceso, y solo es requerida una cantidad mínima adicional para reponer eventuales pérdidas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

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:

- a) Tiempo de duración del ciclo de limpieza
- b) Agente de limpieza utilizado y concentración
- c) Temperatura, ya que a mayor temperatura la limpieza es más rápida
- d) Caudal de paso de la disolución de limpieza a través de la tubería o equipo a limpiar
- e) 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 a seguir para efectuar la limpieza son los siguientes:

1. Aclarado inicial con agua recuperada
2. Fase alcalina
3. Aclarado intermedio
4. Fase ácida
5. 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, bastará con utilizar una solución álcali para realizar la limpieza. Se utiliza NaOH, que presenta alta 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). Las esferas contienen una determinada cantidad de orificios de

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

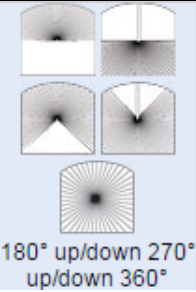
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

cierto diámetro, uniformemente distribuidos. Para los reactores, fermentadores, prefermentadores y tanques pulmón se adoptan boquillas TankJet® 28500 (figura 9.1), ideales para utilizar en la industria farmacéutica. En la tabla 9.2 se detallan las características operacionales.



Figura 9.1 – Boquillas TankJet

Tabla 9.2 – Características de la boquilla

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
Cobertura del spray	 <p style="text-align: center; font-size: small;">180° up/down 270° up/down 360°</p>
Cantidad	11

El programa de lavado seleccionado para los prefermentadores y fermentadores se debe ajustar al tiempo disponible para la limpieza. Dado que se debe realizar también la esterilización in situ.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

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 – CIP fermentación

Programa de lavado CIP fermentación					
<i>Etapas</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Volumen (l)</i>			
		<i>R-02</i>	<i>R-03</i>	<i>R-04</i>	<i>R-05</i>
Aclarado inicial: con agua recuperada del lavado anterior	15	200	2000	5000	500
Fase alcalina: con NaOH al 1,5%	30	250	2500	5500	550
Aclarado final: con agua limpia	15	200	2000	5000	500
TOTAL	60	650	6500	15500	1550

La presión a la salida de las boquillas debe ser de 1,5 bar. El volumen total de agua a utilizar diariamente en estas etapas es aproximadamente 24090 l, de los cuales 7700 l se retornan al tanque (la del aclarado final) para ser utilizados nuevamente en el ciclo de lavado posterior y 16390 l se deben reponer diariamente.

En cuanto al programa de lavado de los demás equipos se detalla en la tabla 9.4.

Tabla 9.4 – CIP para equipos

Programa de lavado CIP otros equipos						
<i>Equipo</i>	<i>Aclarado inicial</i>		<i>Fase alcalina</i>		<i>Aclarado final</i>	
	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Volumen (l)</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Volumen (l)</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Volumen (l)</i>
C-01/C-02	5	50	10	100	5	50
D-01	5	100	10	200	5	100
E-01/E-02/E-03	2	150	4	300	2	150
F-01/F-01/F-03	2	100	4	200	2	100
I-01/I-02/I-03/I-04/I-05	2	150	4	300	2	150
I-06/I-07/I-08/I-09/I-	2	100	4	200	2	100

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

10						
ME-01	2	50	4	100	2	50
R-01/R-05/R-06/R-07	10	500	20	1000	10	500
TA-01	5	100	10	200	5	100
TOTAL		1300		2600		1300

La cantidad total de agua por día necesaria para limpieza CIP, teniendo en cuenta todos los equipos, es de 29290 l aproximadamente, debiendo reponer al día 20290 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 9000 l, para la fase alcalina es de 11400 l y para el aclarado final es de 9000 l.

En la tabla 9.5 se detallan las dimensiones que deben tener los mismos, considerando la máxima capacidad y un sobredimensionamiento de 12%.

Tabla 9.5 – Dimensiones de los tanques

Dimensiones de los tanques para CIP			
<i>Dimensiones</i>	<i>Agua recuperada</i>	<i>Solución de NaOH</i>	<i>Agua fresca</i>
Volumen total (m ³)	9	11,4	9
Diámetro (m)	1,5	2,0	1,5
Altura (m)	5,1	3,6	5,1
Material	SS304		
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.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

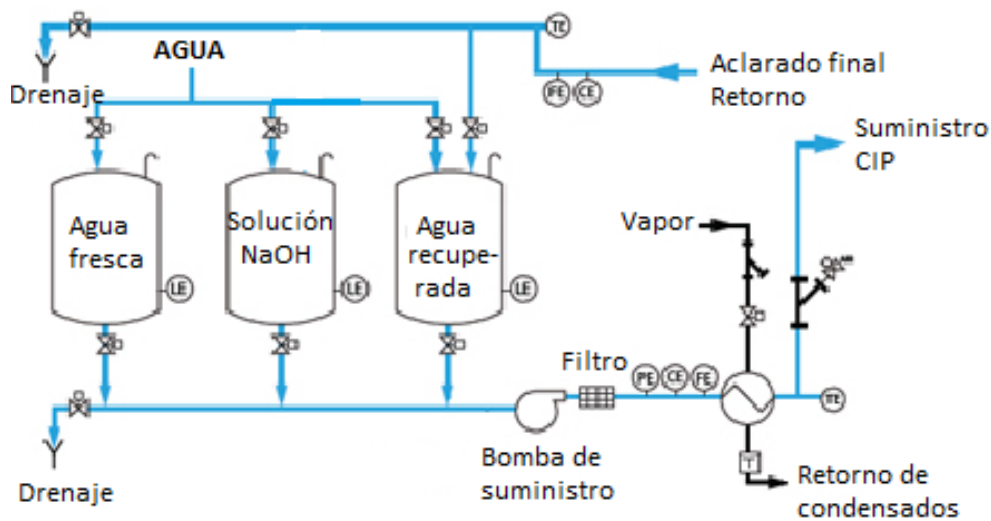


Figura 9.2 – Sistema general de limpieza CIP

9.2.3 Tanque de almacenamiento de agua

Se determina realizar un tanque de almacenamiento de 50 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 – Tanque de almacenamiento de agua

Características tanque de almacenamiento de agua	
Proveedor	V.M. Acero S.R.L.
Material	Acero inoxidable SS304
Volumen total (m ³)	50
Diámetro (m)	3,9
Altura (m)	3,9

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).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

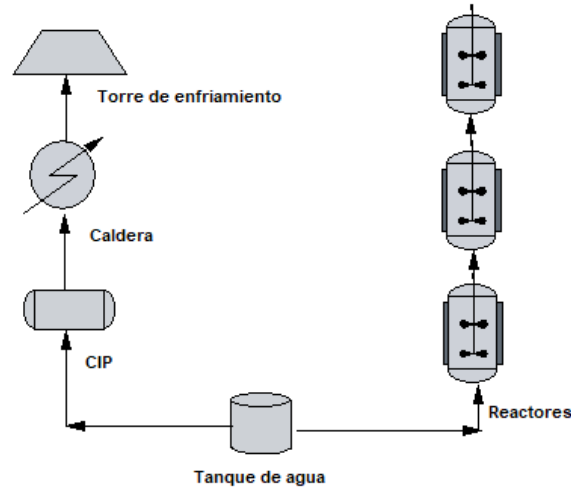


Figura 9.3 – Distribución de agua

9.3 VAPOR DE AGUA

El vapor se utiliza en el proceso para lograr la inocuidad del producto, en las etapas de pasteurización y esterilización (tanto del medio de cultivo como de los equipos), y para la concentración de la solución que contiene la vitamina en el cristizador. Este consiste en vapor sobrecalentado a 3,5 atmósferas de presión y 150 °C. La conducción del vapor se realiza en cañerías de 4 in de diámetro con lana mineral de 2 in.

9.3.1 Adopción de la caldera

La caldera se adopta en base a los requerimientos de vapor y presión necesarios. Las más usadas industrialmente son las humotubulares que, a diferencia de las acuotubulares, tienen una mayor eficiencia y su mantenimiento resulta más sencillo. Las calderas acuotubulares se utilizan cuando se necesitan presiones por encima de las 22 atm. Cabe señalar que las exigencias de la calidad del agua de alimentación suelen ser superiores a las requeridas por otras calderas.

La cantidad de vapor consumido en cada etapa se puede apreciar en la tabla 9.7.

Tabla 9.7 – Consumo de vapor por etapa

Consumo de vapor estimado	
Etapas	Consumo (kg/h)
Hidrogenación	1097,38
Primera fermentación	151,93
Segunda fermentación	3753,79
Destilación	45,44
Purificación	86,23
Total	5134,77

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Las kilocalorías necesarias, durante el consumo máximo de vapor, para llevar la temperatura del agua de retorno desde 133 °C hasta 150 °C y luego transformarlo en vapor sobrecalentado, son 984643,44 kcal/día. Este valor se da en el caso en que todos los equipos se encuentran utilizando vapor al mismo tiempo. Estos datos son los que se tienen en cuenta para la adopción de la caldera.

Finalmente, la caldera que se adopta es modelo HC-HF62 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 carga 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 de gases totalmente refrigerada, sin partes refractarias. Para las tareas de inspección y limpieza dispone de bocas, puertas delanteras giratorias y posteriores desarmables. Se la puede observar en la figura 9.4 y en la tabla 9.8 se pueden apreciar las características de la misma.



Figura 9.4 – Caldera HC-HF62

Tabla 9.8 – Especificaciones de la caldera adoptada

Características de la caldera adoptada	
Fabricante	Fontanet S. A.
Modelo	HC-HF62
Tipo	Humotubular con tres pasos, fondo húmedo
Material de construcción	Según códigos europeos y americano
Producción de vapor máxima (kg/h)	6800
Capacidad térmica máxima (kcal/h)	648000

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Superficie de calefacción (m ²)	30
Presión máxima de trabajo(atm)	7,74
Presión de trabajo (atm)	3,5
Largo total (m)	6,25
Ancho total (m)	3,60
Alto total (m)	3,10

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.

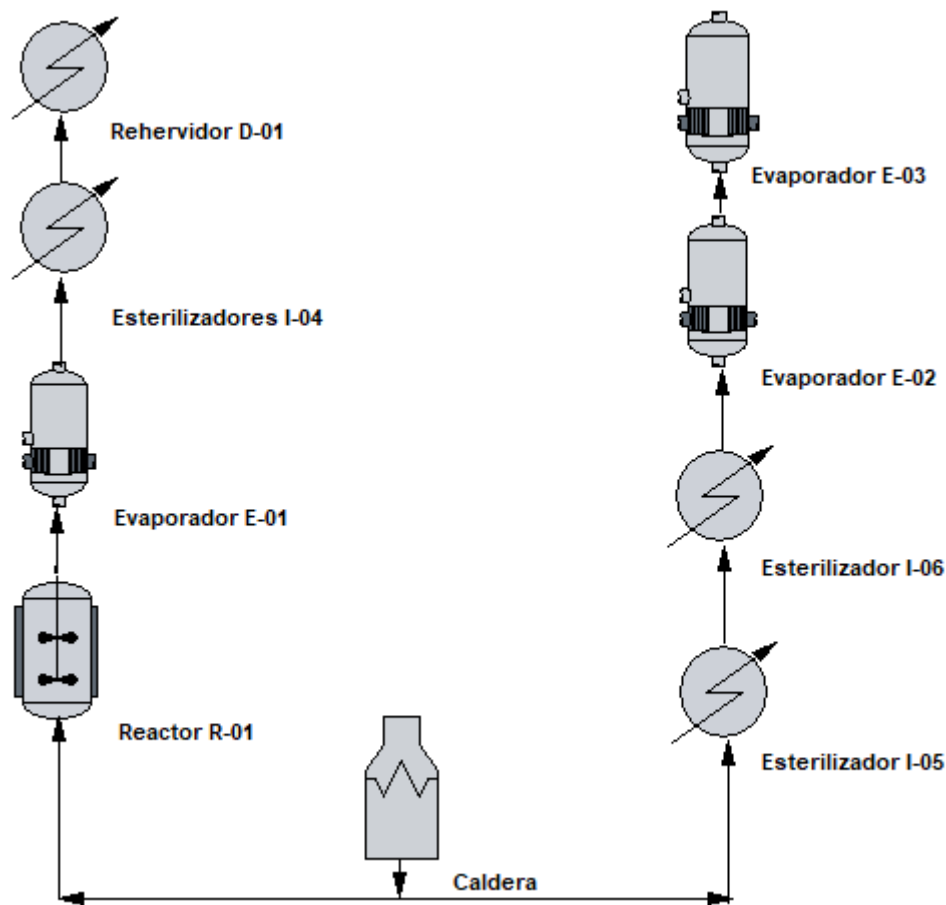


Figura 9.5 – Distribución del vapor de agua

9.4 GAS NATURAL

En el parque industrial de Junín – Buenos Aires el suministro de este recurso energético está a cargo de la empresa GASJUNIN. 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

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

consumo. La operación de 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 realizada 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 también 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 a su vez este presenta un rendimiento del 80%. El consumo de gas se obtiene de la siguiente ecuación:

$$C_g = \frac{Q_c}{P_c \cdot \eta}$$

Dónde:

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

La caldera utilizada en el proceso produce en condiciones máximas de trabajo 984643,44 kcal/día y opera de manera continua las 24 horas. Por lo tanto, se tiene un consumo de gas de 5,39 m³ por hora y 129,55 m³ por día.

Es necesario considerar el consumo de gas para otros sectores de la planta (cocina, calefacción, laboratorio, administración, etc.) el cual promedia los 15 m³ diarios. En conclusión la planta presenta un consumo total diario de gas de 144,55 m³/día. El consumo total anual es de 52760,75 m³/año.

9.4.2 Red de cañerías de gas

Las cañerías de distribución del gas natural a toda la planta son especiales para este servicio, de acero y revestidas con pintura epoxi. El ramal principal de suministro a la caldera es de 1 ½" de diámetro nominal y las derivaciones a las instalaciones de ¾" de diámetro.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

9.5 SISTEMA DE VACÍO

En la etapa de evaporación del metanol, se utiliza un vacío del 60% (0,40 atm de presión), para facilitar la remoción de la solución al disminuir la temperatura de ebullición de la misma y evitar las altas temperaturas para este compuesto inflamable. 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. En la figura 9.6 y tabla 9.9 se puede observar este equipo y sus características respectivamente.



Figura 9.6 – Bomba de vacío

Tabla 9.9 – Características bomba de vacío

Adopción bomba de vacío	
Proveedor	Busch Vacuum S.A.
Tipo	Paletas rotativas
Serie	R5
Modelo	PB 0004 C
Caudal máximo de trabajo (m ³ /h)	4
Vacío límite (hPa)	2
Potencia nominal de trabajo (kW)	0,10
Velocidad de rotación (rpm)	3000
Nivel sonoro (ISO 2151)	56
Dimensiones (largo-ancho-alto) (mm)	231-133-141
Masa (kg)	5,2

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

9.6 EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO

El agua proveniente de las etapas de enfriamiento, tanto de los intercambiadores, como del reactor, prefermentadores y del condensador, debe enfriarse para poder ser utilizada nuevamente en un circuito cerrado. Para esta operación 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 donde el enfriamiento ocurre a través de la pared.

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) de esta agua, en las etapas antes mencionadas, se pueden apreciar en la tabla 9.10.

Tabla 9.320 – Agua que se debe enfriar en cada equipo

Agua que se debe enfriar			
<i>Etapas</i>	<i>T inicial (°C)</i>	<i>T final (°C)</i>	<i>Caudal (kg/día)</i>
Reactor R-01	20	35	110043,12
Intercambiador I-02	20	35	77092,80
Intercambiador I-03	20	70	90623,28
Reactor R-02	15	23	18879,6

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Intercambiador I-04	15	40	27690,72
Reactor R-03	15	23	194120,16
Intercambiador I-05	20	50	131253,12
Reactor R-04	20	25	18622,96
Reactor R-05	20	25	1859117
Intercambiador I-06	20	50	108794,16
Reactor R-06	20	35	2316,70
Condensador de D-01	20	50	147624
Reactor R-07	20	35	4587,6
Intercambiador I-09	20	30	6205,40

Como se dijo anteriormente, al considerar un 3% de pérdidas del agua necesaria para refrigeración, se deben reponer diariamente 91639,60 kg de agua, es decir 91,64 m³.

Para el cálculo del calor que deberá absorber la torre por día se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{abs} = \Sigma (\dot{m} \cdot Cp \cdot \Delta T)$$

Dónde:

Q_{abs} : calor absorbido por la torre (kcal/día)

Cp : calor específico del agua (kcal/kg°C)

ΔT : variación de temperatura deseada, $T_{final} - T_{inicial}$ (°C), se toma un valor de temperatura inicial promedio ya que ingresan distintas corrientes a diferentes temperaturas.

Arrojando un resultado de $4,7 \times 10^7$ kcal/día. De acuerdo a este valor y según los catálogos consultados se adoptan 2 torres de enfriamiento compactas fabricadas en FRP con pileta de recolección agua fría incorporada, de la empresa Soluciones MRO. Las características de operación se detallan en la tabla 9.11 y se la puede observar en la figura 9.7.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Figura 9.7 – Torre de enfriamiento

Tabla 9.11 – Torre de enfriamiento adoptada

Características de la torre de enfriamiento	
Proveedor	Soluciones MRO
Modelo	Serie 190
Potencia (kW)	14,93
Peso en operación (kg)	679
Peso neto (kg)	319
Máximo caudal de trabajo (l/h)	40910
Entrada de agua (pulgadas)	2 1/2

9.6.1 Diagrama de enfriamiento

En la figura 9.8 se resume el esquema de alimentación de la torre de enfriamiento con los equipos que refrigera.

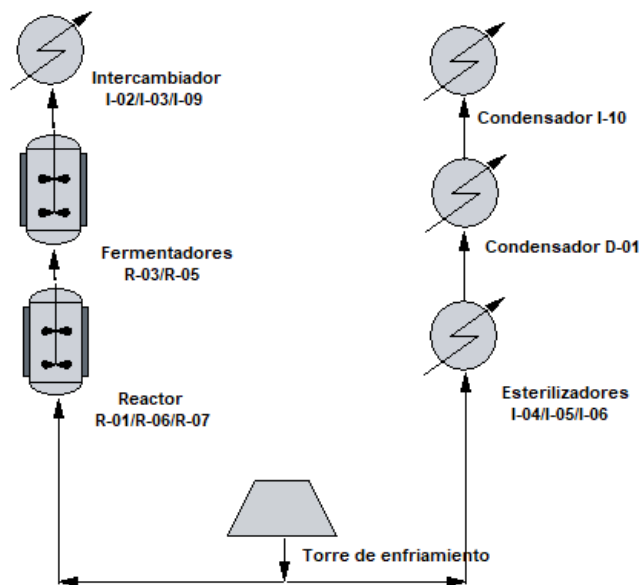


Figura 9.8 – Distribución agua de enfriamiento

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

9.7 SERVICIO DE ELECTRICIDAD

La energía eléctrica en el Parque Industrial de Villa María se encuentra a cargo de Empresa Distribuidora de Energía del Norte (EDEN). 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.

9.7.1 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. Y la línea a 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. Son generalmente paneles verticales colocados dentro de cajas. La altura a la cual están ubicados debe permitir las operaciones de una persona. Los tableros se clasifican desde el punto de vista de su operación en: principal que opera toda la instalación; seccional que opera circuitos; y subseccional que opera solo una parte del circuito.

- 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

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

fabricación de cables son de cobre, aluminio o aleaciones de este 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. Está 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.

9.7.2 Consumo de energía eléctrica de los equipos

En la siguiente tabla, 9.12, 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 9.12 – Potencia necesaria para cada equipo

Consumo de potencia por equipo					
<i>Equipo</i>	<i>Equipos simultáneos</i>	<i>Potencia (kW)</i>	<i>Funcionamiento</i>		<i>Consumo (kW.h/mes)</i>
			<i>h/día</i>	<i>Días/mes</i>	
Agitador R-01	1	8,4	24	5	1008
Agitador R-02	1	0,14	24	30	100,8
Agitador R-03	1	4,53	24	30	3261,6
Agitador R-04	1	0,57	24	30	410,4
Agitador R-05	1	6,75	24	30	4860
Agitador R-06	1	3,23	24	30	2325,6
Agitador R-07	1	0,075	24	30	54
Torre de enfriamiento	1	14,93	24	30	10749,60
Bomba de vacío	1	0,10	2	30	6

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Bomba P-01	1	0,75	3	5	11,25
Bomba P-02	1	0,30	3	5	4,5
Bomba P-03	1	0,30	3	5	4,5
Bomba P-04	1	0,55	24	5	66
Bomba P-05	1	0,55	24	5	66
Bomba P-06	1	0,55	24	30	396
Bomba P-07	1	0,37	24	30	266,4
Bomba P-08	1	0,37	24	30	266,4
Bomba P-09	1	0,37	24	30	266,4
Bomba P-10	1	0,37	24	30	266,4
Bomba P-11	1	0,22	24	30	16,5
Bomba P-12	1	0,30	24	30	216
Bomba P-13	1	0,30	24	30	216
Bomba P-14	1	0,30	24	30	216
Bomba P-15	1	0,30	24	30	216
Bomba P-16	1	0,30	24	30	216
Bomba P-17	1	0,55	24	30	396
Bomba P-18	1	0,30	24	30	216
Bomba P-19	1	0,30	24	30	216
Bomba P-20	1	0,30	24	30	216
CONSUMO TOTAL		31,44	CONSUMO MENSUAL		26530,35

Con la tabla plasmada con anterioridad se puede determinar que el consumo total anual de energía eléctrica es de 318364,2 kW.h/año.

9.8 CÁLCULO DE BOMBAS

Las tablas 9.13 a 9.18 muestran la adopción de bombas para servicios auxiliares.

9.8.1 Bombas de tratamientos de efluentes

Tabla 9.13 – Bomba efluentes P-21

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,14	Viscosidad (P)	0,20
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	14	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	30,22		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

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° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	30,22		
Velocidad de flujo (m/s)	0,022	Factor de fricción (f)	0,030
Número de Reynolds	2x10 ⁴	Pérdida de carga h _F (m)	0,61
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Margen de seguridad, potencia	10%		
Potencia (Hp)	1,54		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal	33,40 in; 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-160/1,5		
Material	Acero inoxidable AISI 304		
Motor	Trifásico		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 90		
Potencia (Hp – kW)	2-1,5		

Tabla 9.14 – Bomba para tratamiento de efluentes P-22

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1,80	Viscosidad (P)	0,10
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	32	Accesorios	4 codos 90° 2 válvula on/off 1 T
Diámetro interior (mm)	30,22		
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	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Diámetro interior (mm)	30,22		2 codos 90° 1 válvula on/off
Velocidad de flujo (m/s)	0,573	Factor de fricción (f)	0,034
Número de Reynolds	2x10 ⁴	Pérdida de carga h _f (m)	0,15
Parámetros obtenidos para la bomba			
Eficiencia	75%		
Potencia (Hp)	1,60		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304		
Diámetro exterior y nominal	33,40 in; 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-160/1,5		
Material	Acero inoxidable AISI 304		
Motor	Trifásico		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 90		
Potencia (Hp – kW)	2-1,5		

9.8.2 Bombas de limpieza CIP

Tabla 9.15 – Bomba de limpieza CIP P-23

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,50	Viscosidad (P)	0,10
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	15	Accesorios	1 codos 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	23,80		
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° 9 válvulas on/off 2 T
Diámetro interior (mm)	23,80		
Velocidad de flujo	0,25		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

(m/s)		(f)	
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 y nominal	26,67 in; 3/4 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-160/1,5		
Material	Acero inoxidable AISI 304		
Motor	Trifásico		
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6		
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 90		
Potencia (Hp – kW)	2-1,5		

Tabla 9.16 – Bomba de limpieza CIP P-24

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,50	Viscosidad (P)	0,10
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	15	Accesorios	1 codos 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	23,80		
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° 9 válvulas on/off 2 T
Diámetro interior (mm)	23,80		
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		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Sistema de tuberías	
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro exterior y nominal	26,67 in; 3/4 in
Bomba adoptada	
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-160/1,5
Material	Acero inoxidable AISI 304
Motor	Trifásico
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 90
Potencia (Hp – kW)	2-1,5

Tabla 9.17 – Bomba para limpieza CIP P-25

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0,50	Viscosidad (P)	0,10
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	15	Accesorios	1 codos 90°
Diámetro interior (mm)	23,80		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)	23,80		9 válvulas on/off
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 y nominal	26,67 in; 3/4 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32-160/1,5
Material	Acero inoxidable AISI 304
Motor	Trifásico
Capacidad volumétrica máxima (m ³ /h)	6
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 90
Potencia (Hp – kW)	2-1,5

9.8.3 Bomba de agua de enfriamiento

Tabla 9.18 – Bomba para agua de enfriamiento P-26

Datos de la corriente			
Caudal volumétrico (m ³ /h)	4,16	Viscosidad (P)	0,10
Densidad (kg/m ³)	1000	Presión (atm)	1
Lado de aspiración			
Longitud total (m)	16	Accesorios	1 codos 90° 1 válvula on/off
Diámetro interior (mm)	83,41		
Velocidad de flujo (m/s)	0,211	Factor de fricción	0,027
Número de Reynolds	2,5x10 ³	Pérdida de carga h _F (m)	0,002
Lado de impulsión			
Longitud total (m)	90	Accesorios	5 codos 90° 2 válvulas on/off 1 T
Diámetro interior (mm)	83,41		
Velocidad de flujo (m/s)	0,28	Factor de fricción (f)	0,024
Número de Reynolds	5,3x10 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 y nominal	88,9 in; 3 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara Pump Iberia S.A		
Tipo y código del equipo	Centrífuga 3M 32 – 160/2,2		
Material	Acero inoxidable AISI 304		
Motor	Trifásico		
Capacidad volumétrica máxima	18		

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

(m ³ /h)	
Rango de temperatura de trabajo (°C)	-10 a 90
Potencia (Hp – kW)	3-2,2

CAPÍTULO 10:

GESTIÓN DE CALIDAD

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

10. GESTIÓN DE CALIDAD

10.1 INTRODUCCIÓN

La calidad puede definirse como el conjunto de características que posee un producto en particular y se encuentra directamente relacionada con la capacidad de cumplir o no las expectativas del cliente. A nivel empresarial, la calidad abarca desde el diseño del producto hasta el servicio postventa, pasando por todos los procesos internos donde se le da especial importancia tanto al cliente interno como externo. Si se hace foco en el proceso, buscando que exista una baja probabilidad de que el producto no cumpla con las especificaciones en función de una mejora continua, se habla de gestionar la calidad. Se considera un conjunto de acciones planificadas y sistemáticas que proporcionan confianza de que lo que se produce es conforme a los requisitos. Siempre que se piense en calidad, se debe relacionar los costos que conlleva la generación de determinado bien.

Si el producto no cumple con las especificaciones de este, se trata de una pérdida de ganancia, insatisfacción de los clientes y de una ineficiencia por parte de la gestión para evitar tal resultado. La garantía de no defectos se basa en la formación de un sistema de gestión de calidad (SGC), el cual consiste en el muestreo, especificaciones y ensayo, procedimientos de organización, documentación y autorización que aseguren que los procesos y 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. La norma de sistemas de gestión más importante en el mundo empresarial es la ISO 9001. Se trata de una norma internacional elaborada por la International Standardization Organization (ISO) en la que se determinan los requisitos que debe cumplir un Sistema de Gestión de Calidad.

En función a todo lo detallado, se plantea la manera en la que se cree ventajosa controlar la calidad del ácido ascórbico de calidad alimentaria. Se hará hincapié en las buenas prácticas de manufactura para la garantía de un producto seguro e inocuo y las normas ISO.

10.2 BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA

El Código Alimentario Argentino (C.A.A.) incluye en el Capítulo N° II la obligación de aplicar las BUENAS PRACTICAS DE MANUFACTURA DE ALIMENTOS (BPM), asimismo la Resolución 80/96 del Reglamento del Mercosur indica la aplicación de las BPM para establecimiento elaboradores de alimentos que comercializan sus productos en dicho mercado. Las Buenas Prácticas de Manufactura son una herramienta básica para la obtención de productos seguros. Las mismas, son indispensable para la

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
aplicación del Sistema HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control), de un programa de Gestión de Calidad Total (TQM) o de un Sistema de Calidad como ISO 9000. Las BPM forman parte del control de todo establecimiento elaborador de productos de consumo humano, que se centralizan en la higiene y forma de manipulación. A su vez, a causa de que, el uso final de nuestro producto es como insumo de las industrias alimenticias se deben cumplir las normativas presentes en la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica, ANMAT. A continuación, se detallan los aspectos que se deben contemplar y se engloban en las BPM.

10.2.2 Gestión de calidad

Cuando se refiere a calidad, se entiende que se trata de buscar que el cliente esté satisfecho con el producto; es por ello, que todas las personas que se encuentran involucradas en el proceso de fabricación son responsables de lograr cumplir con el propósito.

Para garantizar resultados óptimos, se establece un sistema de gestión de calidad en el que se vean afectados operarios, jefes de unidad y gerentes. Este sistema es puesto en práctica por una Unidad de Calidad, independiente a fabricación, la cual documenta el control de cada lote producido y si el mismo es apto para consumo. Realiza auditorías internas y aprueba cambios que mejoren la calidad del producto. A su vez, esta unidad investiga las desviaciones que hayan ocasionado una no conformidad y plantea una solución.

El control de ácido ascórbico en este caso puntual y de los productos intermedios, como de materia prima e insumos; se lleva a cabo por técnicas analíticas mediante el empleo de instrumentación y equipamiento apropiado. Cada equipo de análisis debe ser calibrado de manera periódica y se debe llevar registro.

10.2.2 Materias primas y materiales

Según el boletín oficial emitido por el programa de calidad de los alimentos argentinos, las materias primas deben ser almacenadas en condiciones apropiadas que aseguren la protección contra contaminantes. El depósito debe estar alejado de los productos terminados, para impedir la contaminación cruzada. Además, deben tenerse en cuenta las condiciones óptimas de almacenamiento como temperatura, humedad, ventilación e iluminación. Todo material que ingrese a la empresa debe ser analizado para recibir la autorización de su uso o distribución y debe ser recibido de un proveedor calificado. A su vez, es importante que se empleen materiales rotulados según la especificación del organismo competente. Cuando son recibidos diferentes lotes de un mismo material, cada lote debe ser considerado en forma independiente

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
para el muestreo, ensayo y liberación. Las bolsas para envasar el producto terminado deben almacenarse en condiciones seguras y antes de ser utilizadas verificarse.

10.2.3 Higiene

Tanto las instalaciones como los elementos de control o de manufactura deben preservarse en óptimas condiciones de higiene para garantizar la no contaminación del producto con microorganismos o impurezas.

10.2.3.1 Procedimientos operativos estandarizados de saneamiento (POES)

Todo organismo dedicado a la fabricación de alimentos tiene la obligación de realizar POES. La Resolución SENASA Nro. 233/1998 es la responsable de hacer cumplir la implementación de estas. La organización debe contar con un plan escrito que, al detalle, describa sus propios procedimientos que se llevarán a cabo antes, durante y posteriores a las operaciones, así como las medidas correctivas previstas, la frecuencia con la que se realizarán y el objetivo, todo para prevenir la contaminación u otro inconveniente, en los productos. Los POE se originan de las Buenas Prácticas, si no se desarrollan los POE, no se cumplen las Buenas Prácticas. De aquí un resumen de las actividades que abarcan los procedimientos:

- Describen una secuencia específica de eventos para realizar una actividad.
- Aseguran la estandarización.
- Son aplicables a operaciones específicas.
- Son propios de cada organización. Indican el: cómo, cuándo, dónde y quién lo hace.

Para garantizar esta tarea es recomendable aplicar los POES (Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento) que describen qué, cómo, cuándo y dónde limpiar y desinfectar, así como los registros y advertencias que deben llevarse a cabo. Las sustancias tóxicas que se empleen en la tarea de limpieza y desinfección (plaguicidas, solventes u otras sustancias que pueden representar un riesgo para la salud y una posible fuente de contaminación) deben estar rotuladas con un etiquetado bien visible y ser almacenadas en áreas exclusivas. Estas sustancias deben ser manipuladas sólo por personas autorizadas. Además de lo material, las POES garantizan la higiene del personal en cuanto a vestimenta, lavado de manos, estado de salud, entre otras cuestiones. Para garantizar la aplicación de las mismas, se deben realizar capacitaciones a los operarios y destacarles la importancia de su aplicación. Así mismo, se establece un calendario general de limpieza, de las instalaciones, equipos y utensilios.

Esta información se extrajo de la guía POES, emitida por el ministerio de agroindustria.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

En el anexo n°1, se encuentran detallados ejemplos de la implementación de los POES.

10.2.3.2 Control de plagas

En todo establecimiento, es de suma importancia generar un control de plagas mediante un MIP, manejo integral de plagas; para contribuir con la higiene del establecimiento. El control debe realizarse de manera general: combinando los procedimientos de limpieza y desinfección, con técnicas de exclusión (barreras físicas que impidan el ingreso desde el exterior) y con métodos químicos. Estos últimos no son muy recomendables debido a los problemas de contaminación y seguridad que pueden llegar a causar si no son adecuadamente utilizados y por personal capacitado. En cuanto a las nombradas barreras, un ejemplo muy necesario es el uso de mosquiteros en ventanas y puertas, como así también el uso de rejillas en lugares de desagües; ambas barreras evitarían la entrada de moscas, cucarachas, entre otros insectos o incluso roedores.

En caso de que en el establecimiento en cuestión se detecte alguna plaga, la cual es perjudicial para el bienestar de la materia prima o producto para la venta; debe realizarse de manera inmediata una erradicación de esta. En muchos casos las empresas pueden contar con un servicio de control de plagas tercerizado por otra compañía que brinde dicho servicio y otras veces puede realizarlo el propio personal siempre y cuando sea idóneo en la tarea; de ambas formas, se debe llevar un registro de cada cuanto se realiza la erradicación y de qué manera.

10.2.4 Personal

Como se detallaba en el inciso anterior, es importante el estado de salud que posee el operador; es por ello, que se controla la aparición de posibles enfermedades contagiosas entre los manipuladores. Las personas que están en contacto con los alimentos deben someterse a exámenes médicos, no solamente previamente al ingreso, sino periódicamente. Todo el personal tiene la responsabilidad de llevar ropa protectora, calzado adecuado y cubrecabeza; todos deben ser lavables o descartables. No está permitido que el trabajador opere con anillos, colgantes, relojes y pulseras, por cuestiones de seguridad y de preservar la inocuidad del alimento. Además de lo mencionado, la higiene involucra conductas que puedan dar lugar a la contaminación, tales como comer, fumar, salivar u otras prácticas antihigiénicas. Asimismo, se recomienda no dejar la ropa en zonas cercanas a la producción y que al ingreso de la planta la persona use vestimenta limpia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Otro punto clave, es que las operaciones a lo largo del proceso deben ser llevadas a cabo por personal idóneo y capacitado.

10.2.5 Instalaciones

Las instalaciones de la empresa deben diseñarse de modo tal que sean apropias para la producción en sí. Se deben tener en cuenta los materiales de construcción, los espacios y la limpieza de estas; como así también, su mantenimiento.

Todo establecimiento, además, cuenta con la provisión de distintos servicios, tales como electricidad, iluminación, climatización; y la instalación de un sistema de drenaje y ventilación. Todo servicio auxiliar, debe ser identificado tomando como referencia el código internacional de colores, e indicar el flujo de circulación. El código de colores para tuberías es el que se muestra en la figura 10.1.

FLUIDO	IDENTIFICACIÓN	MUESTRA DEL COLOR
AGUA	VERDE	
OTROS VAPORES	GRIS PLATEADO	
ACEITE VEGETALES, ANIMALES Y MINERALES LIQUIDOS COMBUSTIBLES INFLAMABLES GASES INERTES E INFLAMABLES	MARRON	
	AMARILLO	
ÁCIDOS	ANARANJADO	
ALCALIS	VIOETA	
AIRE COMPRIMIDO INDUSTRIAL Y RESPIRABLE	AZUL	
RESIDUOS EN FERMENACIÓN Y AGUAS NEGRAS	NEGRO	
PRODUCTOS FERMENTADOS	GRIS OSCURO	
VACIO	GRIS CLARO	
AGUA PARA COMBATE DE INCENDIOS	ROJO	
FLUIDO ELECTRICO	NEGRO	

Figura 10.1 - Identificación de colores

Temperatura, presión, caudal, entre otras variables, deben ser monitoreadas en cada una de las tuberías presentes.

Dentro de las instalaciones, el sector destinado para el cambio de vestuario del personal, y su higiene, debe ser de fácil acceso y adecuado para el número de usuarios; pero sin comunicación directa con la zona de producción y almacenamiento. Estos sectores deben contar con insumos de higiene permanentes y estar en condiciones de buena limpieza.

El área de almacenamiento debe contar con un espacio tal que permita contener la producción estimada y sus insumos y materiales. Estos entre sí, de forma separada para evitar contaminación cruzada. Se recomienda verificar la humedad del sector, la temperatura y llevar registro del control de stock.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

En la zona de producción, se necesita separar las etapas de producción de modo tal que no exista contaminación microbiológica, como en el caso de la fermentación y la etapa de purificación. Se debe contar con un sistema de corriente de aire para que los operarios ingresen a la sala libre de bacterias. El sistema de drenaje de las instalaciones debe ser adecuado y periódicamente desinfectado. Se evita la presencia de grietas en superficies, ya que las mismas proliferan el crecimiento de microorganismos.

La fábrica contempla un área para el control de calidad del producto terminado y sus intermedios. Tanto el sector como equipamiento de trabajo se mantiene en óptimas condiciones de higiene y orden, para el correcto resultado de los análisis llevados a cabo.

Como resumen de lo anteriormente detallado, se dispone de distintos sectores para llevar a cabo las actividades a desarrollar:

- Recepción, identificación, muestreo de los materiales recibidos pendientes de aprobación o rechazo.
- Cuarentena del producto antes de la aprobación o rechazo.
- Almacenamiento de materiales rechazados, ya sea para devolución, reprocesado o destrucción.
- Almacenamiento de materiales aprobados.
- Sector de producción
- Sector de envasado y etiquetado.
- Laboratorio.

10.2.6 Auditorías

Se planifican y ejecutan auditorías internas en la empresa para verificar el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Fabricación y de su sistema de calidad. Se deben establecer y mantener actualizados los procedimientos y registros donde se definen los criterios de auditorías 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.

10.2.7 Material y productos no conformes

Tanto las materias primas, insumos y producto terminado que no cumpla/n con las especificaciones necesarias para ser aceptado; se deja registrado el caso con los siguientes datos: identificación, documentación, investigación de las causas, evaluación, segregación y tratamiento de estos, así como la notificación a las áreas

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

involucradas o proveedores. Los materiales rechazados son devueltos a los proveedores o, cuando corresponda, reprocesados o eliminados. 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 informa en función de todos los lotes producidos.

10.3 HACCP

El sistema HACCP es un sistema de administración en el que se aborda la seguridad alimentaria a través de la identificación, análisis y control de los peligros físicos, químicos, biológicos. Es un método eficaz y reconocido que otorga seguridad a los clientes en lo que hace a la inocuidad. Está diseñado para ser implementado en cualquier segmento de la industria de alimentos desde el cultivo, cosecha, transformación y/o elaboración y distribución de alimentos para el consumo. El manejo del mismo otorga un beneficio sumamente importante a cualquier empresa que cuente con él; tales como prestigio de la marca, disminución de costos por retrabajos y devoluciones; y genera, además, efectos favorables para la calidad en lo concerniente a la higiene, plazo de validez e integridad económica del producto.

Uno de los pasos más importantes de un HACCP es realizar un análisis de peligros, que tiene como objetivo elaborar una opinión sobre el riesgo de un peligro determinado basándose en el conocimiento del producto, el proceso productivo y la probabilidad de que el peligro se haga efectivo, junto con su gravedad. Los peligros que puedan amenazar la inocuidad durante las etapas de procesamiento diseñadas para la conservación de las condiciones deben ser controladas mediante las BPM; y las etapas que tienen por objetivo proteger los productos del ingreso y proliferación de distintos agentes deben estar contemplados en el HACCP. Es decir que, los contaminantes potenciales deben ser analizados bajo el criterio del análisis de peligros y control de puntos críticos.

10.3.1 Puntos críticos de control (PCC)

Para cada etapa o fase del proceso en la que se ha identificado un peligro significativo de contaminación, se determina si es necesario establecer procedimientos de vigilancia o de control para prevenirlo, eliminarlo o reducirlo a un nivel aceptable. Estos peligros significativos se llaman puntos críticos de control. Un PCC representa que no existe etapa posterior que pueda reparar un descuido durante la elaboración de un producto determinado.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Para el caso de la producción de ácido L ascórbico, se determina que los puntos críticos de control se encuentran en la etapa de fermentación del proceso; debido a que, si no se concreta una buena esterilización de los fermentadores y prolifera una bacteria de familia diferente a la elegida para la generación de los productos intermedios que se detallan en el capítulo 8; se formarán compuestos diferentes impidiendo llegar a la vitamina C y grandes pérdidas económicas. En la tabla 10.1, se observa un análisis al PCC del proceso.

Tabla 10.1 PCC Fermentación

Etapa de control: Fermentación R-03, R-04, R-05, R-06

Peligro y causa	Proliferación de bacterias no pertenecientes al grupo <i>Gluconobacter</i> .
Medidas preventivas	Esterilización de reactores, medios de cultivos y subproductos que se derivan a otro fermentador; mediante vapor saturado a 140 °C.
¿La etapa está específicamente diseñada para eliminar o reducir el peligro hasta un nivel aceptable?	Sí, ya que se contempla que el método de inyección de vapor por contacto indirecto es un método eficaz para la destrucción de microorganismos. Se realiza de manera continua por un tiempo determinado; el que opera la fermentación.
P4. ¿Una etapa posterior puede eliminar o reducir el peligro hasta un nivel aceptable?	No

Una vez determinado cual es la etapa para controlar, se establece la manera en la que se controla el PCC establecido. Tal como se muestra en la tabla 10.2, se implementa un plan de vigilancia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 10.2 - Sistema de vigilancia de PCC

Control de punto crítico, fermentación

Peligro y causa	Proliferación de microorganismos extraños a la fermentación.
PCC	Sí
¿Qué se vigila?	Concentración celular
¿Cómo se vigila?	Técnica, T-13 (ver anexo 1)
¿Dónde se vigila?	Se toma un muestreo en cada punto de acceso a los reactores y se evalúan en el laboratorio de la empresa
¿Con que frecuencia se vigila?	Continuamente, mientras opera la etapa de fermentación.
¿Quién es el responsable de implementar dicho sistema?	Técnico de laboratorio de turno.

10.4 CONTROL DE CALIDAD

En este apartado, se define la manera en la que se controla la producción, tanto de materias primas, productos intermedios y producto terminado. Se establecen los parámetros que deben cumplir cada uno de ellos para estar conforme, la técnica analítica empleada, la frecuencia del control, y el modo de operar cuando los resultados de los análisis al emplear un método analítico no están dentro de tolerancia.

10.4.1 Materias primas e insumos

En todo proceso, la calidad de la materia prima impacta directamente en la calidad del producto final. Por tal motivo, cuando la misma llega al establecimiento de la empresa es controlada por la unidad de calidad en el laboratorio, según la técnica establecida. Dependiendo de los valores que adopte, se acepta su uso en producción; mientras

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

que en caso contrario se devuelve el lote. A su vez, cada carga viene con un remito redactado por el proveedor, con los parámetros que posee el jarabe en este caso en cuestión y es de utilidad para corroborar la calidad de este. Todo insumo o materia prima para ser comercializada debe cumplir con determinadas características, contando con un certificado de aval por el organismo competente.

En el caso de los insumos, los cuales se obtienen de la compra a empresas o laboratorios certificados, se confía en las especificaciones por parte de los proveedores, por ende, no se detallan las técnicas. En la tabla 10.3 se encuentra detallado el plan de control para el jarabe de alta dextrosa y para agua; la cual debe ser purificada para emplearse en el proceso, libre de microorganismos y sales.

En el anexo n°1, se encuentra las técnicas detalladas para el análisis del jarabe de alta dextrosa; T-01, T-02, T-03, T-04, T-05, T-06, T-07, T-08, T-09.

10.4.2 Productos intermedios

Según la ANMAT, se debe establecer diferentes puntos del proceso que requieran un control de las especificaciones de los productos intermedios, para evitar un producto final no conforme. La finalidad de esta metodología es la de corregir de manera inmediata las desviaciones que se presenten en la elaboración para evitar el rechazo del lote generado, lo que implica pérdidas económicas. Es importante destacar que, para monitorear el proceso, se implementa un sistema de control automático para medir las variables en cada punto operativo y se analiza las condiciones actuales por un programa, denominado SCADA. En la tabla 10.4, se detallan los parámetros a considerar en estos productos.

10.4.3 Producto terminado

Lo que se pretende, es que el ácido ascórbico terminado cumple con los requisitos establecidos por la ANMAT. Este organismo establece una pureza del 95% p/p, libre de olor y color. Este valor se controla en el laboratorio de la empresa usando como referencia la técnica que dicha institución proporciona, y es determinante para la comercialización de este. En el anexo n°1, se detalla la técnica analítica para la determinación de este parámetro y en la tabla 10.5, se encuentran detallados los valores a tomar de referencia para corroborar que el producto cumpla con los requisitos que establece el organismo competente para su comercialización.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 10.3- Plan de control de materia prima y agua

Etapas	Materia prima	Parámetro	Valor límite	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción correctiva/preventiva	Responsable de muestra	Responsable de análisis
Recepción materia prima	Jarabe de alta dextrosa (Corriente A)	Densidad	kg/m ³	T – 01	Por lote	MP– A / FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Apariencia	Incoloro y transparente	Inspección visual	Por lote	MP– A / FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	
		Concentración	Mínimo 99,5%	T – 02	Por lote	MP– A / FQ 01	Comunicar al proveedor Rechazar lote	Operario de turno	Laboratorista de turno
		agua	Máximo 36%	T – 03	Por lote	MP– A / FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		pH	3,7 -6,7	T – 04	Por lote	MP– A / FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

		Temperatura de solidificación	Menor a 60 °C	T – 05	Por lote	MP– A / FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Microorganismos totales ufc/10ml	Máximo 200	T – 06	Por lote	MP– A / MB 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Hongos y Levaduras ufc/10ml	Máximo 20	T-07	Por lote	MP– A / MB 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Coliformes ufc/10ml	Ausente	T-08	Por lote	MP– A / MB 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Carbono orgánico total	Máximo 0,5 mg/litro	T – 09	Cada 8 horas	I–W/ FQ 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno
Tratamiento de agua	Agua purificada	Conductividad	1,1 μ S/cm a 20 °C	T – 10	Cada 8 horas	I–W/ FQ 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Endotoxinas bacterianas	Máximo 0,25 unidades de	T – 11	Cada 8 horas	I–W/ FQ 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
 Proyecto final de grado – Ingeniería Química

			endotoxina por mL						
		pH	6,5 – 7,5	T – 04	Cada 8 horas	I–W/ FQ 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Dureza	Máximo 1 ppm	T – 12	Cada 8 horas	I–W/ FQ 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
 Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 10.4- Plan de control de etapas involucradas en el proceso

Equipo	Punto de control	Parámetro	Valor deseado	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción correctiva/preventiva	Responsable de control
R-01	Interior del mezclador	Tiempo	4 horas	Control automático	Por batch	CP-R-01/ V - 01	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
	Carga al reactor	Temperatura de reacción	135 ± 0,5 °C			CP-R-01/ V - 01		
	Salida reactor	Temperatura	60°C ± 0,5 °C			CP-R-01/ V - 01		
	Salida al reactor	%p/p sorbitol	50	T-12		CP-R-01/ V - 01		
R-02	Interior del mezclador	Tiempo	Continuo por 6 días	Control automático	Diaria	CP-R-02/ V - 01	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
	Carga al reactor	Presión	3,5 atm	Control automático		CP-R-02/ V - 01		
	Salida reactor	%p/p medio de cultivo	5	T-13		CP-R-02/ V - 01		
R-03	Interior del	Tiempo	Continuo por 6	Control	Cada 1 hora	CP-R-03/ V	Verificar	Panelista de

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
 Proyecto final de grado – Ingeniería Química

	mezclador		días	automático		- 01	condiciones operativas del equipo	control
	Carga al reactor	Temperatura de reacción	30 ± 0,5°C	Control automático		CP-R-03/ V - 01		
	Salida reactor	%p/p sorbosa (azúcares)	8,9	T-02		CP-R-03/ V - 01		
R-04	Interior del mezclador	Tiempo	Continuo por 6 días	Control automático	Cada 1 hora	CP-R-04/ V - 01	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
	Carga al reactor	Temperatura de reacción	28 ± 0,5°C	Control automático				
	Salida reactor	%p/p medio de cultivo	1,60	T-13				
R-05	Interior del mezclador	Tiempo	Continuo, por 6 días	Control automático	Cada 1 hora	CP-R-05/ V - 01	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
	Carga al reactor	Temperatura	28 ± 0,5°C	Control automático		CP-R-05/ V - 01		
	Salida del reactor	%p/p ácido 2 ceto l gulónico	4,1	T-14		CP-R-05/ V - 01		
R-06	Interior del	Tiempo	Continuo, por 6	Control	Cada 1 hora	CP-R-06/ V	Verificar	Panelista de

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

	mezclador		días	automático		- 01	condiciones operativas del equipo	control
	Carga al reactor	Temperatura de reacción	65 ± 0,5°C	Control automático		CP-R-06/ V - 01		
	Salida del reactor	%p/p 2 ceto l gulonato de metilo	13,5	T-14		CP-R-06/ V - 01		
R-07	Interior del mezclador	Tiempo	Continuo, por 6 días	Control automático	Cada 1 hora	CP-R-07/ V - 01	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
	Carga al reactor	Temperatura de reacción	65 ± 0,5°C	Control automático		CP-R-07/ V - 01		
	Salida del reactor	%p/p ascorbato de sodio	78	T-14		CP-R-07/ V - 01		
ME-01	Carga al reactor	Temperatura entrada	40 ± 0,5°C	Control automático	Cada 1 hora	CP-ME / V - 01	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
	Salida del reactor	%p/p de ácido ascórbico de salida	56	T- 14 T - 15		CP-ME / FQ - 01		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
 Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 10.5- Plan de control de producto terminado

Etapa	Producto	Parámetro	Valor límite	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción correctiva/ preventiva	Responsable de muestra	Responsable de análisis
Previo al envasado	Ácido ascórbico	Apariencia	Cristales o polvo blanco	Visual	Previo al envasado	P-AO /FQ 01	Informar al jefe de calidad	Operario encargado del envasado	
		Humedad	Máx. 0,4 %	T – 03	Previo al envasado	P-AO /FQ 01	Informar al jefe de calidad. Controlar S – D02	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Metales pesados	Máx. 10 ppm	T – 16	Previo al envasado	P-AO /FQ 01	Informar al jefe de calidad	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Concentración	Mín. 95 %	T– 14 T – 15	Previo al envasado	P-AO /FQ 01	Controlar tR en torre de secado	Operario de turno	Laboratorista de turno

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

10.5 REGISTROS DE CONTROL

Con el objetivo de llevar un registro de los resultados de los controles realizados para garantizar la calidad del producto final; se emplean planillas para dejar asentada la información y asegurar la veracidad de estos. Las mismas deben ser completadas por personal idóneo, tal como perteneciente al laboratorio de la empresa; y utilizar un código de registro en todas y cada una de ellas. El código comienza con una letra/s que indica si es materia prima (MP), control de proceso (CP) y producto terminado (P); seguida de otra/s que corresponde a la denominación del equipo o la corriente involucrada, separadas de una barra para la/s letra/s que indica/n si el análisis es microbiológico (MB), fisicoquímico (FQ) o visual (V) y un número identificando el número de registro correspondiente. Ej: MP– A / MB 01 (Materia prima, corriente A, Análisis microbiológico, Registro N°1). Una vez que el registro ha sido realizado, el técnico debe enviarlo al responsable de calidad donde se controla su edición y contenido, para luego llevar a cabo los análisis estadísticos pertinentes. A modo de ejemplo, se muestran en la Tabla 10.6, 10.7 y 10.8 un registro de cada clase.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 10.6- Plan de control de materias primas

REGISTRO DE MATERIAS PRIMAS				
Jarabe de alta dextrosa				MP- A / FQ 01
Fecha				
Proveedor				
Número de lote				
Observaciones				
Técnica	Valor límite	Valor obtenido	Analista	Firma
T – 01/A	-			
T – 02	kg/m ³			
Inspección visual	Incoloro y transparente			
T – 03/A	Mínimo 99,5%			
T – 04	Máximo 36%			
Medidas preventivas / correctivas				
Apto (A) / Rechazo (R)				
Aclaraciones				
Firma responsable de calidad				

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
Tabla 10.7- Plan de control de etapas involucradas el proceso

REGISTRO DE CONTROL DE PROCESO		
Reactor R-07, lactonización		CP-R-07/ V – 01
Fecha		
Hora		
Panelista de turno		
Supervisor de turno		
Parámetro	Valor establecido	Valor obtenido
Tiempo	Continuo, por 6 días	
Temperatura de reacción	65 ± 0,5°C	
%p/p ascorbato de sodio	78	
Medidas preventivas / correctivas		
Aclaraciones		
Firma supervisor de turno		
Firma responsable de calidad		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 10.8- Plan de control del producto terminado

REGISTRO DE PRODUCTO TERMINADO				
Ácido L ascórbico				P-AO /FQ 01
Fecha				
Número de lote				
Observaciones				
Técnica	Valor límite	Valor obtenido	Analista	Firma
Visual	Cristales o polvo blanco			
T – 17	Máx. 0,4 %			
T – 22	Máx. 2 ppm			
T – 22	Máx. 2 ppm			
T – 23	Máx. 10 ppm			
T – 26	Mín. 95 %			
Visual	Cristales o polvo blanco			
T – 17	Máx. 0,4 %			
T – 22	Máx. 2 ppm			
Medidas preventivas / correctivas				
Apto (A) / Rechazo (R)				
Aclaraciones				
Firma responsable de calidad				

CAPÍTULO 11:

TRATAMIENTO DE EFLUENTES

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

11. TRATAMIENTO DE EFLUENTES

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 del ácido ascórbico, 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 PÁRAMETROS

- Oxígeno disuelto (OD): es la cantidad de oxígeno gaseoso que esta disuelto en el agua. Se lo considera como un indicador para mantener la vida acuática. La concentración de este elemento es resultado del oxígeno que entra en el sistema y el que se consume por los organismos vivos. La entrada de oxígeno puede estar provocada por muchas fuentes, pero la principal es el oxígeno absorbido de la atmósfera.

- Demanda biológica de oxígeno (DBO): Se define como Demanda Bioquímica de Oxígeno de un líquido contaminado al oxígeno, expresado en mg/litro, que ese líquido consume en la descomposición de la materia orgánica, por acción microbiana aerobia. Como el proceso de descomposición tarda varios meses en completarse y su

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

velocidad varía con la temperatura, en la práctica se mide la D.B.O. correspondiente a un lapso de 5 días y a una temperatura de 20 °C.

- Demanda química de oxígeno (DQO): es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/l). Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros...), que también se reflejan en la medida.

- pH: Es una medida exacta del grado de acidez o alcalinidad de una solución. Varía entre los límites 0 y 14; cuanto más bajo sea, mayor será la acidez y cuanto más alto, mayor la alcalinidad correspondiente.

- Dureza: Se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad.

- Sólidos disueltos totales (SDT): es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro-granular (sol coloide). En general, la definición operativa es que los sólidos deben ser lo suficientemente pequeño como para sobrevivir filtración a través de un filtro con poros de 0,45 micrómetros (tamaño nominal, o más pequeño).

- Sólidos en suspensión (SS): parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales. Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/l), presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o la centrifugación del líquido. Algunas veces se asocia a la turbidez del agua.

- Concentración de productos tóxicos:

- Color y Olor: Su color puede establecer el tipo de compuesto del cual se trata. El color interfiere con la transmisión de la luz, por lo tanto, al volcarse a un curso de agua disminuirá la acción fotosintética. El olor de un efluente es indicativo de su vejez, pues cuando es fresco es ligeramente pútrido, pero cuando es viejo se septiza y produce hidrógeno sulfurado, dotándolo de un olor fuertemente pútrido.

- Temperatura: Un líquido a elevadas temperaturas produce el deterioro de la laguna, y en caso de que no se realice ninguna modificación, provocaría alteraciones en el medio ambiente.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

11.3 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE EFLUENTES

El grado de tratamiento requerido para un efluente líquido depende fundamentalmente de los límites de vertido y la eficiencia de la remoción de los contaminantes. A partir de ello, existen tres niveles de tratamiento de los fluidos vertidos: tratamiento primario, secundario y terciario.

Tratamiento primario: puede ser mediante:

- Tratamiento físico que consiste en separar partículas de mayor tamaño mediante cribado, sedimentación, flotación, separación de aceites, etc.

- Tratamiento químico de neutralización del pH.

• Tratamiento secundario: consiste en un tratamiento biológico, donde se elimina principalmente la materia orgánica por acción de microorganismos, algunas de las técnicas son lodos aditivos, aireación prolongada, estabilización por contacto lagunaje con aireación, estabilización por lagunaje, filtros biológicos (percoladores), discos biológicos y tratamientos anaeróbicos.

• Tratamiento terciario: consiste en un tratamiento fisicoquímico que busca eliminar compuestos específicos, se realiza mediante, micro tamizado, filtración, precipitación y coagulación, adsorción (carbón activado), intercambio iónico, ósmosis interna, electrodiálisis, cloración y ozonización y procesos de reducción de nutrientes.

11.4 NORMATIVA SOBRE EL VERTIDO DE EFLUENTES

La normativa correspondiente al tratamiento de efluentes se extiende a nivel nacional, provincial y en muchos casos municipal, donde cada una establece los límites máximos según el parámetro controlado, en base a la Ley Nacional 26221. En la tabla 11.1 se muestran los estándares establecidos para el vertido de efluentes líquidos por la ley nacional, y en la tabla 11.2 se observan los límites máximos admisibles para las descargas a colectoras cloacales.

Tabla 11.33 – Parámetros establecidos por la ley nacional

Parámetro	Desagües a cuencas	Descarga a 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 (mg/l)	100	100	100	100
Sulfuros (mg/l)	1	-	-	1
Temperatura (°C)	45	45	45	45

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

DBO sobre muestra bruta (mg/l)	200	300	180	30
DQO	-	-	-	125
Oxígeno consumido en KMgO ₄ sobre muestra bruta (mg/l)	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	0.005

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 11.34 – Límites máximos admisibles

Parámetro	Valor
Temperatura (°C)	40
pH	5.5-10
Sólidos sedim. 10 min (ml/l)	0.5
Sólidos sedim. 2 horas (ml/l)	-
Oxígeno consumido (mg/l)	80
DBO (mg/l)	200
Demanda de cloro (mg/l)	-
Sulfuros (mg/l)	2
Fósforo total (mg/l)	-
Nitrógeno total (mg/l)	-
Cromo hexavalente (mg/l)	0.2
Cromo total (mg/l)	2
Cadmio (mg/l)	0.5
Plomo (mg/l)	0.5
Mercurio (mg/l)	0.05
Arsénico (mg/l)	0.5
Compuestos fenólicos (mg/l)	5
Cianuro (mg/l)	0.02
Cobre (mg/l)	0.1
Estaño (mg/l)	4
Hierro (mg/l)	2
Níquel (mg/l)	0.1
Sustancias solubles en éter etílico (mg/l)	50
Zinc (mg/l)	0.1
Detergentes (mg/l)	1
Hidrocarburos (mg/l)	30
Bacterias coliformes totales	-
Bacterias coliformes fecales	-

Es necesario resaltar que el departamento de calidad de la empresa debe llevar a cabo estos análisis antes de la descarga del efluente a la red cloacal, para asegurar, de esta manera, que se cumpla con la normativa vigente.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

11.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DE LA PLANTA

A continuación, se presentan en la tabla 11.3 todas las corrientes de efluentes generadas en la planta de producción de ácido ascórbico, especificando en cada una de ellas: caudal, composición, temperatura y pH, que son las principales variables a tener en cuenta al momento de definir el tipo de tratamiento que deberá realizarse.

Tabla 11.3 – Corrientes de efluentes generadas

Corriente	Descripción	Composición	Caudal (m ³ /h)	Temp. (°C)	pH
F	Catalizador purgado	Catalizador Ni-Raney Jarabe de alta dextrosa Sorbitol	0,001	25	6,7
R	Biomasa salida F-02	Medio de cultivo agotado Biomasa	0,045	25	7
AU	Hidróxido de sodio neutralizado proveniente de M-01	NaOH Agua	0,080	25	7
Limpieza CIP	Descarte CIP	Solución de NaOH neutralizada	16,39 m ³ /lavado	25	7

11.6 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Al momento de seleccionar un método para el tratamiento de efluentes se debe considerar que sea:

- De fácil construcción y duradero
- Económico en el uso de energía y en su funcionamiento
- Eficiente en la remoción de los contaminantes indeseados, sin la producción de nuevos efluentes.
- Modular, para que permita ampliaciones conforme crezca el proceso productivo
- Simple en su operación, control y mantenimiento.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

El tratamiento estará compuesto por un tratamiento secundario donde se procederá a la eliminación de la materia orgánica mediante un proceso biológico, que se llevará a cabo por acción de microorganismos en lagunas de estabilización del tipo facultativas.

11.6.1 Laguna de tratamiento

Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe; dado que su construcción y mantenimiento son de bajo costo, llevan un nulo consumo energético, pueden absorber aumentos bruscos de cargas hidráulicas u orgánicas.

En este caso se emplearán lagunas del tipo facultativas, donde la estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo en condiciones aerobias en la zona superior de la laguna al mantener un cierto nivel de oxígeno disuelto que varía de acuerdo a la profundidad y hora del día. En la zona del fondo se depositan los sólidos suspendidos que sufren un proceso de reducción por estabilización anaerobia. Este tipo de estanques son de estructura sencilla de tierra, abiertos al sol y al aire, por lo que utiliza recursos naturales para lograr su misión. El tiempo de retención hidráulica varía de 5 a 30 días y la profundidad de 1,5 a 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical. Algunos factores a considerar son la localización geográfica, clima y el volumen requerido para almacenar el lodo.

Se realizará un muestreo cada 8 horas para controlar el pH y en caso de que sea necesario, se agregará cloro para la regulación del mismo.

Además, la laguna contará con un aireador superficial flotante, el cual permitirá la transferencia de oxígeno desde el aire hacia las aguas que son tratadas y también imprimirá un movimiento de circulación de las mismas. Este está diseñado para adaptarse al nivel del agua.

En la siguiente tabla se pueden observar las características del aireador utilizado.

Tabla 11.4 - Características del aireador.

Parámetro	Valor
Fabricante	Aqua Turbo Systems
Modelo	AER-AS Aireador superficial flotante
Rango	0.75-200 kW
Polos	4, 6, 8
Material	AISI 304

Fuente: Elaboración propia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Para el cálculo de la laguna, que puede ser considerada como reactor flujo pistón, como diseño conservador, se utilizan los valores de caudales expresados anteriormente y se toma como referencia la bibliografía Levenspiel, O., específicamente la ecuación 5.11 de la página 111.

$$\tau = \frac{1}{s} = \frac{\left(\frac{\text{moles de A que entran}}{\text{volumen de alimentación}}\right) * (\text{volumen del reactor})}{\left(\frac{\text{moles de A que entran}}{\text{tiempo}}\right)} = \frac{V}{v_o} \quad \text{Ec 11.1}$$

$$\frac{V}{v_o} = \frac{\text{volumen del reactor}}{\text{caudal volumétrico de alimentación}} \quad \text{Ec 11.2}$$

Por otro lado, las dimensiones de la misma se generaron según las ecuaciones:

$$V = a_b * h \quad \text{Ec 11.3}$$

$$L = \sqrt{a_b} \quad \text{Ec 11.4}$$

Caudal a tratar: 550 m³/mes

Tiempo de residencia máximo: 30 días

V: 1 mes * 550 m³/mes = 550 m³

Sobredimensionamiento: 15%

Volumen total: 632,50 m³

Tabla 11.5: Características de la laguna de estabilización.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor
Caudal a tratar (m ³ /mes)	550
Profundidad (m)	2
Relación largo/ancho	2
Longitud (m)	17,78
Ancho (m)	20,07
Tiempo de retención (días)	20

De acuerdo a los parámetros de la Tabla 11.5, se requiere una laguna de 632,50 m³. 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 20,07 m y un largo de 17,78 m para cada laguna. Factores constructivos adicionales tenidos en cuenta

- Impermeabilización del suelo con membranas.
- Protección de taludes externos con césped y drenajes para lluvia.

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Protección de taludes internos con losetas prefabricadas.
- Acceso vehicular para mantenimiento.

CAPÍTULO 12:

OBRAS CIVILES

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

12. OBRAS CIVILES

12.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se encuentra detallada la información pertinente a la obra civil de la planta de ácido ascórbico, ubicada en Junín, provincia de Buenos Aires. Se realiza la distribución física de todas las áreas que conforman la instalación de la misma y se describen los detalles constructivos de cada uno de los sectores. La distribución física tiene muchas consecuencias prácticas y estratégicas, ya que facilita el flujo de materiales, aumenta la eficiencia en utilización de mano de obra y equipos y reduce los peligros para los trabajadores. Las obras civiles se plasman en el terreno seleccionado en el capítulo 5.

Los sectores con los que cuenta la planta se detallan a continuación:

- Puesto de seguridad.
- Recepción y oficinas.
- Estacionamiento.
- Depósito de materias primas e insumos.
- Antesala de descontaminación.
- Área de producción:
 - Sector de Hidrogenación catalítica.
 - Sector de Fermentación.
 - Sector de esterificación, lactonización.
 - Sector de purificación.
- Sector de envasado y almacenamiento del producto.
- Laboratorio.
- Área de servicios auxiliares y purificación del agua.
- Sala de caldera.
- Sector tratamiento de efluentes.
- Comedor, baño y vestidores.
- Taller de mantenimiento.
- Espacio de circulación de camiones.

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.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Iluminación interior y alumbrado público exterior.
- Sistema hidrante contra incendios.
- Doble cerco perimetral.
- Sistema de control de ingresos y egresos.

12.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO

Como se mencionó en el capítulo 5, el predio está localizado en el interior del parque industrial de Junín Presidente Arturo Frondizi, Buenos Aires, Argentina. El parque posee una superficie de 84 hectáreas, lo que equivale a 840000 m². Se encuentra ubicado a las afueras de la ciudad accediendo al mismo desde Av. Circunvalación a la altura del km. 156 de la Ruta Nacional N° 188. El terreno seleccionado, posee un perímetro de 335,50 m y un área de 7029,28 m². En la figura 12.1, se observa una imagen satelital del lote seleccionado.



Figura 12.1- Predio seleccionado para la construcción de la planta

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 alambres de púa de 2 metros de altura y una extensión de 141,26 m x 337,86 m aproximadamente

Para el correcto desplazamiento dentro del predio, se traza una red de calles internas pavimentadas y señalizadas, por las que circulan 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 agua de proceso y servicios auxiliares, las cuales deben tener una altura suficiente para permitir la circulación interna de camiones y otros vehículos de tamaño

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

semejante. De acuerdo a esto, y dependiendo también de la entrada y salida de los equipos, se fija en 4,50 m (elevación suficiente para los 4,30 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 estos. Por último, en la figura 12.2 se exhibe la distribución general de la planta, mientras que en el anexo II se adjuntan los planos correspondientes. Es necesario aclarar que los croquis de este capítulo no se encuentran a escala.

Tabla 12.1 – superficies de los sectores del terreno

Identificación	Sector	Superficie (m ²)	Edificio
1	Garita de seguridad	15	IX
2	Estacionamiento	250	
3	Hall de acceso y recepción	30	
4	Oficinas administrativas	102,29	I
5	Sala de reuniones	20,33	
6	Sanitarios	22,08	II
7	Comedor	31,87	
8	Sanitarios y vestuarios	38,96	III
9	Laboratorio	32	
10	Oficina panel de control	24,38	IV

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

11	Antesala de descontaminación	20	
12	Depósito de insumos y materias primas(A)	24	
13	Área de producción (C)	2370,54	
14	Área de envasado y almacenamiento (E)	68,44	
15	Área de servicios auxiliares	202,93	VII
16	Sala de caldera	42	VI
17	Tratamiento de efluentes	196	VIII
18	Espacio de circulación de camiones	1378,81	-
19	Taller de mantenimiento	40	V
Área total m²		4927,99	

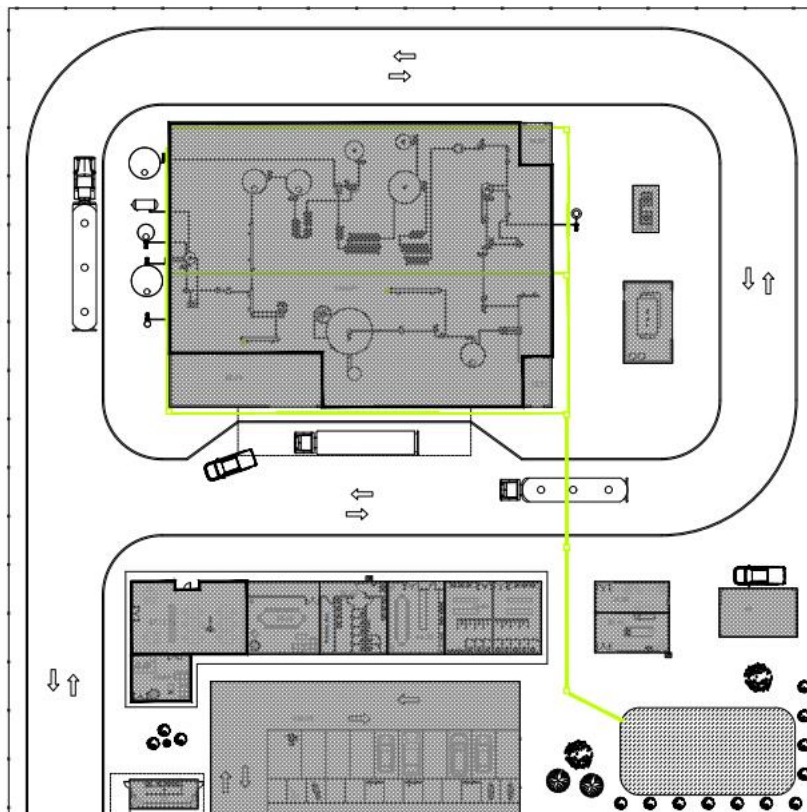


Figura 12.2 – Distribución general de la planta

12.2.1 Sector 1, Garita de seguridad

Al ingreso del predio por la calle Bautista Cisaro se encuentra el puesto de seguridad con una barrera al paso. Este puesto 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. Este edificio presenta un área de 15 m².

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

En su interior se encuentra un escritorio, un baño y una computadora para llevar a cabo los registros necesarios.

12.2.2 Sector 2, Estacionamiento

A la izquierda del ingreso al establecimiento se encuentra el estacionamiento que presenta un sector para bicicletas y motocicletas y otro para automóviles, quedando un área ocupada de 887,7 m². Para los automóviles se considera un ancho designado para cada auto de 2,5 m y un largo de 5 m, por lo que dicho estacionamiento tiene capacidad para 27 vehículos. Se opta por una orientación a 90°, reservando el primer lugar de cada lado para personas con discapacidad. Las características constructivas del sector son:

- Se encuentra debidamente señalizado.
- Presenta luminaria pertinente.
- La estructura es de hierro y con el objetivo de proteger a los vehículos se colocan toldos impermeables.

12.2.3 Sector 3, Hall de acceso y recepción

Luego de pasar por el puesto de seguridad, se encuentra el edificio administrativo. Al ingreso se halla la recepción con unas medidas de 5 m x 6 m que se comunica con el comedor y hacia la izquierda se encuentran los accesos hacia las oficinas. El sector está construido de ladrillo block de hormigón de 20 x 20 x 40 centímetros, con una altura de 3 metros y un techo de hormigón con viguetas. En el interior, la recepción cuenta con un escritorio y dos sillones de espera.

12.2.4 Sector 4, Oficinas administrativas

En este sector se encuentran las oficinas, las cuales comparten el mismo ambiente y se encuentran separadas por boxes, realizadas con placas de durlock. La edificación posee una altura de 3 metros, construida de ladrillos block de hormigón de 40 x 20 x 20 cm y techo de loza con pintura impermeabilizante. Aquí realizan sus tareas cada una de las jefaturas de la empresa, entre ellas, logística, administración, calidad, producción, comercio exterior, marketing, etc. Las oficinas presentan un área total de 102,29 m².

12.2.5 Sector 5, Sala de reuniones

En esta sección hay una mesa con sillas, donde se podrán llevar a cabo las reuniones que sean necesarias dentro de la institución. Además, la sala cuenta con un proyector y un televisor para poder visualizar desde planteos de problemáticas, soluciones y

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
resultados. Esta sala tiene 4,15 m de ancho y 4,9 m. Posee las mismas características constructivas que las oficinas administrativas.

12.2.6 Sector 6, Sanitarios

Estos se encuentran próximos a la sala de reuniones. Las características constructivas que se visualizan en este espacio son:

- Paredes hechas con ladrillos bloques de hormigón de 40 x 20 x 20 cm de 3 metros de altura
- Pisos con mosaicos graníticos.
- Instalación de electricidad, agua y gas natural.
- El techo es de loza de hormigón con viguetas y pintura impermeabilizante para el techo.
- Terminaciones con revoque grueso, fino y pintura látex en todo el espacio.
- Aberturas de aluminio.
- Recubrimiento con azulejos hasta los 1,6 m de altura.

El vestidor debe estar equipado con un casillero metálico por empleado, con dos compartimentos donde los operarios puedan dejar sus pertenencias o ropa de calle en uno y en el otro que puedan guardar su uniforme de trabajo. Además, en la zona de vestuarios hay percheros y bancos.

12.2.7 Sector 7, Comedor

A la derecha del hall de recepción se encuentra el comedor, el cual tiene una superficie de 31,87 m² con 4,25 m de ancho y 7,5 m de largo. Este está construido de ladrillo block de hormigón de 20 x 20 x 40 centímetros, con una altura de 3 metros y un techo de hormigón con viguetas. Allí el personal puede desayunar, almorzar, cenar y consumir sus colaciones durante los breaks.

12.2.8 Sector 8, Sanitarios

Próximo al depósito, en el mismo edificio, se encuentran dos baños, uno para mujeres y otro para hombres, de 3,30 m de ancho por 5,85 m de largo cada uno. Además, los mismos cuentan con duchas y lockers para poder guardar las pertenencias personales.

Estos sanitarios también cuentan con las mismas características que los descritos anteriormente, correspondientes al sector 6.

12.2.10 Sector 9, Laboratorio

La planta cuenta con un pequeño laboratorio destinado a la realización de pruebas estándares de calidad; tanto de materias primas como de producto terminado. Posee

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

paredes de 3 metros de altura con ladrillo block de hormigón y un techo flotante de durlock. En su interior dispone de pisos de cerámico, y paredes con pintura látex de color blanco. Los ángulos de uniones deben ser redondeados para facilitar la limpieza y evitar la acumulación de suciedad. Otra característica es que las puertas deben abrirse hacia el exterior, y su altura debe ser desde el suelo al techo. En el lugar pueden hacerse ensayos fisicoquímicos y microbiológicos. Presenta una superficie de 31,41 m².

El laboratorio contiene:

- Sistema de ventilación para la renovación de aire mediante rejillas con mallas metálicas que impiden el ingreso de insectos.
- Área de lavado de equipos y vajilla.
- Área de preparación de medio.
- Espacio provisto para refrigeradores, freezers y otros equipos.

12.2.11 Sector 10, Oficina de panel de control

En esta sala, se lleva a cabo el control de la producción, donde mediante un sistema SCADA se regulan los equipos y parámetros del proceso.

Las dimensiones del área son 3 m de ancho por 5,85 m de largo, constituyendo una superficie de 24,28 m². Las paredes están hechas con ladrillos bloques de hormigón de 40 x 20 x 20 cm de 3 metros de altura.

Esta oficina cuenta con dos sillas y 3 computadoras para llevar a cabo dichos controles.

12.2.12 Sector 11, Antesala de descontaminación

Esta sala tiene el objetivo de descontaminar al operario que ingresa al ambiente controlado de las salas de producción. Esta consiste en una cabina con flujo de aire, la cual elimina de forma eficaz las partículas depositadas en la superficie de la ropa del personal. Posee tres puertas que separan la zona sucia (vestuario) de las dos salas limpias (salas de producción). La cabina no incluye suelo, por lo tanto, este se trata con resina epoxi.

12.2.13 Sector 12, Depósito de insumos y materias primas

La materia prima e insumos y el producto terminado se almacenan en un depósito de 5 metros de altura y posee 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, amueblamientos para reactivos específicos y pallets.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

12.2.14 Sector 13, Área de producción

Es el área más importante y representativa de la planta. La misma cuenta con un techo que se cubre desde el tanque de almacenamiento de glucosa T-01 hasta la sala donde se purifica y concentra el producto; cubriendo la mayor parte de los equipos que intervienen en el proceso productivo. El techo es de chapa de zinc a dos aguas y cuenta con desagües pluviales de PVC.

A la hora de diseñar la distribución de los equipos en planta se tuvieron en cuenta varias consideraciones como ser, distancias óptimas entre equipos, facilidad de mantenimiento, accesos seguros y cómodos y fácil acceso para carga y descarga de materia prima, insumos y producto terminado.

La superficie total de esta sección es de 2370,54 m²; de la cual, 222m² pertenecen a la zona de hidrogenación, 850 m² a la zona de prefermentación y fermentación, 647 m² a esterificación y lactonización, y 651m² a purificación y concentración del producto.

12.2.15 Sector 14, Área de envasado y almacenamiento

En este sector se encuentra la envasadora del producto terminado, luego el mismo es almacenado en racks industriales. La distancia de los racks de almacenamiento a las paredes es de 1,5 m para facilitar la circulación y tareas de limpieza. El piso es de hormigón con endurecimiento de superficie para obtener resistencia a la carga. Las paredes están hechas con ladrillos bloques de hormigón de 40 x 20 x 20 cm de 5 metros de altura. La sala tiene 11,8 m de largo por 5,8 m de ancho.

12.2.16 Sector 15, Área de servicios auxiliares

Esta sección se encuentra al aire libre, contemplando: torres de enfriamiento de agua, compresor de aire, tanques de limpieza CIP 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.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

12.2.17 Sector 16, Sala de caldera

La sala de caldera se elige 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.

12.2.18 Sector 17, 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.

12.2.19 Sector 18, Espacio de circulación de camiones.

En este sector se describe el camino realizado por los camiones que entran y salen de la planta. Cuenta con un amplio espacio para la correcta circulación de los mismos.

12.2.20 Sector 19, Taller de mantenimiento.

Para el taller de mantenimiento se provee una superficie de 40m² el cual se considera suficiente para ubicar las distintas herramientas y equipos. La sala tiene 2,5 metros de alto con techo de chapa acanalada galvanizada, las paredes son de ladrillo bloque hormigón de 40 x 20 x 20 hasta los 2 metros de altura, luego la pared continúa de chapa acanalada galvanizada.

CAPÍTULO 13:

ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

13. ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

13.1 INTRODUCCIÓN

Como meta para un estudio organizacional de un proyecto, es de primordial importancia realizar una estimación lo más realista posible sobre los costos ocasionados en lo que respecta a implementación y administración de las operaciones que se realicen.

Una empresa se define como el conjunto de personas y bienes que actúan de forma organizadas persiguiendo un objetivo en común. Es la encargada de llevar a cabo decisiones sobre la utilización de los factores que se disponen, para obtener los bienes y servicios que se comercializan en el mercado. La actividad productiva de la empresa consta de la transformación de materia prima en productos, esto será posible gracias al empleo de trabajo y del capital que se disponga. Para conseguir este objetivo es necesaria una estructura funcional que permita un desarrollo eficaz de las tareas que deben realizarse.

En este capítulo se establece el tipo de sociedad comercial adoptada, se mencionan las diferentes áreas que integran la empresa y se elabora un organigrama donde se da a conocer la distribución jerárquica dentro de la misma. Además, se detallan las actividades de los diferentes puestos de trabajo, en el cual se destaca que para desarrollar su actividad correspondiente y llevar a cabo los objetivos planteados, la empresa dispone de la tecnología que fuese necesaria para conseguirlo.

Los empleados que se encuentran en esta empresa en particular pertenecen a la rama de la industria de alimentación. Responden por ende, al gremio de la federación de sindicatos de trabajadores de industrias alimenticias de la República Argentina. Por lo tanto el convenio colectivo de trabajo N°244/94, corresponde al acordado por dicho gremio.

13.2 TIPO DE SOCIEDAD COMERCIAL

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.).

La forma jurídica adoptada para esta empresa es la de sociedad anónima, donde la responsabilidad de cada socio o accionista es proporcional al capital que haya aportado. Por eso, este tipo de sociedad representa una seguridad financiera alta respecto de las demás, debido a que sus socios deberán responder, como máximo, con el capital aportado.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

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 estas.
- La duración de la sociedad es independiente de la vida de sus socios o finalización de los mismos.
- 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.

La legislación laboral determina las condiciones de contratación del personal, las escalas salariales y los beneficios sociales correspondientes, aplicando a este caso lo establecido en el Convenio Nacional N° 244/94.

La legislación tributaria vigente determina los impuestos que debe pagar el proyecto en la etapa de operación, como por ejemplo, los impuestos generales (Impuesto a las Ganancias, Impuesto al Valor Agregado o el Impuesto a los Ingresos Brutos).

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

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

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 presenta el organigrama de la empresa.

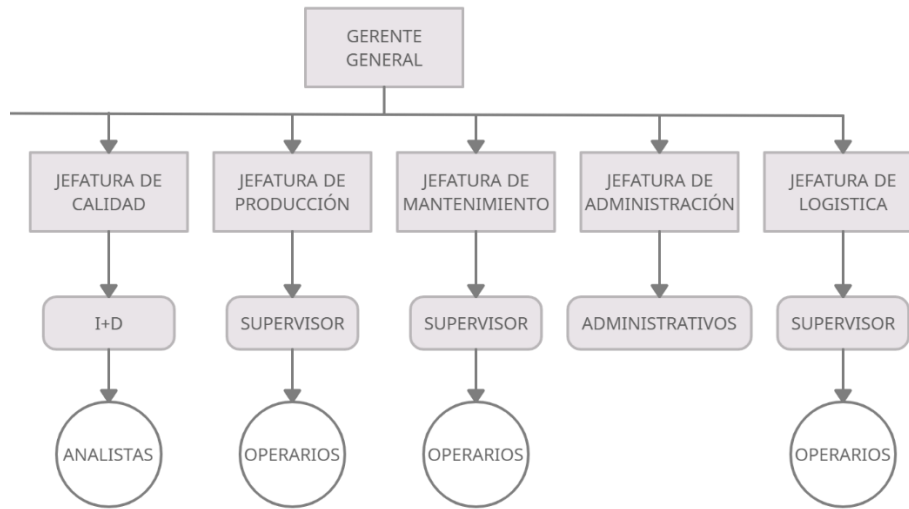


Figura 13.1 – Organigrama de la empresa

13.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO

La empresa productora de ácido ascórbico, posee ciertas jerarquías en los diferentes grupos de empleados que contiene, siendo una única persona la encargada de dirigir la industria para llevarla a altos niveles productivos y poder mantenerse en competencia durante un cierto periodo.

La cabeza principal de la organización es el gerente general, el cual tiene apoyo en las diferentes áreas de la empresa, a través de la jefatura de cada una de ellas. Este círculo de personas son las encargadas de definir el rumbo de la producción en el establecimiento, aportando cada uno de ellos su interés y conocimiento.

El número total de los departamentos que se encuentran a cargo de la gerencia, son seis, en donde se pueden observar en la figura 13.1 a cada uno de ellos, los cuales se conforman con una cierta cantidad de empleados que se detallaran a continuación junto con sus responsabilidades.

13.4.1 Gerente general

Es la máxima autoridad de la planta, por lo que desarrolla, define y hace cumplir los objetivos organizacionales y además planifica el crecimiento de la empresa a corto y largo plazo. Otras funciones que lleva a cabo el gerente son:

- Dirige y controla las funciones administrativas de la empresa.
- Se encarga de la supervisión y el correcto cumplimiento de las funciones realizadas por el personal, analizando la eficiencia en el desempeño del trabajo.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Asegura el correcto cumplimiento de las normas, reglamentos, políticas e instructivos internos, como así también los que son establecidos por las entidades de control y regulación.
- Ejerce su control preponderante sobre los demás departamentos y obtiene información de los mismos, para llevar a cabo la toma de decisiones.
- Ejerce su representación legal y participa en todas las 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 higiene y seguridad

Según la ley de Higiene y seguridad con una cantidad entre 51 y 101 empleados, las horas semanales del profesional encargado de higiene y seguridad son de 10 a 15 horas.

Técnicos de higiene y seguridad: La tarea fundamental de los mismos es hacer todo un sistema de control de riesgos del trabajo tanto en la prevención de accidentes como de enfermedades laborales. Para ello se rigen por reglamentaciones, la estandarización, la inspección, las investigaciones, la educación, entre otras, siguiendo las tareas ordenadas por el jefe del sector. Además de controlar la correcta ejecución de las actividades de riesgo dentro de la empresa, dando su punto de vista para el inicio de la tarea y al finalizar la misma.

13.4.3 Departamento de calidad

Este departamento se encarga de establecer límites de variación en los atributos y variables del producto, e informar su estado 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.

Jefe de calidad: su tarea principal consiste en definir la metodología para el control de los parámetros de calidad en el producto en proceso, la materia prima y el producto final. También se encarga de organizar las tareas del laboratorio, informar a la gerencia general, departamento comercial y departamento de producción, sobre los

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

resultados de los análisis de calidad de los productos elaborados y de organizar y supervisar las tareas desarrolladas por sus subordinados. Algunas de sus funciones son:

- Desarrollar e implementar procedimientos internos y de certificación de normas, para lo cual debe trabajar conjuntamente con las áreas vinculadas.
- Controlar que las variables de proceso estén dentro de lo previsto, y de lo contrario reporta al jefe de planta.
- Contar con equipamiento específico que funcione correctamente y esté calibrado según los patrones establecidos.
- Responsabilizarse del entrenamiento y capacitación de su personal.
- Garantizar que se estén utilizando las materias primas adecuadas y verificar que las actividades de su área se realicen de acuerdo a lo establecido.
- 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.

Investigación y desarrollo (I+D): encargado de dirigir y coordinar las actividades relacionadas con el análisis y desarrollo de productos de la empresa. Lleva a cabo tanto acciones relacionadas con la actualización de los productos existentes de la empresa, como el desarrollo y evaluación de nuevos productos.

Este profesional tiene que estar al día de las tendencias de los mercados para poder detectar las oportunidades de negocio para la empresa. Además tiene que colaborar con los demás departamentos de la empresa para poder estudiar bien las necesidades relacionadas con la innovación productiva.

Las principales tareas de este profesional son:

- Planificar, dirigir y coordinar las actividades de investigación y desarrollo, para crear procedimientos, productos, conocimientos o modos de utilización de materiales nuevos o perfeccionados.
- Planificar el programa general de investigación y desarrollo de la empresa, definir las metas de los proyectos y fijar sus presupuestos.
- Dirigir y gestionar las actividades del personal de investigación y desarrollo.
- Coordinar y controlar el desarrollo de proyectos en centros de investigación externos supervisando plazos, costes y calidad.
- Establecer y gestionar presupuestos, controlar los gastos y asegurar la utilización eficiente de los recursos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Analistas de laboratorio: Sus actividades son:

- Realizar los controles fisicoquímicos y microbiológicos de materias primas, productos terminados, corrientes de procesos y equipos de la planta.
- Realizar las tareas que aporten a la investigación y desarrollo.
- Mantener el orden y la limpieza del laboratorio.

13.4.4 Departamento de producción

El departamento de producción tiene a cargo la elaboración del producto, el desarrollo e implementación de los planes productivos y el estudio de la factibilidad de nuevos procesos o de modificaciones de los ya existentes. Además, es su responsabilidad respetar los estándares y patrones de calidad para la obtención de un producto final de las características instituidas.

Jefe de producción: Es el encargado de planificar la producción asegurando el cumplimiento de los planes establecidos. Sus actividades son:

- Coordinar los equipos de trabajo.
- Controlar que los operarios trabajen de manera eficiente (trabajando en contacto con los supervisores).
- Asegurar que se cumplan las condiciones de instalación, de puesta en marcha, mantenimiento preventivo de los equipos; conservando los manuales y las garantías de cada equipo.

Supervisores de producción: Los supervisores son los encargados de proyectar, dirigir, desarrollar y controlar el trabajo diario. Sus actividades son:

- Planificar el trabajo del día, estableciendo prioridades y manejando efectivamente los recursos disponibles.
- Controlar a los operarios, a los cuales debe impartir órdenes claras y precisas, favoreciendo el buen clima laboral y motivándolos para que realicen su tarea correctamente.
- Informar al jefe de planta cualquier desviación o problema ocurrido.

Panelista: Sus principales funciones son:

- Control de operaciones en modo automático y remoto desde la sala de control.
- Arranque y parada de planta en modo normal, emergencia o pruebas.
- Vigilancia de parámetros de operación e identificación de criticidad de alarmas de los sistemas en operación.

Operarios de producción: Sus actividades son:

- Se encargan del manejo y el correcto desempeño de los equipos que tienen a su cargo.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Cumplir con las tareas que le son asignadas y con las normas establecidas por sus superiores, además de asegurar una correcta limpieza de su zona de trabajo y controlar las distintas variables puestas en juego en el proceso, permitiendo que la planta logre un correcto accionar.
- Completar los registros, informar desperfectos para ser llevados al área de mantenimiento y poner en evidencia a su superior ante la ocurrencia de desviaciones en la calidad del producto.

13.4.5 Departamento de mantenimiento

Esta sección tiene como 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.

Jefe de mantenimiento: Debe establecer en forma conjunta con el encargado de producción, un plan de mantenimiento anual y mensual de los sistemas eléctricos, mecánicos y edificios. Sus actividades son:

- Controlar la correcta ejecución de las tareas de montaje.
- Verificar especificaciones técnicas del equipamiento que se va a adquirir, colaborando con la decisión de la compra.
- Asegurar que se cumplan las condiciones en: instalación, puesta en marcha y mantenimiento preventivo de los equipos; conservando manuales y las garantías de cada equipo.
- Verificar la calidad técnica de los trabajos que se ejecuten y de las personas que los llevan a cabo y dirigen estos.
- Planificar los mantenimientos.

Supervisor de mantenimiento: al igual que los supervisores de producción, son los encargados de proyectar, dirigir, desarrollar y controlar el trabajo diario. Es el encargado de la supervisión, mantenimiento y reparación de las instalaciones y equipos.

Operarios de mantenimiento: Deben llevar a cabo el mantenimiento preventivo y operativo, revisar periódicamente los equipos e instalaciones, informar a su superior los problemas detectados, etc. Se destacan:

- Calderista: El operario de la sala de calderas tendrá una función especial de controlar los parámetros de las calderas, conocer sobre sus funcionamientos óptimos y desviaciones, y actuar con serenidad en caso de alguna variación en los parámetros o fallas de los equipos antes mencionados.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Mecánico: Debe realizar revisiones periódicas, así como el mantenimiento y reparaciones requeridas. Debe también reparar o reemplazar las piezas averiadas o cuyo ciclo de vida útil se haya cumplido. Desmontar máquinas dañadas y reemplazarlas con modelos más modernos. Es el encargado de seguir los procedimientos y medidas de seguridad para evitar accidentes y amenazas potenciales.
- Electricista: encargado de realizar instalaciones y reparaciones relacionadas con la electricidad, especialmente en máquinas e iluminación

13.4.6 Departamento de administración

El departamento de administración se encarga de la organización dinámica de la empresa orientando sus esfuerzos hacia el cumplimiento de los objetivos de la empresa. Además es su deber optimizar las relaciones entre cliente, proveedores, mercado económico y fuentes de financiamiento. Dentro de este departamento se encuentra el jefe administrativo, el responsable de recursos humanos, el contador y el licenciado en marketing, cuyas actividades se describen a continuación.

Jefe administrativo: Sus actividades son:

- Coordinar, supervisar y controlar la ejecución de los procedimientos administrativos y contables que rigen el funcionamiento interno de la organización.
- Realizar altas y actualizaciones de cuentas de proveedores y clientes, inscripciones y trámites ante organismos oficiales, evaluación crediticia de clientes.
- Confeccionar balances mensuales e informes periódicos a solicitud de la gerencia.
- Realizar el control y seguimiento de gastos.

Responsable de recursos humanos: Sus funciones son:

- Fomentar una relación de cooperación entre directivos y trabajadores para evitar enfrentamientos derivados por una relación jerárquica tradicional.
- Fomentar la participación activa entre todos los trabajadores para que se comprometan con los objetivos de la empresa.
- Establecer el monto del salario, mediante el proceso de negociación entre la empresa y los sindicatos de trabajadores.
- Encargado del proceso de reclutamiento, selección e ingreso del personal.

Contador: Sus actividades son:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Formula estados financieros e investiga y da soluciones a los problemas referentes a la falta de información para el registro contable.
- Identifica y analiza los ingresos, egresos y gastos que se dan en la empresa.
- Informa periódicamente todos los resultados obtenidos al gerente comercial.
- Prepara y ordena la información financiera y estadística para la toma de decisiones de las autoridades superiores.
- Se encarga del control y seguimiento de los gastos generados.
- Encargado de liquidación de sueldos.

Licenciado en marketing: Se encarga de:

- Promocionar el producto en el mercado.
- Realizar un estudio de mercado para definir el precio del producto final.

13.4.7 Departamento de logística

Es el encargado de realizar las compras de materias primas e insumos que se utilizan en las distintas partes de la empresa, fijándose las políticas de supply chain (cadena de abastecimiento y suministros) de las mismas. Su función está en constante relación con los departamentos de producción y administración, y fundamentalmente con los proveedores de la empresa.

Comprende, también, el planeamiento para comercializar el producto en el lugar, cantidad, tiempo y precios adecuados. Incluye las funciones de determinación de políticas de ventas, presupuesto, embalajes y el movimiento de los productos desde el lugar de almacenamiento hasta el punto de utilización o consumo. Encierra, además, las funciones de almacenamiento de producto, expedición y servicio post-venta.

Jefe de logística: Deberá desarrollar las siguientes funciones:

- Cumplir con los objetivos de ventas del producto elaborado, alineándose a las políticas de la empresa.
- Crear relaciones comerciales con clientes y/o proveedores.
- Establecer la política de precios del producto final.
- Definir e implementar planes de acción para reducir costos, los plazos de entrega y mantener los stocks necesarios para responder a las necesidades del cliente.
- Negociar y gestionar la compra y entrega de materias primas e insumos.
- Verificar el abastecimiento en tiempo y forma según el plan de producción.
- Trabajar junto con el área administrativa de la planta en la redacción de órdenes de compra.
- Gestionar el abastecimiento de materiales menores: ropa de trabajo, repuestos para maquinarias, entre otros.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Realizar el seguimiento de la distribución del producto final.
- Realizar informes de costos.
- Realizar mensualmente el stock de la planta, coordinando información con otros sectores.

Operario de logística: Cada operario involucrado en esta área deberá desarrollar las siguientes funciones:

- Envasado de las materias primas en sus respectivos tanques de almacenamiento y trasvase de los productos de proceso a los tanques cisterna de transporte.
- Organización del depósito, control de stock.
- Control de peso de materia prima en camiones ingresantes y de producto terminado de camiones salientes en la balanza.

Licenciado en comercio exterior: Es el encargado de:

- Realizar estudios o investigaciones de mercado que permitan descubrir oportunidades comerciales, concretando eficazmente las operaciones de importación y exportación, realizando toda la operatoria aduanera, contratando servicios de transporte internacional y, en general, coordinando en forma integral y sistémica, todas las operaciones del comercio internacional.
- Tareas de análisis de costos de importación de productos y servicios, análisis de mercado, análisis sectorial y regional, análisis y fijación de precios, estudios de mercados y proyecciones de oferta y demanda en mercado internacional.
- Tareas de planificación, coordinación, ejecución y control de todas las actividades y tareas del sector exportador e importador.

13.5 ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y TURNOS DE TRABAJO

Como se trata de una producción continua, ciertos puestos de trabajo deben ser cubiertos durante las 24 horas del día, es por eso que la industria cuenta con un grupo de empleados bajo HORARIO ROTATIVO (HR)

Es decir que en producción normal de la planta los cuatro turnos que rotan se van a encontrar en las siguientes condiciones:

Turno 1: Mañana (de 06:00 hs a 14:00 Hs).

Turno 2: Tarde (de 14:00 hs a 22:00 Hs).

Turno 3: Noche (de 22:00 hs a 06:00 Hs).

Turno 4: Franco.

Cada turno está formado por

- Técnico en higiene y seguridad.
- Analista de laboratorio.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Supervisor de producción.
- Operario de hidrogenación, esterificación y lactonización
- Operario de Fermentación.
- Operario de Destilación.
- Panelista.
- Supervisor de mantenimiento.
- Mecánico.
- Electricista.
- Calderista.
- Operarios de logística.

Nota: El turno nocturno no posee operario de logística. El operario de hidrogenación también se encarga de esterificación y lactonización ya que la primera etapa solo trabaja 24hs.

En cuanto a la jefatura de cada uno de los departamentos y otros puestos específicos, se manejan con un horario al que definimos como HORARIO EXTENDIDO (HE) el cual inicia a las 08:00 Hs hasta las 16:00 hs, de lunes a viernes, teniendo como franco el sábado y el domingo.

En la siguiente tabla se representa al personal completo de la planta.

Tabla 13.1: Personal de la planta

Fuente: Elaboración propia

Área	Puesto	Horario	Cantidad de empleados
Gerencia general	Gerente	-	1
Higiene y seguridad	Técnico en H&S	HR	4
Calidad	Jefatura	HE	1
	I + D	HE	1
	Analista	HR	4
Producción	Jefatura	HE	1
	Supervisor	HR	4
	Panelista	HR	4
	Operario de hidrogenación	HR	4
	Operario de fermentación	HR	4

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

	Operario de destilación	HR	4
Mantenimiento	Jefatura	HE	1
	Supervisor	HR	4
	Calderista	HR	4
	Mecánico	HR	4
	Electricista	HR	4
Administración	Jefatura	HE	1
	Recursos humanos	HE	1
	Contador	HE	1
	Marketing	HE	1
Logística	Jefatura	HE	1
	Operario de logística	HC	8
	Comercio exterior	HE	1

Existe además otro horario en la industria, el cual es para los operarios de logística, adaptándose a las leyes de circulación de camiones, por lo que se trabajan solo en turno mañana (Lunes a Sábado) y turno tarde (Lunes a Viernes) al cual se denominó como HORARIO DE CARGA (HC).

La mano de obra se divide en directa e indirecta, la indirecta son todos los trabajadores que dan apoyo o realizan tareas de dirección en la actividad productiva, pero no participan directamente en el proceso de producción de bienes y servicios. Sus tareas pueden ser administrativas, directivas y de gestión comercial. La mano de obra directa son todos los trabajadores que directamente realizan la transformación de insumos y materias primas, para convertirlas en bienes y servicios. En este proyecto la cantidad de mano de obra indirecta es de 5 empleados y la mano de obra directa de 59 empleados.

CAPÍTULO 14:

HIGIENE Y SEGURIDAD

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14. HIGIENE Y SEGURIDAD

Una meta de la ingeniería química, y específicamente de los ingenieros involucrados en el diseño de plantas industriales, es la de generar productos y servicios que incrementen la calidad de vida y que garanticen un desarrollo seguro y sostenible. Por lo tanto, no se pueden obviar, durante el diseño, los peligros potenciales para la salud y seguridad de las personas, así como los perjuicios que se puedan llegar a generar para el medio ambiente.

14.1 LEGISLACIÓN INDUSTRIAL

La consulta del marco legal es tarea necesaria por parte del ingeniero de proyecto para el desarrollo de toda planta industrial. El objeto común a toda legislación industrial está en la seguridad de personas, bienes y medio ambiente. El desarrollo del diseño de la planta de producción de ácido L ascórbico, se basa en el panorama legislativo vigente en Argentina según indica el Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social en su última actualización del mes de abril de 2021:

- Ley (Decreto Ley) 19.587/1972 de Higiene y Seguridad en el Trabajo (B.O. 28/04/1972).
- Decreto 351/1979: Reglamentación de la Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Derógase el Decreto 4160/73. (B.O. 22/5/1979).
- Ley 24.557 sobre Riesgos del Trabajo. (B.O. 04/10/1995).
- Ley 26.773: Régimen de ordenamiento de la reparación de los daños derivados de los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales. (B.O. 26/10/2012).
- Ley 27.348 Complementaria de la Ley sobre Riesgos del Trabajo. (B.O. 24/02/2017).

Y, en las recomendaciones y exigencias establecidas por organizaciones internacionales que se ocupan de la seguridad industrial.

14.2 POLÍTICA DE HIGIENE Y SEGURIDAD

Contribuir a un desarrollo seguro y sostenible no sería posible sin la cooperación de todos los integrantes de la empresa; lo que incluye tanto a los directivos como a los diferentes departamentos. Por tal razón, la gerencia se compromete a generar conciencia sobre la importancia de los aspectos que contribuyen a una planta segura, para con ello generar un fuerte compromiso por parte del personal hacia las prácticas seguras y responsables.

Las intenciones globales respecto a lo relacionado con salud, seguridad y medio ambiente, queda plasmada en la siguiente declaración, la cual constituye la política en materia de higiene y seguridad de la empresa.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

“Es política de la empresa contribuir a la preservación del ambiente, prevenir la contaminación de este y cumplir los compromisos que asuma a su contexto. Eliminar los peligros y reducir los riesgos asociados a la Salud y Seguridad en el Trabajo. Se involucrará, dentro de esta política, a la totalidad del personal que conforma la empresa, haciéndose responsables a todos de llevarla adelante.”

Esta declaración se colocará en carteles ubicados en las diferentes zonas del establecimiento para que sea conocida y respetada por todos los miembros de la organización.

14.3 GESTIÓN DE HIGIENE Y SEGURIDAD

La responsabilidad sobre cuestiones relacionadas con higiene y seguridad de la planta, recaerá sobre los miembros del Departamento de Higiene y Seguridad; quién será el encargado de proteger la vida y preservar y mantener la integridad, tanto psicológica como física de los trabajadores y de las personas que se encuentren vinculadas con el ciclo de vida del producto. Tal departamento, también se debe involucrar con las prácticas relacionadas con la protección del medio ambiente, tanto interno como externo.

A su vez, les corresponde a los integrantes de este departamento junto con el directorio de la empresa elaborar e implantar un sistema de reglamentaciones generales y particulares. Estas reglamentaciones conformarán el Manual de Higiene y Seguridad de la empresa, el cual se dividirá por sectores en función de las distintas actividades de la misma. El Manual de Higiene y Seguridad de la empresa estará basado en las recomendaciones y exigencias internacionales, adaptadas a las características del país. Por lo tanto, las disposiciones propias de la empresa y específicas de la actividad, estarán en concordancia con la legislación vigente nacional e internacional. Es responsabilidad del gerente del departamento de higiene y seguridad cerciorarse de que todos los empleados conozcan los puntos del manual y es responsabilidad de los trabajadores cumplir con estas reglamentaciones. Cualquier incumplimiento será sancionado y dichas sanciones serán previamente establecidas por el departamento de higiene y seguridad junto con la gerencia de la empresa.

Podemos resumir que el área de higiene y seguridad se encargará de la anticipación, identificación, evaluación y control de riesgos que se originen en el ámbito de trabajo o en relación con él.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14.4 SEGURIDAD

14.4.1 Proceso productivo

Los ingenieros responsables del diseño del proceso son quienes deben remarcar las áreas del proceso donde existan riesgos potenciales de proceso y con ello garantizar la seguridad del mismo. Algunos casos en consideración son:

- Tipos de reacción químicas
- Condiciones de reacción; temperatura, presión.
- Materias tóxicas, corrosivas e inflamables
- Subproductos

Así mismo, la seguridad en la operación constituye una continuidad de la seguridad en el diseño del proceso; ya que la probabilidad de que un incidente peligroso ocurra no depende únicamente de las características técnicas del proceso y de los controles de seguridad, sino también de aspectos operativos y organizativos del control de riesgos; tales como son las actitudes de los mandos y de los operarios, de los errores humanos, de un mantenimiento inadecuado, del conocimiento y comprensión escasos por los operarios. En base a esto, es necesario implementar un planning de capacitaciones a los operarios en cuestiones del proceso y seguridad e higiene en el trabajo; como así también de cómo deben actuar en base a una anomalía o accidente. El proceso productivo de ácido L ascórbico y su diseño, se encuentra detallado en el capítulo correspondiente a Selección y descripción del proceso de producción. Se detallan las condiciones de proceso, teniendo en cuenta no solo la calidad del producto final y su rendimiento; sino también, cuestiones de seguridad e higiene.

14.4.2 Diseño de equipos

Las recomendaciones para el diseño de los equipos deben ser semejantes a las hechas para garantizar la seguridad del proceso. Las consideraciones a tener en cuenta para el diseño de equipos son:

- Temperaturas máximas y mínimas de diseño
- Presiones máximas y mínimas de diseño.
- Protecciones frente a partes móviles del equipo
- Aislamiento acústico
- Aislamiento térmico
- Aislamiento para protección personal
- Soportes a prueba de fuego
- Resistencia de materiales (corrosión, presión, temperatura, etc.)

Los equipos principales del proceso de producción de ácido se encuentran detallados en el capítulo correspondiente a Diseño y adopción de equipos. Allí se encuentran

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

algunas de las medidas tenidas en cuenta respecto a higiene y seguridad del equipo seleccionado. Las demás consideraciones se desarrollan a lo largo de todo el proyecto según el área que corresponda.

14.4.3 Obras civiles y estructurales

Los edificios deben satisfacer códigos locales y nacionales de construcción que incluyen requerimientos específicos de seguridad. Además, las unidades pueden llegar a requerir medidas adicionales respecto a este tema, las cuales se deben tener presentes. Las consideraciones sobre obras civiles y estructurales pueden ser:

- Seguridad en espacios interiores
- Materiales de construcción
- Seguridad en materiales de construcción
- Sectorización de la planta
- Emplazamiento de edificios
- Diseño considerando la carga máxima de viento
- Cargas de diseño para equipos y tuberías
- Cargas máximas combinadas
- Equipo para elevación de piezas
- Protección contra el fuego de las estructuras
- Caminos interiores

En el capítulo de Obras civiles se encuentran las medidas tenidas en cuenta respecto a higiene y seguridad al momento de definir como se construirán todas las estructuras que comprende la totalidad de la planta.

14.4.4 Instalaciones eléctricas

Los códigos nacionales y locales para la instalación y diseño de establecimientos, incluyen también aspectos eléctricos de seguridad, entre los cuales se encuentran:

- Dimensionado de cables
- Protección frente a fallos
- Puesta a tierra
- Protección de los cables contra el fuego
- Generación de energía de emergencia

Las consideraciones de seguridad e higiene de las instalaciones eléctricas de la planta, se encuentran detalladas en el capítulo 13 de este proyecto.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14.4.5 Protección contra incendios

Toda planta de proceso debe tener un sistema adecuado de protección contra incendios. No obstante, la intensidad de protección debe estar controlada según los procesos y los materiales que se usen. Es necesario contar con:

- Sistemas de agua contra incendios.
- Sistemas de agua de reserva.
- Mangueras, hidrantes y monitores contra incendios.
- Extintores contra incendios.
- Alarmas de incendio.

Para el caso de los extintores, es importante destacar que para cada fuente de ignición o clase de fuego existe un extintor específico a emplear. En la figura 14.1 se observa la clasificación de los mismos.

	A Agua	AB Agua + Espuma Química	ABC Polvo Químico Seco	BC Dióxido de Carbono CO ₂	ABC HCFC 123	D Polvo Químico D	K Acetato de Potasio
 Sólidos	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO
 Líquidos	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO
 Eléctricos	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
 Metales	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
 Grasas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI

Figura 14.1- Clasificación de extintores y usos específicos
Fuente: Guía de prevención de incendios, SRT, argentina.

Según Norma IRAM 3517 Parte 1 Sección 6.2.2 en todos los casos debe instalarse como mínimo un matafuego cada 200 m² de superficie a ser protegida. La máxima distancia a recorrer hasta el matafuego será de 20 m para fuegos de Clase A y 15 m para fuegos de Clase B.

Recomendaciones para evitar incendios:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Tener en cuenta que la sección de los cables se adapte a la potencia instalada de los artefactos eléctricos a conectar, a fin de evitar cortocircuitos, líneas recargadas, etc.
- Apagar correctamente colillas de cigarrillos y fósforos.
- Almacenar los productos inflamables en lugares ventilados, rotulados y ubicarlos lejos de fuentes de calor.
- Evitar acumulación de residuos en áreas de trabajos para disminuir la carga de fuego.
- Capacitar para el buen manejo de equipos industriales que producen calor y quemadores portátiles.
- En trabajos de corte y soldadura mantener los locales ventilados.
- En operaciones que generen electricidad estática mantener la humedad elevada para evitarla.
- Aplicar productos químicos ignifugantes, a la madera sus productos o derivados.
- Evitar la quema de residuos en la planta

La protección contra incendios es una tarea interdisciplinaria que contempla todas las áreas de diseño, comprende tanto factores técnicos como humanos, y es responsabilidad del director de proyecto (especialista en higiene y seguridad) asegurarse de que dicha protección este contemplada en el diseño y posteriormente en la práctica. Así mismo, toda empresa debe contar con un plan de evacuación de personal en caso de incidentes, tal como se explica a continuación.

14.4.6 Plan de evacuación y emergencia

El plan de emergencia de cualquier establecimiento plantea el doble objetivo de proteger a las personas y a las instalaciones ante situaciones críticas, minimizando sus consecuencias. La mejor salvaguarda para los ocupantes ante una emergencia es que puedan trasladarse a un lugar seguro, a través de un itinerario protegido y en un tiempo adecuado. Esto implica realizar una evacuación eficiente.

El Plan de Evacuación es parte integral del Plan de Emergencias, que se elabora para dar respuesta ante la ocurrencia de un evento. Consiste en el diseño y divulgación general del Plan, la realización de la formación específica del personal incorporado al mismo, la realización de simulacros y su revisión para su actualización cuando corresponda.

Para la definición de los planes de emergencia y elaboración del plan de evacuación se deberán tener en consideración:

- Evaluación del riesgo: enunciación y valorización de las condiciones de riesgo de los edificios en relación con los medios disponibles.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Medios de protección: Determinará los medios materiales y humanos disponibles y/o necesarios, se definirán los equipos y sus funciones y otros datos de interés para garantizar la prevención de riesgos y el control inicial de las emergencias que pudieran ocurrir

Es imprescindible mencionar que según la Ley N° 19.587 / Decreto N° 351/79 – Anexo I CAPITULO 18, Protección contra incendio y anexo VII; todo establecimiento debe contar con señales de salvamento y vías de seguridad.

Tras la capacitación de donde se encuentran las salidas de emergencias y la ruta de escape; se lleva a cabo un simulacro de manera periódica en donde se promueve una protección activa. Es decir:

- Mantener las zonas de paso y salidas libres de obstáculos.
- No obstruir los pasillos, escaleras, puertas o salidas de emergencia.
- Utilizar las escaleras tomándose del pasamanos.
- En caso de incendios, usar las salidas de emergencia, nunca ascensores o montacargas.
- NO se demore para recoger objetos personales.
- NO regrese a la zona evacuada bajo ningún concepto.
- NO utilice los ascensores.
- NO corra, no grite, no empuje.

En el caso de incendios, se activa a su vez el protocolo ante incendio (Bomberos, 2020):

1. Si puede abandonar el lugar:

Abandonar el área de incendio

Ayudar a otros, solo si es seguro hacerlo

Activar la alarma de incendio

Al salir cerrar puertas y ventanas si es posible

No usar elevadores

Apagar equipos electrónicos

Ayudar a extinguir el fuego solo si está autorizado y entrenado para hacerlo

Notificar a los servicios de emergencia.

2. Si no puede abandonar el lugar

Informar de su posición desde una ventana

Si su cuerpo es alcanzado por las llamas no corra, deténgase, tírese al suelo y de vueltas sobre su cuerpo

Tírese al suelo y espere que los vapores se eleven.

3. En el punto de encuentro

Diríjase al punto de reunión

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Chequear si falta alguien

Mantenerse a más de 30 metros del edificio o área de incendio

No regresar al lugar

14.4.7 Mantenimiento

Todo lo que se ha definido hasta el momento, llevado a cabo con eficiencia del 100%, llevaría a una cobertura preventiva importante si las instalaciones mantuvieran indefinidamente el estado en que iniciaron su actividad. Debido a las agresiones (desgastes, corrosiones, envejecimientos) que sufren diferentes partes de la instalación por su uso y por la acción de factores internos y externos, se pueden producir averías que originan condiciones inseguras. Por ello es evidente que el mantenimiento eficaz contribuye a la seguridad de instalaciones y operaciones de manera importante. En nuestra planta, se implementarán dos tipos de mantenimiento, los cuales son complementarios entre sí; estos son:

- Mantenimiento correctivo. Intervención correctora de las averías con rapidez, eficiencia y precauciones (seguridad en la propia acción correctora). Para este tipo de mantenimiento es que se dispondrá de una cantidad determinada estadísticamente de repuestos en existencia.
- Mantenimiento preventivo. Se efectuarán inspecciones periódicas de todos los elementos de las instalaciones, con frecuencias mínimas o ajustadas a los análisis estadísticos de averías, con el fin de que la reparación o sustitución de aquéllos se efectúe antes de que la avería se declare. Cuando la avería pueda llegar a tener consecuencias serias para la seguridad, el mantenimiento preventivo será obligatorio.

El mantenimiento de la planta estará a cargo de personal especializado en el tema según lo establecido en el capítulo de Organización de la empresa.

14.4.8 Manipulación de sustancias químicas

En esta sección se detallan las propiedades y características de las sustancias involucradas en el proceso productivo. Se describirán materias primas y producto terminado; como así también sustancia de CIP. El detalle se encuentra en el Anexo 2, utilizando las fichas técnicas de datos de seguridad provistas por International Labour Organization – Base de datos ICSC.

Las sustancias pertenecientes en el proceso productivo de ácido ascórbico por orden alfabético, son:

- Ácido L ascórbico
- Carbonato de sodio
- Dextrosa

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Hidrógeno
- Hidróxido de sodio
- Metanol
- Sorbitol

14.4.9 Señalización de la planta

Según norma ISO 7010 se entiende por señalización de seguridad y salud en el trabajo una señalización que, referida a un objeto, actividad o situación determinadas, proporcione una indicación o una obligación relativa a la seguridad o la salud en el trabajo mediante una señal

en forma de panel.

Una señalización se compone por distintos colores de seguridad a los cuales se les atribuye una significación determinada en relación con la seguridad y salud en el trabajo y un símbolo o pictograma que describe una situación u obliga a un comportamiento determinado.

Las señales de color rojo indican prohibición y presentan las siguientes características:

- Señal de prohibición (Figura 14.2): comportamientos peligrosos
- Peligro-alarma: alto, parada, dispositivos de desconexión de emergencia, evacuación.
- Material y equipos de lucha contra incendios: identificación y localización.
- Forma redonda
- Pictograma negro sobre fondo blanco
- Bordes y banda (transversal descendente de izquierda a derecha atravesando el pictograma a 45°) de color rojo
- El rojo debe cubrir como mínimo el 35%
- Bordes negros

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Figura 14.2- Señales de prohibición industriales

Las señales de color amarillo indican advertencia y presentan las siguientes características

(Figura 14.3):

- Señal de advertencia: atención, precaución, verificación.
- Forma triangular
- Pictograma negro sobre fondo amarillo
- El amarillo debe cubrir como mínimo el 50%
- Bordes negros

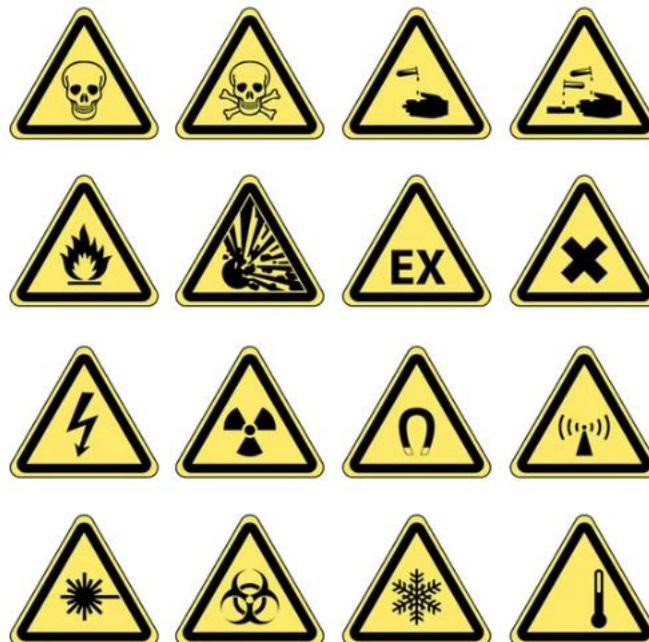


Figura 14.3- Señales de advertencia industriales

Las señales de color azul indican obligación y presentan las siguientes características

(Figura

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14.4):

- Señal de obligación: comportamiento o acción específica, obligación de utilizar un equipo de protección individual.
- Forma redonda
- Pictograma blanco sobre fondo azul
- El azul debe cubrir como mínimo el 50%



Figura 14.4- Señales de obligación industriales

14.5 HIGIENE

La higiene industrial es la técnica de prevención, no médica, que actúa frente a los contaminantes ambientales derivados del trabajo, al objeto de prevenir enfermedades profesionales y otros daños a la salud de los individuos expuestos a ellos (Prevención de riesgos laborales para PYME, 2017).

Las etapas clásicas de la práctica de la higiene industrial son las siguientes:

- Identificación de posibles peligros para la salud en el medio ambiente de trabajo.
- Evaluación de los peligros: un proceso que permite valorar la exposición y extraer conclusiones sobre el nivel de riesgo para la salud humana.
- Prevención y control de riesgos: un proceso que consiste en desarrollar e implantar estrategias para eliminar o reducir a niveles aceptables la presencia de agentes y factores nocivos en el lugar de trabajo, teniendo también en cuenta la protección del medio ambiente.

14.5.1 Identificación de peligros

La identificación de agentes peligrosos, sus fuentes y las condiciones de exposición requiere un conocimiento exhaustivo y un estudio detenido de los procesos y operaciones de trabajo, las materias primas y las sustancias químicas utilizadas o generadas, los productos finales y los posibles subproductos, así como la eventual formación accidental de sustancias químicas, descomposición de materiales, quema de combustibles o presencia de impurezas. La determinación de la naturaleza y la magnitud potencial de los efectos biológicos que estos agentes pueden causar si se produce una exposición excesiva a ellos exige el acceso a información toxicológica.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Las fuentes internacionales de información en este campo son el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (IPQS), la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) y el Registro internacional de productos químicos potencialmente tóxicos, Programa de las Naciones Unidas para el Medio

Ambiente (RIPQPT-PNUMA).

Los agentes que plantean riesgos para la salud en el medio ambiente de trabajo pueden agruparse en las siguientes categorías: contaminantes atmosféricos; sustancias químicas no suspendidas en el aire; agentes físicos, como el calor y el ruido; agentes biológicos; factores ergonómicos, como unas posturas de trabajo o procedimientos de elevación de pesos inadecuados, y factores de estrés psicosocial (Herrick).

14.5.2 Evaluación de riesgos

Una vez que sabemos qué contaminantes están presentes en nuestro entorno laboral, debemos estudiar y valorar el nivel de exposición a cada uno de ellos. Es decir, debemos considerar la intensidad o concentración del contaminante y el tiempo que el trabajador está en contacto con él puesto que, de la combinación de estos dos factores dependerá en gran medida que el organismo del trabajador pueda enfrentarse o no a la agresión determinada sin sufrir daños. Un método eficaz para evaluar riesgos laborales es la tabla de la figura 14.2 que en función de la probabilidad de que ocurra y la intensidad del daño se estima el tipo de riesgo. En función del resultado obtenido y lo plasmado en la figura 14.3 se toma un tipo de acción.

	Daño leve	Daño	Daño extremo
Muy poco probable	Riesgo trivial	Riesgo tolerable	Riesgo moderado
Poco probable	Riesgo tolerable	Riesgo moderado	Riesgo sustancial
Probable	Riesgo moderado	Riesgo sustancial	Riesgo intolerable

Figura 14.5- Estimador simple de riesgos ²

² Aquí tolerable significa que el riesgo se ha reducido al nivel más bajo razonablemente factible.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Nivel de Riesgo	Acción y cronograma
TRIVIAL	No se requiere ninguna acción y no es necesario guardar registros documentados.
TOLERABLE	No hacen falta controles adicionales. Puede prestarse mayor consideración a una mejor costo/beneficio, o mejora que no imponga una carga de costos adicionales. Se requiere monitoreo para asegurar que se mantengan los controles.
MODERADO	Deben tomarse los recaudos para reducir el riesgo, pero los costos de prevención deben medirse y restringirse cuidadosamente. Deben implementarse medidas de reducción de riesgo dentro de un lapso definido. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias de daño extremo, pueden resultar necesarias ulteriores evaluaciones para establecer con más precisión la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de tomar mejores medidas de control.
SUSTANCIAL	No debe comenzar el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede ser necesario asignar recursos considerables para reducir el riesgo. Cuando éste involucra trabajo en proceso, debe tomarse acción urgente.
INTOLERABLE	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, el trabajo tiene que permanecer prohibido.

Figura 14.6- Plan simple de control basado en el riesgo³

Fuente: EVALUACION DE RIESGOS LABORALES. METODO BS 8800: 1996 Guide to occupational health and safety management systems.

14.5.3 Prevención y control de riesgos

Tras la evaluación del riesgo y el plan simple de control, se deben tomar acciones correctivas del problema y trabajar en su erradicación. Las mejores intervenciones de control de riesgos son las que consisten en alguna modificación de la fuente, ya que permiten eliminar el agente peligroso o reducir su concentración o intensidad. La fuente puede reducirse con medidas como la sustitución de materiales, la sustitución o la modificación de procesos o equipos y la mejora del mantenimiento de los equipos. Cuando no se puede modificar la fuente, o cuando esta modificación no es suficiente para alcanzar el nivel deseado de control, deben prevenirse la emisión y la difusión de agentes peligrosos en el medio ambiente de trabajo interrumpiendo sus vías de transmisión, con medidas de aislamiento (ejemplo, sistemas cerrados, recintos), ventilación localizada, instalación de barreras y defensas o aislamiento de los trabajadores (Herrick). A su vez, la colocación de etiquetas y señales de advertencia puede ayudar a los trabajadores a aplicar métodos seguros de trabajo en conjunto con disminuir la exposición del mismo con la fuente y el empleo de elementos de protección personal (EPIS). Capacitar al personal es un punto clave en la prevención de distintos accidentes o enfermedades profesionales, en cuanto al uso de elementos de protección y de los riesgos que existe en su lugar de trabajo.

³ Tolerable aquí significa que se ha reducido el riesgo hasta el nivel más bajo razonablemente factible.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14.5.4 Protección personal

Los EPIS, elementos de protección personal, son indispensables para prevenir accidentes de trabajo y enfermedades profesionales ante la presencia de riesgos específicos que no pueden ser aislados o eliminados. Si bien deben ser la última barrera de protección entre la persona y el riesgo; están presentes en muchas ocasiones y, en cualquier caso, porque de su buena/mala elección por parte de la empresa y del buen/mal uso por parte del trabajador depende en gran medida la salud de los empleados. Pueden incluir elementos como cascos de seguridad, guantes, protección de los ojos, prendas de alta visibilidad, calzado de seguridad, arneses de seguridad y equipos de protección respiratoria. El empleador tiene deberes en relación con el suministro y la utilización de los equipos de protección personal en el lugar de trabajo - Artículo 16 - Convenio sobre seguridad y salud de los trabajadores, 1981 (núm. 155) (OIT, 2019).

En la planta correspondiente al presente proyecto, se decidió brindarles a los trabajadores de las distintas áreas y departamentos la siguiente vestimenta y EPIS detallados en la Tabla 14.1 adjunta.

Tabla 14.1-EPIS

Sector	Departamentos involucrados	EPP y vestimenta
Oficinas	Administración, Ventas y Logística, Compras y RRHH	Uniforme con logo de la empresa que incluye: chomba, pantalón de jean, suéter, zapatos cerrados y campera de abrigo. No se requiere uso de EPIS.
Planta	Producción (a excepción de personal de laboratorio), Gerente General, Calidad, Diseño y Desarrollo.	Traje aséptico que incluye: remera y pantalón blanco, botas de goma, guantes, bata descartable, mascarilla facial y cofia. En caso de ser necesario: casco, protección auditiva, y gafas.
Laboratorio	Operarios de laboratorio	Traje aséptico que incluye remera y pantalón blanco, delantal y guantes. En caso de ser necesario: mascarilla facial, gafas, máscara de seguridad para gases y vapores.
Mantenimiento	Mantenimiento	Pantalón cargo, remera de algodón manga corta, buzo, calzado de seguridad,

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

		casco, y guantes. En caso de ser necesario: protección contra caídas, faja de protección lumbar, protección auditiva, gafas, y careta protectora para soldar.
--	--	---

14.5.5 Sanidad industrial

Mientras la higiene es un principio que se aplica a las personas, la sanidad industrial se aplica

a los equipos, las instalaciones y los locales usados en la producción. Cuando se habla de saneamiento en la industria alimentaria se incluye dos conceptos claves: limpieza y sanitización o desinfección. El término limpieza refiere a la reducción de restos de alimentos, suciedad, tierra, grasa u otro agente contaminante, mientras que la sanitización es la reducción del número de microorganismos en ese medio ambiente, por medio de agentes químicos y/o métodos físicos a un nivel que no comprometa la inocuidad o la aptitud del alimento.

Contribuir al orden y limpieza de las instalaciones de la empresa produce:

- Reduce riesgos de accidentes e incidentes
- Reduce riesgos de enfermedades
- Reduce el riesgo de incendios
- Amplía el espacio disponible para los trabajadores
- Se facilitan los trabajos de conservación y reparación
- Evita pérdidas de tiempo
- Reduce distracciones y contribuye a mantener el nivel de atención
- Promueve la generación de hábitos seguros de orden y limpieza
- Favorece el control de materias primas, repuestos, etc
- Facilita el trabajo, mayor eficacia y eficiencia
- Mayor calidad y cantidad de producción, debido al ordenamiento y la eliminación de desperdicios (residuos).
- Un mejor aspecto del entorno predispone positivamente al trabajo.
- Sube la moral del trabajo del personal y los trabajadores se interesan más por su trabajo.
- Mejor imagen de organización, atrae al cliente externo.

Esta consideración se relaciona directamente con el mantenimiento de las instalaciones, por ende, además de los trabajos de limpieza general, se instruirá a cada empleado sobre la responsabilidad que cabe a cada uno sobre el mantenimiento

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
del orden y la limpieza en su puesto de trabajo; esta capacitación estará comprendida dentro de la capacitación de personal sobre seguridad e higiene.

14.5.6 Plan de higiene en el trabajo

Para una empresa de estas características es imprescindible contar con servicio médico, puesto de enfermería y primeros auxilios al favor de los empleados. El plan de higiene debe contemplar:

- Exámenes médicos de admisión
- Cuidados relativos a lesiones personales provocadas por incomodidades profesionales
- Primeros auxilios
- Registros médicos adecuados
- Supervisión de la higiene y salud
- Relaciones éticas y de cooperación con la familia del empleado enfermo
- Utilización de hospitales de buena categoría
- Exámenes médicos periódicos de revisión y chequeo

CAPÍTULO 15:

INSTALACIONES ELECTRICAS

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

15. INSTALACIONES ELECTRICAS

15.1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se describe de manera general las características de las instalaciones eléctricas y el consumo de los equipos utilizados en el proceso. También se realizan los cálculos para determinar los requerimientos de consumo energético de iluminación y equipos correspondientes.

En el diseño, se adoptan las normas IRAM de manera de garantizar la correcta seguridad del personal, reducir costos y calidad del personal.

El terreno seleccionado para la construcción de la empresa cuenta con energía eléctrica, abastecida por Edesur S.A. El requerimiento de potencia total se determina considerando el consumo de los artefactos utilizados para la iluminación y el correspondiente a cada uno de los equipos que se encuentran involucrados en el proceso productivo. Los circuitos de alumbrado emplean corriente alterna monofásica de 220 V, mientras que en los circuitos de fuerza motriz la corriente utilizada es alterna trifásica de 380 V.

15.2 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

A continuación, se detallan los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas:

15.2.1 Conductores eléctricos (cables)

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 este 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 aislante térmica y eléctrica 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.

15.2.2 Bandejas portacables

Son dispositivos que se emplean para contener a los conductores, de manera que estos queden protegidos contra deterioro mecánico, contaminación y a su vez protejan a la instalación contra incendios. En la planta se utilizan canalizaciones del tipo

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

escalera y ducto ya que las estructuras son metálicas y algunas de hormigón prefabricado.

15.2.3 Tableros

Contienen los dispositivos necesarios para la operación, rastreo, protección y control de todas las instalaciones eléctricas. Permite la correcta distribución de la corriente eléctrica a todos los sectores de la industria. 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:

- Tablero principal: opera toda la instalación
- Tablero seccional: opera circuitos
- Tablero subseccional: opera solo una parte del circuito

15.2.4 Tomacorrientes

Los tomacorrientes son dispositivos eléctricos que sirven como punto de conexión para alimentar equipos eléctricos, tales como electrodomésticos, equipos portátiles e industriales.

Los tomacorrientes no consumen ninguna energía, este solo enlaza la fuente de alimentación

a los equipos que se vayan a alimentar de una fuente de energía eléctrica. Existen una gran cantidad de tomacorrientes con diferentes características y diseños, esto varía según la aplicación a la que se vaya a utilizar. La manera en que se calcula la potencia requerida para es 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 2000 W.

15.2.5 Transformadores

Un transformador es básicamente, un dispositivo capaz de transportar energía eléctrica desde un circuito a otro, basándose en el principio de inducción electromagnética. Se utilizan para soportar los esfuerzos de cortocircuito externo, sobretensiones de impulso y maniobra, y para lograr una disipación óptima del calor. Se componen de tres elementos, núcleo magnético, devanado principal y secundario.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Su eficiencia se mide por la intensidad de la pérdida de energía entre los devanados primarios y secundarios y se encuentran instalados en la subestación eléctrica, donde desde ahí se distribuye la electricidad hacia toda la planta.

15.2.6 Dispositivos de protección

15.2.6.1 Puesta a tierra

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. Podemos decir, en resumen, que existen principalmente dos tipos de protecciones que dependen de la puesta a tierra de forma básica para su correcto funcionamiento, que son la protección contra sobretensiones transitorias (protección de equipos), y protección diferencial contra contactos indirectos (protección de personas). Dicho esto, se afirma que 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.

15.2.6.2 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 en días de tormenta.

15.2.7 Iluminación

El propósito de la iluminación en la industria es proporcionar una visibilidad eficiente y cómoda en el trabajo, así como ayudar a mantener un ambiente seguro. Para seleccionar la iluminación adecuada es necesario determinar: La tarea visual o tipo de trabajo que se va a desarrollar, la cantidad, la calidad y el tipo de iluminación de acuerdo con la tarea visual y los requerimientos de seguridad y comodidad, el equipo de alumbrado o luminarias que proporcionen la luz requerida.

Una buena iluminación presenta ventajas tanto para el trabajador como para la empresa. En el caso del trabajador, conserva su capacidad visual, evita la fatiga ocular y disminuye los accidentes; mientras que, a la empresa le proporciona un aumento en la producción, disminuye el número de errores, facilita la limpieza y el mantenimiento, mejora la utilización del espacio, entre otros. A posteriori, se encuentra un detalle de la cantidad y los tipos de luminaria a utilizar tanto en las partes interiores como en las exteriores de todo el proceso.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

15.1.7.1 Requerimiento de iluminación

El nivel mínimo de iluminación requerida por los diversos espacios físicos de la planta está calculado en base a los requisitos de las normas IRAM, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 15-1: Niveles mínimos de iluminaciones por actividad y sectores.

Clase de actividad visual	Iluminación sobre el plano de trabajo (lux)
Visión ocasional solamente	100
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes	100 a 300
Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos	300 a 750
Tareas severas y prolongadas y de poco contraste	750 a 1500
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste	1500 a 3000
Tareas excepcionales, difíciles o importantes	5000 a 10000
Tipo de edificio, local y tarea visual	Iluminación sobre el plano de trabajo (lux)
Circulación general	100
Iluminación general sobre escaleras y pasarelas	200
Sobre equipos	400
Laboratorio de ensayo y control	600
Iluminación sobre el plano de lectura de aparatos	600
Panel de control	600
Sala de calderas	600
Baños	150
Comedor	200

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Oficinas	600
----------	-----

Fuente: Norma IRAM-AADL J 20-06.

Para obtener el nivel de iluminación necesario y deseado para cada sector, se tienen en cuenta las dimensiones que poseen los mismos y el flujo luminoso necesario de acuerdo al trabajo que se realice en él. El nivel de iluminación se mide en lux (lm/m^2) y surge del cociente de flujo luminoso (lumen) y el área de la superficie iluminada (m^2).

15.2.7.2 Adopción de tipos de luminarias para iluminación.

Las lámparas necesarias para iluminación se adoptan teniendo en cuenta los siguientes factores: El consumo energético, la economía de instalación, el mantenimiento que debe realizarse como así también el nivel de iluminación, las dimensiones del sector y la exposición al medio ambiente. En la siguiente tabla se especifican el tipo de lámpara adoptado para cada zona.

Tabla 15-2: Adopción de luminarias para cada zona de la planta.

Sector	Tipo de lámpara	Luminosidad	Potencia
Oficinas	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Laboratorio	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Sector de producción	Luminaria Lucciola Serie UFO Modelo: CAL200	20000 lm	200 W
Sala de control	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Taller mecánico / eléctrico	Luminaria Lucciola Serie UFO Modelo: CAL150	15000 lm	150 W
Deposito	Luminaria Lucciola Serie UFO Modelo: CAL150	15000 lm	150 W
Oficina de logística	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Portería de ingreso	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Alumbrado exterior	Luminaria Lucciola Serie SOLAR LED Modelo: SOO070	11000 lm	70 W
Comedor	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Baños y vestuarios	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Sector	Tipo de lámpara	Luminosidad	Potencia
Oficinas	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Laboratorio	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Sector de producción	Luminaria Lucciola Serie UFO Modelo: CAL200	20000 lm	200 W
Sala de control	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Taller mecánico / eléctrico	Luminaria Lucciola Serie UFO Modelo: CAL150	15000 lm	150 W
Deposito	Luminaria Lucciola Serie UFO Modelo: CAL150	15000 lm	150 W
Oficina de logística	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Portería de ingreso	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Alumbrado exterior	Luminaria Lucciola Serie SOLAR LED Modelo: SOO070	11000 lm	70 W

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Comedor	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W
Baños y vestuarios	Luminaria Lucciola Serie SPLIT LINE Modelo: SPL125	3800 lm	24 W

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la cantidad de lámparas requeridas para la iluminación interior y exterior de los espacios, se emplean las ecuaciones del apartado. Para las luminarias que solo se encenderán de noche, funcionarán entre las 18:00 y 6:00 hs respectivamente.

15.1.7.2 Calculo del número de luminarias interiores

De acuerdo con los requisitos lumínicos de cada sector, se procede a los cálculos de la cantidad de lámparas necesarias para cubrir las necesidades de iluminación establecidas, empleando la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de Lámparas} = \frac{E \cdot S}{F_m \cdot F_u \cdot I_l}$$

Dónde:

- E: nivel de iluminación (lux)
- S: superficie del sector a iluminar (m²)
- F_m: factor de mantenimiento
- F_u: factor de utilización
- I_l: flujo luminoso de la lámpara (lumen)

El factor de mantenimiento (F_m) está relacionado con el ensuciamiento de la iluminación, lo cual se ve reflejado en una disminución de la intensidad de iluminación. Este factor, se designa según los diversos sectores de las empresas siendo este de un 90% para lugares donde hay baja polución en luminarias de interior y de un 80% para luminarias de exterior. Cuando la polución en el medio exterior es importante se utiliza un factor del 60%, cuando es moderada de un 70%, y, cuando es reducida, de un 80%.

El factor de utilización (F_u) nos da el rendimiento de las luminarias ubicadas en los sectores analizados, y se obtiene una vez obtenido el índice del local (K), mediante la siguiente ecuación. Con ese dato y la Figura 15.1 ofrecida por el fabricante, se calcula F_u.

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA


Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Dónde:

- K: índice del local.
- a: largo de la superficie.
- b: ancho de la superficie.
- h: altura de las lámparas.

También, se debe conocer, el nivel de reflectancia de las paredes y el techo. Para ello, se adopta un factor de reflexión de 0,5 para techo y 0,5 para las paredes, considerando que serán de un color claro.

A continuación, se presenta una tabla en donde se resumen la cantidad de lámparas calculadas y adoptadas para cada sector teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)												
		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	0.5	0.3	0.1	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	.96	.94	

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Figura 15.7 -Tabla para cálculo de F_u .

Fuente: Megaman

A continuación, se presenta una tabla en donde se resumen la cantidad de lámparas calculadas y adoptadas para cada sector teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente.

Tabla 15-3: Cantidad de lámparas en las zonas cubiertas.

Sector	E (lux)	S (m ²)	K	F_u	F_m	l_l (lm)	Nº de lámparas calculadas	Nº de lámparas adoptadas
Oficinas y sala de reuniones	600	122,60	1,82	0,92	0,9	3800	23,38	24
Laboratorio	600	70	0,91	0,77	0,9	3800	14,6	15
Oficina panel de control	600	17,56	0,66	0,65	0,9	3800	4,73	5
Antesala de descontaminación	600	20	0,72	0,69	0,9	3800	4,45	5

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Área de producción	600	2370,54	8,12	1	0,9	3800	415,12	416
Deposito	600	24	0,77	0,74	0,7	15000	1,44	2
Área de envasado y almacenamiento	600	68,44	1,22	0,84	0,9	3800	14,29	15
Seguridad	600	15	0,62	0,65	0,9	3800	4,04	5
Hall de acceso y recepción	600	30	0,90	0,79	0,9	3800	6,62	7
Comedor	600	31,87	0,93	0,79	0,9	3800	7,10	8
Baños y vestuarios	600	61,04	1,29	0,84	0,9	3800	12,75	13
Sala de caldera	600	42	1,07	0,79	0,9	3800	8,77	9
Taller mantenimiento	400	24	0,80	0,74	0,8	15000	1,89	2

Fuente: Elaboración propia.

15.1.7.3 Calculo del número de luminarias exteriores

La iluminación de áreas exteriores requiere de lámparas con carcassas reforzadas (reflectores) para que logre resistir las condiciones ambientales exteriores.

Se utiliza el siguiente método para determinar el número de reflectores; primero se calcula el flujo luminoso total (ϕ) con la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{N_i \cdot S}{K}$$

Dónde:

- N_i : nivel de iluminación deseado.
- S: superficie a iluminar.
- K: coeficiente de utilización.

Para nuestro caso y tomando en consideración la pérdida de flujo luminoso por condiciones ambientales, se adopta un valor de K entre 0,20 y 0,35. Luego se determina el número de reflectores mediante la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ de reflectores} = \frac{\phi}{\phi_l}$$

Dónde:

ϕ_l : flujo de cada luminaria.

Tabla 15.4- Cantidad de reflectores en las zonas exteriores.

Sector	Nivel de iluminación	S (m ²)	ϕ_l (lm)	Numero de lámparas
--------	----------------------	---------------------	---------------	--------------------

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Playa de estacionamiento	100	887,70	11000	33
Vías de circulación de camiones	100	1378,81	11000	51
Iluminación de la parte superior de los tanques	200	50	11000	4

Fuente: Elaboración propia.

15.2.7.1 Iluminación de emergencia

Es necesario contar con iluminación de emergencia para facilitar las vías de evacuación por cuestiones de emergencia y en los casos de interrupción de servicio normal. La fuente debe tomar energía de una conexión independiente y distinta a la del servicio principal y ser capaz de mantener la intensidad de 5 luxes por lo menos durante una hora.

15.3 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En este apartado se tiene en cuenta el consumo de energía de los distintos equipos del proceso. Se detallan los consumos de potencia kW/h de cada equipo por día y por año; considerando las horas de funcionamiento en un ciclo de producción de 350 días.

15.3.1 Consumo total de energía eléctrica del sistema de iluminación

En la siguiente tabla se muestran los consumos diarios y anuales de las luminarias de cada uno de los sectores. Como no todos los sectores requieren que las luminarias estén encendidas las 24 horas, en la misma se muestran las horas/día que estarán encendidas.

Tabla 15.5- Consumo energético del sistema de iluminación.

Sector	Nº de lámparas adoptadas	Potencia (kW/h)	Frecuencia (h/día)	Consumo diario (kW/h)	Consumo anual (kW/h)
Oficinas y sala de reuniones	24	0,57	8	4,56	1596
Laboratorio	15	0,36	24	8,64	3024
Oficina panel de control	5	0,12	24	2,88	1008
Antesala de descontaminación	5	0,12	24	2,88	1008
Área de producción	416	9,98	24	239,52	83832

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Deposito	2	0,04	12	0,48	168
Área de envasado y almacenamiento	15	0,36	24	8,64	3024
Seguridad	5	0,12	8	0,96	336
Hall de acceso y recepción	7	0,16	24	3,84	1344
Comedor	8	0,19	12	2,28	798
Baños y vestuarios	13	0,31	24	7,44	2604
Sala de caldera	9	0,21	24	5,04	1764
Playa de estacionamiento	33	2,31	12	27,72	9702
Vías de circulación de camiones	51	3,57	12	42,84	14994
Iluminación de la parte superior de los tanques	4	0,28	12	3,36	1176
Total				360,64	126380

Fuente: Elaboración propia.

15.3.2 Consumo total de energía eléctrica de la planta

El consumo total de energía eléctrica de la planta, que contempla el consumo de los equipos involucrados en la producción y servicios auxiliares, como así las luminarias, se encuentra descrito en la siguiente tabla. El consumo de los equipos expresados en kW/h se encuentra detallado en el capítulo 9, inciso 9.7.2.

Tabla 15.6- Consumo total de energía eléctrica de la planta.

Tipo de consumo	Consumo diario (kW/h)	Consumo anual (kW/h)
Equipos	6095,32	2133363
Iluminación	360,64	126380
Total	6455,32	2259743

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 16: AUTOMATIZACIÓN

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

16. AUTOMATIZACIÓN

16.1 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.

El objetivo del control automático de procesos es mantener en determinado valor de operación las variables del proceso tales como: temperaturas, presiones, flujos y compuestos. (Smith & Corripio)

En el presente capítulo se llevará a cabo el control automático de la sección de fermentación, del proceso de producción de ácido ascórbico.

16.2 CONTROL AUTOMATICO DE PROCESOS

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.
- Transmisor, 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 transmitirla 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.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

16.2.1 Control automático de la sección de fermentación

Los equipos de esta sección son dos fermentadores. 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 M, contiene medio de cultivo esterilizado, es impulsada por la bomba P-07 hacia el sistema de esterilización junto con la corriente I de inóculo, que es impulsada por la bomba P-08. 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 un lazo de control con una válvula (V-01 y V-02), la cual permite regular el caudal de entrada. También se instala un caudalímetro y una válvula (FT-003 y V-03) para dosificar la sorbosa necesaria en el medio de cultivo de R-05 la cual es impulsada por la bomba P-10. Lo mismo se realiza para el inóculo del segundo reactor. (FT-005 y V-06).

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 detengan las bombas mencionadas con anterioridad.

Además, cada reactor tiene un transmisor de pH (pHT-001 Y pHT-002) conectado mediante un lazo de control a una válvula (V-04 y V-05). 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 las torres de enfriamiento. 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 P-21 y P-22 del sistema de enfriamiento.

Por último, se instala un caudalímetro (FT-004) en la corriente de salida del fermentador R-03, el cual es conecta con un variador de frecuencia (VF-001) que actúa sobre la bomba P-09, esto sirve para dosificar de medio de cultivo al segundo fermentador. De la misma manera, en la corriente de salida del reactor R-05 también se instala otro caudalímetro (FT-006) conectado al variador de frecuencia (VF-002) que va a actuar sobre la bomba P-12.

Dichos variadores de frecuencia permiten regular el caudal de salida de cada tanque.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

16.3 P&ID

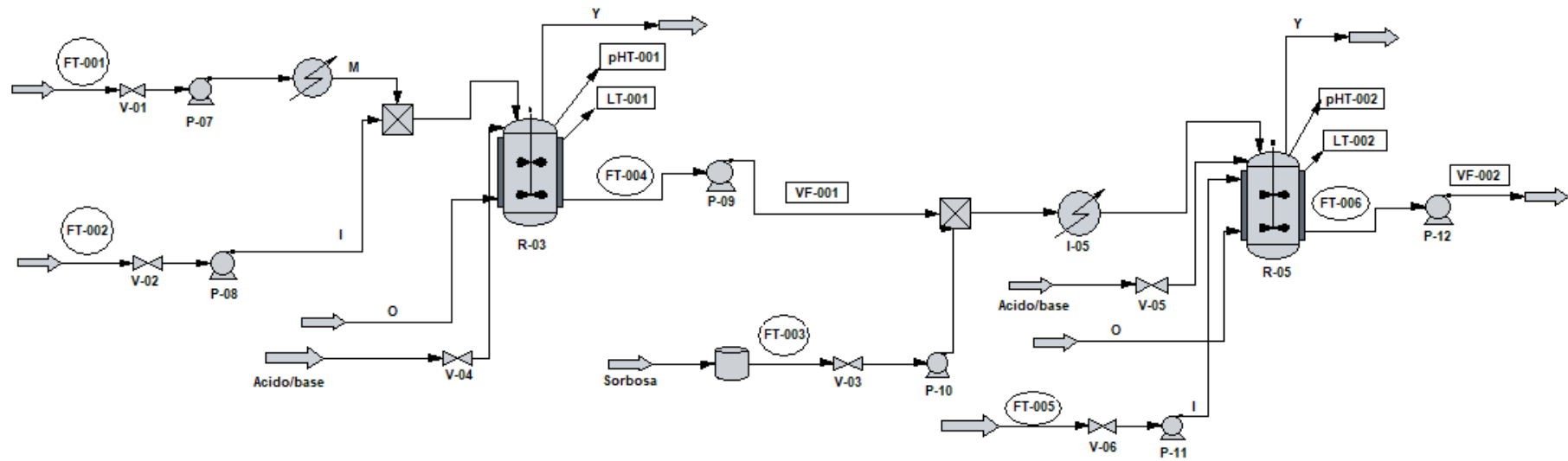


Figura 16.1 – P&ID

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

16.4 HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

En las siguientes tablas se muestran las especificaciones de los instrumentos seleccionados para la automatización de la fermentación.

Tabla 16.35 – Especificaciones para el transmisor de temperatura

Hoja de especificación	TRANSMISOR DE TEMPERATURA	
General	TAG	TT-001 y TT-002
	SERVICIO	Medir temperatura
	UBICACIÓN	Zona superior de R-03 y R-05
	RANGO	0-100°C
	CONEXIÓN	Brida
Transmisor	TIPO DE SENSOR	Continuo
	ORIENTACIÓN	Vertical
	LONGITUD APROXIMADA	150mm
	SEÑAL SALIDA	4 Ma- 20Ma



Figura 16.2 – Transmisor de temperatura

Tabla 16.36 – Especificaciones para los transmisores de caudal

Hoja de especificación	TRANSMISOR DE CAUDAL	
General	TAG	FT-001, FT-002, FT-003 y FT-004
	SERVICIO	Medir caudal
	UBICACIÓN	Corriente I, M, M.j y U

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

	TIPO DE CAUDALIMETRO	Digital
	CONEXIÓN	Brida
Transmisor	VOLTAJE PARA FUNCIONAMIENTO	24 V
	MATERIAL ELECTRODO	Titanio
	SEÑAL SALIDA	4 Ma- 20Ma



Figura 16.3 – Transmisor de caudal

Tabla 16.37 – Especificaciones para los transmisores de nivel

Hoja de especificación	TRANSMISOR DE NIVEL	
General	NOMBRE	LT-001 y LT-002
	SERVICIO	Medición de nivel
	UBICACIÓN	P-01
	FUNCIÓN	Medición
	SECTOR	Fermentación
	TIPO DE SENSOR	Magnético
	ORIENTACIÓN	Vertical
	MATERIAL	Acero inoxidable
	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	18°C y 28°C

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Figura 16.4 – Transmisor de nivel

Tabla 16.38 – Especificaciones para variadores de frecuencia

Hoja de especificación	VARIADORES	
General	NOMBRE	VF-001 y VF-002
	TIPO DE VARIADOR	Digital
	FUNCIÓN	Modificar la potencia
	SERVICIO	Variación de frecuencia
	UBICACIÓN	Bomba P-07 y P-12
	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
	TIPO DE SALIDA	Triple
Salida	FRECUENCIA DE SALIDA	0,00 - 300Hz



Figura 16.5 – Variador de frecuencia

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
Tabla 16.39 – Especificaciones para el 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



Figura 16.6 – Transmisor de pH

Tabla 16.40 – Especificaciones para las válvulas on/off

Hoja de especificación	VALVULA ON/OFF	
General	NOMBRE	V-02, V-03, V-04 y V-05
	SERVICIO	Control de caudal
	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

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

	TRANSMISOR	Analógico
	CAUDAL MÁXIMO	550
	CAUDAL OPERATIVO	494,55



Figura 16.7 – Válvula on/off

CAPÍTULO 17:

ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17. EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA

17.1 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.

El estudio realizado a lo largo de todo este proyecto demuestra la existencia de un mercado potencial a cubrir. Por tal motivo, en este capítulo se analiza el estudio económico y financiero de la producción de ácido ascórbico a partir de jarabe de alta dextrosa; y se plasma la rentabilidad y viabilidad 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 ácido L ascórbico.
- 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 proyecto se evalúa en un período de 20 años y todos los montos de dinero están expresados en dólares estadounidenses. Se toma una relación de cambio respecto al dólar de 149,00 \$/USD (Banco Nación, 2022) a la fecha correspondiente

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17.2 INVERSIÓN

Se entiende por inversión, al capital necesario para lograr hacerle frente a un determinado proyecto, del cual se espera una ganancia futura. Este último se compone de activos fijos, nominales y capital de trabajo que deben ser contemplados para calcular el monto total a poseer. En la figura 17.1 se detallan los componentes de la inversión y las categorías más importantes de estos.

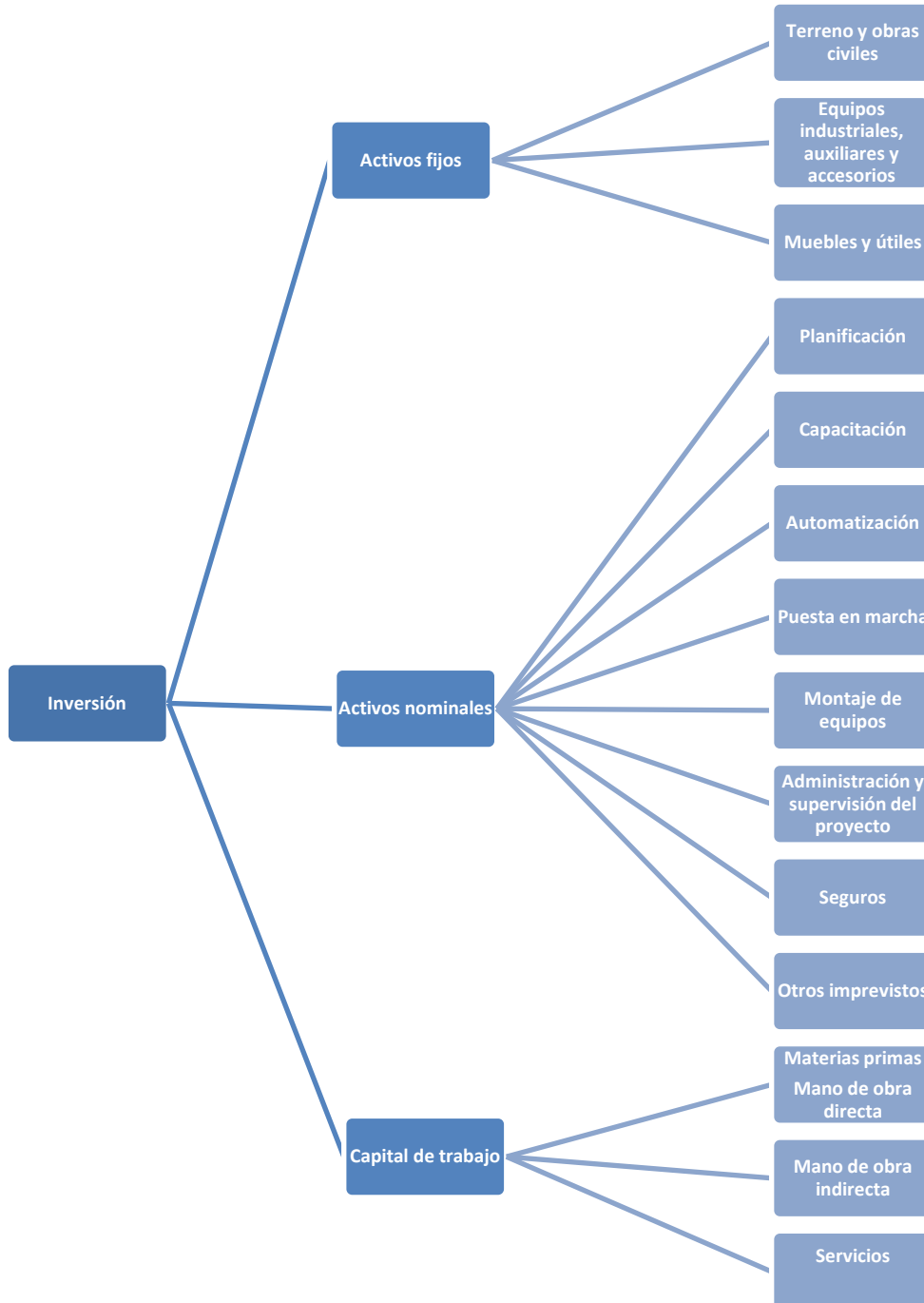


Figura 17.1 - Componentes de la inversión.

Elaboración propia

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17.2.1 Activos fijos

Se denominan activos fijos a aquellos bienes que son de naturaleza permanente en el período de actividad de la compañía, ya que se consideran indispensables para el normal desarrollo de la misma. Esto supone que no serán vendidos ni desechados en el corto plazo.

Los activos fijos incluyen las instalaciones civiles, equipos industriales y adicionales, bombas, tuberías, accesorios y los mobiliarios necesarios para el correcto funcionamiento del proyecto en el período establecido; y para efectos contables, están sujetos a depreciación lo cual se refiere al tiempo durante el cual la empresa puede hacer uso de él hasta que ya no sea útil, los factores que influyen principalmente en la vida útil de un activo fijo son el uso, el tiempo y la obsolescencia tecnológica. En la determinación de los costos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cotización del dólar al día 12/10/22 del Banco de la Nación Argentina es de \$149.
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 y seguro, se supone un valor de un 1% sobre el costo total del equipo.
- En la estimación de gastos administrativos, mobiliario de oficina y útiles, se supone un 0,5% sobre el total de costos de producción.

Los activos se subclasificaron en los siguientes grupos.

17.2.1.1 Obras civiles

La planta de producción de ácido L ascórbico se encuentra ubicada Junín, provincia de Buenos Aires; razón por la cual se toman los costos establecidos de terreno en los boletines digitales de la revista Arquitectura y construcción; donde el costo por m² cuesta 1043 dólares estadounidenses. A continuación, en la Tabla 17.1, se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 17.1-Costos de construcción

Sector	Superficie (m ²)	Costo unitario (USD/m ²)	Costo total (USD)
Garita de seguridad	15	1.043	15.645

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Estacionamiento	250	1.043	26.0150
Hall de acceso y recepción	30	1.043	31.290
Oficinas administrativas	102,29	1.043	106.688,47
Sala de reuniones	20,33	1.043	21.204,19
Sanitarios	22,08	1.043	23.029,44
Comedor	31,87	1.043	33.240,41
Sanitarios y vestuarios	38,96	1.043	40.635,28
Laboratorio	32	1.043	32.760
Oficina panel de control	24,38	1.043	18.304,65
Antesala de descontaminación	20,00	1.043	20.860
Depósito de insumos y materias primas	24,00	1.043	25.032
Área de producción	2370,54	1.043	2.472.473,22
Área de envasado y almacenamiento	68,44	1.043	71.382,92
Área de servicios auxiliares	202,93	1.043	211.655,99
Sala de caldera	42,00	1.043	43.806
Tratamiento de efluentes	196,00	1.043	204.428
Espacio de circulación de camiones (piedra)	1378,81	-	5.000
Taller de mantenimiento	40	1.043	37.548
Instalaciones			3.706.794,74

Los valores establecidos ya contienen el porcentaje correspondiente al 21% del IVA.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17.2.1.2 Equipos industriales, auxiliares y accesorios

Esta sección involucra todos los equipos y accesorios inherentes a la producción de ácido L ascórbico. Se especifica el costo de cada uno de ellos y se tiene en cuenta que los mismos son bienes de capital. Por ende, se considera un costo de flete del 1% del costo total e IVA de 10,5 % del costo total.

Se estimó el valor teniendo en cuenta el material y las dimensiones de cada equipo. Se hizo uso de un programa, además de dialogar con distintos proveedores. En la Tabla 17.2 se exhiben estos costos.

Tabla 17.2-Costos de equipos

Equipo	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo Total sin IVA	Flete y gastos de compra	Costo total con IVA	IVA
R-01	1	14.954	14.954	150	15.104	1.586
R-02	1	6.650	6.650	67	6.717	705
R-04	1	8.238	8.238	82	8.321	874
R-03	1	13.290	13.290	133	13.423	1.409
R-05	1	33.830	33.830	338	34.169	3.588
D-01	1	7.083	7.083	71	7.154	751
T-02	1	4.541	4.541	45	4.587	482
T-03	1	85	85	1	86	9
T-01	1	660	660	7	667	70
T-04	1	3.961	3.961	40	4.000	420
T-05	1	9.376	9.376	94	9.470	994
T-06	1	17.978	17.978	180	18.158	1.907
T-07	1	11.406	11.406	114	11.520	1.210
I-01	1	1.239	1.239	12	1.251	131
I-02	1	1.239	1.239	12	1.251	131
I-03	1	2.276	2.276	23	2.299	241

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

I-04	1	2.114	2.114	21	2.135	224
I-05	1	2.645	2.645	26	2.671	281
I-06	1	2.436	2.436	24	2.460	258
I-07	1	600	600	6	606	64
I-08	1	300	300	3	303	32
I-09	1	300	300	3	303	32
I-10	1	3.635	3.635	36	3.671	385
P-01	1	127	127	1	128	13
P-02	1	14	14	0	14	1
P-03	1	14	14	0	14	1
P-04	1	235	235	2	237	25
P-05	1	235	235	2	237	25
P-06	1	235	235	2	237	25
P-07	1	409	409	4	413	43
P-08	1	409	409	4	413	43
P-09	1	409	409	4	413	43
P-10	1	409	409	4	413	43
P-11	1	155	155	2	157	16
P-12	1	158	158	2	160	17
P-13	1	158	158	2	160	17
P-14	1	158	158	2	160	17
P-15	1	158	158	2	160	17
P-16	1	158	158	2	160	17
P-17	1	235	235	2	237	25

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

P-18	1	158	158	2	160	17
P-19	1	158	158	2	160	17
P-20	1	158	158	2	160	17
Caldera	1	36.933	36.933	369	37.302	3.917
F-02	1	3.135	3.135	31	3.166	332
F-01	1	1.755	1.755	18	1.773	186
F-03	1	3.083	3.083	31	3.114	327
R-06	1	11.984	11.984	120	12.104	1.271
R-07	1	3.697	3.697	37	3.734	392
TA-01	1	2.972	2.972	30	3.002	315
TS-01	1	375.000	375.000	3.750	378.750	39.769
C-02	1	5.213	5.213	52	5.265	553
ME-01	1	375.000	375.000	3.750	378.750	39.769
C-01	1	4.332	4.332	43	4.375	459
E-01	1	187.461	187.461	1.875	189.336	19.880
E-02	1	171.493	171.493	1.715	173.208	18.187
E-03	1	39.851	39.851	399	40.250	4.226
Válvulas	6	130	780	8	788	83
Transmisor de caudal	5	100	500	5	505	53
Transmisor de nivel	2	50	100	1	101	11
Variador de frecuencia	2	100	200	2	202	21

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Transmisor pH	1	100	100	1	101	11
Transmisor de temperatur.	2	80	160	2	162	17
Torre de enfriam.	1	4.700	4.700	47	4.747	498
Total equipos	75	1.375.455	1.381.435	1.381.435	1.395.250	146.501

17.2.1.3 Mobiliario y elementos de oficina

En este apartado 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 17.3 se expone el costo estimado de mobiliarios y elementos de oficina.

Tabla 17.3-costos de mobiliario y elementos de oficina

Elemento	Cantidad	Costo total (USD)
Computadora	6	7020
Escritorio	6	450
Mesas	2	350
Sillas	22	880
Armario	8	2120
Archivero	4	880
Aire acondicionado	10	8270
Equipo sanitario	5	1750
Lockers	45	765
Banco para vestuario	3	315
Heladera	1	950
Microondas	2	610
Total		27360

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17.2.1.4 Resumen de activos fijos

En este apartado se detallan los valores correspondientes a los activos fijos de este proyecto. En la figura 17.2 vemos la distribución de los mismos en un gráfico de tortas y en la tabla 17.4 el costo pertinente.

Tabla 17.4 - Activos fijos

Categoría	Monto en USD	Porcentaje
Obras civiles	3.706.794,74	72,39
Equipos industriales, auxiliares y accesorios	1.374.352	27,07
Mobiliario y elementos de oficina	27.360	0,53

Como se muestra en la Imagen 17.2, aproximadamente el 70% de los activos fijos corresponden a obras civiles, el 30% representa a los equipos industriales mientras que el mobiliario no influye considerablemente en la inversión de los activos fijos.



Figura 17.2 - Activos fijos

17.2.2 Activos nominales

Se definen a los activos nominales como bienes intangibles que pueden generar un gran impacto en términos de competitividad. Son inversiones que se realizan previo a la puesta en marcha del proyecto, las cuales no se recuperan, pero deben ser amortizadas durante el período correspondiente.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Para el cálculo de los mismos es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los gastos de planeación de supervisión del proyecto, se consideran el 5% de los activos fijos totales.
- Se considera un 5% del total, para los gastos de capacitación inicial.
- El montaje e instalación de equipos se estima en un 20% de la suma de maquinarias y equipos.
- Para imprevistos se considera un 1% en base al monto total de maquinarias, sin tener en cuenta el flete y el IVA.
- El costo de la puesta en marcha se estima como el costo total de producción por un tiempo determinado. 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 el rendimiento establecido para el producto. Corresponde al 3% del monto total de los equipos, sin tener en cuenta el flete y el IVA.
- Se considera que el costo de automatización corresponde al 6% del costo de equipos más instalación de equipos.
- El valor de seguros corresponde al 2% del monto total de los activos fijos sin considerar el IVA.
- Se considera que el costo que se utiliza en investigación es igual el 5% del costo de infraestructura y equipos.

En la tabla 17.5 se realiza un resumen de los costos de activos nominales; mientras que en la figura 17.3, su correspondiente gráfico.

Tabla 17.5 - Datos de activos nominales

Activos nominales	Costo USD	Porcentaje
Ingeniería de proyecto	259.120,54	20,49
Imprevistos	103.648,21	25,65
Puesta en marcha	41.231	3,260
Automatización	122.713,39	9,70
Capacitación	46.141,11	3,64
Seguros	51.824,10	23,48
Montaje e instalación de equipos	409.044,64	32,35
Investigaciones	230.705,56	18,24

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

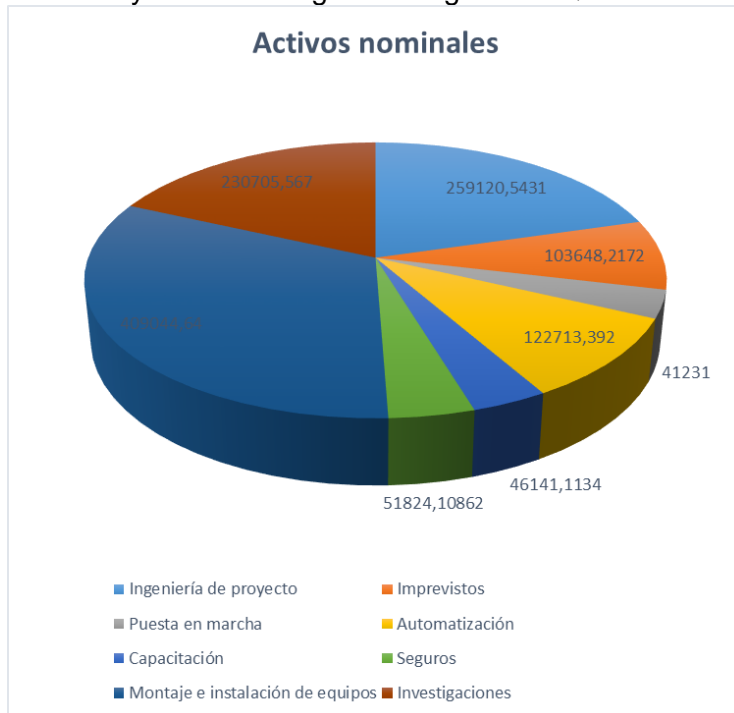


Figura 17.3 - Activos nominales

17.2.3 Capital de trabajo

El capital de trabajo se representa como el capital adicional (distinto de la inversión en activo fijo y nominal) con que hay que contar para que empiece a funcionar una empresa. Esto significa que hay que financiar la primera producción antes de recibir ingresos, entonces, debe comprarse materia prima, pagar mano de obra directa que la transforme, otorgar crédito en las primeras ventas y contar con cierta cantidad en efectivo para los gastos diarios de la empresa. Para estimar el capital de trabajo necesario para este proyecto, se toma un tiempo de 30 días. En la tabla 17.6 se detallan los montos de dinero necesarios que la empresa debe tener en su poder para sobrellevar el primer mes de trabajo. En la figura 17.4, se visualiza el porcentaje de participación de los mismos.

Tabla 17.6-distribución de capital de trabajo

Capital de trabajo	Costo USD	Porcentaje
Materia prima	18.836	11,02
Insumos	574	0,33

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Mano de obra indirecta	13.288	7,77
Mano de obra directa	50.687,13	29,66
Energía y combustibles	87486,187	51,20
Total	173161,44	100



Figura 17.4 – capital de trabajo

17.2.4 Inversión total del proyecto

Si consideramos la sumatoria de activos fijos, activos nominales y capital de trabajo, obtenemos el capital necesario para concretar el proyecto y poner en régimen la producción de ácido L ascórbico. Entendiendo que hablamos de una gran suma de dinero, la empresa busca una financiación externa, tal como se detallará a posteriori. En la tabla 17.7 se puede observar el total a financiar y en la figura 17.5 la participación de cada uno de los anteriores.

Tabla 17.7 - Inversión total del proyecto

Categoría	Costos USD	Porcentaje
Activos fijos	5.108.506,92	78,03
Activos nominales	1.264.428,55	19,31
Capital de trabajo	173.161	2,66

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

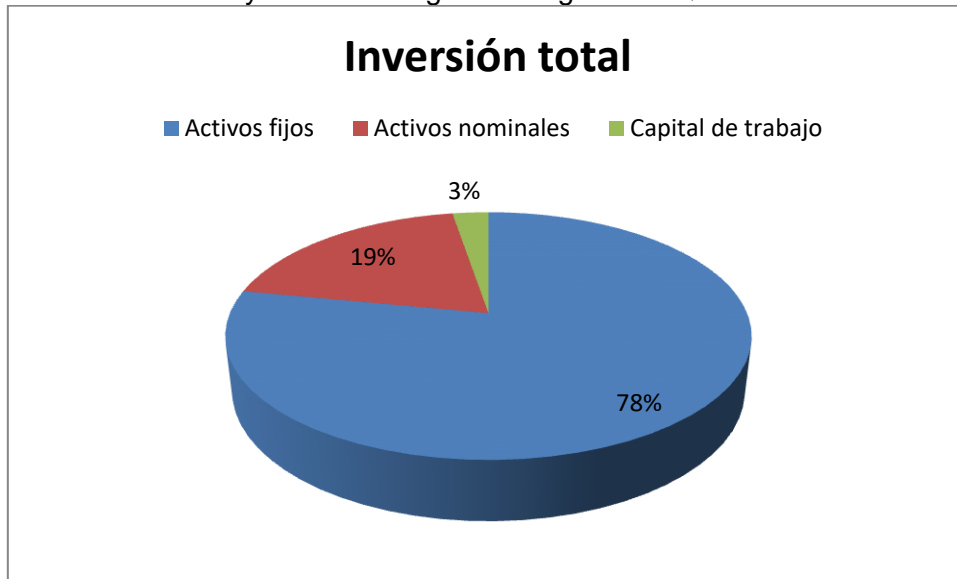


Figura 17.5 - Inversión total del proyecto

Como se observa en la figura 17.5, los activos fijos resultan los más significativos de la inversión, representando los 78% del total; seguidos en menor medida por los activos nominales y capital de trabajo.

17.3 COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN

Se denomina a los costos necesarios para mantener una línea de procesamiento. Los costos totales de producción pueden dividirse en dos categorías:

- Costos variables o directos: son proporcionales a la producción.
- Costos fijos o indirectos: son independientes de la producción.

Tal como se observa en el siguiente esquema, los mismos se subdividen en otros tipos de costos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

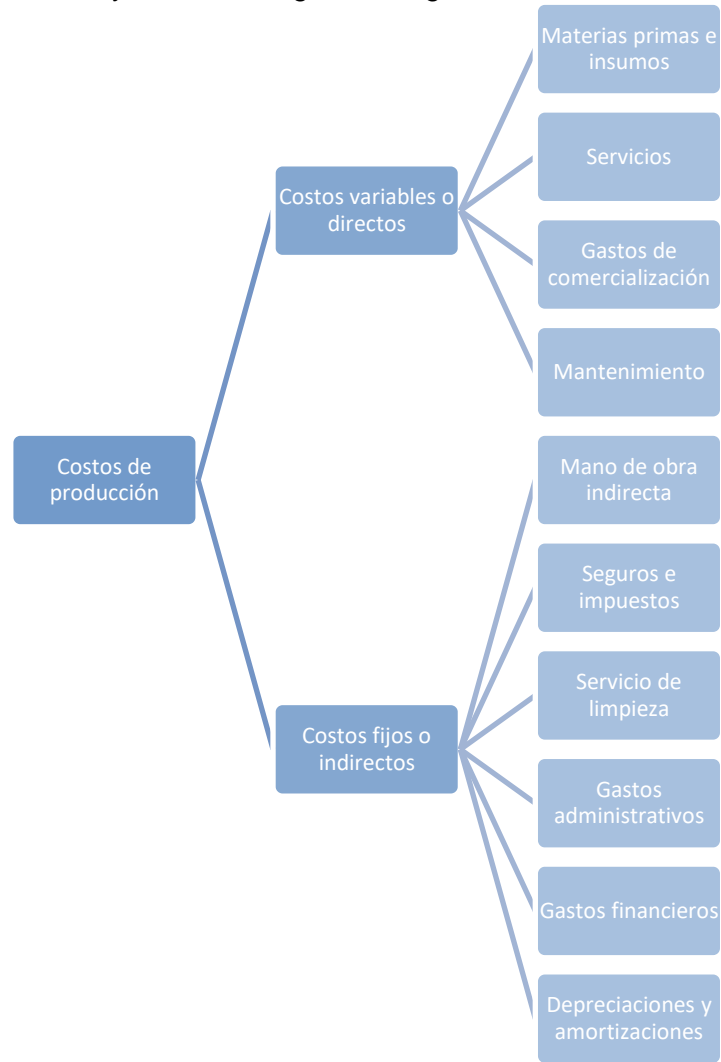


Figura 17.6 - Clasificación de los costos de producción. Elaboración propia.

17.3.1 Costos variables

17.3.1.1 Materias primas e insumos

Las materias primas representan un porcentaje significativo de los costos variables de producción a causa del gran volumen que se requiere de las mismas. Por tal motivo, se buscó que la localización de la planta sea cercana al proveedor de jarabe de alta dextrosa, para disminuir los costos de transporte al tratarse de la materia prima fundamental de este proceso. Se estima un flete del 1% del valor de la materia prima, que ya se encuentra incluido en el costo final de la misma. En la tabla 17.8 y 17.9 se detallan los costos de las materias primas e insumos principales detallados en el capítulo 4; correspondientes al primer año del proyecto.

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DEXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 17.8 - Materias primas

Materias primas	Cantidad	Unidad	Costo USD/u (sin IVA)	Costo total USD
Jarabe de alta dextrosa	1191	t	215	256.003
Hidrógeno	86,94	t	4000	34.779,87

Tabla 17.9 - Insumos

Insumos	Cantidad	Unidad	Costo USD/u (sin IVA)	Costo total USD
Metanol	7,08	t	1050	7815
Carbonato de sodio	0,28	t	2600	767
Catalizador	0,02	t	880	17

17.3.1.2 Servicios

En este punto se consideran los servicios de agua, gas natural y electricidad, los cuales están vinculados directamente al proceso. La tarifa correspondiente al gas natural fue obtenida de la empresa prestadora del servicio Gas Natural ENARGAS S.A; mientras que el costo de la energía eléctrica se tomó del último cuadro tarifario publicado correspondiente a

EDESUR S.A de la provincia de Buenos Aires. Para el caso del agua, se suministra la misma 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 17.10 se describen los costos de los servicios auxiliares.

Tabla 17.10 - Servicios

Insumos	Consumo	Unidad de consumo	Costo USD/u	Costo total USD
Energía eléctrica	192.098,62	kW/h	0,047	1.345.266,64
Gas natural	58.800,00	m ³	0,090	5.292,00

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17.3.1.3 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 17.11 se exhiben estos costos.

Tabla 17.11 - Mano de obra directa

Área / sector	Cargo	Cantidad	Jornal por hora	Jornal anual	Cargas sociales	Costo anual
Producción	Encargado/jefe turno	1	4,03	11.284,00	5.500,95	17.725,28
Producción	Supervisor	4	3,4	38.080,00	18.564,00	59.817,33
Producción	Operarios	16	3	134.400,00	65.520,00	211.120,00
Calidad	Jefatura	1	4,03	11.284,00	5.500,95	17.725,28
Calidad	I&D	1	3	8.400,00	4.095,00	13.195,00
Calidad	Analistas	4	3	33.600,00	16.380,00	52.780,00
Mantenimiento	encargado /jefe turno	1	4,03	11.284,00	5.500,95	17.725,28
Mantenimiento	Supervisor	4	3,4	38.080,00	18.564,00	59.817,33
Mantenimiento	Operarios	12	3	100.800,00	49.140,00	158.340,00

17.3.1.4 Gastos de comercialización

Los gastos de comercialización se los estima como el 0,1% de los costos de producción, representando un valor de 582 USD para el primer año.

17.3.1.5 Mantenimiento

Como mantenimiento se consideran los costos de carácter preventivo que se realizan sobre los equipos que intervienen en el proceso de producción, referidos a materiales y refacciones; sin considerar en este apartado los sueldos del personal de mantenimiento. Este se define como el 1% sobre el costo de equipos industriales y accesorios, arrojando un valor de 13744 USD para el primer año.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17.3.1.5 Resumen de costos variables

En la tabla 17.12 se observan los resultados del total de costos directos o variables involucrados en el proyecto para el primer año, además para su mayor comprensión se confecciona el gráfico de la imagen 17.7.

Tabla 17.12 - Resumen de costos variables

Categoría	Costo anual USD	Porcentaje
Materia prima e insumos	299.381,44	13,17
Servicios	1.350.558,64	59,43
Mano de obra directa	608.245,52	26,76
Gastos de comercialización	582	0,02
Mantenimiento	13.744	0,60

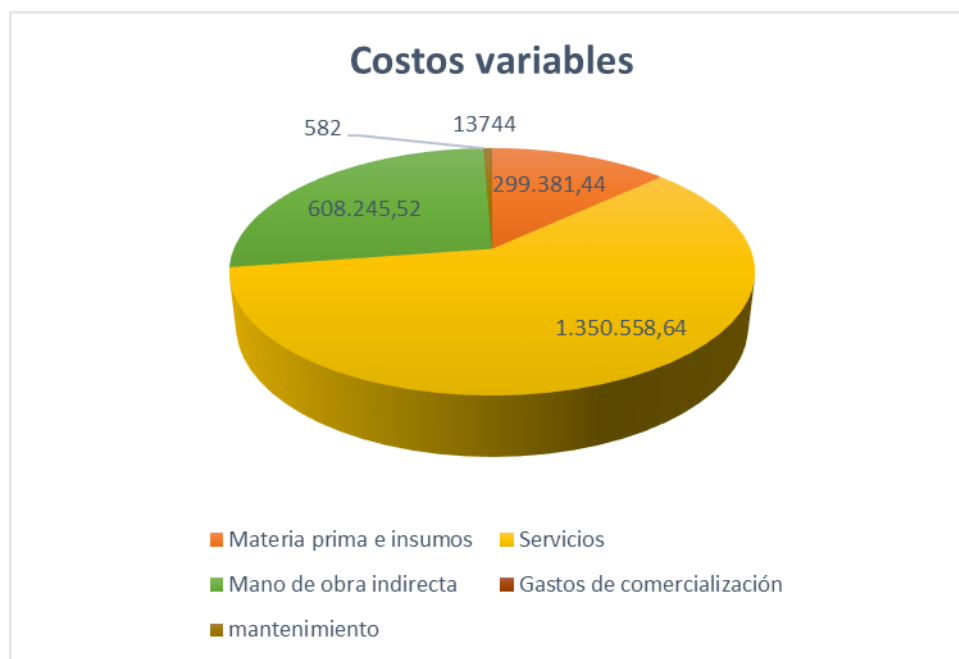


Figura 17.7 - Total de costos variables

17.3.2 Costos fijos

17.3.2.1 Mano de obra indirecta

Es el monto de salarios y demás cargas de empleados que, aunque trabajan en la planta, no se relacionan directamente con la producción, pero que son imprescindibles para la actividad económica de la empresa. En la tabla 17.13 se resumen estos salarios.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 17.13- mano de obra indirecta

Cargo	Cantidad	Sueldo (USD/mes)	Gasto anual nominal (USD)	Carga social (USD)	Gasto total anual (USD)
Gerente	1	1.342,28	16.107,38	7.852,35	1378,86
Jefe de Producción	1	1208,05	14.496,64	7.067,11	22.771,81
Jefe de área comercial	1	805,36	9.664,43	4.711,41	15.181,21
Marketing	1	738,25	8.859,06	4.318,79	13.916,11
Contador	1	872,48	10.469,80	5.104,03	16.446,31
Responsable de RRHH	1	805,36	9.664,43	4.711,41	15.181,21
Seguridad e higiene	1	671,78	32.245,44	15.719,65	50.652,21

17.3.2.2 Seguros e impuestos

A los costos de seguros e impuestos se los estima como el 1% de la inversión de los activos fijos, por lo tanto, arroja un valor de 50768,35 USD al año.

17.3.2.3 Servicio de limpieza

El costo del servicio de limpieza se estima como el 1% de las obras civiles, arrojando un valor de 32.606,19 USD al año.

17.3.2.4 Gastos financieros

La inversión inicial que debe realizar la empresa para comenzar con la actividad productiva, calculada anteriormente en el apartado 17.2.4, es obtenida a través de financiamiento externo o crédito. Todos los créditos tienen un costo financiero, el cual es materializado principalmente como intereses.

El crédito es otorgado por el Banco Nación, con una tasa de interés final del 6.5%, un plazo de 120 meses para su cancelación, de cuotas fijas en pesos. De acuerdo a esto, se solicita un préstamo por un monto de 6.897.882,12 USD a cancelar en 10 años.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Este tipo de créditos emplea el sistema de amortización francés, el cual es frecuente en este tipo de préstamos, y se utiliza para el cálculo de las cuotas anuales. El sistema francés, se caracteriza por ser un sistema de amortización de cuotas constantes y debido a esto, cada mes el banco recibe intereses en función del capital pendiente de amortizar. Por ello, durante los primeros años del préstamo, se paga una cantidad mayor de intereses que de capital y, en cambio, durante el período final del préstamo, más capital e intereses menores. En la tabla 17.14 se detallan las características del préstamo solicitado.

Tabla 17.14 - Características del préstamo solicitado.

Detalles del crédito	
Monto en USD	6.897.882,12
Tasa	6,5%
Plazo	10 años / 120 meses
Valor de la cuota en USD	959.528
Sistema de amortización	Francés

17.3.2.5 Amortizaciones y depreciaciones

Tanto la depreciación como la amortización hacen referencia al desgaste o agotamiento que sufre un activo en la medida de que, con su utilización, contribuye a la generación de los ingresos de la empresa. La principal diferencia entre ambos términos es la siguiente:

- La depreciación se centra exclusivamente en los activos fijos.
- La amortización se enfoca a los bienes intangibles y diferidos.

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,

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
dependiendo del caso. En la tabla 17.15 se estiman las amortizaciones y depreciaciones.

Tabla 17.15- Amortizaciones y depreciaciones

Categoría	Inversión realizada	Tasa	Depreciación/ amortización anual USD
Terreno	527.000	3,3%	17.573
Obras civiles	2.568.888	10%	256.889
Maquinarias y equipos	1.374.352	5%	68.718
Muebles y útiles	24.360	20%	4.872
Instalaciones industriales y auxiliares	670.871	10%	67.087
TOTAL	6.540.020	-	415.139

17.3.2.6 Resumen de costos indirectos

A continuación, en la Tabla 17.16, se resumen los costos fijos indirectos a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico circular (Figura 17.8) se representan dichos valores porcentuales.

Tabla 17.16 - Resumen de costos indirectos

Costos fijos indirectos	Costo anual (\$)	%
Mano de obra indirecta	159450,87	8,17
Amortizaciones y depreciaciones	415.139	21,29
Gastos de financiación	1.290.795	66,20
Servicio de limpieza	32.606	1,67
Seguros e impuestos	51.824	2,65
Total	1.949.815	100

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

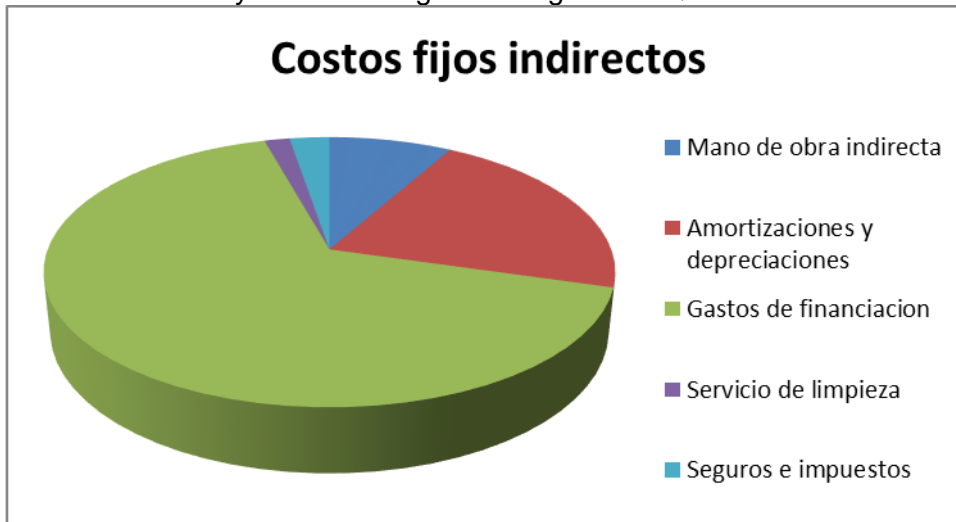


Figura 17.8 - Costos fijos indirectos

17.3.3 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 0,5% y 0,1% del costo total anual de producción. A continuación, se resumen los costos generales sin tener en cuenta los gastos de puesta en marcha (tabla 17.19) y posteriormente se representa gráficamente la composición porcentual del mismo (figura 17.9).

Tabla 17.19 – Resumen de costos generales

	Costo anual (USD)	Porcentaje
Gastos administrativos	12.762	83,3
Gastos de comercialización	2.552	16,7
Total	15.392	100

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

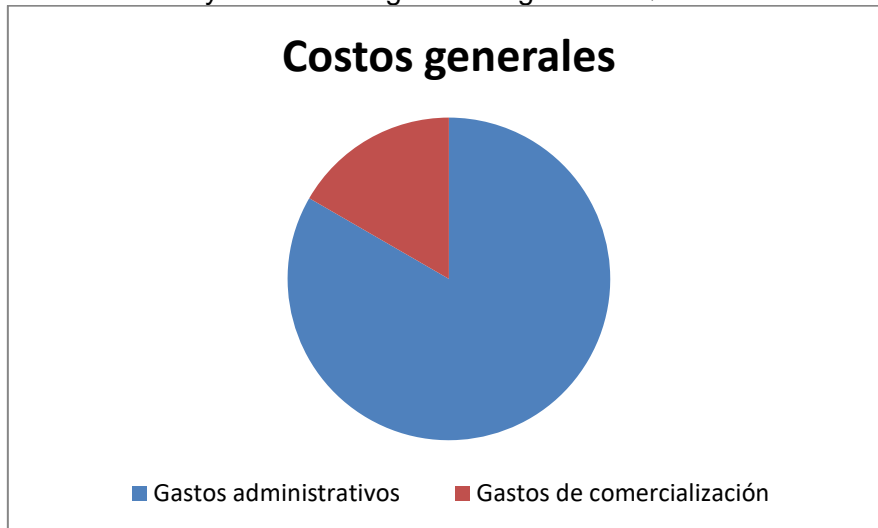


Figura 17.9 - Costos generales

17.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN UNITARIO

El costo unitario es el valor promedio que, a cierto volumen de producción, cuesta producir un kilogramo de producto (ácido ascórbico). Se obtiene sumando el costo total de producción (suma de costos fijos y variables), dividido la cantidad total producida. Se expresa el costo unitario en USD/kg.

$$\text{Costo unitario} = \frac{C. \text{ fijos} + C. \text{ variables}}{\text{Total de unidades}}$$

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costo total de producción}}{\text{Total de unidades}}$$

A continuación, en la tabla 17.20, 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 ácido ascórbico.

Tabla 17.20 - Costos de producción unitario

Costo total de lo vendido (USD)	Volumen de producción (kg)	Costo unitario (USD/kg)
2.552.474	583.000	4,4
2.583.776	600.000	4,3
2.623.407	619.000	4,2
2.664.227	637.000	4,2
2.706.271	656.000	4,1
2.749.577	676.000	4,1
2.794.182	696.000	4,0
2.840.125	717.000	4,0
2.887.447	739.000	3,9

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

2.912.686	750.000	3,9
-----------	---------	-----

17.5 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 ácido ascórbico con pureza 99% a un valor de 8,25 USD por kg.

En la tabla 17.21 se detallan los ingresos por ventas anualmente.

Tabla 17.21 - Ingresos por ventas anuales

Producto	Año	Cantidad	Unidad	Precio unitario (USD)	Ingreso anual (USD)
Ácido ascórbico	1	583	t	8250	4.809.750
	2	600			4.950.000
	3	619			5.106.750
	4	637			5.255.250
	5	656			5.412.000
	6	676			5.577.000
	7	696			5.742.000
	8	717			5.915.250
	9	739			6.096.750
	10	750			6.187.500

17.6 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 6,5% 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:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$TEM = \frac{(TNA * 30)}{100 * 360}$$

$$Cuota = \frac{(1 + TEM)^n}{(1 + TEM)^{n-1}}$$

Donde TNA es la tasa de interés acordada con el banco, tomada en 6,5%, 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 17.22 se detallan los pagos anuales del crédito acordado.

Tabla 17.22 - Datos de pagos anuales del crédito

Capital		6.897.882,11
TNA		6,5
N° de cuotas		120
Tasa de seguro		0,15
Cuotas	Pagos anuales	Intereses
1	511.165,41	448.362,33
2	544.391,16	415.136,58
3	579.776,59	379.751,15
4	617.462,07	342.065,68
5	657.597,10	301.930,64
6	700.340,91	259.186,83
7	745.863,07	213.664,67
8	794.344,17	165.183,57
9	845.976,55	113.551,20
10	900.965,02	58.562,72

17.7 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.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17.7.1 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.
- 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 17.10 se analiza el flujo neto efectivo de dicho período.

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 17.23 - Estado de resultados del año 1 al 5

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingresos por ventas	4.810.799,40	4.955.123,38	5.103.777,08	5.256.890,40	5.414.597,11
Costo de producción de lo vendido	2.552.474,18	2.583.776,29	2.623.407,19	2.664.227,01	2.706.271,44
RESULTADO OPERATIVO	2.258.325,22	2.371.347,10	2.480.369,90	2.592.663,38	2.708.325,67
Gastos administrativos	12.762,37	12.918,88	13.117,04	13.321,14	13.531,36
Gastos comerciales	2.552,47	2.583,78	2.623,41	2.664,23	2.706,27
Gastos financieros	1.064.030,67	1.056.286,51	1.048.038,99	1.039.255,37	1.029.900,82
Depreciación-Amortización	415.738,73	415.738,73	415.738,73	415.738,73	415.738,73
RESULTADO S SIN IMPUESTOS	763.240,98	883.819,20	1.000.851,74	1.121.683,93	1.246.448,50
Depreciación-Amortización	415.738,73	415.738,73	415.738,73	415.738,73	415.738,73
Impuesto a las Ganancias	412.642,90	454.845,27	495.806,66	538.097,93	581.765,53
FNE (FLUJO NETO DE EFECTIVO)	766.336,81	844.712,65	920.783,80	999.324,72	1.080.421,70

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 17.24 - Estado de resultados del año 6 al 10

	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Ingresos por ventas	5.577.035,02	5.744.346,07	5.916.676,45	6.094.176,75	6.188.850,00
Costo de producción de lo vendido	2.749.577,19	2.794.182,12	2.840.125,19	2.887.446,56	2.912.686,34
RESULTADO OPERATIVO	2.827.457,83	2.950.163,95	3.076.551,26	3.206.730,18	3.276.163,66
Gastos administrativos	13.747,89	13.970,91	14.200,63	14.437,23	14.563,43
Gastos comerciales	2.749,58	2.794,18	2.840,13	2.887,45	2.912,69
Gastos financieros	1.019.938,22	1.009.328,06	998.028,23	985.993,92	973.177,37
Depreciación - Amortización	415.738,73	415.738,73	415.738,73	415.738,73	415.738,73
RESULTADOS SIN IMPUESTOS	1.375.283,42	1.508.332,08	1.645.743,55	1.787.672,86	1.869.771,44
Depreciación - Amortización	415.738,73	415.738,73	415.738,73	415.738,73	415.738,73
Impuesto a las Ganancias	626.857,75	673.424,78	721.518,80	771.194,06	799.928,56
FNE (FLUJO NETO DE EFECTIVO)	1.164.164,39	1.250.646,02	1.339.963,48	1.432.217,53	1.485.581,61

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

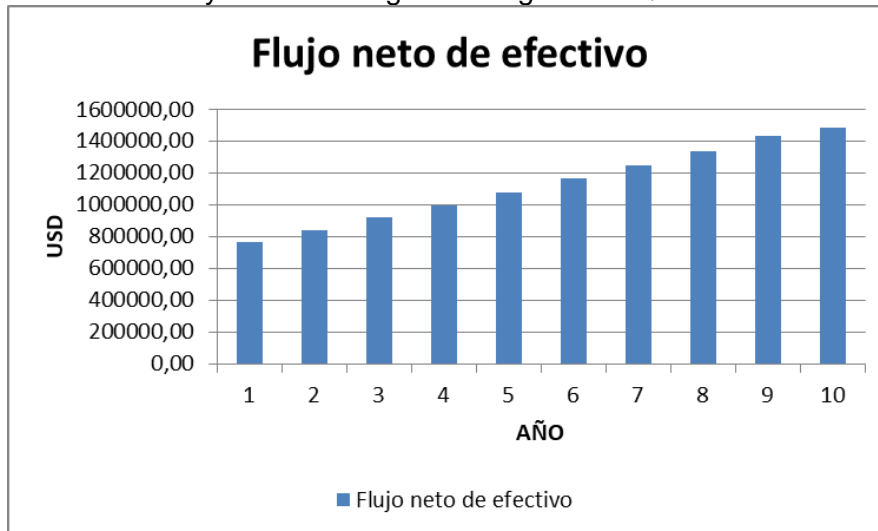


Figura 17.10 - Flujo neto de efectivo

17.7.2 Indicadores

17.7.2.1 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 6%, que es la tasa anual impuesta por la entidad financiera para el crédito solicitado.

Los proyectos se clasifican 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.

Analíticamente, el valor actual se calcula con la Ecuación 15.1.

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

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. Para la producción de ácido L ascórbico, se encuentra que el resultado obtenido del VAN es de **9.022.166 USD**.

El resultado del VAN es positivo lo que indica que el proyecto es viable.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17.7.2.2 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. De otra forma, es la tasa porcentual que hace que el VAN sea igual a cero, es decir, es la tasa que iguala la inversión inicial a la suma de los flujos futuros actualizados al tiempo presente.

Un proyecto puede determinarse como viable o rentable si la TIR es mayor que la TMAR (tasa mínima aceptable de rendimiento), 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, es del **16,86%**. Dado que el valor obtenido como TIR es mayor a la TMAR propuesta por el banco prestador, se concluye que el proyecto es rentable.

17.7.2.3 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.
- 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.

Para este proyecto se encuentra que el valor obtenido de la relación beneficio/costo es 1,90; al ser un valor mayor a la unidad, se dice que el proyecto en cuestión es viable.

17.7.2.4 Período de recupero de la inversión realizada PRI

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 6,90 años. Analizando este resultado, se destaca que la inversión se recuperaría en un período menor a los diez años previstos de actividad. A la señal positiva que le brindaron el VAN y la TIR al proyecto, se le suma entonces, la de este indicador.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

17.7.3 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.

17.7.3.1 Variación de la TIR con el precio de venta de ácido L ascórbico

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 40%, el proyecto deja de ser rentable. Este comportamiento se observa en el gráfico se visualiza en la Figura 17.11.

17.7.3.2 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 continua siendo rentable. Este comportamiento se observa en el gráfico se visualiza en la Figura 17.11.

17.7.3.3 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 mayor al 40% ya que en este porcentaje tiene un valor de TIR elevado. Este comportamiento se observa en el gráfico se visualiza en la Figura 17.11.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

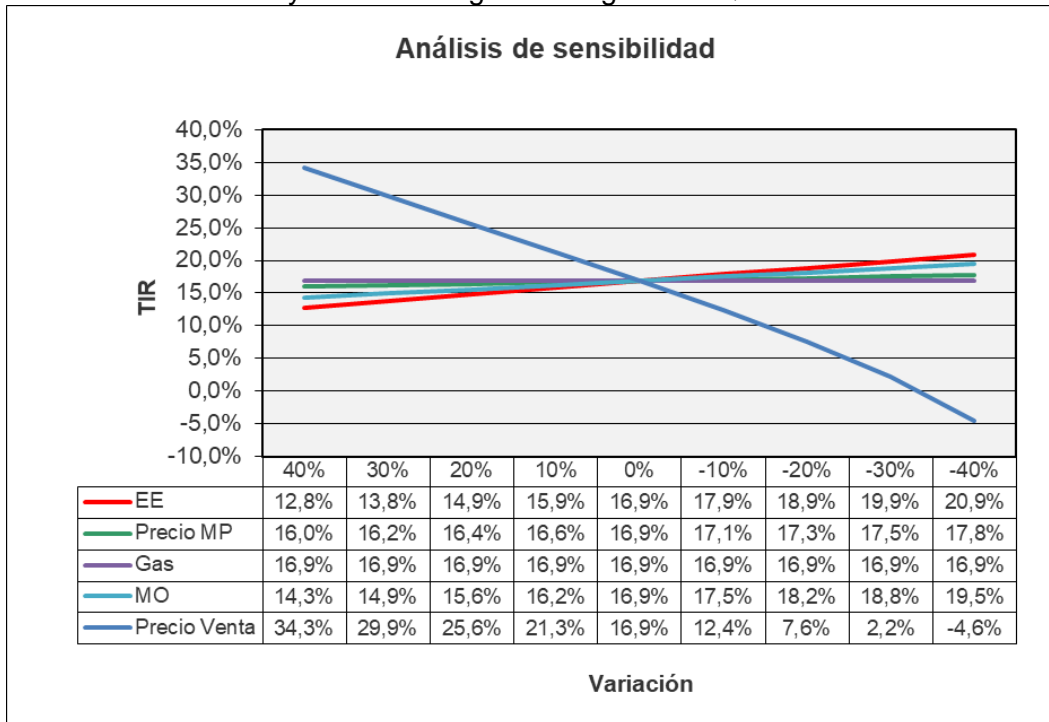


Figura 17.18- Influencia de TIR al modificar las variables

17.8 Conclusiones del Estudio Económico Financiero

El análisis económico – financiero realizado permite concluir que es necesaria una inversión inicial de 6.897.882,12 USD para la construcción de una planta de producción de ácido ascórbico a partir de jarabe de alta dextrosa; la cual se toma una Tasa Nominal anual de referencia internacional fija del 6,50 % 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 17%, un VAN positivo 9.022.166 USD y una relación beneficio/costo de 1,90. Ellos demuestran, numéricamente, la rentabilidad de este proyecto.

En cuanto al análisis de sensibilidad, se llega a la determinación de que:

- Mano de obra, materia prima, energía eléctrica y gas: escasa influencia sobre la TIR y el VAN.
- Precio de venta: el mismo no debe superar una baja del 40%.

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

CONCLUSIONES

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

CONCLUSIONES

Como conclusión de este proyecto final se puede decir que, se utilizaron los conocimientos adquiridos en la carrera para realizar los capítulos, a la vez que, se adquirieron nuevos conocimientos necesarios para poder desarrollar este proyecto en específico.

Se logró confeccionar una descripción detallada del ácido ascórbico que permitió conocer en profundidad sus características fisicoquímicas y sus amplias aplicaciones.

Se estableció que la ubicación óptima de la planta es en el parque industrial de Junín, Buenos Aires, debido a la cercanía con la materia prima necesaria para producir ácido ascórbico; además de contar con potenciales clientes y cercanía al puerto.

En base a la demanda insatisfecha se definió una capacidad de producción máxima de 750 t/año.

Se analizaron las distintas vías por las cuales se puede producir ácido ascórbico y se eligió aquella que presenta mayores ventajas tanto económicas como ambientales y a su vez se obtuvo así un buen rendimiento.

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 efectuó una evaluación económica – financiera, mediante indicadores que determinan la factibilidad del proyecto (VAN – TIR). Las mismas arrojaron resultados favorables, lo cual señala que el proyecto de inversión es factible.

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DXTROSA**

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

BIBLIOGRAFÍA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

BIBLIOGRAFÍAS

- ASME Boiler and Pressure Vessels Code. (2013, julio 1). ASME Boiler and Pressure Vessels Code. *The American Society of Mechanical Engineers*.
- Andrade B. Silva, J. G., de S. Bispo, R., Dias da S. Ruy, A., Delgado-Arcaño, Y., & M. Pontes, L. A. (2018). Aspectos económicos y tecnológicos de la producción de sorbitol por vía química. *Revista cubana de química*.
- Baoyun, X., Xueming, Z., Weijuang, Z., Xuemei, Z., Zhiyong, Z., & Huijian, S. (2008). Kinetics of Esterification of 2-Keto-L-Gulonic Acid with Methanol Catalyzed by Cation Exchange Resin.
- Böttcher, A., & Burst, W. (2005). *España Patent No. 2 227187*.
- Bremus, C., Ute, H., Bringer-Meyer, S., & Sahm, H. (2006). The use of microorganisms in l-ascorbic acid production. *ELSEVIER*.
- Cassandra De Muynck, C., Naessens, M., Parmentier, S., Soetaert, W., & Vandamme, E. (2007). The Genus *Gluconobacter Oxydans*: Comprehensive Overview of Biochemistry and Biotechnological Applications. *Critical Reviews in Biotechnology*.
- Centro de Comercio Internacional (ITC). (n.d.). Retrieved Julio 20, 2021, from <https://www.intracen.org/itc/analisis-mercados/>
- CONTRERAS, C. C. (2006). PROPUESTA DE UN MÉTODO PARA LA NEUTRALIZACIÓN QUÍMICA. 40-41.
- Data Bridge Market Research. (n.d.). Retrieved Julio 2021, from <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-ascorbic-acid-market>
- Global Petrol Price. (2021, Septiembre 06). Retrieved Septiembre 14, 2021, from https://es.globalpetrolprices.com/diesel_prices/
- Handbook of Vitamins. (2001).
- Héctor Ramírez, H. A. (2012). Optimización del proceso de obtención de biodiesel a partir de colza silvestre (*Brassica Campestris*). *Scientia Agropecuaria*.
- Herrick, R. F. (n.d.). Higiene Industrial. ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.
- KARR, D., BAKER, E., & TOLBERT, B. (1970). Synthesis of Ascorbic-6-14 C Acid .
- Kern, D. (n.d.). *Procesos de transferencia de calor*.
- LUIS J. CARRERO, L. A. (2010). *DESARROLLO DE UN PROCESO DE REFINACIÓN DE ACEITE DE PALMA A NIVEL INDUSTRIAL*.
- Megyesy, E. (n.d.). *Manual de recipientes a presión*.
- Ming, H., HE, H., Yang, X., & Wang, Y. (2011). Study on conversion of 2- keto-L-gulonic acid into sodium vitamin C. *Journal of Hebei University of Science and Technology*.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (n.d.). Retrieved from <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/revistas/nota.php?id=440>

Mondor Intelligence . (n.d.). Retrieved Julio 2021, from <https://www.mondorintelligence.com/industry-reports/ascorbic-acid-market>

Morales Cardena, J. F. (2007). *Síntesis de sorbitol a partir de glucosa por vía electroquímica y determinación del contenido del mismo en 23 frutas comunes y exóticas del Ecuador*. QUITO/EPN/2007 .

Orozco, F. D. (2015). *Biodiesel: Estudios Analíticos y Desarrollo de Métodos de Análisis*. Bahía Blanca.

Persistence Market Research. (n.d.). Retrieved Julio 2021, from <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/ascorbic-acid-market.asp>

Prevención de riesgos laborales para PYME, M. u. (2017, octubre). *mutuauniversal.net*.

Rodriguez, P. B. (2007). Diseño de una planta piloto de refinación de aceites vegetales.

Romero, A., Escalada, J., Bregliani, M., & Pajares, A. (n.d.). *Utilización de Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC) para determinar consumo de sustrato*. CONICET.

Ronco, L., & Antonello, E. (2010). *Producción de sorbitol por hidrogenación catalítica*. Villa María.

Rückel, M. (1999). *Estados Unidos Patent No. US 6.238.897*.

Rückel, M. (2001). *Estados Unidos Patent No. US 6. 238. 897 B1*.

Rucker, R., Suttie, J., McCormick, D., & Machlin, L. (2001). *Handbook of vitamins 3rd Edition*. Marcel Dekker, Inc.

Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. Mexico: Mc Graw Hill.

Sapag, R. (1991). *Preparación y evaluación de proyectos*. México: Mc Graw - Hill.

Serra, H. M., & Cafaro, T. A. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Red de revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*.

Smith, C., & Corripio, A. (n.d.). *Control automático de procesos* .

Técnicas Avanzadas en Química, C. A. (2004/2005). *DETERMINACIÓN DE CALCIO Y MAGNESIO EN AGUAS POR COMPLEXOMETRÍA*.

Treybal. (n.d.). *Operaciones de transferencia de masa*. Mc Graw Hill.

Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry. (2016). Wiley-VCH.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Vandamme, E., & Revuelta, J. (2016). *Industrial Biotechnology of Vitamins, Biopigments, and Antioxidants*.

Vásquez, R., & Salinas, F. (2018). *Tecnología del hidrogeno y perspectiva para Chile*. Santiago de Chile: Deutsche Gesellschaft .

Yuri Herreras Yambanis, J. L. (n.d.). *Producción de biodiésel. Aplicaciones a países en desarrollo*. Madrid.

Zhang, L., Yu, L., Lin, A., & Jian, W. (2002). Large scale experiment on the preparation of vitamin C from sodium ascorbate using bipolar membrane electrodialysis. *Chemical Engineering Communications*.

ANEXO I:

Técnicas para análisis y control de calidad

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ANEXO 1 CONTROL DE CALIDAD

POES

POES-01 Limpieza y desinfección de pisos y paredes

Se define el procedimiento para llevar a cabo la desinfección de pisos y paredes en toda el área de producción.

Materiales:

- Agua potable
- Escobas
- Trapos
- Cepillos
- Detergente (marca / 15% materia activa)
- Desinfectante (marca / 55 g/L Cl₂)

Método de limpieza:

1. Recoger residuos sólidos mediante el barrido y recolectar los mismos en bolsas de residuos.
2. Aplicar detergente y refregar con cepillos donde sea necesario.
3. Enjuagar con abundante agua hasta que no quede ningún residuo de detergente.
4. Aplicar solución desinfectante y dejar actuar 15 minutos.
5. Enjuagar nuevamente con abundante agua.
6. Retirar el exceso de agua haciéndolo correr hacia las rejillas de desagüe.

Frecuencia:

Se recomienda realizar dicha tarea con una frecuencia diaria de 2 a 3 veces en el día, ya que este establecimiento es de fácil ensucie. Se puede definir en función de los turnos de trabajo, y se ejecuta por personal encargado. Es importante que se realice la limpieza de los pisos de cada sector una vez finalizadas las operaciones y después de la limpieza de los equipos.

POES-02 Limpieza y desinfección de manos

Con la finalidad de contribuir a la higiene del personal, se define la manera correcta de lavarse las manos tal como se indica:

- 1 Moje sus manos con agua caliente, corriente.
- 2 Aplique jabón.
- 3 Estruje sus manos, antebrazos, debajo de las uñas, entre los dedos por al menos 15 segundos.
- 4 Enjuague con agua corriente por 5-10 segundos (para completar 20 segundos del

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
proceso completo de lavado y enjuague de las manos).

5 Seque sus manos con toallas de papel o secador de manos por al menos 30 segundos.

6 Cierre la llave del agua usando la toalla de papel.

7 Use la toalla de papel para abrir la puerta cuando salga del baño.

Esta tarea debe efectuarse por toda persona que ingrese a la zona de fabricación y debe realizarse con la siguiente frecuencia:

- 1 Antes de empezar a trabajar.
- 2 Durante la preparación de los alimentos.
- 3 Cuando se mueva de un área de preparación de alimentos a otra.
- 4 Antes de colocarse o cambiarse los guantes
- 5 Después de ir al baño.
- 6 Luego de sacudirse, toser o usar un pañuelo o servilleta.
- 7 Luego de tocarse el cabello, la cara o el cuerpo.
- 8 Luego de Fumar, comer, beber o mascar chiclet o tabaco.
- 9 Luego de manipular carnes, pollo o pescado crudo.
- 10 Luego de las actividades de limpieza.
- 11 Luego de tocar platos, equipo o utensilios sucios.
- 12 Luego de manejar basura
- 13 Luego de manejar dinero
- 14 Luego de que las manos se hayan ensuciado por cualquier razón.

TÉCNICAS ANALÍTICAS

T-01, determinación de la densidad específica de un compuesto

Aparato

Picnómetro (recipiente de vidrio, que tiene un tapón de vidrio esmerilado equipado con un termómetro, y un tubo lateral provisto de un fino capilar, de tal manera que puede obtenerse un volumen con gran precisión)

Procedimiento

Pesar un picnómetro previamente lavado y secado, y anotar el peso (W). Quitar el tapón y llenar el picnómetro con la muestra, se mantendrá la temperatura de 1 a 3 °C inferior a la especificada, teniendo cuidado de no dejar burbujas. Elevar la temperatura gradualmente hasta que el termómetro muestre la temperatura especificada (20 °C). Sacar la muestra por encima de la marca en el tubo lateral y colocar la tapa; limpiar el exterior y fondo. Pesar, y anotar el peso (W1). Utilizar el mismo picnómetro para realizar la determinación con agua. Pesar el picnómetro con agua a la temperatura

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
indicada, y registrar el peso (W2). Calcular la densidad específica de la muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = (W1 - W)/(W2 - W)$$

(Ronco & Antonello, 2010)

T-02, determinación del contenido de azúcares reductores (como glucosa)

Método

Volumétrico

Reactivos y material necesarios

- Agua destilada
- Citrato cúprico alcalino TS (disolver 173 g de citrato de sodio y 117 g de carbonato de sodio en 700 ml de agua destilada. Disolver 17,3 g de sulfato de cobre en 100 ml de agua destilada. Mezclar ambas soluciones y diluir hasta 1000 ml).
- Ácido acético al 10 %.
- Yodo 0,1 N.
- Ácido clorhídrico diluido TS (ácido clorhídrico al 10 % p/v).
- Solución de almidón TS (Mezclar 1 g de almidón con 10 ml de agua fría. Agregar 200 ml de agua hirviendo, agitando. Hervir la mezcla hasta obtener un líquido transparente. Dejar reposar y utilizar sólo el líquido sobrenadante).
- Tiosulfato de sodio 0,1 N.
- Erlenmeyer de 250 ml.
- Bureta

Procedimiento

Transferir aproximadamente 1 g de la muestra, exactamente pesada, en un erlenmeyer de 250 ml, disolver en 10 ml de agua destilada y añadir 25 ml de citrato cúprico alcalino TS y cubrir el recipiente con un vidrio pequeño. Hervir lentamente durante exactamente 5 minutos y enfriar rápidamente a temperatura ambiente. Añadir 25 ml de ácido acético al 10 %, 10 ml de yodo 0.1 N, 10 ml de solución diluida de ácido clorhídrico TS y 3 ml de almidón TS y valorar con tiosulfato de sodio 0.1 N hasta la desaparición del color azul. Calcular el contenido de azúcares reductores (expresado en D-glucosa) mediante la fórmula:

$$\text{Azúcares reductores \% (D - glucosa)} = \frac{(V1N1 - V2N2) \times 2,7}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

Donde:

V1 y N1 son el volumen (ml) y la normalidad, respectivamente, de la solución de yodo.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

V2 y N2 son el volumen (ml) y la normalidad, respectivamente, de la solución de tiosulfato sódico.

2,7 es un factor de equivalencia determinado empíricamente para D-glucosa.

(Ronco & Antonello, 2010)

T-03, determinación del contenido de agua en la muestra

Método

Titulación volumétrica por la técnica de Karl Fischer

Reactivos:

- Reactivo de Karl Fischer comercial
- Metanol
- Agua destilada

Instrumental necesario:

- Erlenmeyer de 250 ml de capacidad
- Bureta de 50 ml
- Agitador magnético
- Pipeta graduada de 1 ml

Punto final:

Para comprender cuando la valoración alcanzó su fin, se observa que, durante la titulación por el uso de un indicador, la solución cambie de color amarillo a rojo naranja, el cual es definido y fácil de repetir.

Estandarización del reactivo de Karl Fischer:

Colocar 25 ml de metanol en un erlenmeyer y titular hasta el punto final con reactivo de Karl Fischer. Agregar 0,15 a 0,18 ml de agua, medida con exactitud y volver a titular hasta el punto final. Calcular el factor de equivalencia del reactivo en términos de contenido de agua por mililitro de reactivo requerido, como sigue:

$$F = A/B$$

Donde:

F = Factor de equivalencia en miligramos de agua por mililitro.

A = Miligramos de agua utilizada en la estandarización.

B = Mililitros de reactivo Karl Fischer requeridos (no se tiene en cuenta lo gastado en el primer punto final).

Procedimiento

Colocar 25 ml de metanol en un erlenmeyer y titular hasta el punto final con reactivo de Karl Fischer (esta cantidad no se tiene en cuenta). Pesar una cantidad de muestra

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química
que se estime contenga entre 10 y 250 mg de agua. Transferir al erlenmeyer y titular hasta el punto final.

El contenido de agua en la muestra se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de agua} = \frac{\text{Volumen gastado de reactivo Karl Fischer (ml)} \times F \left(\frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right)}{(\text{peso de la muestra (g)})} * 100$$

(Ronco & Antonello, 2010)

T-04, determinación de pH

Método

Potenciométrico

Aparato: pH-metro

Procedimiento

En primera instancia se calibra el electrodo usando una solución buffer. Se sumerge el mismo en tal solución hasta que en el display marque pH =7. A continuación se seca el extremo de tal electrodo con una toalla de papel, se marca cero en el aparato y luego se realiza el mismo instructivo en la solución en la cual se desea conocer el pH. Este aparato trabaja por diferencia de potencial.

T-05, determinación de la temperatura de solidificación

Para la recepción de la materia prima y evitar que esta cristalice; se controla la temperatura a la que llega el jarabe. El resultado debe ser mayor o igual a 60 +/- 5 °C. Se emplea un termómetro digital u alcohol y se registra el valor en una planilla.

T-06, determinación de Microorganismos totales

Método

Recuento en placa

Medio de cultivo

PCA (Agar Plate Count), agar peptona de caseína – glucosa – extracto de levadura.

Preparación del medio de cultivo: disolver 22.5 g en 1 l de agua desmineralizada calentando en un baño de agua hirviendo. Fraccionar y esterilizar en autoclave durante 15 min a 121 °C. Almacenar en heladera.

Instrumental necesario

- Pipetas de 1 ml graduadas, esterilizadas.
- Placas de petri de vidrio (15 x 100 mm), o de plástico (15 x 90 mm)
- Mechero Bunsen

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Baño termostático a 45 °C

Procedimiento

Derretir el medio de cultivo en un baño de agua hirviendo, agitando suavemente en forma periódica. Una vez bien derretido, colocar en el baño termostático a 45 °C.

Para mantener condiciones estériles durante la siembra, debe trabajarse en un radio de 20 cm alrededor de la llama del mechero.

Homogeneizar la muestra (extraída en un recipiente estéril). Tomar 1 ml de la misma con una pipeta y colocarla en la placa de petri. No se realizan diluciones porque la cantidad de microorganismos totales por ml debe ser menor de 100.

Agregar una cantidad suficiente de medio de cultivo para cubrir toda la superficie de la placa y homogeneizar con movimientos circulares y rectos en todas direcciones.

Dejar solidificar sobre una superficie plana. Invertir las placas e incubar en estufa a 35 +/- 1 °C por 36 a 72 h. Contar las colonias. (Ronco & Antonello, 2010).

T-07, determinación de hongos y levaduras

Método

Recuento en placa

Medio de cultivo

Agar YGC, agar extracto de levadura – glucosa – cloranfenicol.

Preparación del medio de cultivo: disolver 40 g en 1 l de agua desmineralizada calentando en un baño de agua hirviendo. Fraccionar y esterilizar en autoclave durante 15 min a 121 °C. Almacenar en heladera.

Instrumental necesario:

- Pipetas de 1 ml graduadas, esterilizadas.
- Placas de petri de vidrio (15 x 100 mm), o de plástico (15 x 90 mm)
- Mechero Bunsen
- Baño termostático a 45 °C

Procedimiento

Derretir el medio de cultivo en un baño de agua hirviendo, agitando suavemente en forma periódica. Una vez bien derretido, colocar en el baño termostático a 45 °C.

Para mantener condiciones estériles durante la siembra, debe trabajarse en un radio de 20 cm alrededor de la llama del mechero.

Homogeneizar la muestra (extraída en un recipiente estéril). Tomar 1 ml de la misma con una pipeta y colocarla en la placa de petri. No se realizan diluciones porque la cantidad de hongos y levaduras por ml debe ser menor de 10 microorganismos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Agregar una cantidad suficiente de medio de cultivo para cubrir toda la superficie de la placa y homogeneizar con movimientos circulares y rectos en todas direcciones.

Dejar solidificar sobre una superficie plana. Invertir las placas e incubar a temperatura ambiente por 5 a 6 días. Contar las colonias. (Ronco & Antonello, 2010).

T-08, determinación de coliformes

Método

Recuento en placa

Medio de cultivo

Agar VRB, agar violeta cristal – rojo – neutro – bilis.

Preparación del medio de cultivo: disolver 39.5 g en 1 l de agua desmineralizada calentando en un baño de agua hirviendo, hasta disolución total. Continuar hirviendo 2 min para esterilizar.

Instrumental necesario

- Pipetas de 10 ml graduadas, esterilizadas.
- Placas de petri de vidrio (15 x 100 mm), o de plástico (15 x 90 mm)
- Mechero Bunsen
- Baño termostático a 45 °C

Procedimiento

Para mantener condiciones estériles durante la siembra, debe trabajarse en un radio de 20 cm alrededor de la llama del mechero.

Homogeneizar la muestra (extraída en un recipiente estéril). Tomar 10 ml de la misma con una pipeta y repartir 3,3 ml en tres placas de petri.

Agregar una cantidad suficiente de medio de cultivo para cubrir toda la superficie de la placa y homogeneizar con movimientos circulares y rectos en todas direcciones.

Dejar solidificar sobre una superficie plana. Colocar una segunda capa de medio de cultivo sobre la anterior, y dejar solidificar.

Invertir las placas e incubar en estufa a 35 +/- 1 °C por 20 +/- 1 h.

Contar las colonias típicas. Se consideran colonias típicas aquellas que presenten color rojo oscuro y cuyo diámetro sea de 0,5 mm como mínimo. (Ronco & Antonello, 2010).

T-09, determinación de la conductividad para el agua pura, desionizada.

Materiales y reactivos

Conductímetro, solución KCl, celda de conductividad.

Método

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

En primera instancia, se debe calibrar el conductímetro, empleando una solución de KCl. Se debe preparar la solución en una concentración de 0,0100 M y transferirla a un balón volumétrico de 1000 mL. A continuación, agitar muy bien la solución antes de aforarla; y verifique que la conductividad de la misma sea de 1412 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C.

Una vez el equipo calibrado, lavar perfectamente la celda con abundante agua desionizada y agitar homogéneamente la muestra para introducirla en la celda, garantizando que la ranura del sensor quede completamente sumergida en ella. Al obtener el valor registrarlo y repetir para generar una carta de control. Con este gráfico, podemos ver la desviación del valor entorno al nominal.

T-10, determinación de endotoxinas bacterianas - N° 330 Farmacopea Argentina

El ensayo de endotoxinas bacterianas se aplica a la determinación o cuantificación de endotoxinas provenientes de las bacterias Gram negativas, empleando como reactivo, lisados de amebocitos circulantes del cangrejo herradura de *Limulus polyphemus* (ensayo LAL), de *Tachypleus tridentatus*, etc. Cuando se enfrenta el reactivo a soluciones que contienen endotoxinas produce gelificación. La reacción requiere la presencia de cationes bivalentes. La velocidad de la reacción depende de la concentración de endotoxina, del pH y de la temperatura. El lisado contiene un sistema enzimático que actúa en cascada y que se activa progresivamente en presencia de endotoxinas.

Como resultado final, la proteína coagulable (coagulógeno) se transforma en un gel (coagulina), siendo la base del método de gel en tubo.

c) Cinético cromogénico;

d) Cinético turbidimétrico.

A continuación, solo se explica el método del gel en tubo. El resto de los métodos mencionados se detallan en el Volumen N° 4 de Farmacopea Argentina.

El ensayo debe realizarse en condiciones tales de evitar la contaminación microbiana. Antes de llevarlo a cabo es necesario verificar:

- 1) Que todos los materiales y reactivos a usar no contengan endotoxinas bacterianas.
- 2) La sensibilidad del lisado (λ), de acuerdo a los requisitos posteriormente descritos en cada método.
- 3) La ausencia de factores interferentes en las muestras a analizar. Los resultados son válidos siempre que se haya demostrado previamente que las muestras a analizar no inhiban ni intensifiquen la reacción.

Materiales y reactivos

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Es necesaria la aplicación de tratamientos controlados para la eliminación de endotoxinas.

Para el material de vidrio, el método más empleado es el calentamiento a 250 °C por lo menos durante 30 minutos o 180 °C durante 3 horas. Si se emplean materiales plásticos de único uso (microplacas, puntas para pipetas automáticas, etc.) es necesario verificar que los mismos estén libres de endotoxinas y que no interfieran con el ensayo.

- Agua reactivo: El agua empleada en este ensayo debe estar libre de endotoxinas. Puede ser preparada por destilación doble o triple y debe ser recolectada en envases convenientemente despirogenados. Es necesario efectuar el control de calidad de la misma, que debe cumplir con las condiciones del ensayo.

- Reactivo LAL (Lisado de Amebocitos): Reconstituir el lisado según se indica en el rótulo

y/o prospecto La sensibilidad del lisado (λ), establecida en el rótulo y que debe ser confirmada, se expresa en Unidades de Endotoxina por ml (UE/ml).

- Otras soluciones: El ácido clorhídrico 0,1 N y el hidróxido de sodio 0,1 N, empleados para ajustar el pH entre 6,0 y 8,0, deben prepararse con Agua reactivo.

Endotoxina de referencia y Endotoxina control: Existe una Endotoxina de referencia internacional. Se designa a la unidad de endotoxina como unidad internacional, siendo la relación 1 UI = 1 UE (Unidad de endotoxina). La Endotoxina controles una preparación de endotoxina distinta de la Endotoxina de referencia, que se ha calibrado contra esta última. Las endotoxinas deben ser reconstituidas con Agua reactivo, mediante agitación con mezclador por vórtice, de acuerdo a las indicaciones de los rótulos y certificados de calibración. Estos concentrados se pueden conservar en heladera el tiempo especificado por el elaborador. Para la preparación de soluciones de endotoxinas, agitar vigorosamente con mezclador por vórtice los concentrados de endotoxinas durante no menos de 5 minutos y preparar diluciones seriadas en Agua reactivo con tiempos de agitación que pueden variar entre 30 segundos y 1 minuto. No se deben almacenar las diluciones porque pueden perder actividad por adsorción al vidrio.

Métodos

MÉTODO DE GEL EN TUBO

El método de gel en tubo permite establecer la presencia de endotoxinas bacterianas empleándose como ensayo límite o como determinación semicuantitativa; el punto final es la constitución de un gel firme. La determinación del punto final de la reacción se hace mediante comparación directa con una Endotoxina control o de referencia; y las cantidades de endotoxina se expresan en las unidades de endotoxinas definidas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

El pH de la mezcla a ensayar y del Reactivo LAL debe estar comprendido entre 6,0 y 8,0, a menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente. El pH puede ajustarse, antes del ensayo, por el agregado de hidróxido de sodio 0,1 N, ácido clorhídrico 0,1 N o soluciones reguladoras apropiadas estériles y libres de endotoxinas.

La determinación de endotoxinas sobre dispositivos médicos debe realizarse sobre extractos, eluatos o soluciones de lavado según la naturaleza del dispositivo. Antes de llevar a cabo la determinación, se deben realizar los ensayos de confirmación de sensibilidad del lisado y de inhibición o intensificación.

Cálculo del contenido de endotoxina:

Calcular la concentración de endotoxinas en el producto a ensayar, por la fórmula siguiente:

$$\frac{\lambda}{\text{anti log} \left(\sum \frac{d}{f} \right)}$$

En la cual d es el logaritmo de los factores dilución del producto (expresados como fracciones), en el punto final para la muestra ensayada. Los resultados finales deben ser expresados en las unidades de límite de endotoxina especificadas (UE/ml o UE/mg o UE/UI).

Ensayo para la confirmación de la sensibilidad del lisado

La sensibilidad del lisado se define como la menor concentración de endotoxinas que puede formar un gel firme en las condiciones del ensayo. Se debe confirmar la sensibilidad indicada en el rótulo del Reactivo LAL de cada lote, empleando Endotoxina control de referencia.

Preparar una serie de diluciones de Endotoxina control de referencia con concentraciones de 2λ ; 1λ ; $0,5 \lambda$ y $0,5 \lambda$, por cuadruplicado; siendo λ , la sensibilidad declarada en el rótulo del Reactivo LAL en UE/ml. Incluir controles negativos. La media geométrica en el punto final (ver cálculos) debe ser mayor o igual a $0,5 \lambda$, y menor o igual a 2λ .

Cálculo de la media geométrica

El punto final es la última dilución positiva en una serie de concentraciones decrecientes de endotoxina. Registrar la concentración en cada punto final, para cada serie de diluciones. Determinar el logaritmo de la concentración del punto final (e) y calcular la media geométrica de la concentración del punto final por la fórmula siguiente:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$\text{anti log} \left(\sum e/f \right)$$

En la cual Σe es la suma de los logaritmos de las concentraciones finales de la serie de

diluciones y f es el número de tubos de reacción en el punto final.

Máxima dilución válida (MDV): La máxima dilución válida es la dilución máxima de la muestra que corresponde a la máxima dilución en la cual el límite de endotoxina puede ser determinado en las condiciones del ensayo.

Se aplica a soluciones inyectables o a soluciones de administración parenteral reconstituidas o diluidas para su administración o, cuando sea aplicable, a la droga en peso si el volumen de administración de la forma farmacéutica pudiera ser variable.

El cálculo se realiza empleando la fórmula siguiente:

$$MDV = L_E \times \frac{C}{\lambda}$$

En la cual L_E representa el límite de endotoxina y C la concentración del principio activo en la solución a ensayar o reconstituido, que según las especificaciones del elaborador puede estar

dada en:

- mg por ml, si el límite de endotoxina especificado en la monografía es en UE/mg.
- UI/ml, si el límite de endotoxina especificado en la monografía es en UE/UI.

Cuando en la monografía, el límite de endotoxina especificado es en UE/ml, se debe dividir el límite de endotoxina por λ (la sensibilidad del lisado, en UE/ml, declarada en el rótulo).

T-11, determinación de dureza de agua

La dureza del agua indica la cantidad total de iones alcalinotérreos (grupo 2) presentes en el agua y constituye un parámetro de calidad de las aguas de interés doméstico o industrial. El agua dura deja depósitos sólidos o costras (por ejemplo, carbonato cálcico) en las tuberías pudiendo llegar a obstruirlas, además que es perjudicial su empleo en equipos como calderas ya que beneficia la corrosión. A continuación, se detallan el procedimiento y materiales y reactivos necesarios.

Materiales

Bureta con pie, pinzas y nueces Matraz Erlenmeyer de 250 ml

Mechero Bunsen con trípode y rejilla Matraz aforado 250 ml (por banco)

Vasos de precipitado de 100ml y 400 ml Matraz aforado 500 ml (por banco)

Pipetas de 2 ml y 10 ml Probeta 100 ml

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Balanza analítica pH-metro

Reactivos

Ácido etilen-diamino-tetraacético (EDTA) Hidróxido sódico 0.1 M

Oxalato sódico Ácido Clorhídrico 0.1 M

Cloruro amónico Amoniaco concentrado

Negro de eriocromo T Rojo de metilo

Preparación de la disolución de EDTA 0.01 M

Preparar cada pareja 250 ml de disolución aproximadamente 0.01 M de EDTA en forma de sal disódica hidratada ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$). Pese la cantidad de compuesto necesario y una vez hecha la disolución calcule su concentración exacta. Esta sal de EDTA se usa por su estabilidad, pureza y alta solubilidad en agua, y constituye un patrón tipo primario si

previamente se deseca a 80°C para eliminar la humedad (no lo haremos en esta práctica).

Preparación de la disolución amortiguadora pH 10

Para compartir todas las parejas, preparar 250 ml de disolución amortiguadora pH=10. Para ello disolver 3.4 g de cloruro amónico en unos 150 ml de agua destilada. A continuación, en la campana extractora, añadir 30 ml de amoniaco concentrado y enrasar finalmente el matraz aforado al volumen final de 250 ml. Compruebe el pH con un pH-metro. El matraz con el tampón debe permanecer cerrado en la campana extractora debido al fuerte olor del amoniaco.

Determinación de la dureza total del agua

1. Monte la bureta y cárguela con la disolución de EDTA 0.01 M preparada previamente.

Enrase la bureta abriendo la llave, asegurándose que en la punta inferior no quedan burbujas de aire.

2. Mida en una probeta 100 ml de la muestra de agua y páselos al matraz erlenmeyer.

3. Añada unas gotas de rojo de metilo. La muestra tomará un color amarillo. A continuación,

acidifique la disolución con unas gotas de ácido clorhídrico 1 M. La disolución tomará color rojo.

4. Hierva suavemente la muestra para eliminar los carbonatos en forma de CO_2 . El color rojo debe permanecer durante todo el proceso. Si el indicador vira a amarillo, añada un par de gotas más de HCl.

5. Apague el mechero en cuanto empiece la ebullición. Deje enfriar la disolución, bien en reposo o enfriando el erlenmeyer con agua de grifo y neutralícela de nuevo a pH ~ 7 . Para ello, adicione NaOH 1 M gota a gota hasta el viraje del indicador a amarillo.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

6. Adicione 2 ml de tampón y unas 4 gotas del indicador negro de eriocromo T. Valore la muestra con el EDTA hasta el viraje de marrón a verde oscuro (nota: en realidad el negro de eriocromo vira de rojo vino a azul oscuro pero la presencia del color amarillo del rojo de metilo altera estos colores).

7. Repita los pasos anteriores sobre 3 muestras del agua mineral que pretende analizar. El resultado final y el error se obtendrán a partir del promedio de las 3 medidas.

Determinación de la dureza específica magnésica y cálcica

1. Pase 100 ml de la muestra de agua al matraz erlenmeyer.

2. Añada unas gotas de rojo de metilo y acidifique la muestra con unas gotas de ácido clorhídrico 1 M. Finalmente añada una punta de espátula de oxalato sódico. Caliente la disolución hasta ebullición para eliminar carbonatos. De nuevo, vigile que el rojo de metilo no vira a amarillo. Si es así, añada más HCl.

3. Enfríe y neutralice la disolución añadiendo gotas de amoníaco 1 M hasta el viraje del indicador.

4. Deje la muestra en reposo unos 10 minutos y a continuación filtre la disolución (con papel de filtro y embudo) para retirar el oxalato cálcico que habrá precipitado.

5. Para evitar que se quede magnesio retenido, vierta pequeñas porciones de agua destilada sobre el filtro con el precipitado y recoja el líquido filtrado junto con el filtrado principal.

6. Adicione 5 ml del tampón pH 10 y unas gotas de negro de eriocromo T.

7. Valore la muestra con el EDTA como en el apartado anterior hasta el punto final. Repita los pasos anteriores sobre 3 muestras del agua mineral que pretende analizar.

Cálculos

La dureza del agua se expresa, por lo general, por el número equivalente de mg de CaCO_3 por litro que producen el mismo número de cationes que los totales presentes en la muestra. Así, si $[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] = 1 \text{ mmol/l}$ ($1 \text{ mmol/l} = 10^{-3} \text{ M}$), diremos que la dureza es 100 mg/l de CaCO_3 (1 mmol/l de CaCO_3). Un agua de dureza inferior a 60 mg de CaCO_3 por litro se considera “blanda”. Si la dureza es superior a 270 mg/l el agua se considera “dura”.

(Técnicas Avanzadas en Química, 2004/2005)

T-12, determinación de la concentración de sorbitol

Método

HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia)

Aparatos

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Cromatógrafo para HPLC
- Detector: refractómetro diferencial
- Columna: AMINEX HPX 87C (o equivalente), de 30 cm de largo y 9 mm de diámetro interno.
- Efluente: agua destilada y desgasificada.

Condiciones cromatográficas:

- Temperatura de la columna: 85 +/- 0,5 °C
- Velocidad de flujo del efluente: 0,5 ml/min

Preparación de la muestra

Disolver una cantidad exactamente pesada de sorbitol en agua para obtener una solución con una concentración conocida de alrededor de 10,0 mg de sorbitol por ml. De manera más precisa, transferir alrededor de 1 g de la muestra exactamente pesada en un matraz de 50 ml, diluir con agua hasta el volumen y mezclar.

Procedimiento

Inyectar por separado volúmenes iguales (alrededor de 20 µl) de la preparación de muestra y la preparación estándar en el cromatógrafo. Registrar los cromatogramas y medir las respuestas de cada pico de poliols. Calcular por separado la cantidad, en mg, de sorbitol en la parte de la muestra tomada por la siguiente fórmula:

$$50 \times C \times \left(\frac{RU}{RS} \right)$$

Dónde:

C = concentración en mg/ml, de sorbitol en la preparación estándar.

RU = la respuesta de pico de la preparación de la muestra.

RS = la respuesta de pico de la preparación estándar.

T-13, determinación de la concentración celular - 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:

$$PSC = 75,44 \cdot abs + 1,85$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

T-14, determinación de la concentración de sorbosa, ácido 2 ceto L gulónico, 2 ceto L gulonato de metilo; compuestos orgánicos.

Una técnica muy empleada y de gran eficacia para la determinación de la concentración de compuestos orgánicos, es la cromatografía de líquidos de alta eficiencia-espectrometría de masas (HPLC-MS).

Es una metodología altamente eficiente que tiene una gran resolución para un amplio rango de compuestos orgánicos. Las separaciones pueden realizarse en unos pocos minutos, se basan en pasar la muestra a través de una fase estacionaria empaquetada en columnas de acero inoxidable relativamente cortas (no más de 25 cm) por las que se hace circular a elevada presión (200 bar) la fase móvil con flujos entre 1 y 3 cm³ min⁻¹. Las diferentes combinaciones de fases estacionarias y fases móviles determinan la separación y los tiempos de retención en la columna de los compuestos en la muestra. A la salida de la columna el eluato pasa por un detector que responde a la presencia de los distintos analitos y desarrolla una señal que es proporcional a su cantidad. Esta señal se grafica en función del tiempo demandado para la aparición de dicha señal, el cromatograma. Un detector común por su versatilidad es el basado en la absorción de la radiación UV por los analitos eluidos (Romero, Escalada, Bregliani, & Pajares).

Materiales y reactivos

Cromatógrafo HPLC

Ácido fosfórico, H₃PO₄

Dihidrogenofosfato de amonio, NH₄H₂PO₄; como fase móvil.⁴

Procedimiento

Teniendo en cuenta la solubilidad y las propiedades de los compuestos mencionados, se emplea en la columna cromatográfica una fase móvil de solución de dihidrogenofosfato de amonio con ácido fosfórico ajustado para mantenerla en condición ácida. Se selecciona una concentración de NH₄H₂PO₄ 0,015 mol/L con ácido fosfórico ajustado para mantener la corriente a un pH de 4,1 para la óptima separación de los ácidos orgánicos. Se realiza el control empleando una longitud de onda de detección de 210 nm en el rango UV/VIS.

Es importante aclarar que por esta técnica también se puede obtener resultados para dextrosa, sorbitol, ascorbato de sodio y el producto en cuestión; además de los compuestos nombrados. Es probable que en función del compuesto a analizar cambie el compuesto y la concentración de la fase móvil.

⁴ La fase móvil a emplear en el análisis como su concentración se puede modificar según el compuesto que deseamos conocer su concentración.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

T-15, determinación de la concentración de ácido L- ascórbico – Farmacopea

Ensayos

Identificación

A- Pesar exactamente una cantidad del Polvo de Ácido Ascórbico, equivalente a 500 mg de ácido ascórbico, transferir a un recipiente apropiado, agregar 30 ml de agua, agitar durante 1 minuto y filtrar.

Transferir 5,0 ml del filtrado a un erlenmeyer, agregar una gota de permanganato de potasio(SR) o una gota de 2,6-diclorofenol-indofenol sódico (SR): el color de la solución debe desaparecer inmediatamente.

B- Pesar exactamente una cantidad del Polvo de Ácido Ascórbico, equivalente a 10 mg de ácido ascórbico, transferir a un recipiente apropiado, agregar 10 ml de una solución de ácidometafosfórico (1 en 50), agitar durante 1 minuto y filtrar.

Transferir 5 ml del filtrado a un erlenmeyer, agregar Iodo (SR) hasta que el color de la solución sea amarillo pálido. Luego agregar una gota de una solución de sulfato cúprico (1 en 1.000) y una gota de pirrol. Calentar la mezcla a 50 °C durante 5 minutos. Se debe desarrollar color azul.

Valoración

Reactivos:

Ácido metafosfórico

Ácido acético

Solución de 2,6-diclorofeno-indofenol. Estandarización de la misma según se indica en “Comprimidos de Ácido Ascórbico- Farmacopea Argentina”.

Procedimiento

Pesar exactamente una cantidad del Polvo de Ácido Ascórbico, equivalente a 100 mg de ácido ascórbico, extraer con sucesivas porciones de Ácido metafosfórico-ácido acético, combinar los extractos y filtrar. Lavar el residuo con Ácido metafosfórico-ácido acético. Combinar filtrados y lavados y diluir a un volumen de 200 ml con el mismo solvente. Proceder según se indica: “Transferir 4,0 ml de esta solución, equivalente a 2 mg de ácido ascórbico, a un erlenmeyer de 50 ml, agregar 5 ml de Ácido metafosfórico-acético y titular con Solución de 2,6-diclorofenol-indofenol hasta obtener un color rosado nítido que persista durante al menos 5 segundos. Corregir por el volumen de Solución de 2,6-diclorofenol-indofenol consumido por un blanco preparado a partir de 5,5 ml de Ácido metafosfórico-acético y 15 ml de agua.”

Calcular el contenido de $C_6H_8O_6$ en los Comprimidos de Ácido Ascórbico, a partir del equivalente de ácido ascórbico obtenido según se indica en Estandarización de la Solución de 2,6-diclorofenol-indofenol.

Estandarización de solución de 2,6-diclorofenol-indofenol

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

A 50 mg de 2,6-diclorofenol-indofenol sódico que haya sido almacenado en un desecador sobre cal sodada, agregar 50 ml de agua que contengan 42 mg de bicarbonato de sodio, agitar vigorosamente y cuando se disuelve el colorante, agregar agua hasta obtener 200 ml. Filtrar en una botella ámbar con tapón de vidrio. Estandarizar la solución del siguiente modo. Transferir 50 mg de Ácido ascórbico SR-FA, exactamente pesados, a un matraz aforado de 50 ml con tapón de vidrio con la ayuda de un volumen suficiente de ácido metafosfórico - ácido acético(SR) para obtener 50 ml. Transferir inmediatamente 2 ml de la solución de ácido ascórbico a un erlenmeyer de 50 ml que contenga 5 ml de ácido metafosfórico - ácido acético (SR) y titular rápidamente con solución de diclorofenol-indofenol hasta que un color rosado característico persista durante al menos 5 segundos. Realizar una determinación con un blanco titulado 7 ml de ácido metafosfórico- ácido acético (SR) más un volumen de agua igual al volumen de la solución de diclorofenol empleada para titular la solución de ácido ascórbico. Expresar la concentración de esta solución estándar en función de su equivalente en mg de ácido ascórbico.

T-16, determinación del límite de metales pesados – Nº 590 Farmacopea Argentina

Este ensayo se emplea para establecer que el contenido de impurezas metálicas que reaccionan con el ión sulfuro, bajo las condiciones especificadas, no excede el Límite de metales pesados especificado en la monografía correspondiente, expresado como porcentaje (en peso) de plomo en la sustancia en ensayo, determinado mediante comparación visual con un control preparado a partir de una Solución estándar de plomo. Los cationes que generalmente responden a este ensayo son: plomo, mercurio, bismuto, arsénico, antimonio, estaño, cadmio, plata, cobre y molibdeno.

Comúnmente se emplean tres métodos: El Método I, se emplea para sustancias que dan soluciones lípidas en las condiciones específicas del ensayo. El Método II, se emplea para sustancias que no dan soluciones lípidas o incoloras en las condiciones del ensayo especificadas para el Método I o para sustancias que, por su naturaleza, dificultan la precipitación de metales por el ión sulfuro o para aceites fijos y volátiles. El Método III es un método de digestión por vía húmeda, que se emplea sólo en aquellos casos donde ninguno de los otros dos métodos puede emplearse. A menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente, emplear el Método I. A continuación, solo se detalla el método I, por lo que para más información sobre los métodos II y III ver el libro de Farmacopea-Volumen 1.

Método I

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Materiales y Reactivos

- Nitrato de plomo, agua destilada, ácido nítrico, acetato de amonio, ácido clorhídrico, hidróxido de amonio, , ácido acético, tioacetamida, hidróxido de sodio, glicerina, envases de vidrio, tubos de Nessler y papeles indicadores de pH.
- Solución madre de nitrato de plomo: Disolver 159,8 mg de nitrato de plomo en 100 ml de agua a la cual se le ha agregado 1 ml de ácido nítrico y diluir a 1 litro con agua. Preparar y almacenar esta solución en envases de vidrio exentos de sales de plomo solubles.
- Solución estándar de plomo: En el día del ensayo, diluir 10,0 ml de Solución madre de nitrato de plomo a 100,0 ml con agua. Cada ml de Solución estándar de plomo contiene el equivalente a 10 µg de plomo. Una solución de comparación preparada sobre la base de 100 µl de Solución estándar de plomo por g de muestra contiene el equivalente a 1 ppm de plomo.
- Solución reguladora de acetato pH 3,5: Disolver 50 g de acetato de amonio en 100 ml de ácido clorhídrico 6 N, ajustar a pH 3,5, si fuera necesario, con hidróxido de amonio 6 N o ácido clorhídrico 6 N y diluir con agua a 200 ml.
- Solución estándar: Transferir 2 ml de Solución estándar de plomo (20 µg de Pb) a un tubo de Nessler de 50 ml y diluir con agua a 25 ml. Ajustar a pH entre 3,0 y 4,0 con ácido acético 1 N o hidróxido de amonio 6 N, empleando papel indicador de pH, diluir con agua a 40 ml y mezclar.
- Solución muestra: Transferir 25 ml de la solución preparada para el ensayo según se indica en la monografía correspondiente a un tubo de Nessler de 50 ml. Alternativamente, cuando se trate de muestras en polvo, emplear el volumen de ácido indicado, disolver la cantidad en g de muestra, calculada por la fórmula siguiente:

$$Muestra = \frac{2}{1000 \times L}$$

En la cual L es el Límite de metales pesados, en porcentaje. Diluir a 25 ml con agua y ajustar a pH entre 3,0 y 4,0 con ácido acético 1 N o hidróxido de amonio 6 N, empleando papel indicador de pH, diluir a 40 ml con agua y mezclar.

- Solución control: Transferir 25 ml de una solución preparada según se indica para la Solución Muestra a un tercer tubo de Nessler de 50 ml y agregar 2,0 ml de Solución estándar de plomo. Ajustar a pH entre 3,0 y 4,0 con ácido acético 1 N o hidróxido de amonio 6 N, empleando papel indicador de pH, diluir a 40 ml con agua y mezclar.
Solución de Tioacetamida-glicerina básica (SR): Mezclar 0,2 ml de tioacetamida

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

(SR) y 1 ml de glicerina básica (SR) y calentar en un baño de agua a ebullición durante 20 segundos. Emplear la mezcla inmediatamente. La tioacetamida (SR) se obtiene disolviendo 4 g de tioacetamida en 100 ml de agua, mientras que la glicerina básica (SR) se obtiene al agregar agua a 200 g de glicerina para obtener un peso total de 235 g. A continuación, agregar 142,5 ml de hidróxido de sodio 1 N y 47,5 ml de agua.

Procedimiento del método I

A cada uno de los tubos que contienen la Solución estándar, la Solución muestra y la Solución control, respectivamente, agregar 1,2 ml de tioacetamida-glicerina básica (SR) y 2 ml de Solución reguladora de acetato de pH 3,5, diluir a 50 ml con agua, mezclar, dejar reposar durante 5 minutos.

Resultado

La comparación visual del color o de turbidez, deberá realizarse en tubos de comparación de fondo plano (tubos de Nessler) cuyas medidas internas se correspondan lo más estrechamente posible. Para la comparación del color, los tubos en posición vertical deberán ser observados longitudinalmente a lo largo del tubo con una fuente de luz difusa sobre un fondo blanco. El color de la solución obtenida a partir de la Solución muestra no debe ser más oscuro que el de la obtenida a partir de la Solución estándar y la intensidad del color de la Solución control debe ser igual o mayor que la de la Solución estándar. En caso de que el color de la Solución control sea más claro que el de la Solución estándar, se debe emplear el Método II.

ANEXO II:

Higiene y seguridad

**PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA
DEXTROSA**
Proyecto final de grado – Ingeniería Química
ANEXO II HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

Fichas técnicas de datos de seguridad




Dextrosa

GLUCOSA D-Glucosa Dextrosa Azúcar de uva	ICSC: 0865 (Septiembre 1997)
CAS: 50-99-7	
CE: 200-075-1	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	Combustible. Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.	Evitar las llamas. Sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión de polvo. Evitar el depósito del polvo.	Usar agua pulverizada, polvo, espuma, dióxido de carbono.

	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación		Usar ventilación (no si es polvo).	Aire limpio, reposo.
Piel			
Ojos		Utilizar gafas de protección de montura integral.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			Enjuagar la boca.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado. Eliminar el residuo con agua abundante.	Conforme a los criterios del GHS de la ONU Transporte Clasificación ONU
ALMACENAMIENTO	
Separado de oxidantes fuertes. Bien cerrado.	
ENVASADO	

 Organización Internacional del Trabajo	 Organización Mundial de la Salud	<p>La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea. © OIT y OMS 2018</p>	 European Commission
---	---	---	--

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química




Sorbitol

D-SORBITOL D-Glucitol Alcohol hexahídrico Glucitol	ICSC: 0892 (Septiembre 2002)
CAS: 50-70-4 CE: 200-061-5	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	Combustible. Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.	Evitar las llamas. Sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión de polvo. Evitar el depósito del polvo.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.

¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación			
Piel			
Ojos		Utilizar gafas de protección o protección ocular en combinación con protección respiratoria si se trata de polvo.	
Ingestión	Calambres abdominales. Dolor abdominal. Diarrea.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado.	Conforme a los criterios del GHS de la ONU Transporte Clasificación ONU
ALMACENAMIENTO	
ENVASADO	

 Organización Internacional del Trabajo	 Organización Mundial de la Salud	La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea. © OIT y OMS 2018	 European Commission
---	---	---	--

D-SORBITOL	ICSC: 0892
INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA	
Estado físico; aspecto SÓLIDO BLANCO HIGROSCÓPICO EN DIVERSAS FORMAS. Peligros físicos Peligros químicos	Fórmula: C ₆ H ₁₄ O ₆ Masa molecular: 182.2 Punto de fusión: 110-112°C Densidad: 1.5 g/cm ³ Solubilidad en agua, g/100ml a 20°C: 220 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -2.2

EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD	
Vías de exposición Efectos de exposición de corta duración La sustancia puede afectar al tracto gastrointestinal.	Riesgo de inhalación Puede alcanzarse rápidamente una concentración molesta de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa. Efectos de exposición prolongada o repetida

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL

MEDIO AMBIENTE

NOTAS
Se han investigado los efectos de la exposición de esta sustancia sobre la salud, pero no se ha encontrado ninguno.

INFORMACIÓN ADICIONAL
Clasificación UE

 <p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p>	<p>MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL</p>	 <p>insst Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo</p>	<p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSSST, 2018</p>
---	--	--	--

Hidrógeno


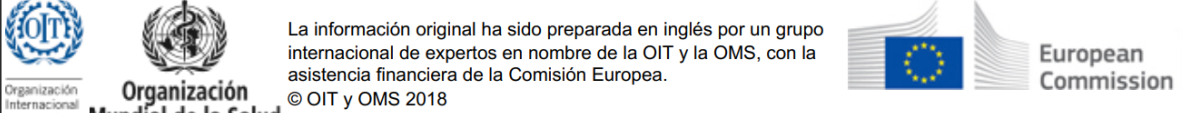
HIDRÓGENO	ICSC: 0001 (Abril 2014)
CAS: 1333-74-0	
Nº ONU: 1049	
CE: 215-605-7	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	Extremadamente inflamable. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. Las mezclas gas/aire son explosivas.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas. No manipular botellas con las manos grasientas.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo, dióxido de carbono. En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

Usar controles apropiados en el proceso.			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación	Vértigo. Dolor de cabeza. Apatía. Asfixia.	Usar ventilación.	Aire limpio, reposo.
Piel	EN CONTACTO CON GAS: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío.	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ojos	EN CONTACTO CON GAS: CONGELACIÓN.	Utilizar pantalla facial.	EN CASO DE CONGELACIÓN: enjuagar con agua abundante. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
¡Evacuar la zona de peligro! ¡Consultar a un experto! Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Eliminar el vapor con agua pulverizada.	<p>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</p>  <p>PELIGRO Gas extremadamente inflamable Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta</p> <p>Transporte Clasificación ONU Clase de Peligro ONU: 2.1</p>
ALMACENAMIENTO	
A prueba de incendio. Fresco. Ventilación a ras del suelo y techo. Separado de materiales oxidantes.	
ENVASADO	
 <p style="font-size: small;">La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea. © OIT y OMS 2018</p>	

HIDRÓGENO **ICSC: 0001**

INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

<p>Estado físico; aspecto GAS INODORO INCOLORO COMPRIMIDO.</p> <p>Peligros físicos El gas se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. El gas es más ligero que el aire.</p> <p>Peligros químicos El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. Reacciona violentamente con halógenos, materiales oxidantes y grasas. Esto genera peligro de incendio y explosión. Los metales catalizadores tales como el platino o el níquel aumentan este tipo de reacciones.</p>	<p>Fórmula: H₂</p> <p>Masa molecular: 2.0</p> <p>Punto de ebullición: -253°C</p> <p>Punto de fusión: -259°C</p> <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.07</p> <p>Punto de inflamación: gas inflamable</p> <p>Temperatura de autoignición: 560°C</p> <p>Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 4-75</p> <p>Presión de vapor, kPa a 25°C: 165320</p> <p>Solubilidad en agua, mg/l a 21°C: 1.62 (muy escasa)</p>
---	--

EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD

<p>Vías de exposición La exposición es por vía inhalatoria principalmente.</p> <p>Efectos de exposición de corta duración Asfixia. Ver Notas. La exposición a gas frío podría causar congelación.</p>	<p>Riesgo de inhalación Al producirse pérdidas en zonas confinadas, esta sustancia puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno en el aire.</p> <p>Efectos de exposición prolongada o repetida</p>
---	---

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL

--

MEDIO AMBIENTE

--

NOTAS

Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona.
Medir concentraciones de hidrógeno con un detector de gas adecuado (un detector de gas inflamable normal no es adecuado).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

INFORMACIÓN ADICIONAL
- Límites de exposición profesional (INSHT 2014): Notas: asfixiante simple. - N° de índice (clasificación y etiquetado armonizados conforme al Reglamento CLP de la UE): 001-001-00-9 - Clasificación UE Pictograma: F+; R: 12; S: (2)-9-16-33

 <p>GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL</p>	 <p>insst Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo</p>	La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018
---	--	---

Metanol





METANOL Alcohol metílico Carbinol	ICSC: 0057 (Mayo 2018)
CAS: 67-56-1 N° ONU: 1230 CE: 200-659-6	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	Altamente inflamable. Las mezclas vapor/aire son explosivas. Riesgo de incendio y explosión en contacto con sustancias incompatibles. Ver Notas.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con sustancias incompatibles. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	Usar agua pulverizada, polvo, espuma resistente al alcohol, dióxido de carbono. En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

¡EVITAR LA FORMACIÓN DE NIEBLAS DEL PRODUCTO!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación	Tos. Vértigo. Dolor de cabeza. Debilidad. Alteraciones de la vista. Somnolencia. Jadeo. Convulsiones. Pérdida del conocimiento.	Usar ventilación. Usar extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes de protección. Traje de protección.	Enjuagar la ropa contaminada con agua abundante (peligro de incendio). Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa.	Utilizar pantalla facial o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Además ver Inhalación.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	NO provocar el vómito. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
<p>¡Evacuar la zona de peligro! ¡Consultar a un experto! Eliminar toda fuente de ignición. Ventilar. Protección personal: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. NO verterlo en el alcantarillado. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes tapados. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte. Eliminar el residuo con agua abundante. Almacenar y eliminar el residuo conforme a la normativa local.</p>	<p style="text-align: center;">Conforme a los criterios del GHS de la ONU</p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">PELIGRO</p> </div> <p>Líquido y vapores muy inflamables Tóxico en caso de ingestión Nocivo si se inhala Provoca daños en el sistema nervioso central</p> <p>Transporte Clasificación ONU Clase de Peligro ONU: 3; Peligro Secundario ONU: 6.1; Grupo de Embalaje/Envase ONU: II</p>
ALMACENAMIENTO	
<p>Separado de materiales incompatibles. Fresco. A prueba de incendio. Mantener en lugar bien ventilado.</p>	
ENVASADO	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <small>Organización Internacional del Trabajo</small> </div> <div style="text-align: center;">  Organización Mundial de la Salud </div> <div style="text-align: center;"> <p style="font-size: small;">La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea. © OIT y OMS 2018</p> </div> <div style="text-align: center;">  European Commission </div> </div>	

METANOL	ICSC: 0057
INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA	
<p>Estado físico; aspecto LÍQUIDO INCOLORO DE OLOR CARACTERÍSTICO.</p> <p>Peligros físicos El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.</p> <p>Peligros químicos Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, ácidos y agentes reductores. Esto genera peligro de incendio y explosión.</p>	<p>Fórmula: CH₄O / CH₃OH Masa molecular: 32.0 Punto de ebullición: 65°C Punto de fusión: -98°C Densidad relativa (agua = 1): 0.79 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 12.9 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.1 Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.01 Punto de inflamación: 9°C c.c. Temperatura de autoignición: 440°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6-50 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.74 Viscosidad: 0.544 mPa a 25°C</p>

EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD	
<p>Vías de exposición La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>Efectos de exposición de corta duración La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central. Esto puede dar lugar a pérdida del conocimiento. La exposición podría causar ceguera y la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p>	<p>Riesgo de inhalación Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>Efectos de exposición prolongada o repetida El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central. Esto puede dar lugar a dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión.</p>

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL
TLV: 200 ppm como TWA; 250 ppm como STEL; (piel); BEI establecido. EU-OEL: 260 mg/m ³ , 200 ppm como TWA; (piel). MAK: 130 mg/m ³ , 100 ppm; categoría de limitación de pico: II(2); absorción dérmica (H); riesgo para el embarazo: grupo C

MEDIO AMBIENTE
Evitar su liberación al medio ambiente en circunstancias distintas al uso normal.

NOTAS
Arde con llama azulada. Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. En caso de envenenamiento con esta sustancia es necesario realizar un tratamiento específico; así como disponer de los medios adecuados junto a las instrucciones correspondientes.

INFORMACIÓN ADICIONAL
- Límites de exposición profesional (INSST 2021): VLA-ED: 200 ppm; 266 mg/m ³ Notas: vía dérmica; esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, la comercialización o el uso especificadas en el Reglamento REACH. VLB: 15 mg/L en orina. Notas F, I. - N° de índice (clasificación y etiquetado armonizados conforme al Reglamento CLP de la UE): 603-001-00-X - Clasificación UE

 <p>GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL</p>	 <p>insst Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo</p>	<p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018</p>
--	---	---

Hidróxido de sodio





HIDRÓXIDO DE SODIO	ICSC: 0360 (Mayo 2010)
Sosa cáustica Hidrato de sodio Lejía de sosa	
CAS: 1310-73-2 N° ONU: 1823 CE: 215-185-5	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	No combustible. El contacto con la humedad o el agua, puede generar suficiente calor para provocar la ignición de materiales combustibles. Riesgo de incendio y explosión en contacto con sustancias incompatibles. Ver Peligros Químicos.	NO poner en contacto con agua. NO poner en contacto con materiales incompatibles: ver Peligros Químicos.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO! ¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo.	Usar extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras cutáneas graves. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras graves.	Utilizar pantalla facial o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Quemaduras en la boca y garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. En los primeros minutos tras la ingestión, se puede dar a beber un vaso pequeño de agua. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico tapado. Recoger cuidadosamente el residuo. A continuación, almacenar y eliminar el residuo conforme a la normativa local.	<p>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</p>  <p>PELIGRO</p> <p>Nocivo en caso de ingestión Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares Puede irritar las vías respiratorias</p> <p>Transporte Clasificación ONU Clase de Peligro ONU: 8; Grupo de Embalaje/Envase ONU: II</p>
ALMACENAMIENTO	
Separado de alimentos y piensos, ácidos fuertes y metales. Almacenar solamente en el recipiente original. Seco. Bien cerrado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
ENVASADO	
No transportar con alimentos y piensos.	
  <p style="text-align: center;"> Organización Internacional del Trabajo Organización Mundial de la Salud </p>	<p>La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea.</p> <p>© OIT y OMS 2018</p> 

HIDRÓXIDO DE SODIO		ICSC: 0360
INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA		
<p>Estado físico; aspecto SÓLIDO BLANCO HIGROSCÓPICO EN DIVERSAS FORMAS.</p> <p>Peligros físicos Sin datos.</p> <p>Peligros químicos La disolución en agua es una base fuerte. Reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva para metales tales como aluminio, estaño, plomo y cinc. Esto produce un gas explosivo/combustible (hidrógeno - ver FISQ 0001). Reacciona con sales de amonio. Esto produce amoniaco. Esto genera peligro de incendio. El contacto con humedad y agua genera calor. Ver Notas.</p>	<p>Fórmula: NaOH Masa molecular: 40.0 Punto de ebullición: 1388°C Punto de fusión: 318°C Densidad: 2.1 g/cm³ Solubilidad en agua, g/100ml a 20°C: 109 (muy elevada)</p>	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD	
<p>Vías de exposición Hay efectos locales graves por todas las vías de exposición.</p> <p>Efectos de exposición de corta duración La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.</p>	<p>Riesgo de inhalación Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.</p> <p>Efectos de exposición prolongada o repetida El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p>

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL
TLV: 2 mg/m ³ (valor techo)

MEDIO AMBIENTE
Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.

NOTAS
El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otros números ONU: 1824 Hidróxido sódico en solución, clase de peligro: 8, grupo de emb/env: II-III.

INFORMACIÓN ADICIONAL
<p>- Límites de exposición profesional (INSST 2021): VLA-EC: 2 mg/m³</p> <p>- N° de índice (clasificación y etiquetado armonizados conforme al Reglamento CLP de la UE): 011-002-00-6</p> <p>- Clasificación UE Pictograma: C; R: 35; S: (1/2)-26-37/39-45</p>

		<p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018</p>
---	---	---

Carbonato de sodio

<p>CARBONATO DE SODIO (ANHIDRO) Sal disódica del ácido carbónico Ceniza de soda Ceniza de sosa</p> <p>CAS: 497-19-8 CE: 207-838-8</p>	ICSC: 1135 (Octubre 2004)
--	----------------------------------


	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA


Proyecto final de grado – Ingeniería Química

¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación	Tos. Dolor de garganta.	Usar extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Enrojecimiento.	Guantes de protección.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Utilizar gafas de protección de montura integral.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Dolor abdominal.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Protección personal: respirador con filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente precintable tapado. Si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión.	<p>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</p> <p>Transporte Clasificación ONU</p>
ALMACENAMIENTO	
Seco. Bien cerrado. Separado de materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos.	
ENVASADO	




Organización Internacional del Trabajo



Organización Mundial de la Salud

La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea.
© OIT y OMS 2018



European Commission

CARBONATO DE SODIO (ANHIDRO) **ICSC: 1135**

INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA	
<p>Estado físico; aspecto POLVO BLANCO HIGROSCÓPICO.</p> <p>Peligros físicos</p> <p>Peligros químicos La disolución en agua es moderadamente básica. Reacciona violentamente con ácidos. Reacciona con magnesio y pentóxido de fósforo. Esto genera peligro de explosión. Reacciona con flúor. Esto genera peligro de incendio.</p>	<p>Fórmula: Na₂CO₃ Masa molecular: 106.0 Punto de fusión: 851°C Densidad: 2.5 g/cm³ Solubilidad en agua, g/100ml a 20°C: 30</p>

EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD	
<p>Vías de exposición</p> <p>Efectos de exposición de corta duración La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.</p>	<p>Riesgo de inhalación Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire, especialmente si está en forma de polvo.</p> <p>Efectos de exposición prolongada o repetida La sustancia puede afectar al tracto respiratorio. Esto puede dar lugar a perforación del tabique nasal. El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p>

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL

MEDIO AMBIENTE

NOTAS

INFORMACIÓN ADICIONAL
- Nº de índice (clasificación y etiquetado armonizados conforme al Reglamento CLP de la UE): 011-005-00-2 - Clasificación UE Pictograma: Xi; R: 36; S: (2)-22-26

 GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL	 insst Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo	La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSSST, 2018
---	--	--

Ácido ascórbico

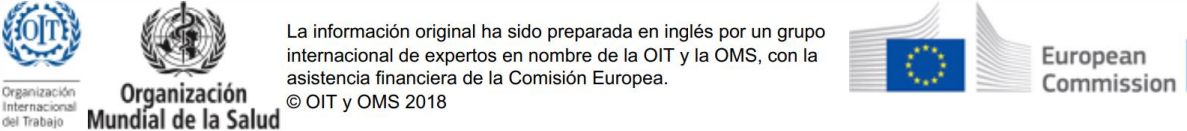
ÁCIDO ASCÓRBICO	ICSC: 0379 (Junio 1997)
Vitamina C Ácido L-ascórbico Ácido L-xiloascórbico 3-Oxo-L-gulofuranolactona (forma enólica)	
CAS: 50-81-7	
CE: 200-066-2	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	Combustible.	Evitar las llamas.	Usar agua pulverizada, polvo.

¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación	Tos. Dolor de garganta.	Usar extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Enrojecimiento.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Utilizar gafas de protección.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			Enjuagar la boca.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Protección personal: respirador con filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado. Si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. Eliminar el residuo con agua abundante.	<p>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</p> <p>Transporte Clasificación ONU</p>
ALMACENAMIENTO	
Separado de oxidantes fuertes y bases fuertes.	
ENVASADO	
 <p>La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea. © OIT y OMS 2018</p>	

ÁCIDO ASCÓRBICO	ICSC: 0379
INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA	
<p>Estado físico; aspecto POLVO INODORO DE BLANCO A LIGERAMENTE AMARILLO O CRISTALES.</p> <p>Peligros físicos</p> <p>Peligros químicos La sustancia es un reductor fuerte. Reacciona violentamente con oxidantes. La disolución en agua es moderadamente ácida.</p>	<p>Fórmula: C₆H₈O₆ Masa molecular: 176.12 Se descompone a 190-192°C Densidad: 1.65 g/cm³ Solubilidad en agua, g/100ml: 33 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -2.15</p>

EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD	
<p>Vías de exposición La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>Efectos de exposición de corta duración La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.</p>	<p>Riesgo de inhalación No se puede indicar la velocidad con que se alcanza una concentración nociva de esta sustancia en el aire por evaporación a 20°C.</p> <p>Efectos de exposición prolongada o repetida</p>

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL

MEDIO AMBIENTE

NOTAS

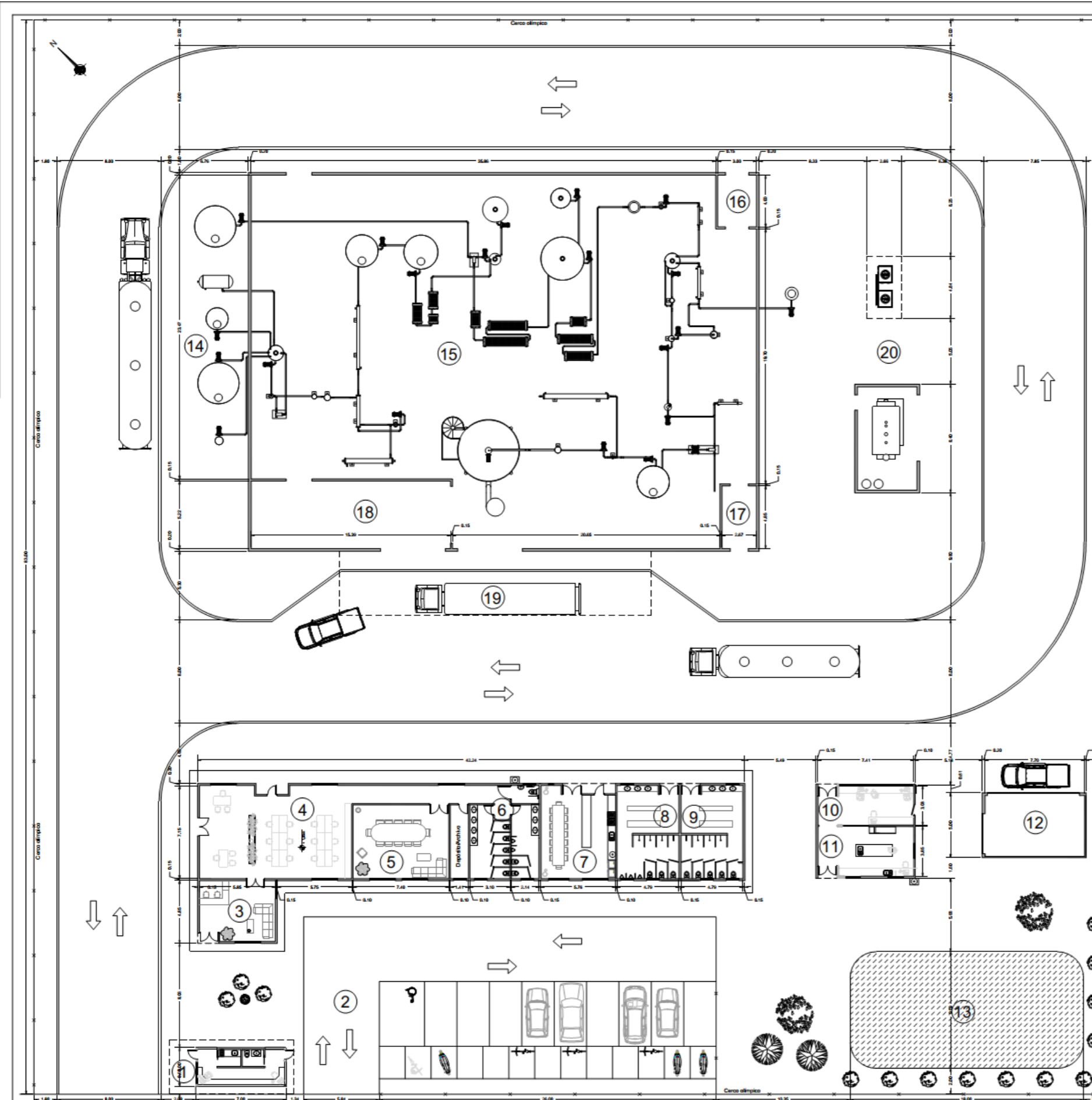
INFORMACIÓN ADICIONAL
Clasificación UE

 <p>GÓBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL</p>	 <p>insst Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo</p>	<p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018</p>
---	--	---

ANEXO III

Planos

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
 Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Ubicación
Sin Escala



Zoom
Sin Escala

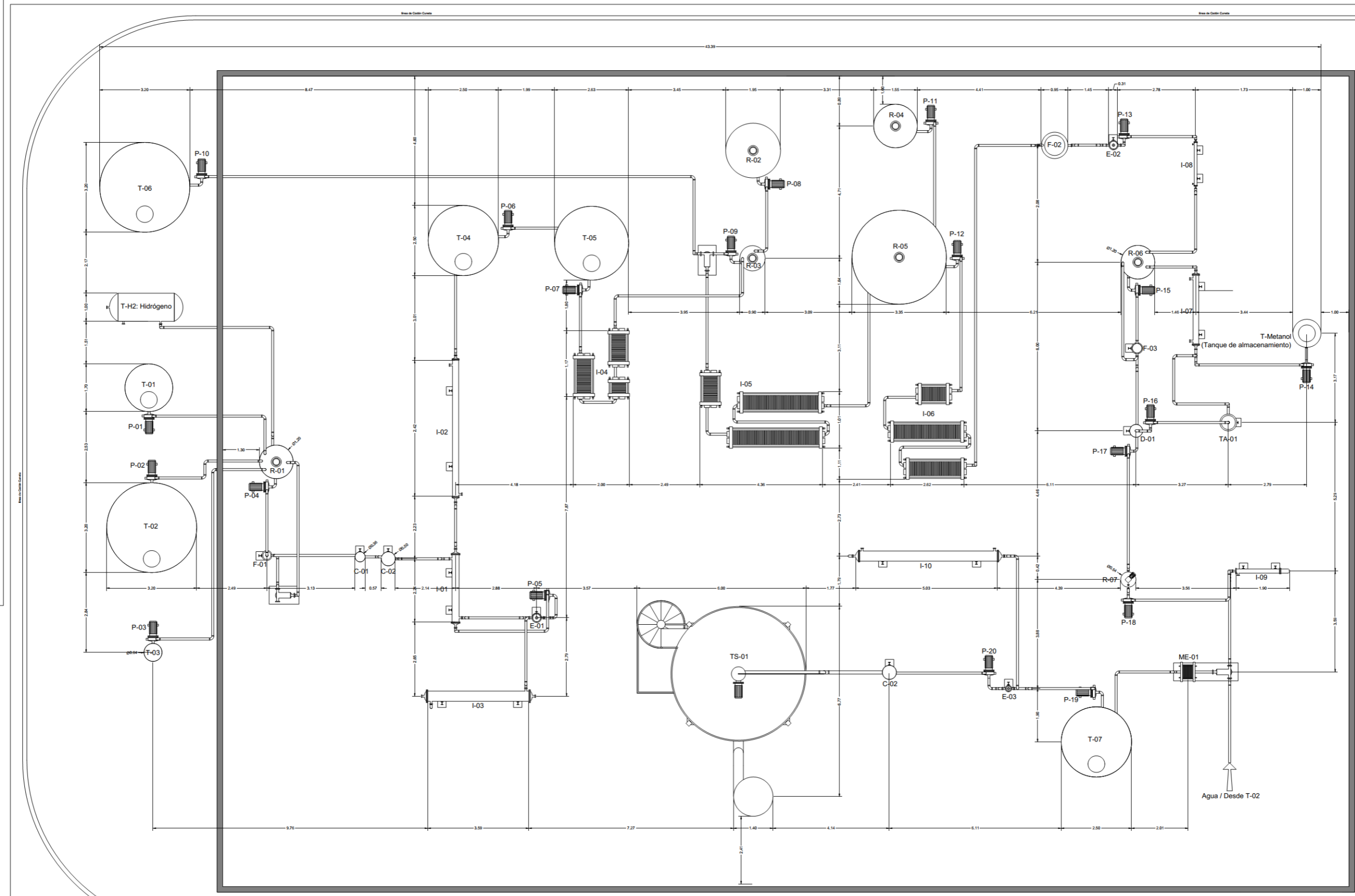
- REFERENCIAS:**
- 01: Portería
 - 02: Estacionamiento
 - 03: Hall de acceso y recepción
 - 04: Oficinas administrativas
 - 05: Sala de reuniones
 - 06: Sanitarios
 - 07: Cocina - comedor
 - 08: Sanitarios y vestuario hombres
 - 09: Sanitarios y vestuarios mujeres
 - 10: Sala de control
 - 11: Laboratorio
 - 12: Taller
 - 13: Laguna tratamiento de efluentes
 - 14: Zona descarga
 - 15: Sector de proceso
 - 16: Depósito de insumos
 - 17: Antesala de descontaminación
 - 18: Envasado y almacenamiento producto final
 - 19: Sector de carga
 - 20: Sector servicio de agua fría y vapor

PLANTA
Esc.: 1-200

Calle interna del parque

CRESCINI - NITARDI		Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María
Dibujado	Aprobado	
Fecha		
Firma		
Esc. 1-200		DISTRIBUCIÓN GENERAL
		Plano nº 1

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
 Proyecto final de grado – Ingeniería Química



PLANTA
 Esc.: 1-50
 *Las medidas expresadas están en metros

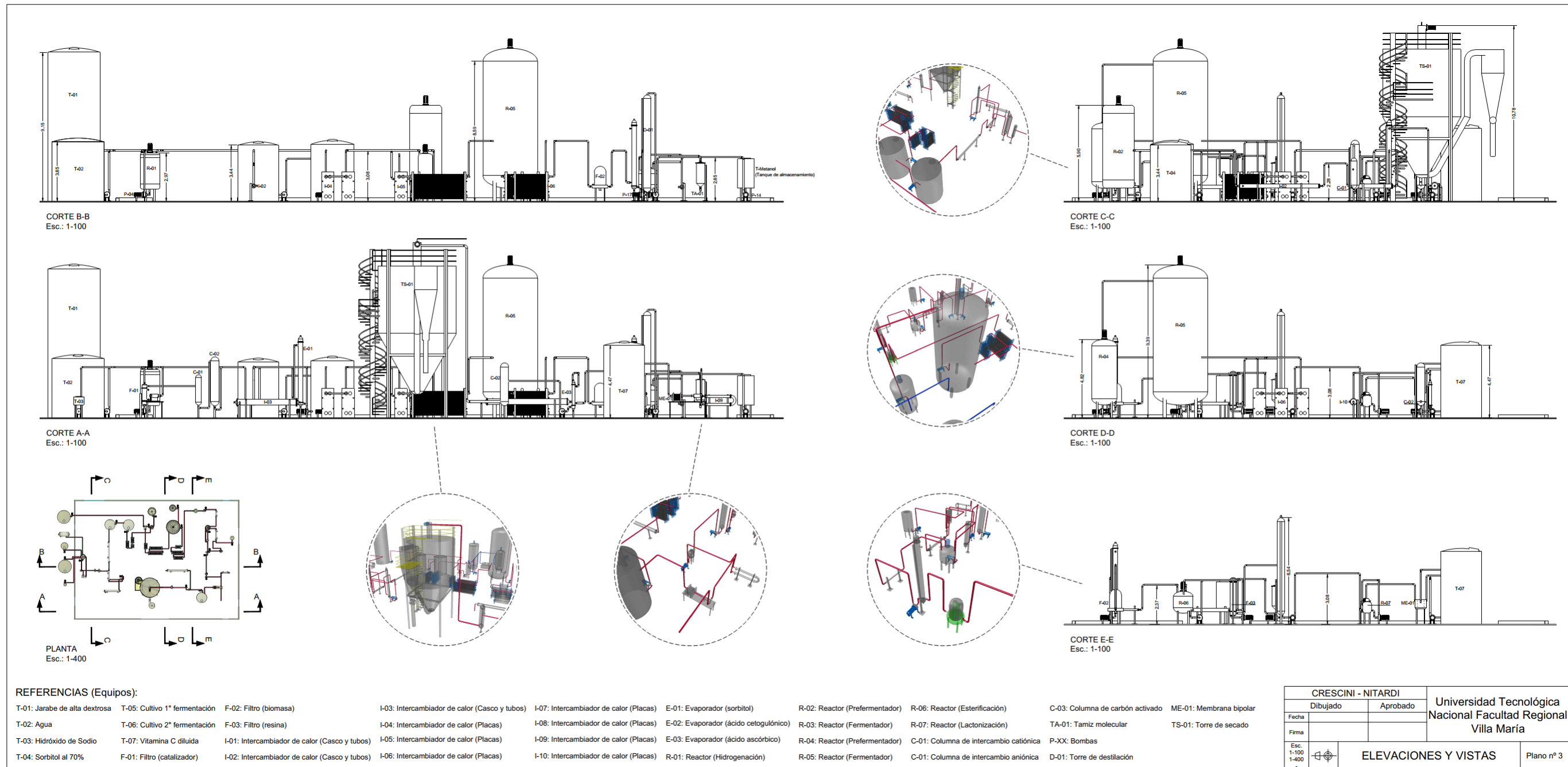
REFERENCIAS (Equipos):

T-01: Jarabe de alta dextrosa	T-05: Cultivo 1° fermentación	F-02: Filtro (biomasa)	I-03: Intercambiador de calor (Casco y tubos)	I-07: Intercambiador de calor (Placas)	E-01: Evaporador (sorbitol)	R-02: Reactor (Prefermentador)	R-06: Reactor (Esterificación)	C-03: Columna de carbón activado	ME-01: Membrana bipolar
T-02: Agua	T-06: Cultivo 2° fermentación	F-03: Filtro (resina)	I-04: Intercambiador de calor (Placas)	I-08: Intercambiador de calor (Placas)	E-02: Evaporador (ácido cetogulónico)	R-03: Reactor (Fermentador)	R-07: Reactor (Lactonización)	TA-01: Tamiz molecular	TS-01: Torre de secado
T-03: Hidróxido de Sodio	T-07: Vitamina C diluida	I-01: Intercambiador de calor (Casco y tubos)	I-05: Intercambiador de calor (Placas)	I-09: Intercambiador de calor (Placas)	E-03: Evaporador (ácido ascórbico)	R-04: Reactor (Prefermentador)	C-01: Columna de intercambio catiónica	P-XX: Bombas	
T-04: Sorbitol al 70%	F-01: Filtro (catalizador)	I-02: Intercambiador de calor (Casco y tubos)	I-06: Intercambiador de calor (Placas)	I-10: Intercambiador de calor (Placas)	R-01: Reactor (Hidrogenación)	R-05: Reactor (Fermentador)	C-01: Columna de intercambio aniónica	D-01: Torre de destilación	

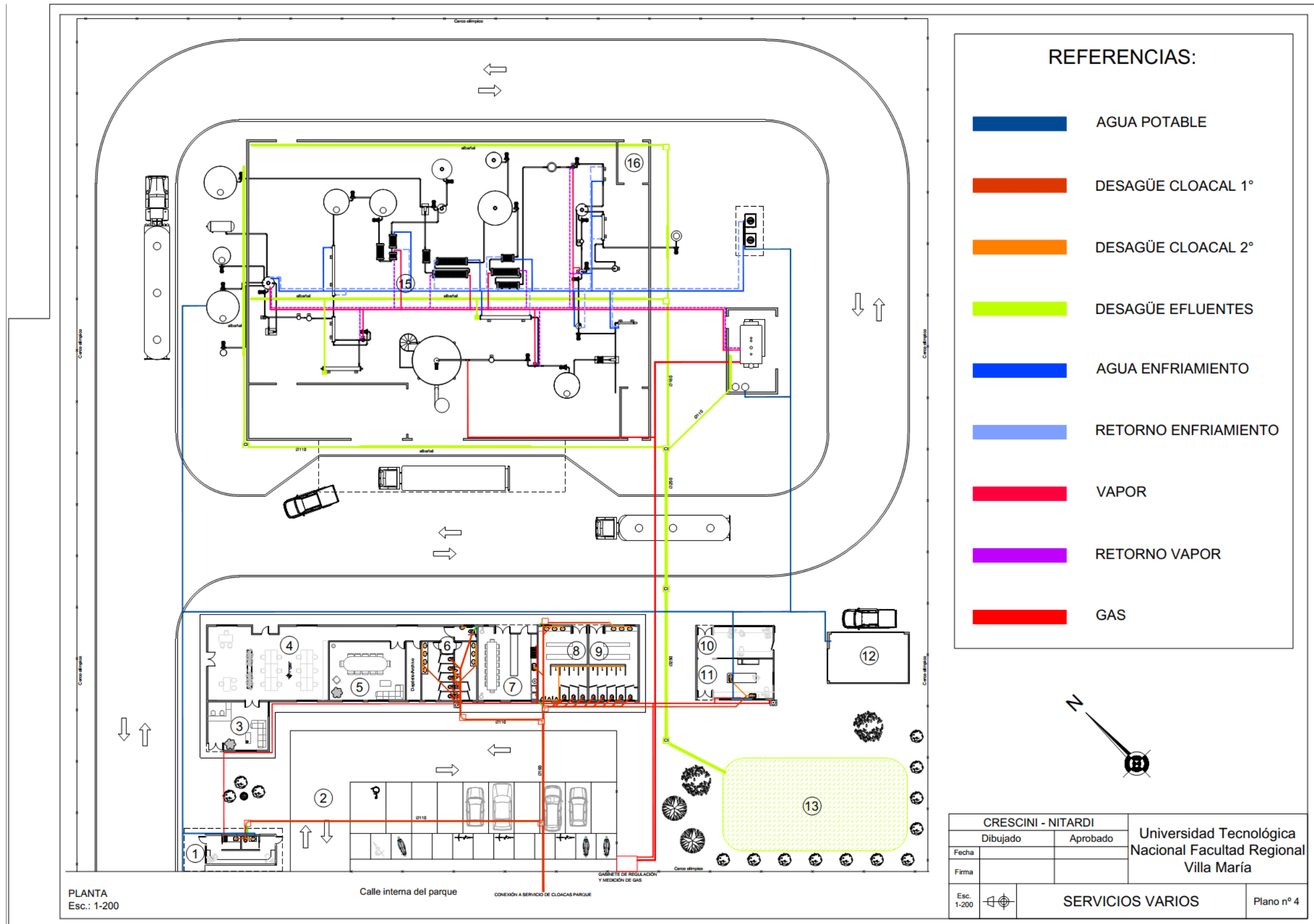
CRESCINI - NITARDI		Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María
Fecha	Aprobado	
Firma		
Esc.: 1-50	DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS	Plano nº 2

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
 Proyecto final de grado – Ingeniería Química



REFERENCIAS:

- AGUA POTABLE
- DESAGÜE CLOACAL 1°
- DESAGÜE CLOACAL 2°
- DESAGÜE EFLUENTES
- AGUA ENFRIAMIENTO
- RETORNO ENFRIAMIENTO
- VAPOR
- RETORNO VAPOR
- GAS

PLANTA
Esc.: 1-200

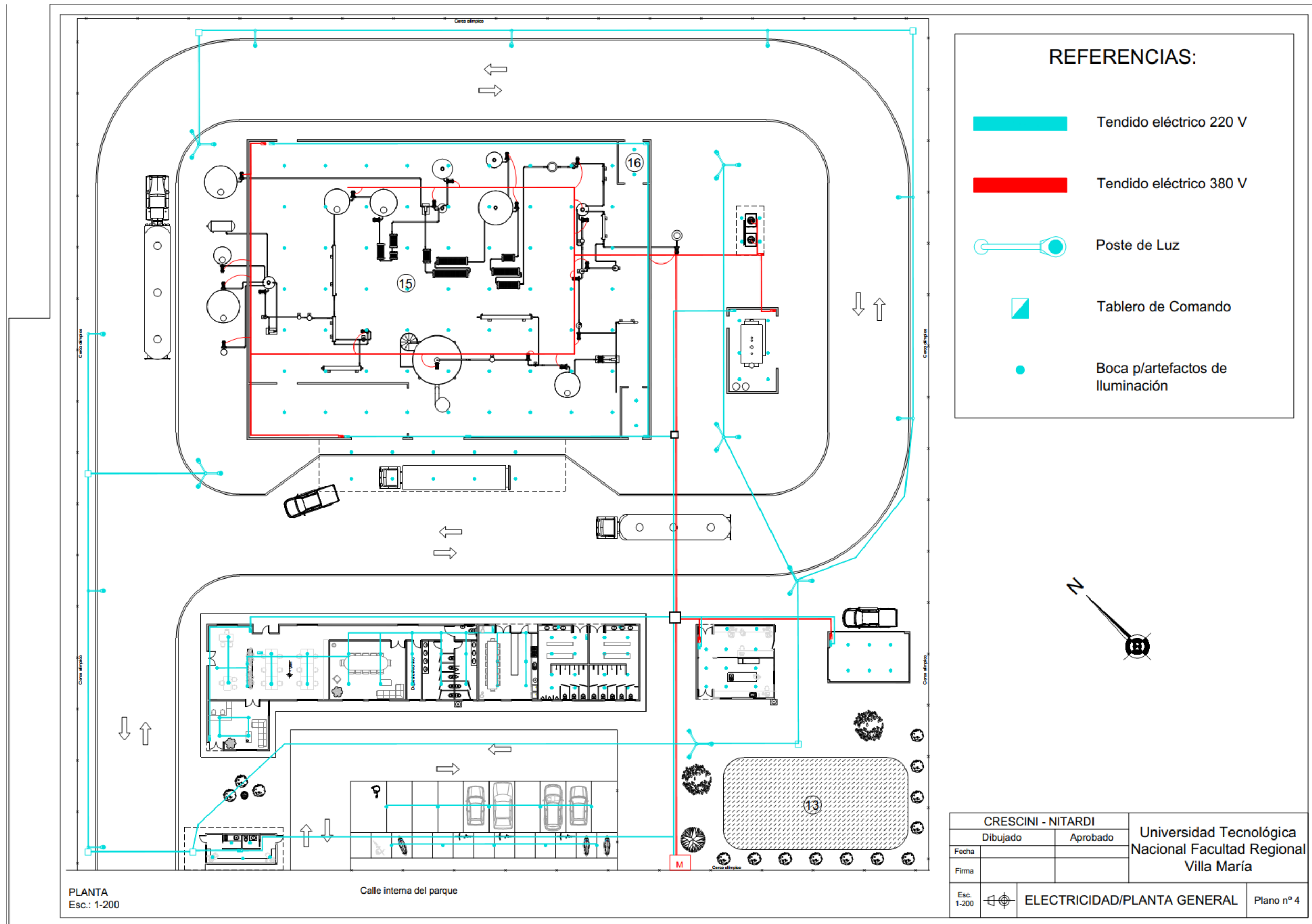
Calle interna del parque

CONEXIÓN A SERVICIO DE CLOACAS PARQUE

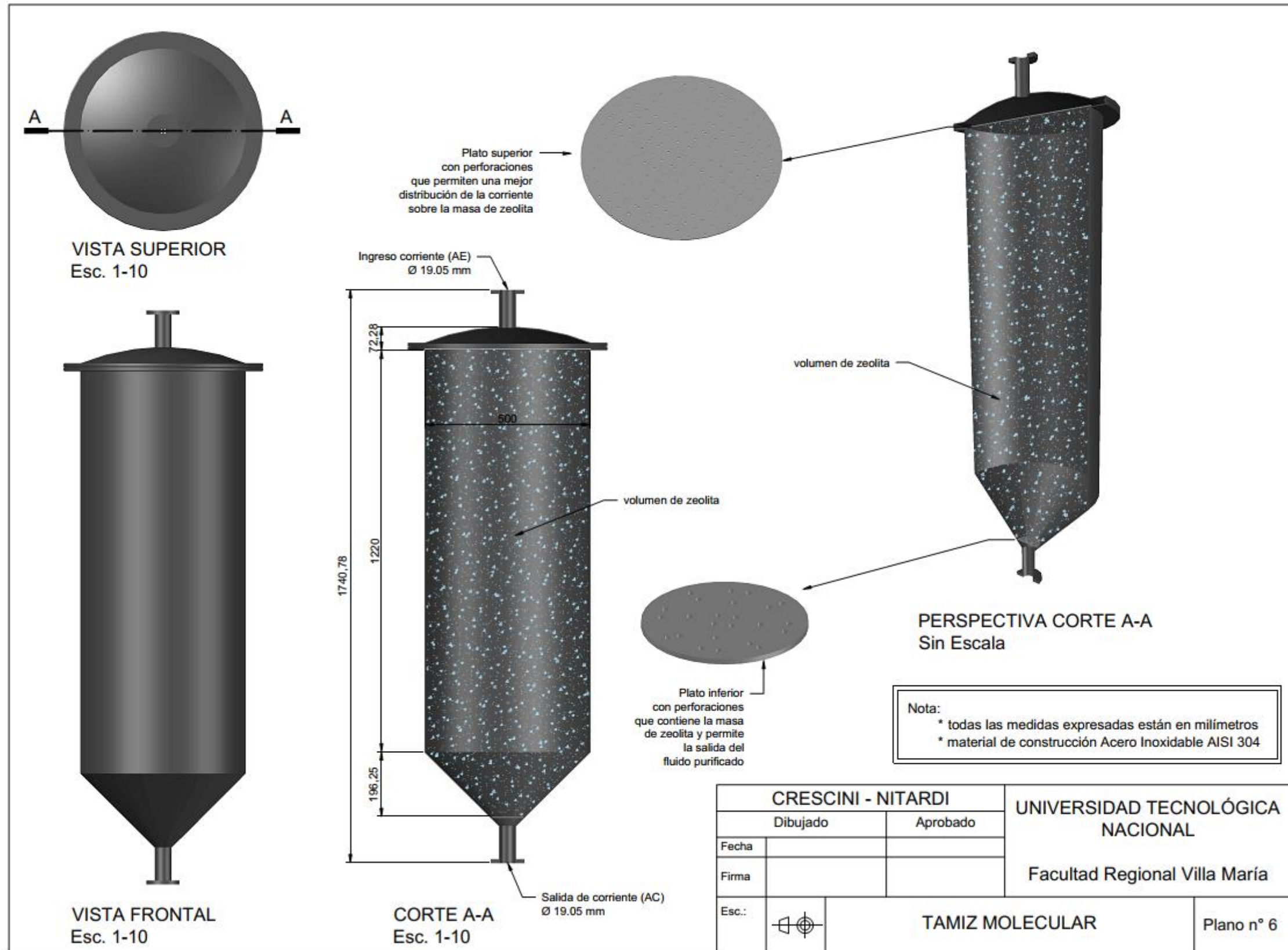
GABINETE DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN DE GAS

CRESCINI - NITARDI		Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María
Dibujado	Aprobado	
Fecha		
Firma		
Esc. 1-200		SERVICIOS VARIOS
		Plano nº 4

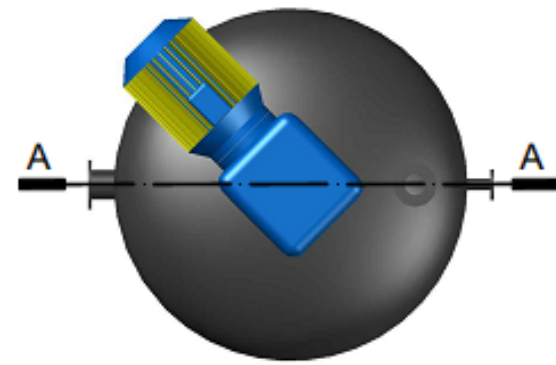
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
 Proyecto final de grado – Ingeniería Química



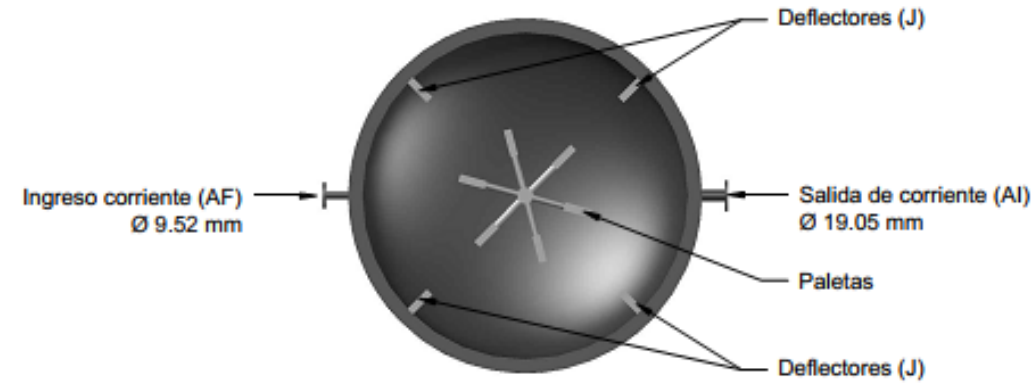
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
 Proyecto final de grado – Ingeniería Química



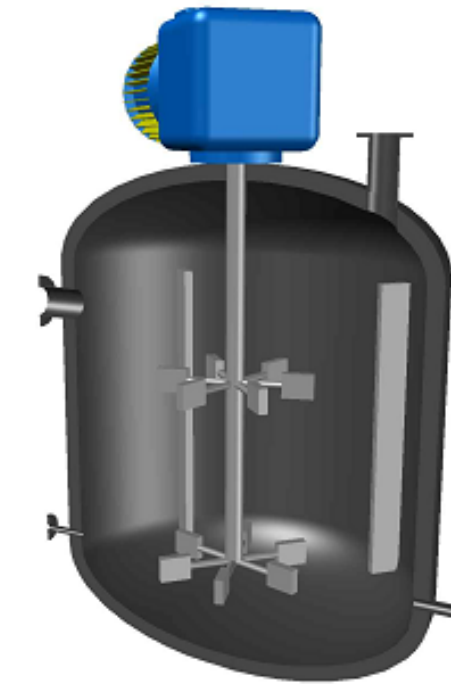
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE JARABE DE ALTA DEXTROSA
 Proyecto final de grado – Ingeniería Química



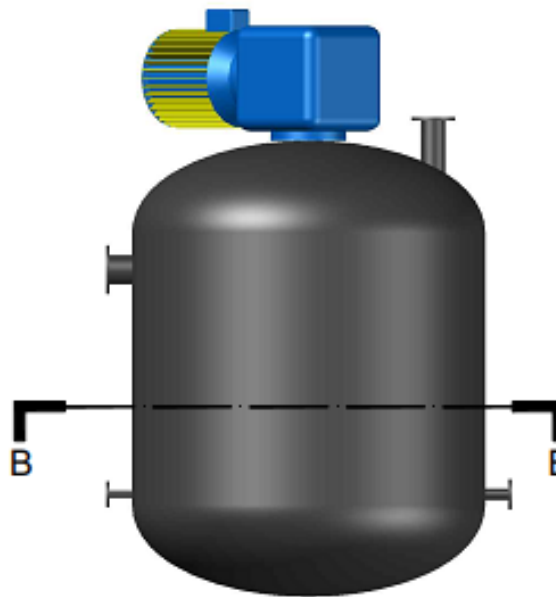
VISTA SUPERIOR
 Esc. 1-10



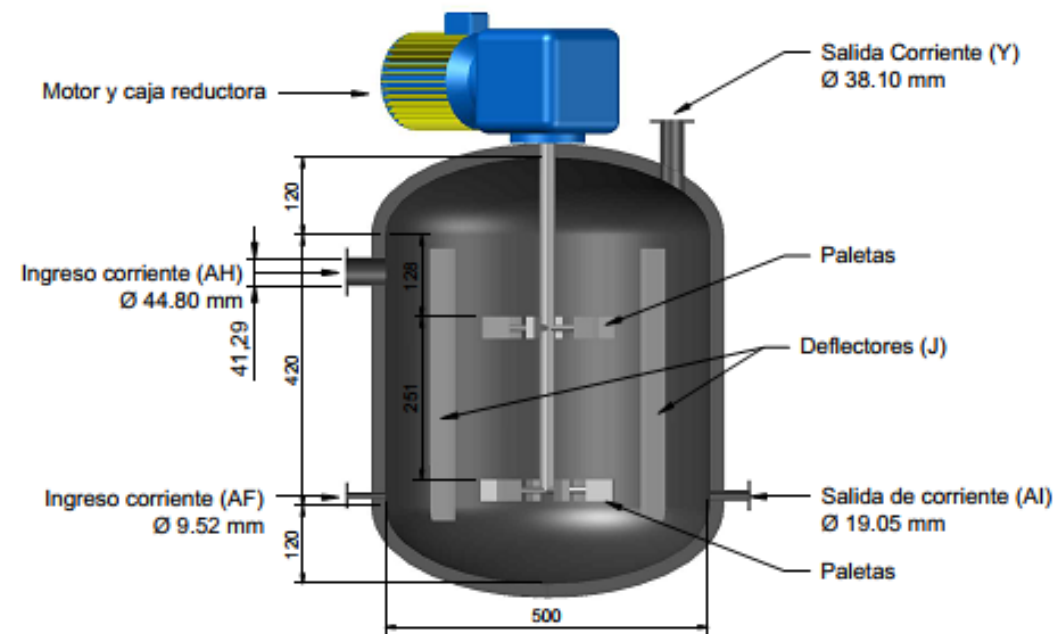
CORTE B-B
 Esc. 1-10



PERSPECTIVA CORTE A-A
 Sin Escala



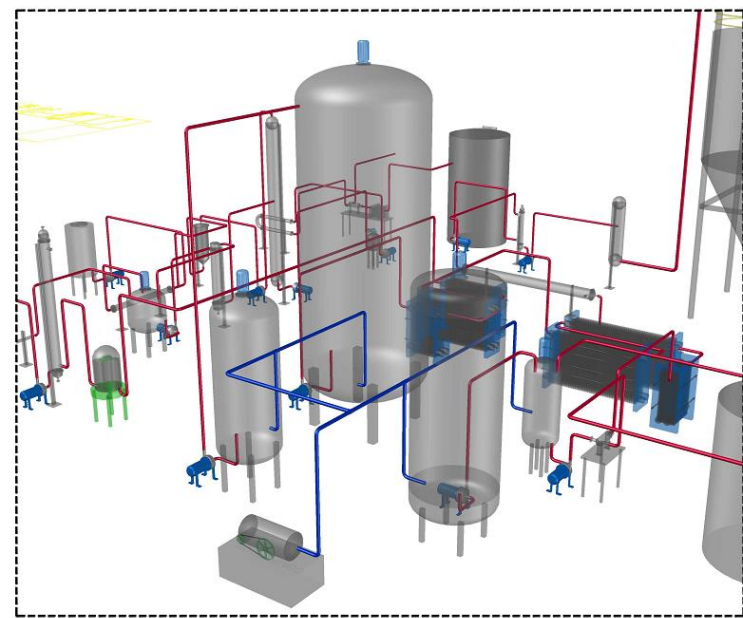
VISTA FRONTAL
 Esc. 1-10



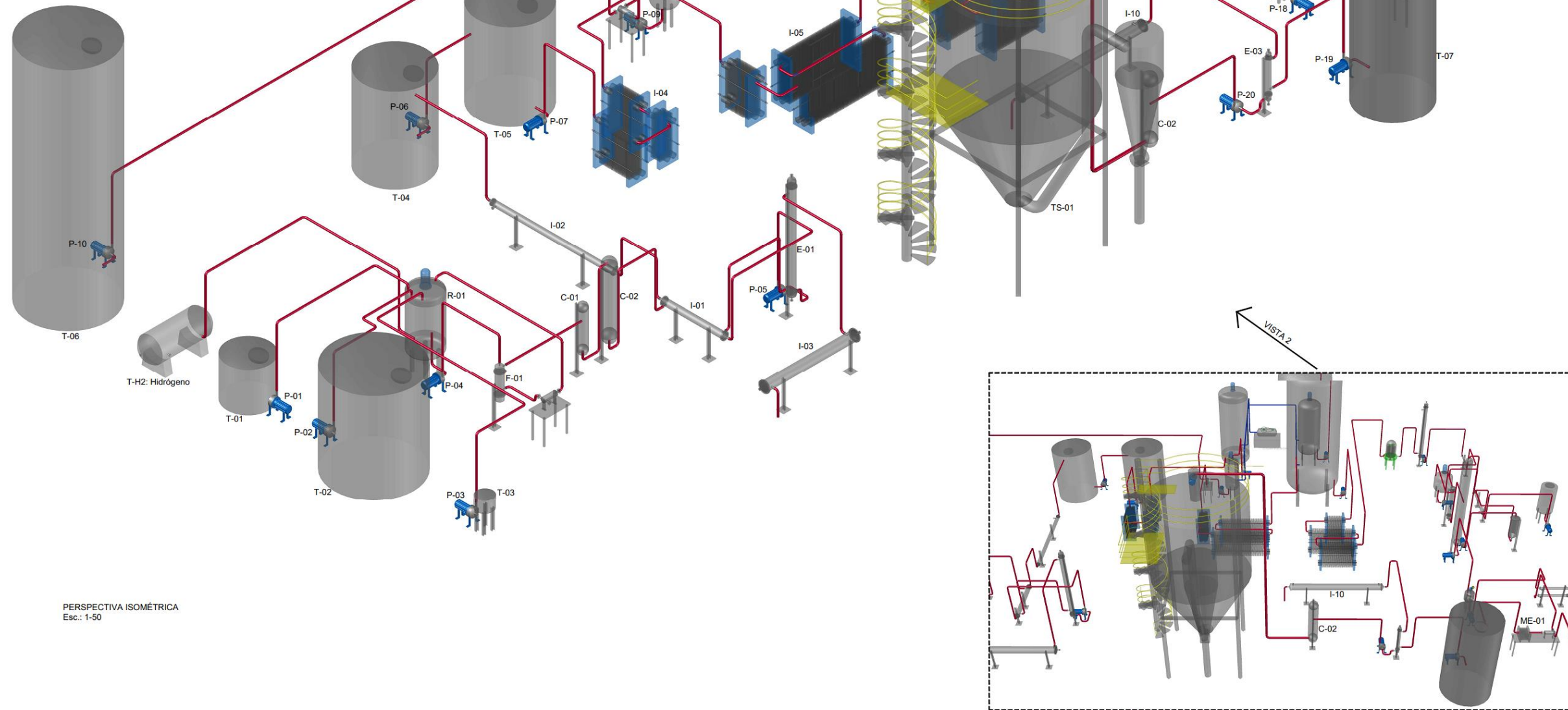
CORTE A-A
 Esc. 1-10

Nota:
 * todas las medidas expresadas están en milímetros
 * material de construcción Acero Inoxidable AISI 304

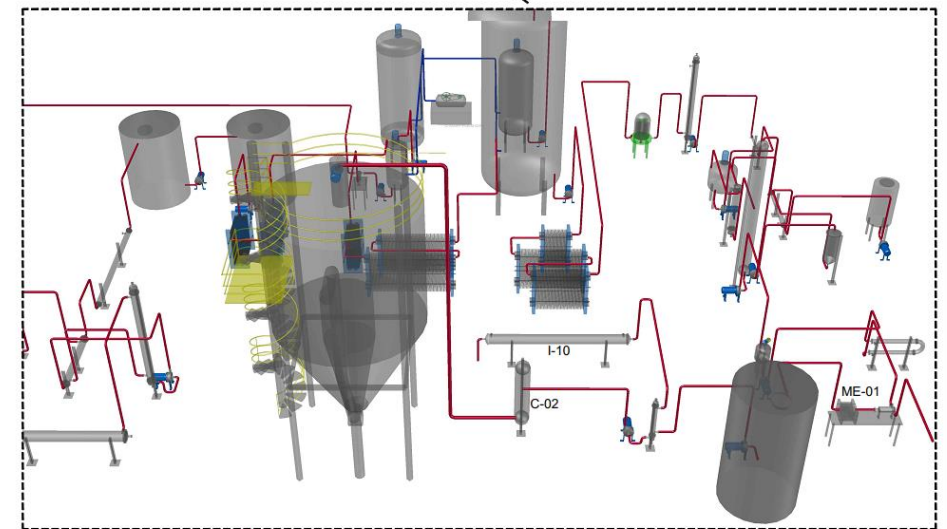
CRESCINI - NITARDI		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL	
Dibujado	Aprobado		
Fecha		Facultad Regional Villa María	
Firma			
Esc.:		REACTOR DE LACTONIZACIÓN	Plano n° 7



VISTA 1
Sin Escala



PERSPECTIVA ISOMÉTRICA
Esc.: 1-50



VISTA 2
Sin Escala

REFERENCIAS (Equipos):

- | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|---|---|--|---------------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|-------------------------|
| T-01: Jarabe de alta dextrosa | T-05: Cultivo 1ª fermentación | F-02: Filtro (biomasa) | I-03: Intercambiador de calor (Casco y tubos) | I-07: Intercambiador de calor (Placas) | E-01: Evaporador (sorbitol) | R-02: Reactor (Prefermentador) | R-06: Reactor (Esterificación) | C-03: Columna de carbón activado | ME-01: Membrana bipolar |
| T-02: Agua | T-06: Cultivo 2ª fermentación | F-03: Filtro (resina) | I-04: Intercambiador de calor (Placas) | I-08: Intercambiador de calor (Placas) | E-02: Evaporador (ácido octogulónico) | R-03: Reactor (Fermentador) | R-07: Reactor (Lactorización) | TA-01: Tamiz molecular | TS-01: Torre de secado |
| T-03: Hidróxido de Sodio | T-07: Vitamina C diluida | I-01: Intercambiador de calor (Casco y tubos) | I-05: Intercambiador de calor (Placas) | I-09: Intercambiador de calor (Placas) | E-03: Evaporador (ácido ascórbico) | R-04: Reactor (Prefermentador) | C-01: Columna de intercambio catiónica | P-XX: Bombas | ■ Corriente de proceso |
| T-04: Sorbitol al 70% | F-01: Filtro (catalizador) | I-02: Intercambiador de calor (Casco y tubos) | I-06: Intercambiador de calor (Placas) | I-10: Intercambiador de calor (Placas) | R-01: Reactor (Hidrogenación) | R-05: Reactor (Fermentador) | C-01: Columna de intercambio aniónica | D-01: Torre de destilación | ■ Oxígeno |

CRESCINI - NITARDI		Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María	
Dibujado	Aprobado		
Fecha			
Firma			
Esc.: 1-50		PERSPECTIVA EN 3D	Plano nº 8