



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Universidad Tecnológica Nacional



Facultad Regional Villa María

PROYECTO FINAL DE GRADO DE INGENIERÍA
QUÍMICA

PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE
ÁCIDO SUCCÍNICO

Autores:
CHIALVA, Jeremías Ercilio
GRIFFA, Fiamma Mailén

Villa María
2020



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Firma de los alumnos:

Apellido y Nombres:

Apellido y Nombres:

Aceptado por Facultad Regional Villa María de la UTN, Villa María

Aprobada por su contenido y estilo.

Presidente del Tribunal:

Primer Miembro Vocal:

Segundo Miembro Vocal:

Nota final de aprobación:



AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer principalmente a nuestra prestigiosa Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María por acogernos como estudiantes, por hacernos sentir como en casa, por permitirnos conocer buenas personas, por brindarnos el apoyo e instrumentos indispensables para poder llegar a cumplir esta meta, con gran satisfacción.

A nuestros profesores que dedican su tiempo enseñando y acompañando en cada etapa transcurrida, y que nos transmiten no sólo conocimientos académicos sino también valores éticos para llevar una excelente vida profesional.

A nuestros compañeros y amigos, con quienes compartimos muchas experiencias a lo largo de estos años, apoyándonos en cada paso.

Y, por supuesto, a nuestra querida familia que a lo largo de nuestra vida nos ha acompañado, brindado educación, valores y herramientas para lograr nuestros objetivos, siendo nuestro apoyo en todo momento y demostrando su entera confianza en nosotros. Por parte de Jeremías agradecerle también a su novia Guadalupe por su compañía constante para no bajar los brazos y lograr llegar a este momento tan esperado.

Muchísimas gracias a todos, por creer en nosotros y ayudarnos a lograrlo. Nuestros más sinceros sentimientos a ustedes.



ÍNDICE

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTACIÓN Y GENERALIDADES DEL PROYECTO	10
1.1 INTRODUCCIÓN	11
1.2 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO	11
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO Y MATERIAS PRIMAS	13
2.1 INTRODUCCIÓN	14
2.2 ÁCIDO SUCCÍNICO (SA)	14
2.3 MATERIAS PRIMAS	23
2.3.1 JARABE DE GLUCOSA	23
2.3.2 MEDIO DE CULTIVO	26
2.3.3 MICROORGANISMO	31
CAPÍTULO 3 ESTUDIO DE MERCADO	33
3.1 INTRODUCCIÓN	34
3.2 COMERCIO EXTERIOR	34
3.3 PRINCIPALES INDUSTRIAS COMERCIALES	39
3.4 DEMANDA	40
3.5 MERCADO NACIONAL DEL ACIDO SUCCÍNICO	42
3.5.1 EXPORTACIONES	42
3.5.2 IMPORTACIONES	44
3.5.3 DEMANDA INSATISFECHA	46
3.6 MATERIAS PRIMAS	53
3.7 MERCADO PREVISTOS	57
3.8 ANÁLISIS FODA	59
3.9 DATOS ESTADÍSTICOS MUNDIALES	61
3.10 INFORMACIÓN GRÁFICA	62
3.11 CONCLUSIÓN	64



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

CAPÍTULO 4 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA	65
4.1 INTRODUCCIÓN	66
4.2 LOCALIZACIÓN	66
4.3 POSIBILIDADES FUTURAS DE LA ECONOMÍA	69
4.4 MACRO-LOCALIZACIÓN	70
4.5 MICRO-LOCALIZACIÓN	77
4.6 INFRAESTRUCTURA PARQUE INDUSTRIAL DE VILLA MARÍA	80
4.7 PARQUE INDUSTRIAL.....	82
4.8 IMPACTO SOCIAL.....	82
4.9 IMPACTO AMBIENTAL	83
4.10 CONCLUSIÓN	86
CAPÍTULO 5 CAPACIDAD DE LA PLANTA.....	87
5.1 INTRODUCCIÓN	88
5.2 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	88
5.3 DEMANDA DE ÁCIDO SUCCÍNICO	91
5.4 DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ÓPTIMA EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA	92
5.5 CONCLUSIÓN	95
CAPÍTULO 6 SELECCIÓN DE PROCESO.....	96
6.1 SELECCIÓN DEL PROCESO	97
6.2 MICROORGANISMOS.....	100
6.2.1 ESCHERICHIA COLI	101
6.2.2 MANNHEIMIA SUCCINICIPRODUCENS.....	102
6.2.3 SUCCINICIPRODUCENS ANAEROBIOSPITILLUM	102
6.2.4 ACTINOBACILLUS SUCCINOGENES.....	103
6.3 RUTA METABÓLICA	104
6.3.1 RUTA ANAERÓBICA.....	104
6.3.2 RUTA AEROBIA	107



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

6.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN	108
6.4.2 INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA	111
6.4.3 EFECTO DEL CO ₂	112
6.4.4 EFECTOS DEL NA ₂ CO ₃	113
6.4.5 EFECTO DE DISTINTAS CONCENTRACIONES DE NA ₂ CO ₃	114
6.5 PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE ÁCIDO SUCCÍNICO.....	116
6.5.1 PROPAGACIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO	116
6.5.2 FERMENTACIÓN	117
6.5.3 RECUPERACIÓN, CONCENTRACIÓN Y PURIFICACIÓN	119
6.6 CONCLUSIÓN	123
CAPÍTULO 8 DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS	163
8.1 INTRODUCCIÓN	164
8.2 EQUIPOS DISEÑADOS	167
8.2.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLUCOSA T-01	167
8.2.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR	168
8.2.3 PREFERMENTADOR R-01 / FERMENTADOR R-02-03	175
8.2.4 TANQUE PULMÓN T-02	187
8.2.5 TANQUE DE DISOLUCIÓN DE ACIDO CLORHIDRICO T-03.....	190
8.2.6 MEZCLADOR MD-01	191
8.2.7 INTERCAMBIADOR IÓNICO C-01-02.....	192
8.2.8 TANQUE DE IMPUREZAS QUE SALEN DEL INTERCAMBIO IÓNICO T-04	196
8.2.9 TANQUE DE PRODUCTO DE LA COLUMNA DE INTERCAMBIO IÓNICO T-05.....	197
8.2.10 COLUMNA DE DESTILACIÓN C-03	200
8.3 EQUIPOS ADOPTADOS.....	201
8.3.1 TANQUE DE CO ₂ ST-01.....	201
8.3.2 CENTRÍFUGA S-01-02.....	202
8.3.3 SECADOR D-01.....	203



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

8.4.4 TRANSPORTE HELICOIDAL H-01	205
8.3.5 ENVASADORA W-01	208
CAPÍTULO 9 SERVICIO AUXILIARES	209
9.1 INTRODUCCIÓN	210
9.2 SERVICIO DE AGUA	210
9.2.1 TRATAMIENTO DEL AGUA	211
9.2.2 DISEÑO DE PLANTA DE AGUA.....	218
9.2.3 AGUA PARA SISTEMA DE LIMPIEZA CIP	219
9.2.4 DIAGRAMA DE DISTRUBICIÓN DEL AGUA.....	224
9.2.1.5 SERVICIO DE CAÑERÍAS.....	224
9.3 VAPOR DE AGUA	225
9.3.1 ADOPCIÓN DE LA CALDERA DE VAPOR	225
9.3.2 DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DE AGUA	227
9.4 SISTEMA DE VACÍO	229
9.5 EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO	230
9.6 GAS NATURAL.....	234
9.7 CÁLCULO Y ADOPCIÓN DE BOMBAS.....	235
CAPÍTULO 10 GESTIÓN DE CALIDAD	256
10.1 INTRODUCCIÓN	257
10.2 BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA (BPM)	257
10.3 PLAN DE CONTROL DE CALIDAD	264
10.4 REGISTROS.....	276
CAPÍTULO 11 TRATAMIENTO DE EFLENTES	280
11.1 INTRODUCCIÓN	281
11.2 PARÁMETROS	281
11.3 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE EFLUENTES	283
11.4 NORMATIVA SOBRE EL VERTIDO DE EFLUENTES	283



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

11.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DE LA PLANTA.....	286
11.6 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES	287
CAPÍTULO 12 INSTALACIONES ELECTRICAS	290
12.1 SERVICIO DE ELECTRICIDAD.....	291
12.2 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LOS EQUIPOS DE PROCESO.....	297
12.3 SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	298
CAPÍTULO 13 ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL.....	305
13.1 INTRODUCCIÓN.....	306
13.2 TIPO DE SOCIEDAD COMERCIAL	306
13.3 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.....	307
13.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO	308
13.5 ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y TURNOS DE TRABAJO	318
CAPÍTULO 14 CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESO	320
14.1 INTRODUCCIÓN.....	321
14.2 LÓGICA DE LAZOS DE CONTROL EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN.....	321
14.3 P&D	322
14.4 HOJAS DE ESPECIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS.....	324
CAPÍTULO 15 OBRAS CIVILES.....	330
15.1 INTRODUCCIÓN.....	331
15.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO	331
CAPÍTULO 16 ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO.....	342
16.1 INTRODUCCIÓN.....	343
6.2 INVERSIÓN.....	343
16.3 COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN	354
16.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN UNITARIO.....	362
16.5 INGRESO POR VENTAS.....	363
16.6 FINANCIACIÓN DEL PROYECTO.....	363



16.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA	364
16.7.2.1 VALOR NETO ACTUAL (VAN)	368
16.7.2.2 TASA INTERNA DE RETORNO TIR	369
16.7.2.3 RELACIÓN BENEFICIO/COSTO	369
16.8 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO	373
CONCLUSIONES	374
BIBLIOGRAFÍA.....	377
ANEXO 1 TÉCNICAS DE CALIDAD	387
ANEXO 2 PLANOS	411



CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN Y GENERALIDADES DEL PROYECTO



1.1 INTRODUCCIÓN

La creciente conciencia del impacto ambiental de los procesos petroquímicos ha aumentado el interés por rutas alternativas para la producción sostenible de productos básicos. Según este escenario, las biorrefinerías ofrecen una excelente oportunidad para sustituir la refinería de petróleo por los productos derivados de la biotecnología.

El ácido succínico (SA) es un ácido dicarboxílico de cuatro carbonos que puede producirse mediante la fermentación de recursos renovables, utilizando la bacteria *Actinobacillus succinogenes*.

Se ha señalado el alto potencial del SA, incluyéndose entre los 12 productos químicos de mayor valor añadido producidos a partir de la biomasa. De hecho, el SA se utiliza actualmente en la industria alimentaria, como regulador de pH y como agente saborizante, en la industria farmacéutica, como aditivo para la preparación de drogas, en la alimentación agrícola y como quelante de iones y surfactantes.

Debido a su estructura, el SA también puede utilizarse como producto químico básico y convertirse en 1,4-butanodiol, γ -butyrolactone, N-metil-2-pirrolidona, tetrahidrofurano, 2-pirrolidona, ácido y anhídridos maleicos, poliamidas y poliésteres.

1.2 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Determinar la viabilidad técnico-económica de llevar a cabo la instalación de una planta productora de ácido succínico en Argentina.

Desarrollar un proyecto que contemple los aspectos de contaminación ambiental y el mejoramiento de la calidad de vida de los individuos tratando de mantener como premisa el equilibrio y protección del medio ambiente, aspecto de fundamental importancia a nivel mundial.

Aplicar e integrar los conocimientos adquiridos en la carrera ingeniería química para el desarrollo del proyecto.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Reconocer las características que poseen tanto el mercado nacional como el internacional de ácido succínico, analizando la materia prima, incluyendo venta, consumo y evolución de los precios dados los valores actuales e históricos.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Analizar los diferentes procesos de producción biotecnológica de ácido succínico, con el fin de seleccionar aquel método más conveniente.

Establecer la capacidad de producción óptima de la planta teniendo en cuenta la demanda y las limitaciones de producción.

Desarrollar el proceso que minimice el impacto ambiental.

Evaluar la ubicación óptima donde debería llevarse a cabo el proyecto teniendo en cuenta los distintos factores de incidencia sobre la misma.

Emplear la ingeniería básica y de detalle para efectuar los balances de masa y energía del proceso y el diseño de los equipos involucrados, incluyendo los servicios auxiliares.

Diseñar un sistema de gestión de la calidad que garantice la seguridad de los procesos y la inocuidad de los productos.

Desarrollar un análisis económico-financiero con el fin de determinar la inversión inicial necesaria y determinar los indicadores del proyecto como son PRI, TIR, VAN.

Realizar un análisis de sensibilidad del proyecto para evaluar la capacidad de soportar cambios de las condiciones iniciales del proyecto.



CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO Y MATERIAS PRIMAS



2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el producto de interés, su uso y aplicación en la industria, al igual que los posibles microorganismos a utilizar y la materia prima e insumos necesarios para llevar a cabo un proceso de fermentación.

2.2 ÁCIDO SUCCÍNICO (SA)

El ácido succínico es un compuesto orgánico sólido, cuyo nombre proviene del latín *succinum*, que quiere decir ámbar, de donde puede extraerse. Es un ácido dicarboxílico, es decir, posee dos grupos carboxilo –COOH, uno en cada extremo de la molécula cuyo esqueleto posee 4 átomos de carbono. Se le conoce también como ácido butanodioico. Se dice que es un ácido alfa, omega-dicarboxílico o un ácido C4-dicarboxílico.

Está ampliamente distribuido en plantas, hongos y animales. Su anión succinato es un componente esencial dentro del ciclo de Krebs, reduciendo al flavín adenín dinucleótido (FAD), una coenzima, y permitiendo así la generación de energía por fosforilación oxidativa, tras la cesión de electrones a intermediarios de la cadena de transporte de electrones, según la reacción:



El ácido succínico se puede obtener a través de la síntesis química a partir de la hidrogenación del ácido maleico y fumárico, la oxidación del 1,4-butanodiol y la carbonilación del etilenglicol. Sin embargo, todos estos son procesos petroquímicos contaminantes del ambiente y dependientes del precio del petróleo. Por estas razones, se han estado desarrollando otros métodos de obtención basados en fermentación anaeróbica, los cuales son más económicos y menos contaminantes. Estos procesos emplean CO₂, lo que es beneficioso para la disminución de este gas y del efecto invernadero que genera.

Su producción puede ser fermentativa por ejemplo con *Anaerobiospirillum succiniproducens* y *Actinobacillus succinogenes*, que lo producen en altas concentraciones a partir de fuentes de carbono, como glucosa, lactosa, xilosa, arabinosa, celobiosa y otros azúcares. También utilizan el CO₂ como fuente de carbono.



Fórmula química: $C_4H_6O_4$

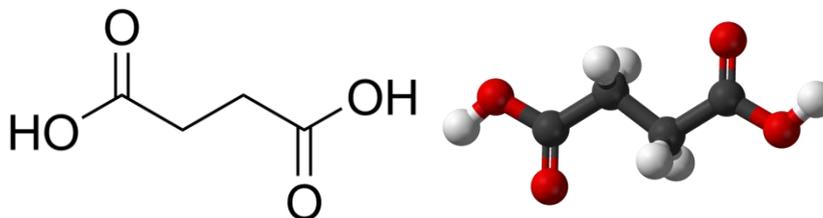


FIGURA 2.1: Estructura del ácido succínico

2.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

- Descripción física: Cristales blancos o polvo cristalino inodoro
- Peso molecular: 118,09 g/mol
- Punto de fusión: 185-191°C
- Punto de ebullición: 235°C
- Punto de inflamación: 160°C
- Densidad: 1,55 g/cm³
- Índice de refracción: 1,45
- Solubilidad en agua: 83,2 g/l a 25°C
- Soluble en: etanol, éter etílico, acetona y metanol
- Insoluble en: tolueno y benceno
- pH solución acuosa 10%: 2,7

2.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

Los ácidos dicarboxílicos en general presentan el mismo comportamiento químico que los monocarboxílicos. Sin embargo, el carácter ácido de un ácido dicarboxílico es mayor que el de un monocarboxílico.

En cuanto a la ionización de sus hidrógenos, la ionización del segundo grupo carboxílico sucede con menos facilidad que la del primero como se puede observar en las constantes de disociación del ácido succínico, donde $K_1(6,4 \times 10^{-5})$ es mayor que $K_2(0,23 \times 10^{-5})$.

Se disuelve en NaOH acuoso y en $NaHCO_3$ acuoso.

El ácido succínico no es higroscópico.

Cuando se calienta desprende muy fácilmente una molécula de agua y forma el anhídrido succínico.



2.2.3 APARIENCIA



FIGURA 2.2: Apariencia del ácido succínico

2.2.4 FICHA TÉCNICA

TABLA 2.1 - Ficha técnica del Ácido succínico

Denominación	Ácido Succínico
Sinónimos	Ácido Butanodioico, Ácido de ámbar, Ácido etilen dicarboxílico, Ácido etilensuccínico
Número CAS	110-15-6
Fórmula molecular	$C_4H_6O_4$
Peso molecular	118,09 g/mol
Aspecto	Sólido blanco
Almacenamiento	T= 15-30°C
pH	2,7
Máximos permitidos	
Materia insoluble	0,01%
Cloruro	0,001%
Fosfato	0,001%
Sulfato	0,003%
Compuestos de nitrógeno	0,001%
Metales pesados	5 ppm
Hiero	5 ppm



2.2.5 FICHA DE SEGURIDAD

Clasificación de la sustancia o mezcla

- Clasificación (Reglamento (CE) N° 1272/2008): irritación ocular: Categoría 2, H319
- Clasificación (67/548/CCE o 1999/45/CE)
- Xi: irritante
- R36: irrita los ojos

Elementos de la etiqueta

- Pictograma de peligrosidad



FIGURA 2.3: Especificaciones y símbolos de seguridad del ácido succínico

- Palabra de advertencia: Peligro
- Indicaciones de peligro: H319 provoca irritación ocular grave
- Consejos de prudencia:
 - P305 + P351 + P338: en caso de contacto con los ojos, aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.
 - P313: consultar a un médico.

Primeros auxilios

- Indicaciones generales: en caso de pérdida de conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.
 - Inhalación: si inhalara, retirarse al aire fresco. Si la persona no respira, dar respiración artificial. Si la respiración fuera difícil, dar oxígeno.
 - Contacto con la piel: quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Lavar abundantemente con agua.
 - Ojos: lavar los ojos inmediatamente con agua, por lo menos 15 minutos, manteniendo los párpados abiertos.



- Ingestión: si se ingiere, puede ocurrir vómito espontáneamente, pero no lo induzca. Si ocurre vómito, mantenga libres las vías respiratorias. Nunca administre nada por la boca a una persona inconsciente.

Medidas de lucha contra incendios

- Medios de extinción apropiados: agua pulverizada, dióxido de carbono, espuma resistente al alcohol, polvo seco.

- Medios de extinción no apropiados: no existen limitaciones de agentes extintores para esta sustancia/mezcla.

- Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla:

- Inflamable

- Los valores son más pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo.

- En caso de fuerte calentamiento pueden producirse mezclas explosivas con el aire.

- En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos.

- Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios: equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios. En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

Medidas en caso de vertido accidental

- Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia: utilizar equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, neblina, polvo o gas. Asegurar una ventilación apropiada. Retirar todas las fuentes de ignición. Evacuar el personal a zonas seguras.

- Precauciones relativas al medio ambiente: no eliminar en los drenajes. Contener y recuperar los residuos cuando sea posible. Evitar la contaminación del suelo, aguas y desagües.

- Métodos y material de contención y de limpieza: recoger y preparar la eliminación sin originar polvo. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

Manipulación y almacenamiento

- Precauciones para una manipulación segura: debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo. Disposiciones normales de protección preventivas de incendio.

- Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades: almacenar en un lugar fresco a temperatura ambiente. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.



Controles de exposición/protección individual

- Parámetros de control: no contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.
- Controles de la exposición: evitar el contacto con la piel, ojos y ropa. Lavarse las manos antes de los descansos e inmediatamente después de manipular la sustancia.
- Protección respiratoria: en caso de formarse polvo, usar equipo respiratorio adecuado.
- Protección de las manos: utilizar guantes protectores impermeables para evitar el contacto con el producto.
- Protección de los ojos/cara: utilizar gafas protectoras contra productos químicos y/o un protector de cara completo cuando sea necesario. Mantener en el área de trabajo una instalación destinada al lavado, remojo y enjuague rápido de los ojos.
- Medidas de higiene particulares: quitarse la ropa contaminada. Usar ropa de trabajo adecuada. Lavarse las manos antes de las pausas y al finalizar el trabajo.

Estabilidad y reactividad

- Reactividad: En caso de fuerte calentamiento pueden producirse mezclas explosivas con el aire. Debe considerarse crítico un intervalo a partir de aproximadamente 15 Kelvin por debajo del punto de inflamación. Válido en general para sustancias y mezclas orgánicas combustibles: en caso de esparcimiento fino, en estado arremolinado, debe contarse en general con peligro de explosión.
- Estabilidad química: estable en condiciones normales de uso (temperatura ambiente) y almacenamiento.
- Posibilidad de reacciones peligrosas: posibles reacciones violentas con: oxidantes fuertes, álcalis.
- Condiciones que deben evitarse: fuerte calefacción (descomposición).

Información ecológica

- Fácilmente biodegradable.
- No es de esperar una bioacumulación.

Información relativa al transporte

- Transporte de mercancías peligrosas por rutas, por ferrocarril o por vía navegable: No está sometido al ADR, RID y al ADN.



• Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG): no está sometido al IMDG.

Consideraciones relativas a la eliminación

• Métodos para el tratamiento de residuos: el procesamiento, utilización o contaminación de este producto puede cambiar las opciones de manejo del desecho. Las regulaciones de desecho estatales y locales pueden diferir de las regulaciones federales de desecho. Deseche el envase y el contenido no usado de acuerdo con los requerimientos federales, estatales y locales.

Clasificaciones NFPA (National Fire Protection Association)

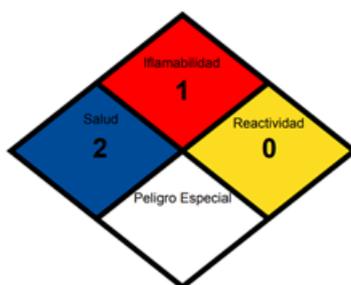


FIGURA 2.3: Clasificación según NFPA del ácido succínico

Azul/salud:

4. Elemento que, con una muy corta exposición, puede causar la muerte o un daño permanente, incluso en caso de atención médica inmediata. Por ejemplo, el cianuro de hidrógeno.

3. Materiales que bajo corta exposición pueden causar daños temporales o permanentes, aunque se preste atención médica, como el hidróxido de potasio.

2. Materiales bajo cuya exposición intensa o continua puede sufrirse incapacidad temporal o posibles daños permanentes a menos que se dé tratamiento médico rápido, como el cloroformo o la cafeína.

1. Materiales que causan irritación, pero solo daños residuales menores aún en ausencia de tratamiento médico. Un ejemplo es la glicerina.

0. Materiales bajo cuya exposición no existe peligro en caso de ingestión o inhalación en dosis considerables, como el cloruro de sodio.



Rojo/inflamabilidad:

4. Materiales que se vaporizan rápido o completamente a la temperatura a presión atmosférica ambiental, o que se dispersan y se queman fácilmente en el aire, como el propano. Tienen un punto de inflamabilidad por debajo de 23°C (73°F).

3. Líquidos y sólidos que pueden encenderse en casi todas las condiciones de temperatura ambiental, como la gasolina o el metanol. Tienen un punto de inflamabilidad entre 23°C (73°F) y 38°C (100°F).

2. Materiales que deben calentarse moderadamente o exponerse a temperaturas altas antes de que ocurra la ignición, como el petrodiesel. Su punto de inflamabilidad oscila entre 38°C (100°F) y 94°C (200°F).

1. Materiales que deben precalentarse antes de que ocurra la ignición, cuyo punto de inflamabilidad es superior a 94°C (200°F).

0. Materiales que no se queman, como el agua o expuesto a una temperatura de 94° C (200°F) por más de 5 minutos.

Amarillo/inestabilidad/reactividad:

4. Fácilmente capaz de detonar o descomponerse explosivamente en condiciones de temperatura y presión normales (p. ej., nitroglicerina, RDX)

3. Capaz de detonar o descomponerse explosivamente, pero requiere una fuente de ignición, debe ser calentado bajo confinamiento antes de la ignición, reacciona explosivamente con agua o detonará si recibe una descarga eléctrica (p. ej., flúor, trinitrotolueno).

2. Experimenta cambio químico violento en condiciones de temperatura y presión elevadas, reacciona violentamente con agua o puede formar mezclas explosivas con agua (p. ej., fósforo, compuestos del potasio, compuestos del sodio).

1. Normalmente estable, pero puede llegar a ser inestable en condiciones de temperatura elevada (p. ej., acetileno (etino)).

0. Normalmente estable, incluso bajo exposición al fuego y no es reactivo con agua (p. ej., helio).

Blanco/peligros especiales/riesgo específico:

El espacio blanco puede contener los siguientes símbolos:

- 'W' - reacciona con agua de manera inusual o peligrosa, como el cianuro de sodio o el sodio.
- 'OX' u 'OXY' - oxidante, como el perclorato de potasio o agua oxigenada.



- 'SA' - gas asfixiante simple, limitado para los gases: hidrógeno, nitrógeno, helio, neón, argón, kriptón y xenón. También se utiliza en los sistemas de extracción de vapor de dióxido de carbono licuado y donde se usen grandes cantidades de hielo seco en áreas confinadas.
 - 'COR' o 'CORR' - corrosivo: ácido o base fuerte, como el ácido sulfúrico o el hidróxido de potasio. Específicamente, con las letras 'ÁCIDO' se puede indicar "ácido" y con 'ALK', "base".
 - 'BIO' o Biohazard symbol.svg - riesgo biológico, por ejemplo, un virus.
 - 'RAD' o Radiation warning symbol2.svg - el material es radioactivo, como el plutonio.
 - 'CRYO' o 'CYL' - criogénico, como el nitrógeno líquido.
 - 'POI' - producto venenoso, por ejemplo, el arsénico

2.2.6 APLICACIONES

Desde el punto de vista químico, el compuesto de origen renovable es idéntico al que se fabrica de manera convencional, por tanto, posee las mismas propiedades y puede ser utilizado en las mismas aplicaciones. El ácido succínico tiene multitud de usos potenciales:

En la industria

- Producción de succinato de polibutileno (PBS). Es un biopolímero moderno cuyas aplicaciones (films compostables, vasos desechables, bolsas de plástico, etc.) están siendo todavía estudiadas.
- Producción de plastificantes para la fabricación de PVC. Puede también ser usado para cubrir la creciente demanda de plastificantes para bioplásticos.
- Reemplazo de los productos petroquímicos derivados del ácido adípico utilizados en la producción de los polioles de poliéster para poliuretanos (adhesivos, recubrimientos, sellantes, suelas de zapatos, espumas flexibles y rígidas, etc.).
- Producción de 1,4-butanodiol (BDO) para posterior obtención de tetrahidrofurano (fibras de elastano) y tereftalato de polibutileno (equipos eléctricos, cubiertas de ruedas, equipos electrónicos, etc.).
- Producción de dimetil-succinato (DMS). Es un disolvente verde, miscible con alcoholes, cetonas y la mayor parte de los hidrocarburos. Se usa como agente coalescente para emulsiones de pinturas con bajos contenidos en compuestos orgánicos volátiles.



En la medicina

- Normaliza el metabolismo energético, ayuda a la formación de nuevas células, tiene una poderosa propiedad anti-tóxica, contiene propiedades restauradoras, tiene efectos antivirales y anti hipóxicos, agente protector de la radiación, entre otros.

- Las succinimidas, derivados del ácido succínico, se emplean en medicina como anticonvulsivos.

En la industria de los alimentos

- El ácido succínico le imparte sabor de forma natural a los alimentos. Tiene efecto mejorador del sabor, por lo que en alimentos procesados es empleado como aditivo. Tiene efectos sobre los sabores que no pueden ser duplicados por otros ácidos en los alimentos, como por ejemplo el denominado sabor umami en algunos quesos (umami es una palabra proveniente del japonés que significa “sabroso”).

- Se usa también en alimentos para animales para su estimulación.

En la industria del vino

- El ácido succínico se produce también naturalmente durante la fermentación alcohólica del vino. De los ácidos no-volátiles que se generan en dicho proceso, el ácido succínico corresponde al 90% del total. El vino contiene aproximadamente de 0,5 a 1,5 g/L de ácido succínico, pudiendo llegar a 3 g/L.

En varias aplicaciones

- Forma parte de fórmulas de inhibidores de corrosión, sirve como plastificante para polímeros y se utiliza en perfumería. Es además un intermediario en la síntesis de tensoactivos y detergentes.

- Se emplea en fórmulas agrícolas para el crecimiento de plantaciones.

- Las sales del ácido succínico tienen uso en los refrigerantes para vehículos y para favorecer el deshielo, siendo menos contaminantes que otros compuestos.

- Los ésteres de succinato se emplean como aditivos en combustibles.

2.3 MATERIAS PRIMAS

2.3.1 JARABE DE GLUCOSA

Según el Art 778 – (Dec 2013, 29.3.74) del CAA “Con la denominación de Jarabe de glucosa, se entiende el producto obtenido por hidrólisis incompleta del almidón, que se presente en



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

forma de una solución acuosa concentrada y purificada". La glucosa líquida o jarabe de glucosa es un líquido viscoso, que no cristaliza, de sabor ligeramente suave y dulce, derivado de la glucosa. Esta es un monosacárido o una forma de azúcar que se encuentra en las frutas y en la miel. La glucosa líquida es una mezcla de maltosa, dextrinas y dextrosa, soluble en glicerina y agua, también es ligeramente soluble en alcohol.

El jarabe de glucosa es sumamente espeso, con una consistencia parecida a la de la miel, es incoloro y cristalino. Algunos de los productos de los que se puede obtener la glucosa líquida son:

- Maíz
- Trigo
- Papa

A estos productos se les puede realizar la hidrólisis de forma parcial o total para obtener distintos productos, entre ellos la glucosa líquida o jarabe de glucosa. Su función básica en la industria alimenticia es la de potenciar el sabor y endulzar al producto al que sea aplicado y, a diferencia del azúcar común, sólo proporciona un grado de dulzor del 40%.

La glucosa es el glúcido más importante siendo la fuente energética más importante por los seres vivos. Esta energía está contenida en determinados enlaces que unen los átomos de las moléculas, que son susceptibles a ser oxidados fácilmente. Este azúcar monosacárido de seis carbonos, de fórmula $C_6H_{12}O_6$, se caracteriza por tener la función hidroxilo (OH) en cada uno de los carbonos excepto en los primeros donde presenta una función aldehído.

La siguiente figura nos muestra algunas disposiciones de forma de la glucosa:

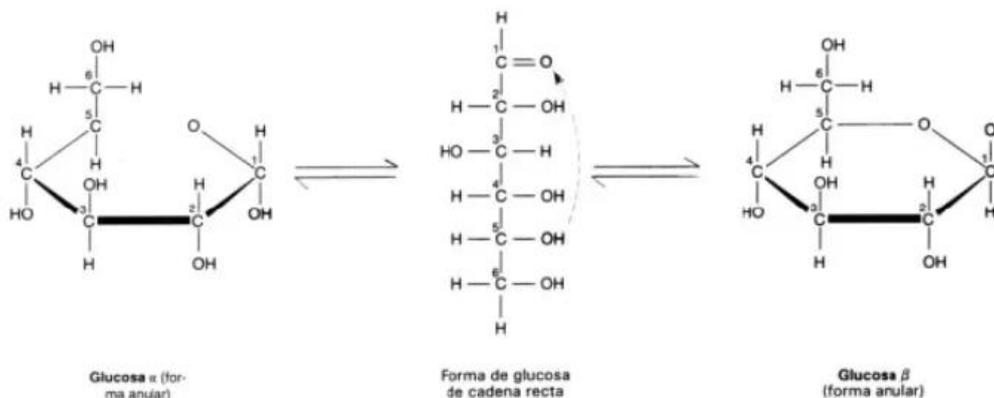


FIGURA 2.5: Diferentes formas de una molécula de Glucosa

Fuente: Wikipedia.



Aplicaciones

Bebidas refrescantes y sidras, mermeladas y confituras, panadería, fermentaciones, conservas y encurtidos, chocolates, golosinas, helados, industria cárnica, productos ecológicos, alimentación animal, fitosanitarios, etc.

Ventajas en los procesos

- Reducción de tiempo de preparación disminuyendo los gastos de mano de obra.
- Ahorro de energía.
- Facilita la trazabilidad, el almacenamiento y el control de la materia prima.
- Aumento rentabilidad del uso unitario del producto.
- Reducción de mermas en el proceso, al conseguir un producto igualado y libre de impurezas.

Ventajas sobre los productos

- Potencia el sabor de los diferentes productos.
- Facilita la fermentación en productos de levadura, lo que supone un ahorro de tiempos y costos.
 - Mantiene frescos los alimentos por más tiempo, ya que ayuda a retener la humedad y frescura, en el caso de los jarabes que contengan azúcares reductores.
 - Contribuye a la conservación de los alimentos, por su cualidad estabilizadora que ayuda a mantener niveles de calidad independientemente de las fluctuaciones de temperatura.

TABLA 2.2 - Especificaciones del CAA.

Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones	
Aspecto	Jarabe ligeramente amarillo
Sabor	Dulce
Olor	Neutro
Lectura refractométrica a 20°(Brix)	74-76
Índice de refracción	1.4753-1.4803
Densidad a 40°C	1,37 kg/l aprox.
Materia seca	75-77.1%
Dextrosa equivalente	89 aprox.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Monosacáridos:	Glucosa	43-49%
	Fructosa	33-37%
	Disacáridos	10%
	Polisacáridos	10%
	Cenizas sulfatadas	0.1% máximo
	pH en solución	3-6
	SO₂	10 ppm máximo
	Temperatura de almacenamiento	15-25°C
	Punto de fusión	150°C

Disponibilidad

A granel, en camiones tanques de acero inoxidable con bomba incorporada y en módulos de entrega de 8, 21 y 29 toneladas. Para el mercado de exportación, se encuentra fraccionado en tambores de 300 kg.

Vida útil

Es un producto estable, que no se deteriora y que puede ser almacenado por largos períodos a temperatura ambiente. En condiciones óptimas de almacenamiento, consumir antes de los 2 meses desde la fecha de elaboración.

2.3.2 MEDIO DE CULTIVO

Polipeptona

Es una mezcla de peptonas compuesta por partes iguales de la digestión pancreática de la caseína y la digestión péptica del tejido animal. Incluye el alto contenido de aminoácidos y pequeños polipéptidos característicos de la digestión péptica del tejido animal. Las polipeptonas proporcionan nitrógeno, aminoácidos y vitaminas en el cultivo microbiológico. Puede utilizarse en medios de cultivo generales como una fuente superior de nutrientes. El crecimiento de algunos microorganismos puede ser mejor que cuando se utilizan las peptonas individuales.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 2.3 - Características de las polipeptonas.

Fuente: Elaboración propia.

Características fisicoquímicas		
Descripción	Especificación	Análisis típico
Nitrógeno amino (AN)	>3,7%	4,1%
Nitrógeno total (TN)	>10%	13,12%
Perdidas al secado	<6%	3,4%
Relación (AN/TN)	N/A	31,3%
Cenizas	<15%	8,8%
pH	6,5-7,5	6,8

Extracto de levadura

El Extracto de Levadura es un extracto soluble en agua de un autolisado de células de levaduras seleccionadas. Este producto es rico en vitaminas especialmente del complejo B, aminoácidos y otros factores de crecimiento. Es utilizado en una amplia variedad de medios de cultivo como una excelente fuente de nutrientes.

TABLA 2.4 - Características de las levaduras.

Fuente: Elaboración propia.

Características fisicoquímicas		
Descripción	Especificación	Análisis típico
Nitrógeno amino (AN)	>4,5%	5,4%
Nitrógeno total (TN)	>10%	10,7%
Perdidas al secado	<6%	3,3%
Relación (AN/TN)	N/A	50,46%
pH	6,5-7,5	6,8

Dihidrógeno fosfato de potasio

Es una sal potásica comercialmente producida a partir del ácido fosfórico. También se la conoce con el nombre de fosfato monopotásico y su fórmula química es KH_2PO_4 . Actúa como regulador de la acidez (sustancia buffer) y agente quelante (usado para ligar iones metálicos). Se emplea en gaseosas, jugos de frutas, leche evaporada, panadería, productos cárnicos, etc.



TABLA 2.5 - Características del Dihidrógeno Fosfato de Potasio.

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades del KH_2PO_4	
Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Punto de fusión	253°C
Densidad	2340 kg/m ³
Solubilidad en agua (a 20°C)	208 g/l
pH	4,2-4,6

Fosfato dipotásico

El fosfato dipotásico es una sal altamente soluble en agua que se utiliza a menudo como fertilizante, aditivo alimentario y agente tampón. Es una fuente común de fósforo y potasio.

Como aditivo alimentario, el fosfato dipotásico se utiliza en diferentes productos lácteos, bebidas en polvo seco, suplementos minerales y cultivos iniciadores. Se utiliza en productos no lácteos para prevenir la coagulación.

El fosfato dipotásico también se utiliza para preparar disoluciones tampón y se utiliza en la producción de distintos medios de cultivo para hacer placas de agar y cultivar bacterias.

TABLA 2.6 - Características del Fosfato Dipotásico.

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades físicas y químicas	
Estado físico	Sólido
Color	Blanco
pH	8,8
Punto de fusión	340.2°C
Densidad	2300 kg/m ³
Solubilidad en agua (a 25°C)	168 g/ 100 ml
Temperatura de descomposición	>465°C

Cloruro de sodio

El cloruro de sodio (NaCl), comúnmente conocido como sal, es uno de los minerales más abundantes de la Tierra y un nutriente esencial para muchos animales y plantas. Se encuentra de forma natural en el agua de mar y en formaciones rocosas subterráneas.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Sus funciones en un medio de cultivo son específicas, ya que ajusta la osmolaridad del medio.

TABLA 2.7 - Características del Cloruro de Sodio.

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades físicas y químicas	
Estado físico	Sólido, cristales
Color	Blanco
Olor	Olor leve. Sabor salino
pH	7
Punto de fusión	804°C
Punto de ebullición	1413°C
Densidad	2165 kg/m ³
Solubilidad en agua (a 20°C)	360 g/L
Temperatura de descomposición	<801°C

Sulfato de amonio

El sulfato de amonio es una sal cuya fórmula química es $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Es uno de los fertilizantes nitrogenados usados para la producción de cultivos. Es especialmente valioso donde ambos nutrientes, N y S, son requeridos.

TABLA 2.8 - Características del Sulfato de Amonio.

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades físicas y químicas	
Estado físico	Sólido
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
pH	5-6
Punto de fusión	280°C
Densidad	1770 kg/m ³
Solubilidad en agua (a 20°C)	132 g/L

Cloruro de calcio

El Cloruro de calcio es de los productos que se pueden usar como fertilizante. Aporta calcio, uno de los nutrientes esenciales y es algo más barato que otros productos solubles.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 2.9 - Características del Cloruro de Calcio.

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades físicas y químicas	
Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Olor	Inodoro
pH	4,5-6,4
Punto de fusión	175.5°C
Densidad	835 kg/m ³
Solubilidad en agua (a 0°C)	98 g en 100 ml

Cloruro de magnesio

El cloruro de magnesio, de fórmula $MgCl_2$, es un compuesto mineral iónico a base de cloro, cargado negativamente, y magnesio, cargado positivamente. El cloruro de magnesio puede extraerse de salmueras o del agua de mar y es una gran fuente de magnesio, obtenido por electrolisis. El cloruro de magnesio puede presentarse en forma anhidra, bi-hidratado o hexahidratado. Este último compuesto se presenta como cristales romboidales de gran belleza ornamental. Es una sal deliquescente, por lo que tiene afinidad química por el agua, pudiendo absorber cantidades relativamente altas de agua.

TABLA 2.10 - Características del Cloruro de Magnesio.

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades físicas y químicas	
Estado físico	Sólido en polvo o escamas
Color	Amarillento
Olor	Inodoro
pH	5
Punto de fusión	712°C
Punto de ebullición	1412°C
Densidad	2300 kg/m ³

Carbonato de magnesio

El carbonato de magnesio es una sal de magnesio con fórmula $MgCO_3$. Sus formas hidratadas, particularmente los di, tri y tetrahidratados, se presentan como minerales. Tiene un



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

papel como antiácido y fertilizante. Es una sal de magnesio, una sal de carbonato y un compuesto de un carbono.

TABLA 2.11 - Características del Carbonato de Magnesio.

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades físicas y químicas	
Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Olor	Inodoro
pH	10-11
Punto de fusión	>300°C
Densidad	2190 kg/m ³

2.3.3 MICROORGANISMO

El proceso fermentativo para la obtención de ácido succínico puede llevarse a cabo por diferentes microorganismos. Estos son: actinobacillus succinogenes, succinogenes actinomycetemcomitans, succiniciproducens Anaerobiospirillum, succiniciproducens Mannheimia y Escherichia Coli Recombinante.

ACTINOBACILLUS SUCCINOGENES

A. succinogenes se aisló originalmente del contenido ruminal de la especie bovina y pertenece a la familia Pasteurellaceae basado en su análisis de la secuencia 16S rRNA. Este organismo es un anaerobio facultativo, no móvil, pleomórfico, pertenece a las bacterias Gram-negativas (0.8 x 1.0 pm) y ocasionalmente son bacterias filamentosas. A. succinogenes muestra una capacidad distintiva para producir una cantidad relativamente grande de ácido succínico a partir de una amplia gama de fuentes de carbono tales como arabinosa, celobiosa, fructosa, galactosa, glucosa, lactosa, maltosa, manitol, manosa, sorbitol, sacarosa, salicina, en condiciones anaeróbicas. A diferencia de E. coli o A. succiniciproducens, A. succinogenes es un osmófilo moderado y tiene buena tolerancia a una alta concentración de la glucosa, lo cual es beneficioso para la fermentación. Además, A. succinogenes es una cepa acidógena que tiene una notable capacidad de acumular concentraciones muy altas de ácido succínico.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Hoja de producto

- Fuente: Actinobacillus succinogenes Guettler et al.
- Designación: ADN genómico del Actinobacillus succinogenesstrain 130Z [ATCC® 55618™]
- Descripción: ADN genómico aislado de la cepa 130Z de Actinobacillus succinogenes. Esta cepa bacteriana es también disponible como Catálogo ATCC® N° 55618<™.
- Nota: El ADN genómico aislado de las bacterias es apropiado para la **PCR*** y otras aplicaciones de biología molecular.

***El proceso de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) está cubierto por patentes propiedad de Hoffmann-LaRoche. Inc. El uso del proceso de PCR requiere una licencia.**



CAPÍTULO 3
ESTUDIO DE MERCADO



3.1 INTRODUCCIÓN

La producción de ácido succínico se hacía tradicionalmente a través de rutas petroquímicas, a partir de n-butano, pasando primero a anhídrido maleico, pero con la necesidad de trabajar con rutas que tuvieran menos impacto ambiental (reducción de la huella de carbono), se comenzó a trabajar en la producción biológica (ácido bio-succínico) usando biomasa y una bacteria que se encontró en el estómago de las vacas. El ácido succínico de base biológica se distingue por una huella de carbono notablemente mejorada en comparación con el ácido succínico de origen fósil convencional u otros ácidos dicarboxílicos.

El ácido succínico de base biológica es una pieza versátil con un enorme potencial comercial en el mercado de los productos químicos intermedios, ya que puede utilizarse en varias aplicaciones industriales de gran volumen, tales como biopolímeros (por ejemplo, succinato de polibutileno o PBS), poliuretanos, recubrimientos, productos que se utilizan en biotecnología y plásticos de ingeniería.

Se espera que el mercado mundial de ácido bio-succínico alcance los USD 992.9 millones para 2020, creciendo a una tasa compuesta anual del 23.3% de 2014 a 2020. La creciente demanda de las industrias de cuidado personal, de alimentos, bebidas y la adopción de ácido succínico como sustituto del ácido adípico en la producción de poliuretano son los factores que impulsan el mercado del ácido succínico.

El ácido succínico actualmente es producido en mayor cantidad, por la ruta química, siendo su precio de venta varía entre 5.9 a 9 dólares por kg dependiendo de la pureza. Su costo de producción se ve influido por varios factores, entre ellos; la productividad, el rendimiento, los costos de materia prima y los métodos de producción y recuperación.

Hoy en día, el mercado global de ácido succínico está impulsado principalmente por los siguientes factores:

- Políticas gubernamentales de apoyo que dan lugar al mercado del ácido succínico.
- Disponibilidad de materias primas renovables.
- Aumento de los precios del petróleo.

3.2 COMERCIO EXTERIOR

Algunos de los actores clave que operan en el mercado del ácido succínico son BioAmber (Canadá), GC Innovation América (EE. UU.), Succinity GmbH (Alemania), Reverdia (Países Bajos), Nippon Shokubai (Japón), Shandong Lixing Chemical (China), Kawasaki Kasei Chemicals (Japón), Anqing Hexing Chemical (China), Anhui Sunsing Chemicals (China) y Gadiv



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Petrochemical Industries (Israel). La cartera de productos diversificada, la gran profundidad en el alcance de las aplicaciones y la asistencia técnica a los clientes son los factores responsables de fortalecer la posición de estas empresas en el mercado del ácido succínico. También han estado adoptando varias estrategias de crecimiento orgánico e inorgánico, como la asociación, el acuerdo y la expansión, para mejorar su posición actual en el mercado del ácido succínico.

Geográficamente, el mercado global de ácido succínico se ha segmentado en base a cuatro regiones principales:

- Mercado de ácido succínico de América del Norte - EE. UU. Y Canadá.
- Mercado de ácido succínico en Asia Pacífico - China, India, Japón, Tailandia, Corea del Sur y RoAPAC.
- Mercado de ácido succínico en Europa: Reino Unido, Francia, Alemania, Italia, España, Países Bajos, Rusia y RoE.
- Resto del mundo.

Europa ocupa el primer lugar en el mundo, en la producción y consumo de ácido succínico. Históricamente, la Unión Europea (UE) siempre ha sido un consumidor neto de ácido succínico. Sin embargo, la mayor parte de este se importa de APAC (Asia Pacífico). La conciencia es uno de los mayores impulsores en el mercado europeo. Los usuarios finales son más conscientes de los efectos ecológicos de los productos basados en petroquímicos. Por lo tanto, se recomienda un cambio del ácido succínico a base de petróleo al ácido succínico a base de bio.

En Europa, Alemania domina el mercado seguido de España, Reino Unido e Italia. Pero, debido a la creciente competencia global en la industria química, el mercado químico de Europa está bajo una gran presión y está buscando nuevas formas de obtener una ventaja competitiva. La mayoría de las oportunidades radica en el desarrollo de nuevas cadenas de valor con ácido succínico de base biológica, por otra parte, se predice que el mercado de Asia y el Pacífico será la región de más rápido crecimiento para el mercado del ácido succínico con una tasa compuesta anual de 49.5% durante 2013 a 2020.

Asia Pacífico es un mercado establecido para la industria succínica. La disponibilidad de materia prima y los bajos costos de producción son los motivadores claves para la industria del ácido succínico en APAC. Japón y China tienen una industria química bien establecida, que ayuda en el crecimiento del mercado de ácido succínico APAC.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO



FIGURA 3.1: Tamaño del mercado mundial de ácido bio succínico y previsiones, 2012-2020.

Fuente: Allied Market Research

Para 2020, Europa tendría una capacidad de fabricación de ácido bio-succínico superior a 300000 toneladas. El mercado de Asia Pacífico será testigo de la TCAC más rápida debido a la rápida industrialización junto con la creciente demanda de productos en plastificantes, BDO, poliéster polioles y resinas alquídicas. Se espera que Brasil y Chile sean testigos de un crecimiento significativo como resultado de la extensa demanda de productos en plastificantes y aplicaciones BDO.

3.2.1 AMÉRICA DEL NORTE

El mercado de ácido succínico de América del Norte recaudó \$ 56.1 millones de USD en 2016. Dado que la región tiene una base industrial saludable, se espera que el mercado experimente un aumento de la CAGR del 26.48% durante el período de pronóstico de 2017-2026, ganando un patrimonio neto de \$ 563.5 millones.

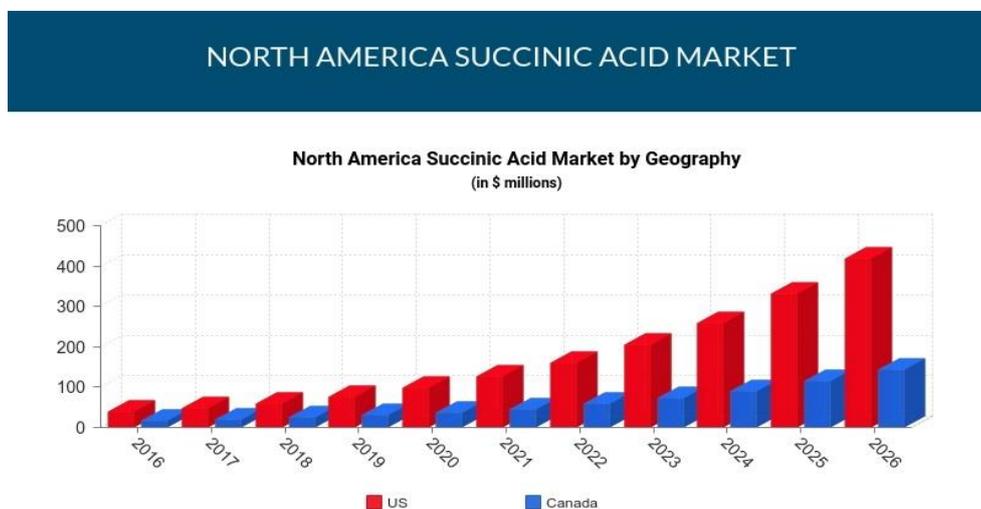


GRÁFICO 3.1: Mercado de ácido succínico de América del Norte.

Fuente: Ink Wood Research



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

El mercado de ácido succínico de EE. UU. lidera actualmente la región de América del Norte. El ácido succínico es un material de plataforma importante en los EE. UU. y el Departamento de Energía de EE. UU. lo ubica entre los 12 productos químicos de la plataforma. La producción a gran escala de maíz en el área es un factor clave para este mercado, ya que el maíz se usa ampliamente como materia prima para la fabricación de ácido succínico. El país también cuenta con recursos altamente desarrollados y, por lo tanto, tiene el potencial de crear una nueva infraestructura para el ácido succínico y los productos a base de ácido succínico en el futuro. El mercado canadiense también está evolucionando rápidamente, respaldado por el estímulo constante del gobierno.

3.2.2 ASIA PACÍFICO

Si bien los ingresos generados por el mercado de ácido succínico de Asia y el Pacífico representaron una mera parte de \$ 49.7 millones de USD en 2016, se prevé que el mercado catapultará al exhibir el mayor crecimiento de la CAGR de 32.18% durante el período estimado de 2017-2026. Se esperan recaudaciones de casi \$ 778.0 millones de USD del mercado para fines de 2026.

ASIA PACIFIC SUCCINIC ACID MARKET

Asia Pacific Succinic Acid Market by Geography
(in \$ millions)

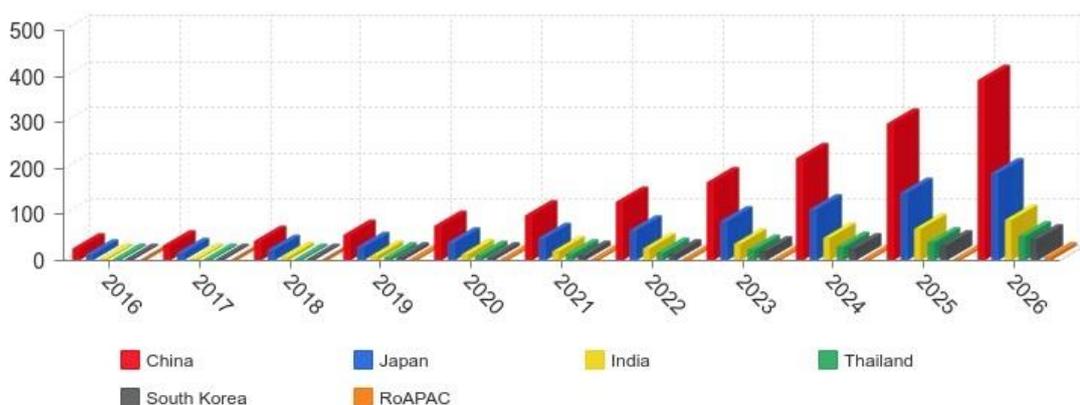


GRÁFICO 3.2: Mercado de ácido succínico de Asia y el Pacífico.

Fuente: Ink Wood Research



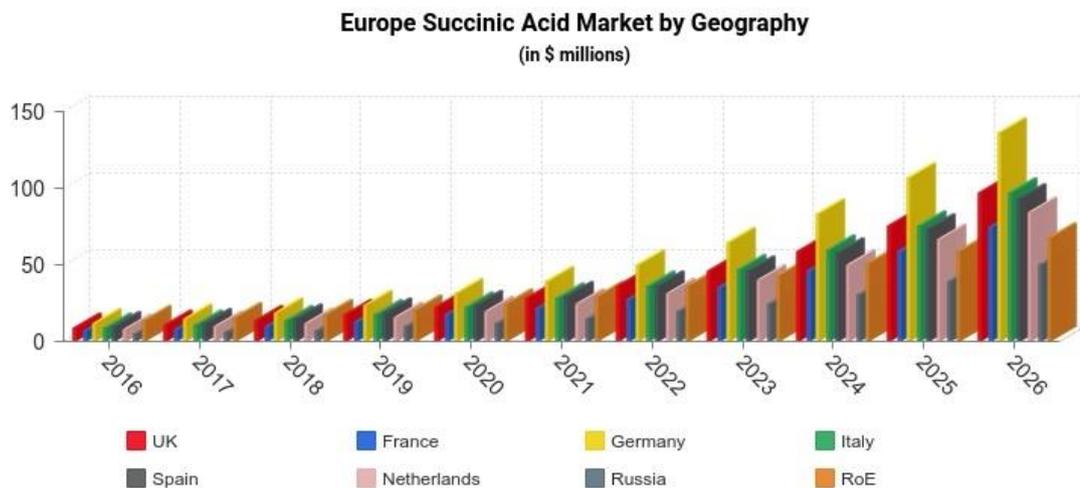
PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

El fácil acceso a las materias primas y los bajos costos de producción en la región de Asia y el Pacífico en comparación con otros mercados regionales son las fuerzas principales detrás de la progresión del mercado de Asia y el Pacífico. El mercado chino de ácido succínico está a la vanguardia de esta región, seguido de cerca por Japón. Después de los Estados Unidos, China es el mercado en crecimiento más grande del mundo. El maíz se usa principalmente como material base para producir ácido succínico, y dado que China ocupa el segundo lugar en la producción mundial de maíz, goza de una ventaja adicional sobre otros mercados.

3.2.3 EUROPA

El mercado europeo del ácido succínico gobernó el mercado global en 2016 al capturar la mayor participación del 38%. Ahora se pronostica que el mercado se expandirá aún más a una tasa compuesta anual de 26.06%, generando un ingreso de \$ 700.3 millones de USD para el final del período de pronóstico de 2017-2026.

EUROPE SUCCINIC ACID MARKET



Source: Inkwood Research

GRÁFICO 3.3: Mercado de ácido succínico de Europa.

Fuente: Ink Wood Research

El mercado alemán capturó la mayor cuota de mercado en 2016, seguido de España, el Reino Unido e Italia, y se espera que la región continúe dominando durante todo el período de pronóstico. El aumento del apoyo gubernamental, los avances tecnológicos, las



preocupaciones medioambientales y los mandatos posteriores para procesos y fuentes ecológicos son las fuerzas impulsoras fundamentales detrás del crecimiento estupendo del mercado alemán de ácido succínico. La región europea ha sido el mayor consumidor de ácido succínico durante mucho tiempo, pero los costos costosos de mano de obra y materia prima son algunos de los factores que podrían amortiguar la racha ganadora del mercado en el futuro.

3.3 PRINCIPALES INDUSTRIAS COMERCIALES

El mercado se consolidó en 2013 con solo cuatro empresas que fabricaban ácido bio-succínico a escala comercial. BioAmber, Reverdia, Myriant y Succinity fueron fabricantes comerciales de ácido bio-succínico en 2013, siendo Succinity el mayor en términos de capacidad instalada.

TABLA 3.1: Información de Reverdia.

Fuente: <https://biorrefineria.blogspot.com/2015/10/biorrefinerias-de-acido-succinico.html> (obtenido el 20/12/2016)

Cassano Biorefinery	
Propietario	Reverdia (www.reverdia.com/). Es una JV de DSM y Roquette Frères.
Localización	Cassano Spinola (Italia).
Materias primas	Almidón y azúcares.
Tecnología	Biosuccinium™ desarrollada por Reverdia. Hidrólisis y fermentación con levaduras a pH bajo.
Capacidad	10.000 toneladas al año.
Puesta en marcha	Diciembre 2012.

TABLA 3.2: Información de Myriant.

Fuente: <https://biorrefineria.blogspot.com/2015/10/biorrefinerias-de-acido-succinico.html> (obtenido el 20/12/2016)

Lake Providence Biorefinery	
Propietario	Myriant (www.myriant.com/).
Localización	Lake Providence (Lousiana, USA)
Materias primas	Materias primas renovables. Algunas de estas materias primas incluyen grano de sorgo, bagazo de caña de azúcar y otras materias primas celulósicas.
Tecnología	Proceso de fermentación anaerobia en un único paso desarrollado por Myriant. Microorganismos patentados.
Capacidad	13.600 toneladas al año.
Puesta en marcha	Junio 2013.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 3.3: Información de Succinity GmbH.

Fuente: <https://biorrefineria.blogspot.com/2015/10/biorrefinerias-de-acido-succinico.html> (obtenido el 20/12/2016).

Montmeló Biorefinery	
Propietario	Succinity GmbH (www.succinity.com/). Es una JV de Corbion Purac y BASF.
Localización	Montmeló (España)
Materias primas	Sustratos renovables (glicerina, azúcares...).
Tecnología	Succinity® desarrollada por Succinity GmbH. Proceso de fermentación patentado basado en la bacteria <i>Basfia succiniciproducens</i> . Proceso de purificación patentado libre de sulfatos.
Capacidad	10.000 toneladas al año.
Puesta en marcha	Marzo 2014.

TABLA 3.4: Información de BioAmber.

Fuente: <https://biorrefineria.blogspot.com/2015/10/biorrefinerias-de-acido-succinico.html> (obtenido el 20/12/2016).

Sarnia Biorefinery	
Propietario	BioAmber (www.bio-amber.com/) y Mitsui & Co (www.mitsui.com).
Localización	Sarnia (Ontario, Canadá)
Materias primas	Glucosa obtenida a partir de cultivos del sudeste de Ontario.
Tecnología	El proceso de producción está basado en una tecnología de fermentación que usa una levadura patentada.
Capacidad	30.000 toneladas al año.
Puesta en marcha	Agosto 2015.
Planta piloto previa	Empresas: BioAmber y ARD. Localización: Pomacle (France). Capacidad: 3.000 tons/y. En operación desde enero de 2010 a diciembre de 2014.

3.4 DEMANDA

La demanda global de ácido bio-succínico fue de 51,000 toneladas en 2013 y se espera que aumente a 593,400 toneladas en 2020, creciendo a una tasa compuesta anual de 32.2% de 2014 a 2020. Dicha demanda está impulsada para generar PBS / PBST para el envasado de alimentos, ya que estos no son tóxicos, son biodegradables y también tienen una mejor resistencia al calor y procesabilidad en comparación con otros biopolímeros. Los impulsores clave para el mercado del ácido succínico son el aumento de los ingresos disponibles, el cambio en el estilo de vida del consumidor, el mayor uso de plásticos y la creciente industria del embalaje. Estos factores han alimentado la demanda de botellas de PET no tóxicas,



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

biodegradables, envases de alimentos, jeringas desechables, bolsas de sangre y otros bienes de consumo en países como China, India, Japón, EE. UU. y Alemania que han llevado al crecimiento del mercado de ácido succínico en el segmento PBS / PBST.

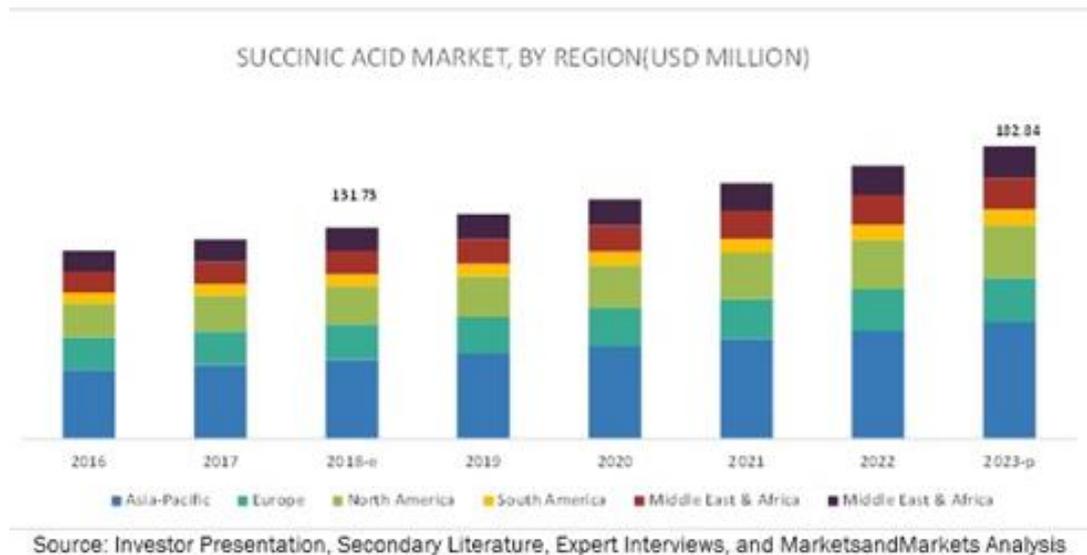


GRÁFICO 3.4: Mercado del ácido succínico por región.

Fuente: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/succinic-acid-market-402.html>

BDO o 1, 4-butanodiol es una de las principales aplicaciones industriales de ácido succínico de base biológica, fue el mercado de aplicaciones más grande para el ácido bio-succínico, representando más del 35% de la demanda total en 2013, con un volumen estimado de 19,877.5 toneladas en 2013, que se espera que crezca a una (CAGR) resultados de búsqueda Tasa de crecimiento anual compuesto estimada de 38.3% de 2014 a 2020.

El ácido bio-succínico rentable resultaría en la sustitución de maleico anhídrido para la fabricación de BDO y derivados posteriores como GBL y PBT, que se utilizan ampliamente en la industria de plásticos de ingeniería. Se espera que el succinato de polibutileno (PBS) sea la aplicación de más rápido crecimiento, con un CAGR estimado de 38.9% de 2014 a 2020, debido a la creciente demanda de bioplásticos, particularmente en Europa y América del Norte. El PBS se puede mezclar con otros compuestos, como el almidón termoplástico y los copolímeros adipados (para formar PBSA) para que su uso sea más económico. Se estima que el ácido bio-succínico sustituirá por completo al ácido succínico a base de petróleo en la fabricación de PBS / PBST.

Poliéster y Polioles fue el segundo mercado de aplicación más grande para ácido bio-succínico, y representó el 10.67% de la demanda global en 2013. Se espera que el uso de



poliéster poliololes en la fabricación de poliuretanos junto con la creciente demanda de poliuretanos para la industria de aplicaciones posteriores. Un motor importante para el mercado del ácido bio-succínico. Además, su uso en espumas moldeadas, suelas de calzado, interiores de automóviles y como adhesivo y sellador es probable que aumente la participación de mercado del segmento.

3.5 MERCADO NACIONAL DEL ACIDO SUCCÍNICO

A continuación, se realiza el análisis de importaciones y exportaciones a través de los datos obtenidos de la página Scavage. Para ello se utilizó la posición arancelaria 3824.90.25.100. Además, se realizó también la búsqueda de datos en la página ComEX Indec, donde se utilizó la posición arancelaria 3824.99.25. En ambos casos, se obtuvo la información correspondiente a “Mezclas de ésteres dimetílicos de los ácidos adípico, glutárico y succínico; mezclas de ácidos dibásicos de C11 y C12; ácidos nafténicos, sus sales insolubles en agua sus ésteres”. El siguiente análisis permite determinar el comportamiento del ácido succínico en los últimos años.

3.5.1 EXPORTACIONES

El principal destino de las exportaciones, como se puede observar en la gráfica N°3.5, es Brasil, con casi el 50%, seguido por Uruguay, Chile, y en menor medida Zona Franca Colonia, Colombia y Puerto Rico.

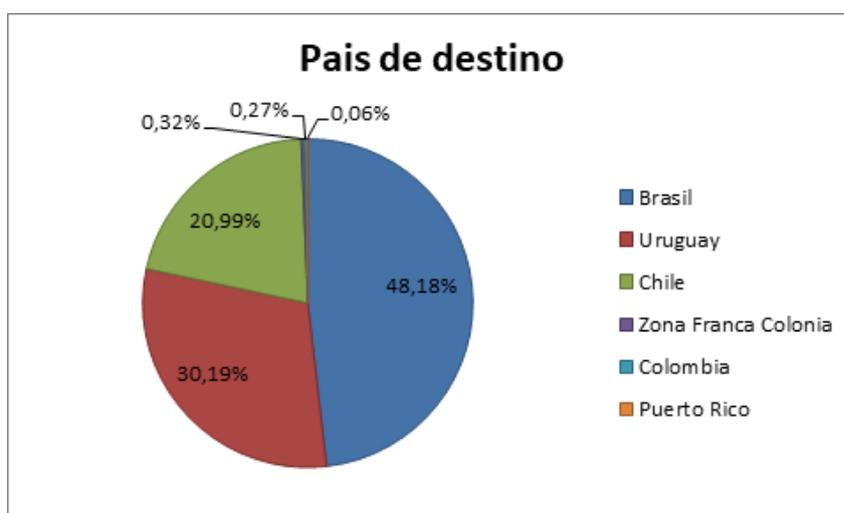


GRÁFICO 3.5: Países de destino de las exportaciones del ácido succínico. Fuente: Scavage.

Fuente: Scavage.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

En la tabla N°3.5 se pueden apreciar los datos extraídos de la página Scavage de las exportaciones anuales de ácido succínico.

TABLA 3.5: Exportaciones anuales del ácido succínico.

Fuente: Scavage.

Exportaciones	Ácido Succínico (kg)
2008	5280
2009	2300
2010	1105
2011	5400
2012	3320
2013	8560
2014	11231
2015	2545
2016	0
2017	1224
2018	0
2019	0

En el gráfico N° 3.6 se representan los datos de la tabla 3.5.



GRÁFICO 3.6: Exportaciones del ácido succínico. Fuente: elaboración propia.

Fuente: Scavage.



3.5.2 IMPORTACIONES

En Argentina no hay en la actualidad ninguna planta productora de ácido succínico, sin embargo, mantiene un mercado exterior activo, en donde los principales proveedores de ácido succínico en los últimos años han sido China, Brasil, Estados Unidos, Alemania y en menor medida, España y Azerbaiyán. Siendo destinado a consumo interno de distintas industrias y parte se exporta a países de América del Sur, como se menciona anteriormente.

En el gráfico N° 3.7 se observa la procedencia de las principales importaciones de ácido succínico en los años 2008-2017.

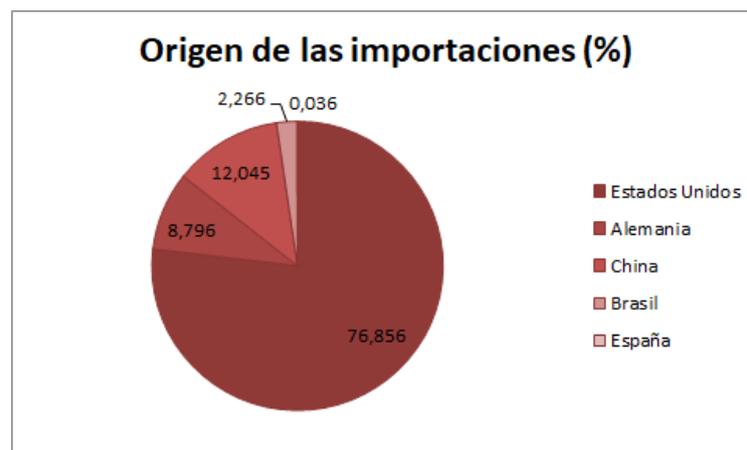


GRÁFICO 3.7: Principales proveedores de Argentina de ácido succínico.

Fuente: Scavage.

En el gráfico N° 3.8 se observa la procedencia de las principales importaciones de ácido succínico en los años 2018-2019.

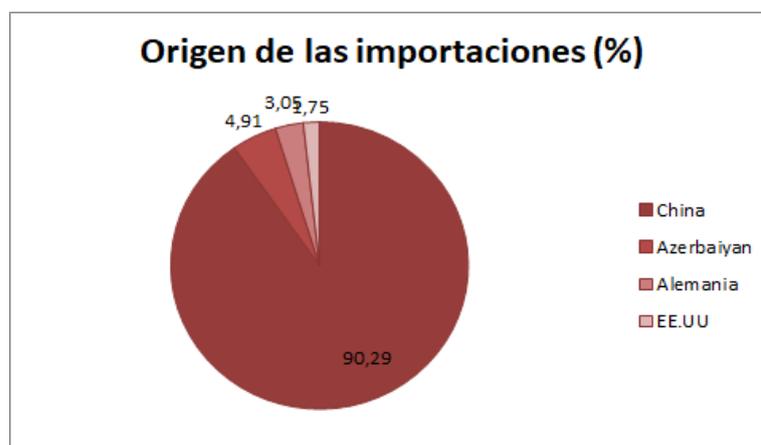


GRÁFICO 3.8: Principales proveedores de Argentina de ácido succínico.

Fuente: ComEX Indec.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

En la tabla N° 3.6 y gráfico N° 3.9 se muestra la procedencia de las principales importaciones de ácido succínico durante el año 2019.

TABLA 3.6: Procedencia de las importaciones del ácido succínico.

País de origen	Cantidad (kg)
China	143000
Azerbaiyán	16000

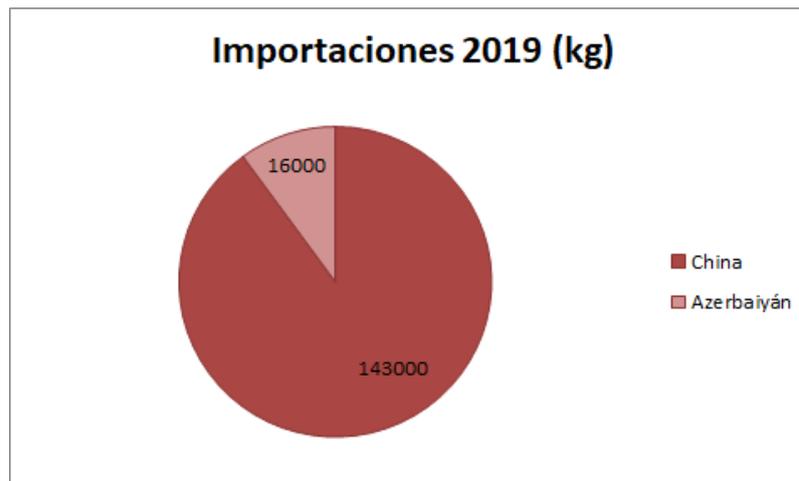


GRÁFICO 3.9: Procedencia de las importaciones del ácido succínico.

Fuente: ComEX Indec.

En la tabla N° 3.7 se pueden apreciar los datos extraídos de las páginas Scavage y ComEX Indec de las importaciones anuales de ácido succínico.

TABLA 3.7: Importaciones anuales del ácido succínico.

Fuente: Scavage (2008-2017) ComEX (2018-2019).

Importaciones	Ácido Succínico (kg)
2008	152709,08
2009	133455,2
2010	147919
2011	154477,46
2012	153243,28
2013	155955
2014	162936,36
2015	164802,44



2016	158732,08
2017	165031,012
2018	157917,86
2019	159000

En el gráfico N° 3.10 se representa gráficamente la evolución de las importaciones nacionales durante el periodo 2008-2019, mediante el uso de los datos de la tabla N° 3.7.

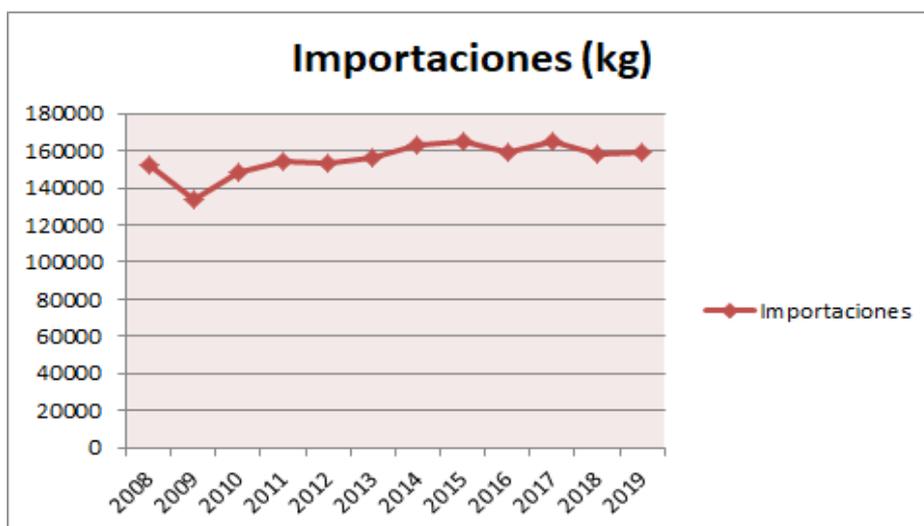


GRÁFICO 3.10: Importaciones del ácido succínico.

Fuente: elaboración propia.

3.5.3 DEMANDA INSATISFECHA

Demanda insatisfecha = Importaciones – Exportaciones

En la tabla N° 3.8 pueden observarse los valores en kilogramos de la demanda insatisfecha del ácido succínico en el periodo comprendido entre los años 2008-2019.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 3.8: Demanda insatisfecha del ácido succínico.

Fuente: elaboración propia.

Año	Importaciones	Exportaciones	Demanda insatisfecha
2008	152709,1	5280	147429,1
2009	133455,2	2300	131155,2
2010	147919,0	1105	146814,0
2011	154477,5	5400	149077,5
2012	153243,3	3320	149923,3
2013	155955,0	8560	147395,0
2014	162936,4	11231	151705,4
2015	164802,4	2545	162257,4
2016	158732,1	0	158732,1
2017	165031,0	1224	163807,0
2018	157917,9	0	157917,9
2019	159000,0	0	159000,0

Luego de analizar los datos del mercado, y teniendo en cuenta que en nuestro país no hay plantas productoras de ácido succínico, se observa que las importaciones del mismo en Argentina son superiores a las exportaciones, por lo que se evalúa la demanda insatisfecha.

Cabe destacar que, al no haber producción nacional, no es posible determinar el consumo aparente y emplearlo como indicador.

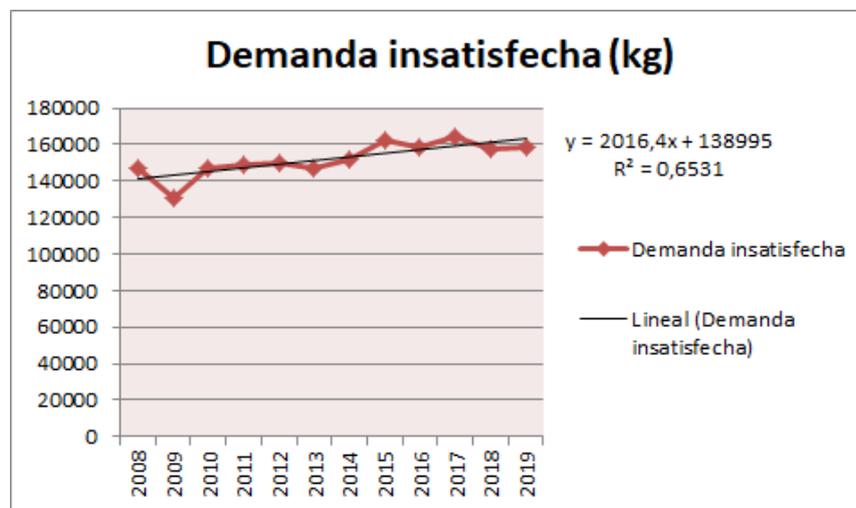


GRÁFICO 3.11: Demanda insatisfecha.

Fuente: elaboración propia



La gráfica 3.11 demuestra cómo varía la demanda insatisfecha durante un periodo de 12 años, comenzando en 2008, donde se puede observar como la curva tiene subas y bajas, siendo estas últimas generadas por crisis económicas en nuestro país, las cuales llevan a un menor consumo de productos evitando importaciones. Sin embargo, cabe aclarar que la recuperación de dichas crisis se ve reflejada por nuevos aumentos de mercado externo en los años siguientes, generando picos positivos en el valor de la demanda insatisfecha manteniéndose así durante el periodo en una recta creciente que representa año tras año una mayor demanda.

Como se puede observar tanto en la Tabla 3.8 como en el Gráfico 3.11, existen puntos anormales en cuanto a la demanda insatisfecha. En el Gráfico 3.11, el análisis de tendencia arroja un valor de $R^2=0,6531$ por lo que es necesario corregir los puntos desviados para poder obtener una ecuación aceptable.

El método de corrección es calcular el promedio de un valor antes y después del punto en cuestión y así suavizar la curva de demanda insatisfecha de ácido succínico.

A continuación, se representa la curva de demanda insatisfecha suavizada del ácido succínico con su respectiva línea de tendencia, la cual tiene un coeficiente de confiabilidad $R^2=0,9649$, muy aceptable.

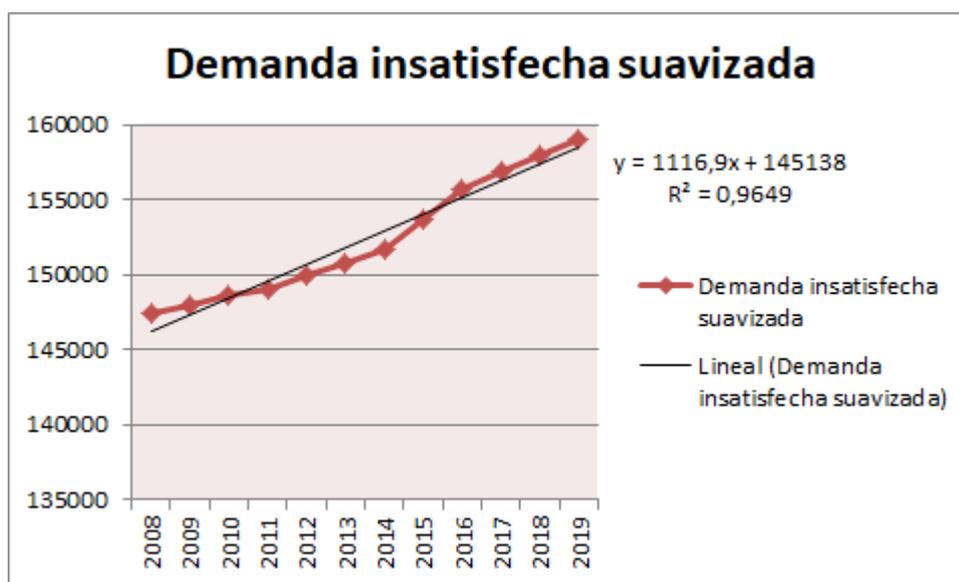


GRÁFICO 3.12: Demanda insatisfecha suavizada

Fuente: elaboración propia



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

3.5.4 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA INSATISFECHA

Con los resultados obtenidos, se proyectan en la Tabla 3.9 los valores por diez años más, logrando estimar cómo se comportará el mercado de ácido succínico en los próximos años y poder buscar un nivel productivo acorde en la nueva industria.

TABLA 3.9: Demanda insatisfecha proyectada del ácido succínico.

Fuente: elaboración propia

Año	Demanda insatisfecha (kg)
2020	159657,410
2021	161022,647
2022	162412,984
2023	163801,731
2024	165124,476
2025	166398,270
2026	167594,706
2027	168670,601
2028	169809,961
2029	171076,552

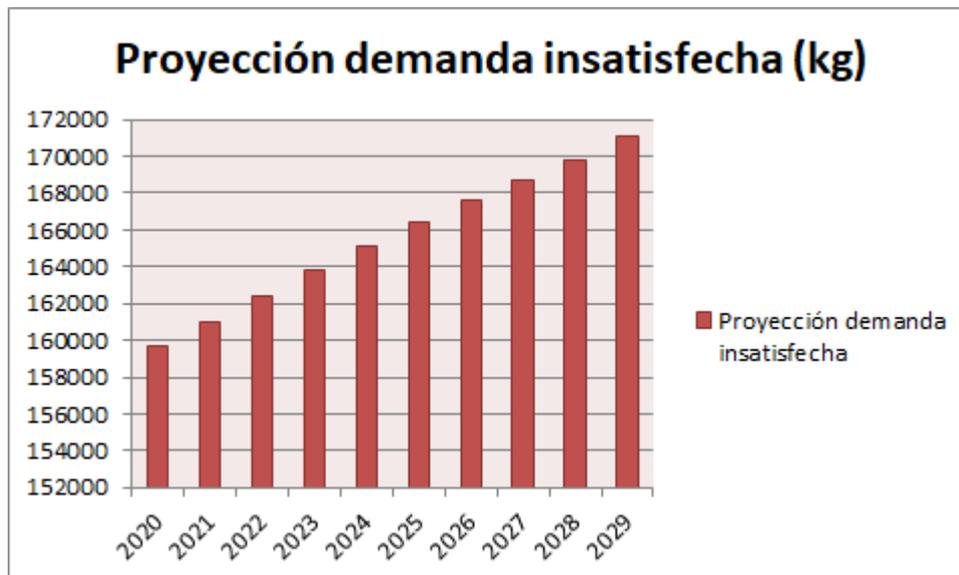


GRÁFICO 3.13: Demanda insatisfecha proyectada

Fuente: elaboración propia



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Debido a que los valores observados en la proyección de la demanda no son demasiado altos como para asegurar una rentabilidad futura que afronte los costos productivos, se decide aumentar aún más la producción con la finalidad de exportar el exceso a Brasil para cubrir parte de la demanda insatisfecha en dicho país. Su elección en frente a los demás países de América del sur se basó en la consideración de que es el principal consumidor de ácido succínico en el bloque del MERCOSUR. Por otro lado, cubrir la demanda insatisfecha de Brasil, es algo económicamente favorable, ya que importa la mayor parte de ácido succínico desde China, teniendo Argentina, como país limítrofe, la ventaja de disminuir costos de transporte debido a que las distancias son más cortas y se encuentra disponible el acceso terrestre, generando un precio de producto más competitivo con poca carga fija. Sin dejar de lado, que ambos países, pertenecen hoy en día a lo que es el MERCOSUR, siendo benefactores de exoneraciones de impuestos y preferencias arancelarias a las exportaciones e importaciones, promoviendo un intercambio comercial mucho más rentable, siempre y cuando se logre calidad de mercado internacional para poder competir con los actuales países importadores

3.5.5 IMPORTACIONES BRASIL

Se presentan a continuación los valores de las importaciones de ácido succínico a través de los datos obtenidos de la página ComEX Stat Brasil. Para ello se utilizó la posición arancelaria 3824.99.25. y se obtuvo la información correspondiente a “Mezclas de ésteres dimetílicos de los ácidos adípico, glutárico y succínico; mezclas de ácidos dibásicos de C11 y C12; ácidos nafténicos, sus sales insolubles en agua sus ésteres”

TABLA 3.10: Importaciones de ácido succínico en Brasil

Fuente: ComEX Stat Brasil

Año	Valor (kg)
2014	Sin datos
2015	Sin datos
2016	Sin datos
2017	2409126
2018	2680904
2019	2381826
2020	823506



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

3.5.6 EXPORTACIONES BRASIL

Los datos obtenidos de las exportaciones de ácido succínico en Brasil fueron obtenidos también de la página ComEX Stat con la misma posición arancelaria que se utilizó para la obtención de los valores de importaciones.

Los mismos se representan en la siguiente tabla:

TABLA 3.11: Exportaciones de ácido succínico en Brasil

Fuente: ComEX Stat Brasil

Año	Valor (kg)
2014	Sin datos
2015	Sin datos
2016	Sin datos
2017	103700
2018	80340
2019	59400
2020	40500

3.5.6 DEMANDA INSATISFECHA BRASIL

En la siguiente tabla se puede observar la demanda insatisfecha del mercado de Brasil, obtenida luego de realizar la resta de Importaciones-Exportaciones.

TABLA 3.12: Demanda insatisfecha Brasil

Fuente: ComEX Stat Brasil

Año	Valor (kg)
2014	Sin datos
2015	Sin datos
2016	Sin datos
2017	2305426
2018	2600564
2019	2322426

3.5.6 DEMANDA INSATISFECHA ARGENTINA + BRASIL

Por el hecho de que se obtuvo sólo valores de los últimos años en el mercado de Brasil, y viendo que se mantiene aproximadamente en el mismo rango, se decide utilizar un promedio de este periodo, el cual será sumado a la demanda insatisfecha de nuestro país. Cabe aclarar



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

que se plantea cubrir un 35% de la demanda insatisfecha de Brasil, para asegurar una producción de mayor volumen. El valor a satisfacer en Brasil, correspondiente al 35% es de 843315,2 kg.

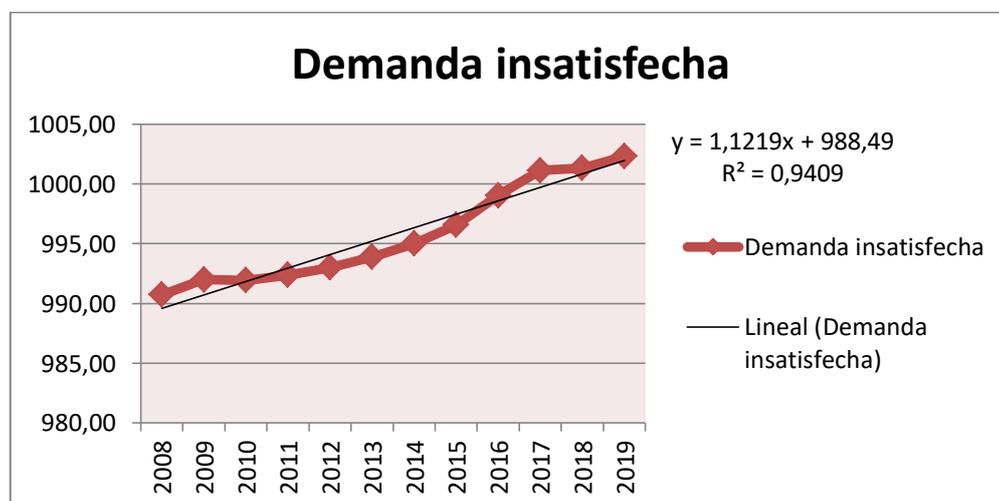
La demanda insatisfecha es la siguiente:

TABLA 3.13: Demanda insatisfecha Argentina + Brasil.

Fuente: Elaboración propia.

Año	Valor (tn)
2008	990,74
2009	992,00
2010	991,93
2011	992,39
2012	993,00
2013	993,90
2014	995,02
2015	996,57
2016	999,05
2017	1001,12
2018	1001,34
2019	1002,32

En la siguiente gráfica se representan los valores de la tabla N°3.13



Gráfica 3.14: Demanda insatisfecha Argentina + Brasil.

Fuente: Elaboración propia.



3.5.7 PROYECCIÓN DEMANDA INSATISFECHA ARGENTINA + BRASIL

Se realiza la proyección de la demanda insatisfecha, dando como resultado los siguientes valores:

Tabla 3.14: Proyección demanda insatisfecha Argentina + Brasil.

Fuente: Elaboración propia.

Año	Valor (tn)
2020	1003,07
2021	1004,44
2022	1005,96
2023	1007,41
2024	1008,80
2025	1010,10
2026	1011,31
2027	1012,42
2028	1013,50
2029	1014,74

3.6 MATERIAS PRIMAS

3.6.1 JARABE DE GLUCOSA

Uno de los ingredientes con mayores usos para la industria de alimentos son los jarabes de maíz. Se trata de mezclas de azúcares obtenidos por hidrólisis controlada, vía ácida o enzimática, del almidón de maíz. Estos productos se encuentran en estado líquido o sólido y sus características fisicoquímicas y funcionales se determinan por la concentración de sólidos, pH, viscosidad, y su grado de hidrólisis.

Los jarabes de glucosa son una solución acuosa concentrada y purificada de sacáridos nutritivos obtenidos del almidón, cuyo contenido de sólidos es mayor que 70% m/m y el contenido de azúcares reductores es mayor que 20%. A los jarabes de glucosa también se le puede remover parcialmente el agua y obtener lo que la FOA denomina "jarabe de glucosa seca" ó "sólidos de jarabe de glucosa". También se trata de uno de los productos más utilizados por la industria confitera y de alimentos procesados ya que proporcionan dulzura, equilibrio adecuado de azúcares en las formulaciones, control de cristalización, brillo, maquinabilidad, textura, viscosidad, depresión del punto de congelamiento, aumento de la presión osmótica, pardeamiento (reacción de Maillard) y humectación.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

En Argentina la generación de maíz en los últimos años es un dato fundamental para visualizar la disponibilidad del jarabe de dicho cereal en nuestro territorio. En conjunto, las molineras húmeda y seca utilizan en promedio el 13 % de la producción nacional de maíz. Si se analiza la evolución del volumen de molienda en los últimos diez años, se observa una tendencia creciente hasta el año 2001. Luego, en 2002 se verifica una caída del 22 % respecto al año anterior.

Ambos fenómenos pueden explicarse, en parte, por el comportamiento del consumo de bebidas gaseosas, una industria demandante de edulcorantes derivados del maíz.

El consumo de gaseosas fue creciente entre 1996 y 2001, registrándose una caída en 2002 como consecuencia de la recesión económica.

Los niveles de molienda de maíz se recuperaron a partir de 2003, estabilizándose en los 2 millones de toneladas anuales.

De este total, alrededor de 1,2 millones corresponden a molienda húmeda. Los principales productos son fructosa 55, con una producción estimada de 250.000 toneladas anuales, glucosa con 80.000, fructosa 42 con 50.000 y almidones con 70.000 toneladas anuales.

Exportaciones

A continuación, se observa el análisis de exportaciones de Jarabe de Glucosa, realizado a partir de los datos obtenidos de la página ComEX Indec. Para ello se utilizó la posición arancelaria 17023020, correspondiente a Jarabe de glucosa s/o c/contenido de fructosa < a 20%

En la tabla N° 3.10 pueden observarse los valores en kilogramos de las exportaciones de jarabe de glucosa en el periodo comprendido entre los años 2009-2019.

TABLA 3.15: Exportaciones de jarabe de glucosa.

Fuente: ComEX Indec.

Año	Exportaciones (kg)
2009	21720152
2010	25944634,6
2011	28932248,9
2012	41926809
2013	36712401
2014	28716416,7
2015	29831820,3
2016	27300361,2
2017	25917098,3
2018	25962616,5
2019	25052563,4



En el gráfico N° 3.14 se representa gráficamente la evolución de las exportaciones durante el periodo 2009-2019, mediante el uso de los datos de la tabla N° 3.10.



GRÁFICO 3.15: Exportaciones de jarabe de glucosa.

Fuente: elaboración propia.

Importaciones

Se ha podido abastecer casi totalmente las necesidades del mercado argentino y en los últimos años inició un proceso de exportación, principalmente hacia los mercados de los países limítrofes.

El sector se ha adaptado rápidamente a los cambios económicos, las inversiones en tecnología han sido muy significativas y tanto la calidad de los productos como el equipamiento fabril son actualmente de nivel internacional. No obstante, dado que la actividad se encuentra en plena capacidad, se plantea la necesidad de concretar inversiones en el corto plazo.



TABLA 3.164: Importaciones de Jarabe de Glucosa.

Fuente: ComEX Indec.

Año	Importaciones (kg)
2009	1758
2010	14675
2011	20656
2012	97426
2013	107979
2014	28624
2015	62416
2016	34949
2017	277544,95
2018	52432,6
2019	64309,35

En el gráfico N° 3.15 se representa gráficamente la evolución de las importaciones durante el periodo 2009-2019, mediante el uso de los datos de la tabla N° 3.11.



GRÁFICO 3.16: Importaciones de jarabe de glucosa.

Fuente: elaboración propia.

Proveedores

- BUXTRADE GMBH (Alemania)
- GLUCOVIL (Argentina)
- BURGOSANO S.L. (España)
- COPAM - COMPANHIA PORTUGUESA DE AMIDOS SA (Portugal)
- AL MONAIRY FOR CORN PRODUCTS (Egipto)



- ZUKÁN (España)
- JP & SB INTERNATIONAL (España)
- CORDIS (Argentina)
- EL BAHIENSE (Argentina)

3.6.2 ACTINOBACILLUS SUCCINOGENES

La bacteria responsable del proceso fermentativo es la Actinobacillus succinogenes. Como no es posible conseguirla en Argentina, puede comprarse en el centro global de recursos microbiológicos “American Type Culture Collection” (ATCC), en Manassas, Estados Unidos a un valor de USD \$314. ATCC envía productos directamente a todos los países excepto aquellos que tienen un distribuidor autorizado o aquellos restringidos por el gobierno de los EE. UU. Si el país no tiene un distribuidor autorizado, se puede realizar la compra del microorganismo ingresando a página web www.atcc.org.

3.7 MERCADO PREVISTOS

El mercado potencial para ácido succínico en sí mismo y sus derivados se estimaba en más de 270,000 toneladas/año en 2004 (Willke y Vorlop, 2004). Y el mercado potencial estimado para los polímeros y poliamidas que se pueden sintetizar de este compuesto ascendió a 27 millones de toneladas/año en 2001 (Baum y Engelmann, 2001; Song y Lee, 2006).

Reportes económicos pronostican que el mercado del ácido succínico proveniente de biomasa, alcanzará un volumen de 710,000 toneladas/año para 2020, con una tasa promedio de crecimiento anual de 45.6% durante el periodo 2013-2020.

Se espera que el mercado mundial del ácido bio-succínico sea testigo de un alto crecimiento durante el período de pronóstico debido a su mayor uso como reemplazo del ácido succínico a base de petróleo en varias aplicaciones de uso final. Además, una mayor conciencia del gobierno hacia productos más ecológicos probablemente impulse el crecimiento del mercado durante el período de pronóstico. Además, la industria química se está moviendo hacia la materia prima disponible localmente debido a sus bajos precios y al aumento de la demanda de productos químicos verdes. También se espera que el ácido succínico de base biológica ofrezca una calidad igual o incluso mejor, junto con la ampliación de la gama de aplicaciones como plastificantes, resinas, succinato de polibutileno (PBS), etc.

India y algunos otros países de Asia Pacífico son destinos potenciales para la producción de ácido succínico. Estos países tienen un sector agrícola fuerte y pueden proporcionar mano de obra barata. Estas son las economías de más rápido crecimiento y actualmente están



presenciando crecientes inversiones. Los productores de ácido succínico pueden construir sus nuevas plantas en estas naciones. India es ahora uno de los principales países con un creciente procesamiento de alimentos, productos farmacéuticos y otras industrias en auge. Por lo tanto, los productores de ácido succínico pueden aprovechar estos mercados ya que todavía están en la fase de crecimiento.

GLOBAL SUCCINIC ACID MARKET

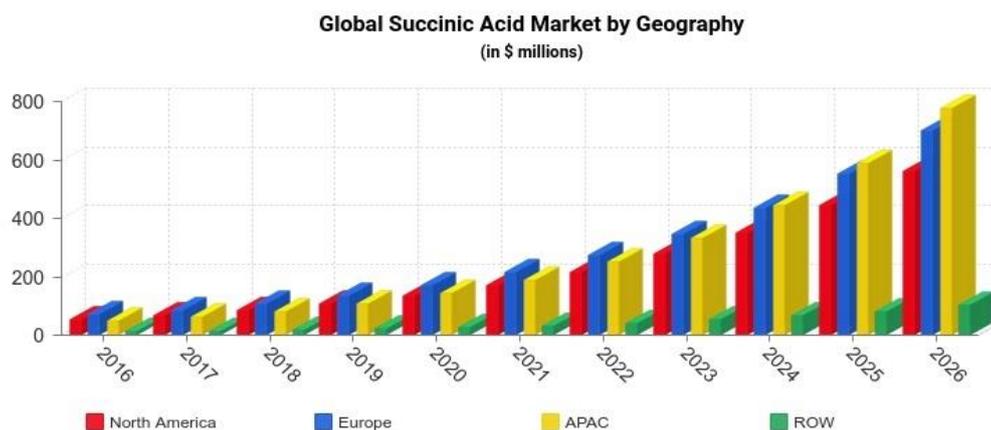


GRÁFICO 3.17: Mercado global de ácido succínico.

Fuente: Ink Wood Research.

El creciente alcance de la aplicación en lubricantes, pigmentos, productos para el cuidado personal y colorantes alimentarios impulsará aún más el mercado. También se espera que la creciente consciencia sobre los beneficios del uso de productos químicos de origen biológico en la industria de envases y alimentos impulse la demanda. Además del uso extensivo de bio-succínico para reducir las huellas de carbono junto con un apoyo regulatorio favorable para aumentar la conciencia sobre los peligros asociados con el empleo de productos químicos a base de petróleo aumente aún más el crecimiento del mercado.

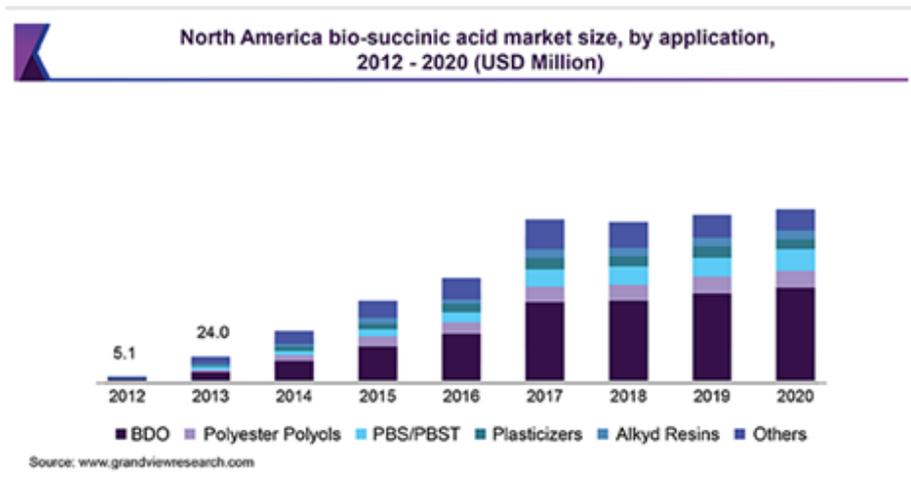


GRÁFICO 3.18: Tamaño del mercado de ácido succínico de América del Norte, por aplicación.

Fuente: Grand View Research.

El aumento de la conciencia sobre el agotamiento de las reservas de petróleo crudo y los peligros del exceso de CO₂ en el aire también impulsan la demanda de productos químicos de base biológica.

La mayor conciencia sobre los peligros del PET derivado sintéticamente en las economías desarrolladas de América del Norte y Europa generará una mayor demanda. Europa representó más del 45% de la participación del volumen global en 2013 y se espera que las regulaciones estrictas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 20% para 2020 aumenten el crecimiento del mercado durante el período de pronóstico, ya que se espera que esto impulse a las compañías a mirar para bio alternativas con bajas emisiones de CO₂ que los productos químicos a base de petróleo.

3.8 ANÁLISIS FODA

- Fortalezas (interno)
 - Mercado creciente por ser producto con un alto valor comercial.
 - Producto de alto costo proveniente de materia prima de bajo valor comercial.
 - Con usos en la fabricación de resinas sintéticas y polímeros biodegradables.
 - Tienen un alto valor comercial y pueden ser base para futuras biorrefinerías.
 - Implementación de una ruta bioquímica para la producción del ácido succínico, por encima de la ruta química tradicional derivada del petróleo.
 - Utilización de los subproductos del proceso, ya sea reutilizándolos en el mismo, o dándoles un aprovechamiento económico a través de su venta.
 - Calidad del producto por encima de los estándares mínimos exigidos.



- Equipos de alta tecnología con personal altamente capacitado para su operación.
 - Cercanía de materias primas tanto nacional como en Latinoamérica.
 - Oportunidades (externo)
 - Crecimiento de conciencia social en cuanto a los gases invernadero y recursos no renovables.
 - El tamaño del mercado para el cual se puede comercializar el ácido succínico superó los 400.000.000 USD a inicio de siglo, y ha venido en aumento.
 - El ácido succínico derivado de la fermentación tiene el potencial de convertirse en un commodity capaz de reemplazar muchos commodities de origen petroquímico.
 - Existe una amplia gama de especialidades químicas para las cuales el ácido succínico puede presentar utilidad.
 - Las tendencias innovativas se han enfocado en el desarrollo de procesos a partir de materias primas renovables, por lo que la producción de ácido succínico se podría potencializar.
 - En la actualidad la industria argentina no cuenta con una planta de producción de ácido succínico, por lo que la empresa sería pionera en este mercado.
 - Debilidades (interno)
 - Son tecnologías que requieren gran inversión, alta capacidad de producción y estricto control para asegurar su funcionalidad y rendimiento.
 - Mercado especializado, su principal uso es como precursor de otros productos de uso limitado.
 - Posibles costos elevados de producción, tanto en los equipos requeridos, como en algunas de las materias primas.
 - Disponibilidad continua de las materias primas biológicas necesarias para el proceso.
 - Al ser una planta y una empresa de producción nueva, el reconocimiento en el mercado (nacional e internacional) es nulo.
 - Amenazas (externo)
 - Tecnologías no muy optimizadas para disminuir el costo de producción, frente a la competencia de la vía a través del petróleo.
 - La competencia de la empresa en su gran mayoría produce el ácido succínico a través de una ruta química, que resulta muy económica.
-



- Las ventas del ácido succínico producido a través de la ruta química son en la actualidad mucho más grandes que las ventas realizadas del producto derivado de la ruta bioquímica.
- El producto puede no competir en precio con empresas establecidas en otros países a las cuales se puede exportar el producto.
- La inversión inicial para montar la planta podría llegar a requerir un capital bastante elevado.
- Situación económicamente inestable del país.

3.9 DATOS ESTADÍSTICOS MUNDIALES

- El mercado de plastificantes es el mercado direccionable más grande para el ácido bio-succínico, siendo un reemplazo potencial para el anhídrido ftálico y el ácido adípico en la fabricación de plastificantes.
- Europa fue el mayor mercado de ácido bio-succínico en 2013, representando el 49% del consumo global. La región ha sido testigo de una mayor preferencia hacia el uso de materiales de base biológica que se espera que sea un motor clave para el crecimiento del mercado del ácido bio-succínico.
- Se espera que Asia Pacífico sea el mercado regional de más rápido crecimiento, con un CAGR estimado de 33.9% de 2014 a 2020. Se espera que la creciente industria de aplicaciones en países como India y China sea el consumidor clave de ácido bio-succínico en el próximo seis años. Además, el alto costo de los productos derivados del petróleo es un factor importante que contribuye al desarrollo de productos biológicos en la región.



3.10 INFORMACIÓN GRÁFICA

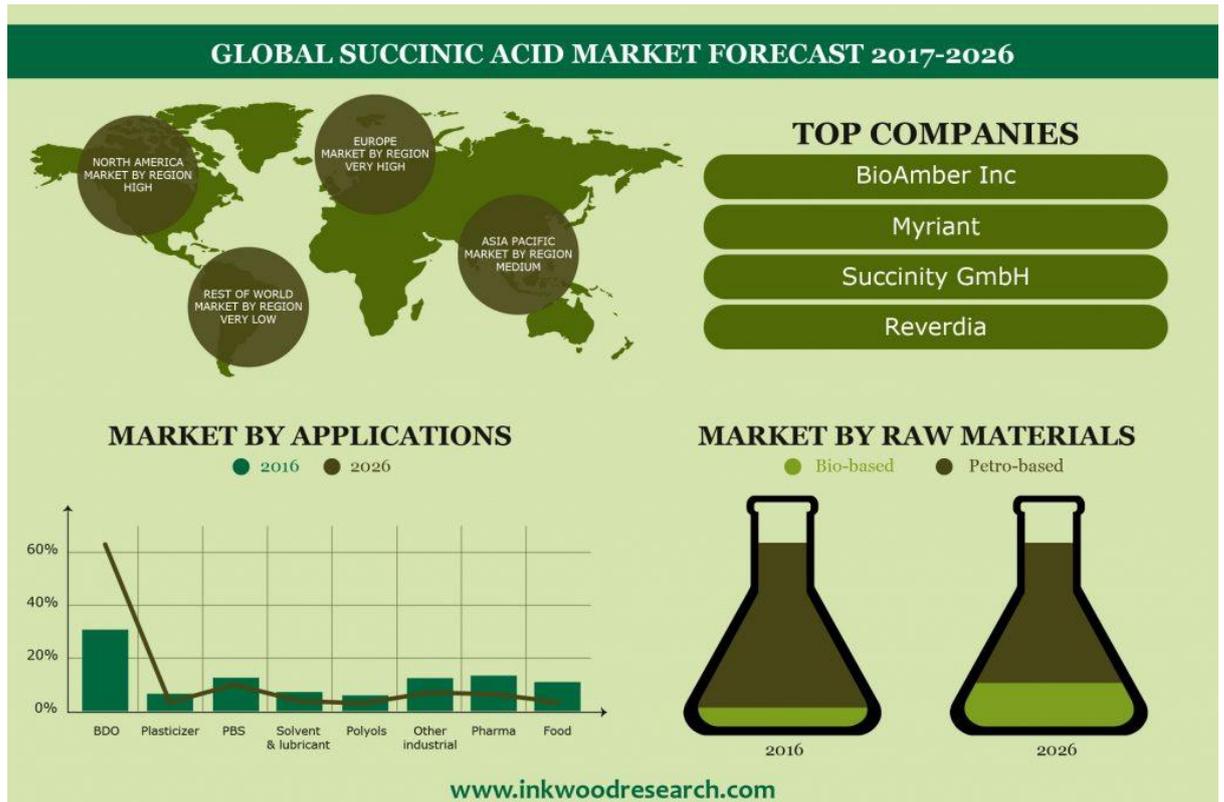


FIGURA 3.2: Previsión del mercado mundial de ácido succínico para 2017-2026.

Fuente: Ink Wood Research.

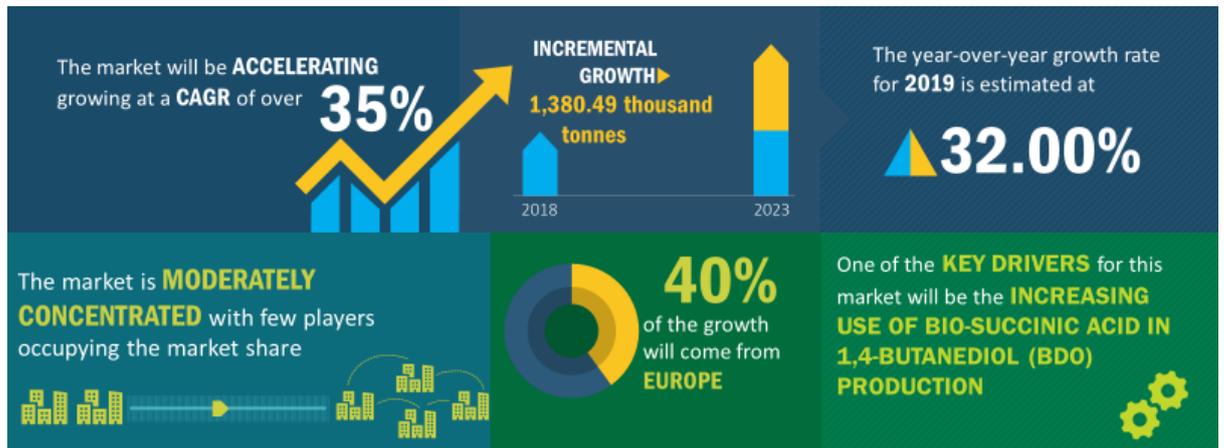


FIGURA 3.3: Previsiones del mercado del ácido succínico.

Fuente: Technavio.



FIGURA 3.4: Mercado global del ácido succínico.

Fuente: Visually



3.11 CONCLUSIÓN

De acuerdo al estudio de mercado que se pudo analizar en las situaciones socioeconómicas del mundo referido a lo que es el ámbito de producción del ácido succínico, se puede concluir que se trata de un producto en pleno crecimiento a nivel mundial, a través de su ruta biológica, con consecuencias meramente favorables a lo que son las nuevas tendencias de mercados productores de compuestos amigables al medio ambiente.

Como se nombró con anterioridad, hoy en día Argentina no participa de este mercado ya que no hay plantas productoras del mismo, por lo que se propone que la elaboración de ácido succínico es una prometedora oportunidad tanto a nivel nacional como internacional, poniendo a Argentina en un puesto de competencia futuro en Latinoamérica.

Desde el punto de vista de factores positivos y negativos se puede concluir que el mercado es prometedor, ya que como se menciona anteriormente es un producto que se generaría por un camino biológico, iniciando en este caso desde la glucosa, la cual se obtiene de un elemento renovable como es el maíz, sin dejar de lado que nuestro país es un gran abastecedor de granos en el mercado mundial, por lo que producir a partir de él es una manera de poder seguir sumando valor agregado a nuestra materia prima. Además, se debe mencionar que se cuenta con la disponibilidad de varios productores de glucosa, nuestro mayor insumo para la producción, la cual se plantea adquirirla ya en estado líquido, con la esperanza de lograr en un futuro no muy lejano, obtenerla de manera propia a través de la manipulación y procesamiento del grano de maíz.

Para finalizar un factor importante que nos impulsa a seguir con la idea de ser pioneros en la producción de ácido succínico en Argentina es que los números de importaciones y exportaciones del producto en el país nos dejan a la vista un saldo de demanda insatisfecha que se podría cubrir con nuestro abastecimiento nacional. La demanda nacional fue aumentando con el paso de los años, pero nuestro horizonte no está solo en Argentina, sino que se proyecta conseguir insertarnos en el mercado internacional de nuestros países limítrofes, extendiéndose por América del sur, siempre y cuando nuestro producto e industria esté a la altura de poder competir con los fuertes productores de ácido succínico, como lo son EE. UU y China.

En un comienzo el proyecto está basado en una producción media, con el objetivo principal de cubrir la demanda nacional y cubrir parte de la demanda de Brasil mediante exportaciones a dicho país.



CAPÍTULO 4
LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA



4.1 INTRODUCCIÓN

Es necesario para todas las empresas analizar y estudiar el sistema de capacidad que pueden implementar, todo esto con el fin de poder abarcar la mayor cantidad de demanda, optimizando las utilidades para la empresa y con el tiempo contemplar la posibilidad de expandirse, para poder aumentar su mercado y brindar un mejor servicio de calidad y satisfacción de necesidades a la mayor parte de la población consumidora del producto.

Un factor determinante para el éxito del proyecto es la localización adecuada de la planta industrial, por lo que, la decisión acerca de la ubicación de la industria responderá a criterios económicos y estratégicos para seleccionar el sitio idóneo que posibilite obtener la materia prima, producir y distribuir el producto con el menor costo posible.

Un método útil para acortar el número de lugares posibles de ubicación de la planta, sobre los cuales hay que hacer un estudio final intenso, es el llamado procedimiento de Cribado. Con este método pueden seleccionarse ya las regiones sobre las que se aplica un segundo método lógicamente semejante, pero algo distinto, para evaluar comparativamente los diferentes sitios y determinar las zonas sobre las que se intensificará el estudio. Este es el llamado método de Puntuaciones Ponderadas.

4.2 LOCALIZACIÓN

La decisión relativa a la localización consiste en elegir racionalmente un sitio o una región que favorezca la rentabilidad de las operaciones. La importancia de esta decisión ha aumentado con el desarrollo económico, tecnológico, urbano y social.

La localización de planta debe satisfacer tanto necesidades físicas de producción (terrenos, servicios de transportes, consideraciones financieras, etc.), como los deseos del empleado (clima, medios de la comunidad, recreación, proximidad al domicilio, etc.).

Sin embargo, la pregunta relacionada con la ubicación se encuentra más vinculada con dos imperativos de competencia los cuales son:

1. La necesidad de producir cerca del consumidor como consecuencia de la competencia basada en el tiempo, los acuerdos comerciales y los costos de envío.
2. La necesidad de ubicarse cerca de la reserva de trabajadores, adecuada para aprovechar los bajos costos salariales o la alta capacidad técnica.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Por ende, muchos los factores que intervienen en la decisión de la localización óptima de la empresa entre los cuales se encuentran:

- Cercanía a las fuentes de materia prima.
- Ubicación del mercado consumidor.
- Impuestos y servicios públicos.
- Ubicación de la competencia.
- Mano de obra calificada.
- Medios de transporte.
- Acceso a terreno.

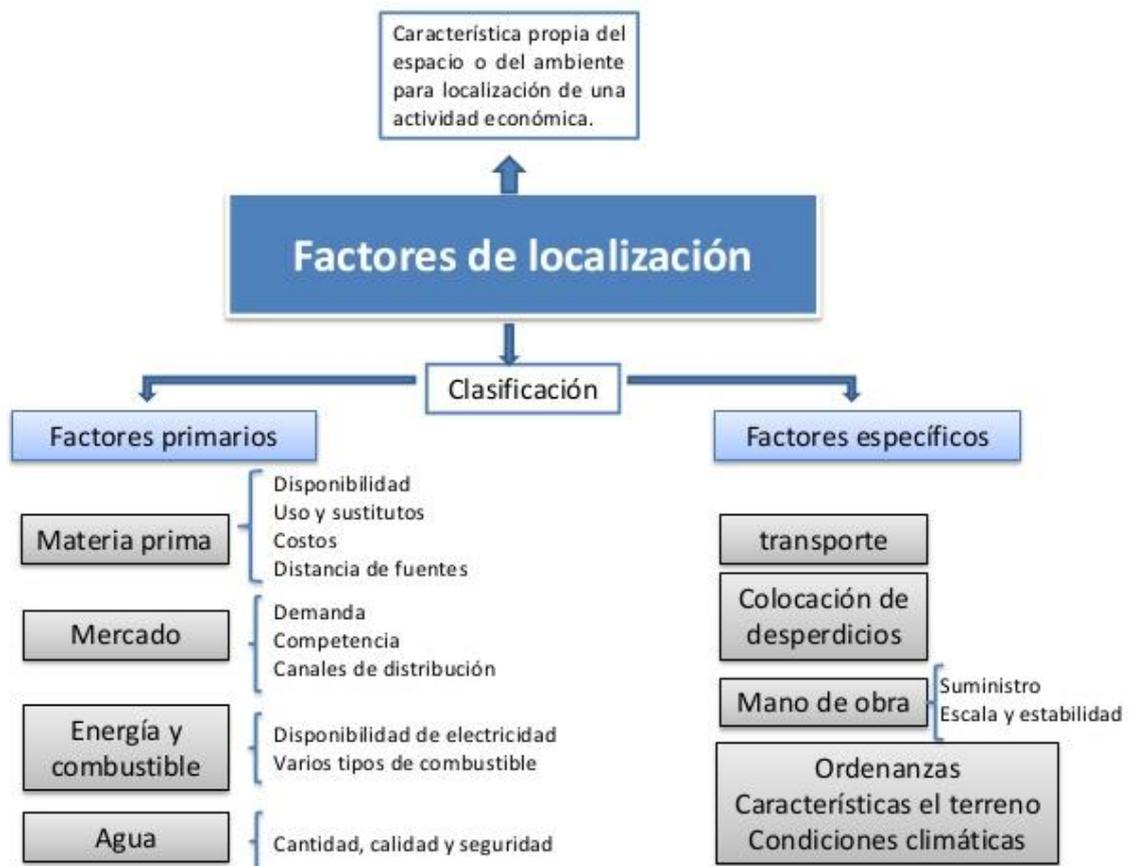


GRÁFICO N° 4.1: Factores que intervienen en la localización del proyecto.

Fuente: <https://es.slideshare.net/vapp05/mapa-conceptual-factores-de-localizacin>.

Estos factores pueden clasificarse en 3 grupos. En las primeras categorías, los factores tangibles son relativamente fáciles de cuantificar; mientras que otra categoría es de tipo cualitativo:



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

A. Factores que favorecen el costo Mínimo:

El problema de la localización puede abordarse buscando reducir al mínimo los costos de implantación relativo al sitio. Estos pueden dividirse en:

Costos Totales: Elegir un sitio con el mínimo costo total incluye costos regionales, de distribución de entrada y de distribución de salida. Los costos de terreno, construcción, mano de obra, impuestos y energía conforman los costos regionales.

Infraestructura: La transportación adecuada por tierra, ferrocarril, aire y mar es vital. Los requerimientos de energía y telecomunicaciones también deben cumplirse.

Costos de producción: Estos comprenden el costo de transporte (materia prima y producto terminado) y el costo de fabricación (mano de obra, materia prima y administración)

B. Factores para una rentabilidad máxima:

Este enfoque difiere de la anterior en que se basa en el estudio detallado del mercado. Por tanto, el análisis se refiere a la población (densidad, capacidad de compra y gustos y preferencias), el potencial del mercado y la competencia. Este es el enfoque de mercadotecnia, el cual se usa generalmente para el estudio de la localización de las empresas terciarias.

Proximidad a los Clientes: La proximidad también ayuda a garantizar que las necesidades del cliente se incorporen en los productos que diseñan y fabrican.

Proveedores: La cercanía de importantes plantas de suministros competitivos y de alta calidad hacen que la ubicación de la planta sea adecuada.

Zona de Libre Comercio: Una zona de comercio extranjera o zona de libre comercio (Bajo supervisión de la aduana) puede facilitar la introducción de productos extranjeros sin necesidad de someterse a los requisitos aduanales acostumbrados. Las compañías de manufacturas en las zonas de libre comercio pueden emplear componentes importantes en el producto final y demorar los pagos de los derechos aduanales hasta que el producto se envíe al país anfitrión.

Bloques Comerciales: Son acuerdos que influyen en las decisiones relacionadas con la ubicación, dentro y fuera de los países del bloque comercial. Las empresas normalmente se instalan o reinstalan dentro de un bloque para aprovechar las ventajas relacionadas con nuevas oportunidades de mercado o bajos costos totales que ofrece el acuerdo comercial o en caso subsecuente con el fin de no quedar marginadas de la competencia en el nuevo mercado.

Ventaja Competitiva: Se genera en una base principal donde se diseña una estrategia; se crea el producto principal y la tecnología del proceso, y se produce el volumen esencial de la



producción. Una compañía debe trasladar su base principal a un país que estimule la innovación y proporcione el mejor ambiente para la competitividad global. (o sea sus climas comerciales fomentan la innovación y la producción a bajo costo).

C. Factores intangibles:

Estos son los que afectan indirectamente a los ingresos y los costos de producción y son de tipo cualitativo:

Calidad de la mano de obra: Los niveles educativos y de capacidad de la reserva de la mano de obra deben corresponder a las necesidades de la compañía.

Riesgos Políticos: El escenario geopolítico que cambia rápidamente en muchas naciones convierte a la decisión de instalarse en dichas áreas en algo extremadamente difícil.

Normatividad Ambiental: Las normas ambientales que influyen en cierta industria en determinada ubicación deben tomarse en cuenta al decidir su instalación ya que implicaría costos e influencia en la relación con la comunidad.

Comunidad Anfitriona: Los intereses de la comunidad anfitriona, al localizarse la planta en sus inmediaciones constituyen una parte necesaria en el proceso de evaluación ya que ayudaría en forma más amplia el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad.

Grado de adhesión de un director de empresa a una región determinada: Las decisiones Políticas ocasionalmente pueden anular el análisis sistemático

Clima de los Negocios: Un clima de negocios favorable puede incluir la presencia de compañías en la misma industria, la facilidad de que el gobierno local pueda facilitar la ubicación de los negocios en un área a través de subsidios, reducción de impuestos y otros apoyos importantes relacionados.

4.3 POSIBILIDADES FUTURAS DE LA ECONOMÍA

Importancia de lograr una adecuada localización

La importancia de esta decisión ha aumentado con el desarrollo económico, tecnológico, urbano y social, siendo las razones que hacen del problema de la localización uno de los más importantes para la empresa, las siguientes.

- Dificultad del cambio de localización: Una máquina mal colocada puede ser reubicada sin gran dificultad y con una demora razonable. Sin embargo, no sucede lo mismo con una fábrica, puesto que su reacomodo exige trabajo y gastos a largo plazo de magnitud considerable. Además, los problemas administrativos y operacionales de un reacomodo son



tan complejos que, frecuentemente, las empresas prefieren hacer frente a los inconvenientes de la decisión inicial.

- Consecuencias a largo plazo: Entre los problemas que generan una mala decisión de localización pueden citarse el alejamiento del mercado clave, las dificultades de aprovisionamiento de materia prima o de servicios, la disponibilidad de la mano de obra calificada, etc. Estas dificultades prevalecen en el largo plazo y terminan por dañar seriamente la rentabilidad de la empresa.

- Influencia directa de los costos de producción: Muchas empresas se ven amenazadas por la quiebra o tienen una baja tasa de rentabilidad a razón de los elevados costos por una mala localización. En muchos casos, el costo de transporte de las materias primas y de los productos terminados es directamente proporcional a la distancia. También pueden atribuirse a la localización, los costos de mano de obra (salarios, prestaciones marginales, perfeccionamiento, etc.) y de energía.

4.4 MACRO-LOCALIZACIÓN

En este capítulo se realiza el análisis y la determinación de la zona geográfica o región en la cual el proyecto industrial posee mayor influencia con el medio o entorno, por lo que es importante describir sus respectivas ventajas y desventajas, y también sus características específicas.

Con respecto a la ubicación de la fábrica, el fin pretendido es la elección de un lugar que permita reunir los materiales necesarios, realizar los procesos de fabricación y entregar el producto a los clientes con el mínimo costo total posible.

Se planea ubicar a la planta industrial en territorio nacional, aprovechando la creciente demanda de ácido succínico, acompañado a esto, la enorme disponibilidad de glucosa, materia prima principal para la producción.

Los factores principales a la hora de determinar la ubicación del proyecto de producción de ácido succínico se describen a siguiente:

- Disponibilidad de materia prima.
- Disponibilidad de mercados o zonas de consumo.
- Disponibilidad de transporte.
- Disponibilidad de parques industriales.
- Disponibilidad de mano de obra.
- Disponibilidad de servicios.
- Calidad de vida (servicios educativos, de salud, culturales).



4.4.1 DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA

La cercanía a la materia prima es uno de los puntos más importantes. La materia prima fundamental para la producción de ácido succínico es el jarabe de glucosa. Es importante realizar un análisis de las empresas que dispongan del producto, en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos de planta. Además, el estudio se centra no sólo en disponer materia prima en calidad y cantidad, sino también en la distancia a la empresa proveedora del producto, o en disponer de medios de transporte para el abastecimiento, por lo que el costo se verá afectado por la distancia y cantidad transportada.

TABLA 4.1: Disponibilidad de la materia prima.

Fuente: Elaboración propia.

Disponibilidad de la materia prima		
Empresa	Localización	Nivel de producción
ARCOR S.A.	Córdoba	Bajo
CORDIS S.A.	Buenos Aires	Bajo
ARCOR S.A.	Tucumán	Moderado
EL BAHIENSE	Buenos Aires	Moderado
GLUCOVIL S.A.	San Luis	Moderado

4.4.2 DISPONIBILIDAD DE MERCADO O ZONAS DE CONSUMO

Nuestro producto puede ser comercializado en todo el país, debido a que es utilizado para diversos fines, que incluyen la industria alimenticia, producción de plastificantes para obtener PVC, producción de succinato de polibutileno, medicina, industria del vino, entre otros. Cabe aclarar que se destacan las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires debido a que en ellas se encuentra la mayor población. Sin embargo, en la provincia de Buenos Aires donde se encuentra un mercado mucho más amplio, siendo el principal destino del país.

Como se describió en el capítulo N°3, se exportará gran parte de la producción de ácido succínico a Brasil, por lo que también debe ser tenida en cuenta la distancia desde la planta productora hasta el paso fronterizo con nuestro país vecino.

Este factor es clave al momento de considerar las distancias del consumidor con las posibles localizaciones de la planta, debido a que influye de manera directa en los precios del transporte del producto.



4.4.3 DISPONIBILIDAD DE TRANSPORTE

La mejora de los transportes y el desarrollo de las tecnologías informáticas y de telecomunicaciones, está ayudando a la internacionalización de las operaciones y está posibilitando una mayor diversidad geográfica en las decisiones de localización.

La disponibilidad de rutas y vías de tren afecta a los costos de transporte, porque se tiene en cuenta al analizar tanto las distancias necesarias para llevar la materia prima a la planta, como para llevar el producto a la zona de consumo. Las provincias con mayor capacidad de transporte son Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, ya que en las mismas se concentran las principales industrias del país con necesidad de un transporte eficiente.

4.4.4 DISPONIBILIDAD DE PARQUES INDUSTRIALES

Los parques industriales son predios diseñados para la radicación de industrias y servicios para la industria. Disponen de infraestructura y servicios comunes favoreciendo el desarrollo de pequeñas y medianas empresas en el territorio nacional.

Otorgan ventajas como óptima ubicación, gran equipamiento del espacio con los mejores recursos, un amplio catálogo de servicios, infraestructura operativa necesaria, complementariedad productiva, mejores condiciones de seguridad, desarrollo de mercados intermedio de productos y servicios y la posibilidad de desarrollar economías de red que promuevan una mayor capacidad de innovación, absorción y difusión de nuevas tecnologías.

Actualmente, en Argentina hay aproximadamente 220 parques industriales, los cuales se distribuyen principalmente en Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos, Río Negro y Mendoza.

4.4.5 DISPONIBILIDAD DE LA MANO DE OBRA

La población argentina es de 44 millones de habitantes, donde la proporción de personas menores a 60 años es de 76,6%. La población se compone de 51,3% de mujeres y 48,7% de varones.

El 60% de la población argentina está concentrada en Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, y estas tres provincias representan el 22% del total de la superficie argentina.

4.4.6 BENEFICIOS FISCALES

En medio de la crisis, las pymes han resultado muy golpeadas, e incluso muchas de ellas debieron cerrar sus puertas. Existen sin embargo una serie de beneficios disponibles para este tipo de empresas.



Se trata de la formalmente bautizada Programa de Recuperación Productiva, la Ley 27264, que fuera sancionada a mitad de julio por las dos cámaras legislativas, "brinda a los trabajadores de las empresas adheridas una suma fija mensual remunerativa hasta el monto equivalente al salario mínimo, vital y móvil actualizado a la fecha de otorgamiento y por un plazo de hasta 12 meses, destinada a completar el sueldo de su categoría laboral, mediante el pago directo por ANSES.

BENEFICIOS DE LA LEY 27.264

ALIVIO FISCAL

- Eliminación del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta.
- Compensación del Impuesto a Créditos y Débitos Bancarios como pago a cuenta de Ganancias: 100% para micro y pequeñas empresas, y 50% para medianas tramo 1 industriales (Resolución General AFIP 3946).
- Diferimiento del pago del IVA a 90 días para micro y pequeñas empresas (Resolución General AFIP 3945). El organismo recaudador precisó que de acuerdo con el artículo 7 de la Ley 27264, ese sector de la economía "podrá ingresar el saldo resultante de la declaración jurada del Impuesto al Valor Agregado en la fecha de vencimiento correspondiente al segundo mes inmediato siguiente al de su vencimiento original", a partir de la facturación del impuesto desde el día de la publicación en el Boletín Oficial.

FOMENTO A INVERSIONES

- Desgravación del Impuesto a las Ganancias, hasta el 10% de las inversiones realizadas.
- Devolución de IVA de las inversiones a través de un Bono de crédito fiscal para el pago de impuestos.

MENOS RETENCIONES

- Se elevaron los umbrales de retención de IVA, en 135%, y de percepción de Ganancias, en 400 por ciento.
- Para las microempresas se otorgan certificados de no retención de IVA automático.

MÁS CRÉDITOS

- Se amplió el cupo prestable de la Línea de Créditos de Inversión Productiva del 14% al 15,5% anual. Un incremento que implicó \$63.000 y a su vez amplió al 50% el acceso al financiamiento de corto plazo.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

- A través del Banco de Inversión y Comercio Exterior (BICE), se lanzó la línea Primer Crédito Pyme a una tasa variable de 16% anual máximo y con un plazo de hasta 7 años, para montos entre \$500 mil y \$5 millones.

MEJORAS PARA EXPORTADORES

- Extensión de 180 a 365 días del plazo para el ingreso de divisas.

PYMES LOS BENEFICIOS DE LA LEY



RADIOGRAFÍA PYME

99% de las empresas en Argentina son PyMEs

70% del empleo nacional

Generan **4.2 millones** de empleos

GRÁFICO N° 4.2: PYMES y los beneficios de la ley.

Fuente: Infobae (18/10/2016).



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

CLASIFICACIÓN DE LAS PYMES

CATEGORÍA	CONSTRUCCIÓN	SERVICIOS	COMERCIO	INDUSTRIA Y MINERÍA	AGROPECUARIO
MICRO	12.710.000	6.740.000	23.560.000	21.990.000	10.150.000
PEQUEÑA	75.380.000	40.410.000	141.680.000	157.740.000	38.180.000
MEDIANA Tramo 1	420.570.000	337.200.000	1.190.400.000	986.080.000	272.020.000
MEDIANA Tramo 2	630.790.000	481.570.000	1.700.590.000	1.441.090.000	431.450.000

GRÁFICO N°4.3: Clasificación de las PYMES 2019.

Fuente: www.argentina.gob.ar.

4.4.7 RESULTADO DE LA PRIMERA SELECCIÓN

De acuerdo a los análisis realizados, considerando todos los aspectos tratados, y teniendo en cuenta principalmente la disponibilidad de las materias primas, transporte y sobre todo la disponibilidad de los mercados, se puede determinar que las provincias más aptas para la localización del proyecto son: Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe y San Luis.

Con respecto a la elección de nuestro proveedor de glucosa, materia prima fundamental para la producción del ácido succínico, se debe concluir que será Glucovil (de Villa Mercedes, San Luis) debido a que es, además, proveedor de otras empresas nombradas en la Tabla 4.1 y produce cantidades moderadas pero suficientes para suplir las necesidades de nuestro proyecto. Se descarta ARCOR de Tucumán por razones de mercado y a la planta localizada en Arroyito, porque no garantiza seguridad ya que cada cierta cantidad de meses realiza paradas de la planta por falta de ventas.

De las provincias mencionadas anteriormente, se deciden tener en cuenta Córdoba y San Luis debido a las cercanías con nuestro proveedor de materia prima principal y de mayor volumen, eliminando de esta manera a las provincias de Buenos Aires y Santa Fe de nuestra consideración.

En la siguiente tabla se detallan las distancias desde Glucovil a las posibles ciudades donde podría localizarse la planta. Cabe aclarar que la planta de Glucovil se ubica en la ciudad de Villa Mercedes, provincia de San Luis.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 4.2: Distancia de Glucovil a las posibles localizaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Localización	Distancia (km)
San Luis	95,6
Río Cuarto	125
Villa María	298,7
Rosario	538
San Lorenzo	542
Pilar	670

Otros factores que se tuvieron en cuenta para determinar la mejor ubicación de la industria fueron nuestros posibles consumidores, es decir, los puntos geográficos donde se distribuirá el producto en cuestión. Entre ellos, se va a hacer más hincapié en la provincia de Buenos Aires y la frontera ARGENTINA-BRASIL, teniendo ésta última mucha más importancia en la decisión siendo que los volúmenes de ácido succínico que se va a exportar al país vecino, son considerablemente mayores a lo que se destinan al mercado interno. Es por esto, que este parámetro, que relaciona las variables distancia, kilogramos de producto y costo del flete, nos indica a simple vista que la provincia que generaría menos egresos por flete, es el territorio de Córdoba (TABLA 4.3).

A través de estas deducciones, se decide situar la planta en un punto intermedio a lo que es nuestra fuente de materia prima principal y lo que son nuestros puntos de distribución, ya que si se tiene en cuenta el rendimiento de nuestro proceso, se generan 1,17 kg de producto por kg de glucosa consumida, cuya diferencia apoya a estar ubicados a una mayor cercanía de nuestros clientes, sin embargo, no es lo suficientemente grande como para alejarnos demasiado del proveedor de materia prima. Siendo la provincia de Córdoba la que se ajuste de una manera más eficiente a nuestras limitaciones geográficas, en donde los potenciales parques industriales que van a ser analizados bajo un estudio de ponderaciones son “Parque industrial de la ciudad de Villa María” y “Parque industrial de la ciudad de Río Cuarto”

En la tabla 4.3 se pueden observar los análisis realizados sobre las ciudades de Villa María, Río Cuarto y ciudad de San Luis. Se consideraron las distancias desde estos puntos a Buenos Aires, donde se encuentra principalmente el mercado consumidor, y también a Brasil, país donde se destinará gran parte de nuestra producción. Teniendo en cuenta que se producirán 1000 toneladas por año de ácido succínico, se realizó el producto de esta masa de ácido



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

producido por la distancia al punto de destino, observando claramente que las ciudades pertenecientes a la provincia de Córdoba son las que arrojan los resultados más favorables.

TABLA 4.3: Análisis del destino del producto final.

Fuente: Elaboración propia.

Producto final	Villa María	Río Cuarto	San Luis
Distancia a Bs As (km)	551,6	611,3	798,9
Producto km*tn	551600	611300	798900
Distancia a Brasil (km)	1356	1494	1715
Producto km*tn	1356000	1494000	1715000
Total (km*tn)	1907600	2105300	2513900

4.5 MICRO-LOCALIZACIÓN

Es la determinación del punto preciso donde se construirá la empresa dentro de la región, y en esta se hará la distribución de las instalaciones en el terreno elegido (Jerouchalmi 2003).

Se debe estipular si la localización debe estar en una zona urbana, encontrarse en un suburbio industrial o en un sitio rural. Una vez definida la zona o población de localización (macro localización), se determina el terreno más conveniente para la ubicación definitiva del proyecto.

La micro localización conjuga los aspectos relacionados a los asentamientos humanos, identificación de actividades productivas y determinación de centros de desarrollo. Selecciona y delimita con precisión las áreas en que se localizará y operará el proyecto dentro de la macro zona.

4.5.1 ELECCIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN

Método de Puntuaciones Ponderadas:

Este método consiste en ponderar de acuerdo a su importancia los factores que se deben tener en cuenta para la ubicación de la planta, de manera tal que la sumatoria de todas las ponderaciones se eleve hasta 1. Luego se le asigna una puntuación de cada región a cada uno de los factores, a base de porcentaje, representando 100 % la perfección con relación al factor considerado. Estos porcentajes se multiplican después por, las ponderaciones correspondientes cuyo resultado da idea del grado de perfección. Finalmente, la sumatoria de los grados de perfeccionamiento de todos los factores para cada región da un valor, el mayor



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

de ellos indica la región más adecuada. Esto conduce a una comparación cuantitativa de diferentes sitios.

Los lugares a comparar son:

- Parque Industrial, Logístico y Tecnológico Villa María.
- Parque Industrial Río Cuarto “Pte. Arturo Frondizi”

En la siguiente tabla se especifica el costo y tamaño de los lotes disponibles en los parques analizados.

TABLA 4.4: Lugares disponibles, tamaño de los lotes y costos.

Fuente: Elaboración propia.

Lugar disponible	Tamaño	Costo
Villa María	Desde 1041,50 m ²	22,65 USD/m ²
Río Cuarto	Desde 10000 m ²	35 USD/m ²

En la tabla 4.5 se detalla la distancia a la que se encuentra cada parque del proveedor de nuestra materia prima principal.

TABLA 4.5: Distancia de los parques industriales a Glucovil.

Fuente: Elaboración propia.

Ubicación	Distancia a Glucovil
Villa María	298,7 km
Río Cuarto	125 km

En la tabla 4.6 se detallan los servicios con los que cuenta cada parque considerado:

TABLA 4.6: Servicios de los parques industriales.

Fuente: Elaboración propia.

Servicios	Ubicación	
	Villa María	Río Cuarto
Infraestructura energía eléctrica	X	X
Infraestructura de gas	X	X
Infraestructura vial	X	X
Forestación del predio	X	X
Sistema de comunicaciones	X	X
Cerco perimetral	X	X



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Estacionamiento para camiones		X
Desagüe pluvial		X
Nomenclatura de las calles	X	X
Sistema de vigilancia	X	
Acuerdos con Universidades	X	
Calles internas en el predio	X	X
Alumbrado público	X	X
Subestación eléctrica	X	
Agua potable	X	X

Para decidir la mejor opción, se aplica el método de las puntuaciones ponderadas. Este se detalla en la siguiente tabla:

TABLA 4.7: Método de las puntuaciones ponderadas.

Fuente: Elaboración propia.

Factor	Ponderación	Villa María		Río Cuarto	
		%	Grado	%	Grado
Accesos provinciales y nacionales a la ciudad	0.35	80	28	70	24,5
Flete de materia prima	0.3	70	21	80	24
Disponibilidad de la mano de obra	0.1	90	9	80	8
Costo del terreno	0.2	90	18	70	14
Suministro de servicios	0.05	90	4,5	70	3,5
Total	1		80,5		74

De acuerdo a los análisis realizados, se decide localizar la planta en el Parque Industrial, Logístico y Tecnológico de Villa María. Si bien se encuentra un poco más lejos del proveedor que el Parque de Río Cuarto, este resulta más económico en cuanto a costos del terreno, como así también más completo en relación a servicios brindados. Está localizado en una zona donde pueden encontrarse muchas industrias, las cuales pueden ser nuestros futuros clientes, y también es muy importante destacar la gran disponibilidad de mano de obra y el valor que le brindan los convenios con las Universidades, que pueden aportar capacitaciones, investigación aplicada y desarrollo tecnológico. Otra de las ventajas importantes de la localización en Villa



María es la cercanía con la empresa proveedora de CO₂, componente clave para la fermentación.

4.6 INFRAESTRUCTURA PARQUE INDUSTRIAL DE VILLA MARÍA

- Infraestructura de energía eléctrica:

- Red de alumbrado público
- Red de electrificación del predio

Distribución en baja tensión

Distribución en media tensión

- Infraestructura de gas:

- Instalación planta reductora de presión
- Ramal de aproximación y alimentación
- Red de distribución interna

- Infraestructura de agua y cloacas:

- Red de agua, distribución interna
- Red de cloacas, distribución interna y conexiones
- Bombeo e impulsión

- Cordón cuneta y pavimento

- Infraestructura de telecomunicaciones

- Sistema de telecomunicaciones
- Sistema de video vigilancia
- Tendido de triducto – cruce de calzadas

- Cerco perimetral

- Casilla de ingreso

- Forestación del predio

- Subdivisión y mojones

- Pórtico de ingreso

- Puerto seco con aduana permanente

- Centro logístico



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

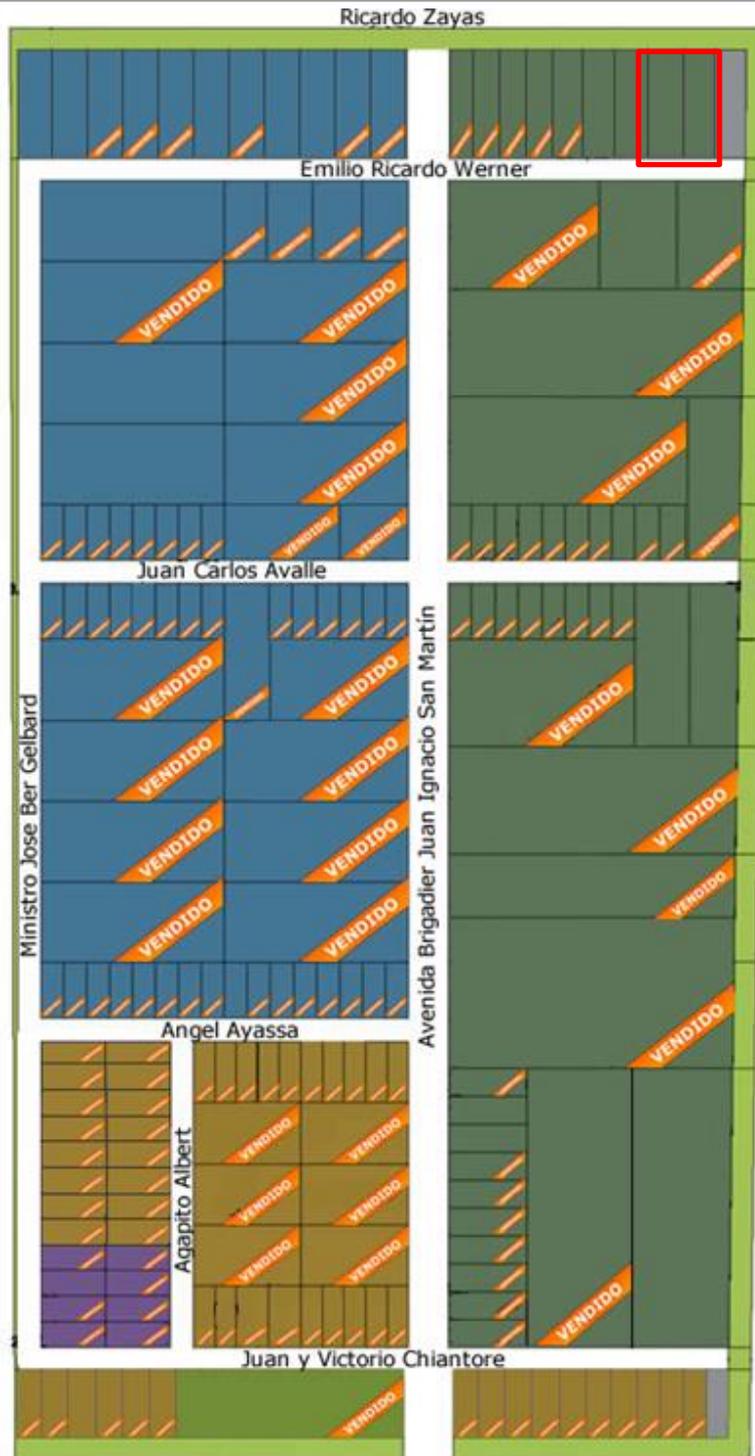


GRÁFICO N°4.4: Plano del Parque Industrial, Logístico y Tecnológico de Villa María.

Fuente: <http://pilt.com.ar/parque-industrial/>



4.7 PARQUE INDUSTRIAL

Los parques industriales surgieron en la década del 70 como una estrategia empresarial para compartir costos y mejorar la competitividad. En los últimos siete años, la actividad industrial creció un 70%, lo que impulsó como nunca antes la demanda de predios donde radicar industrias. Los parques industriales aportan una respuesta a esta necesidad, ya que además de un espacio físico ofrecen infraestructura, seguridad y la posibilidad de formar economías de red y ganar escala.

Estos parques permiten concentrar la inversión en infraestructura, facilitan la planificación urbana y garantizan una convivencia armoniosa entre el uso industrial y residencial de la tierra, teniendo la ventajas propias de los agrupamientos industriales, como la infraestructura, la complementariedad productiva, la posibilidad de desarrollar economías de red que promuevan una mayor capacidad de innovación, absorción y difusión de nuevas tecnologías y al mismo tiempo generar economías de escala que facilitan la creación y acceso a políticas públicas, además de desarrollar mercados intermedios de producción y servicios, contando con mejores condiciones de seguridad.

Por otro lado, garantizan una efectiva protección recíproca entre la actividad industrial y los restantes usos posibles de la tierra, mejorando la extensión y el uso de los servicios públicos, permitiendo además una mayor protección del medio ambiente y también facilita a las empresas la adecuación a las normativas vigentes.

La dinámica de un parque industrial depende de tres factores

- El sector de actividad predominante.
- La forma en la cual se complementan y coordinan las actividades productivas.
- Funciones que cumplen los gerentes y equipos de gestión.

Estos últimos son los encargados de vincular a las empresas entre sí y con las universidades y centros tecnológicos, asegurando el acceso a información, políticas públicas, financiamientos y otro tipo de servicios de alto valor agregado.

4.8 IMPACTO SOCIAL

La expansión industrial ha alterado profundamente los sistemas sociales, creando nuevos bienes, diversificando los patrones de consumo, introduciendo nuevas necesidades, alterando las estructuras económicas, sociales y políticas y, fundamentalmente, acelerando el proceso de expansión económica a nivel mundial.



Es una realidad que la industria, sea cual sea su definición, se está convirtiendo en un actor clave en el desarrollo y desempeño dentro de cualquier sociedad, y no solamente en el aspecto económico. Ya que es evidente que, en cualquier comunidad, su llegada o creación tiene un impacto importante debido a que genera nuevos puestos de trabajo, además de favorecer ampliamente las políticas de gobierno por el aporte tributario que genera una, convirtiéndose en una organización con gran fuerza social y no únicamente económica.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible descansan en mucho en lo que hagan las empresas en el mundo, es cierto que también los gobiernos tienen mucho que hacer para lograr dichos objetivos, pero también es cierto que ellos solos no podrán hacer lo suficiente sino cuentan con el apoyo de las empresas. Y es en este aspecto cuando ya tienen una responsabilidad sustentable que incluye tanto la social como la ecológica. Teniendo la parte económica como el medio, no el fin, para lograr la plena sustentabilidad que se mencionan en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Dicho en otras palabras, las empresas tienen la responsabilidad social de ser económicamente viables para contar con los medios para alcanzar los Objetivos de Desarrollo, cumplir con los tres elementos que los sostienen, el económico, el ecológico y el social.

4.9 IMPACTO AMBIENTAL

El impacto directo de la industria sobre la naturaleza se produce básicamente por la ocupación del espacio, la utilización de los recursos naturales y la generación de residuos: desechos y contaminantes. De estos impactos, la contaminación es el aspecto que ha sido examinado más detalladamente, y no es raro encontrar opiniones en el sentido de que sería la única forma de impacto de la industria sobre el medio. Más aún, ciertos programas de industria y medio ambiente se limitan exclusivamente a dicha manifestación.

Este enfoque prevalece en los países industrializados, cuyos habitantes sufren los efectos de la contaminación directamente, efecto en muchos casos inmediato. El hombre común lo percibe en sus lugares de trabajo o en sus zonas de residencia.

Sin embargo, hay otro vínculo estrecho entre la naturaleza y la actividad fabril, y es el que está constituido por la utilización de los recursos naturales.

El impacto sobre el medio que provoca la extracción de los recursos naturales generalmente no es perceptible por el hombre y, a veces, no lo es ni siquiera para aquel que lleva a cabo la explotación de la naturaleza. Sin embargo, es obvio que tal extracción altera al ecosistema natural, produciendo cambios en su estructura y modificando su dinámica.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Por otro lado, los recursos naturales no son inagotables. Al menos no lo son en la dimensión temporal humana. El agotamiento de un recurso natural tiene un impacto negativo sobre el medio ambiente, pudiendo causar su colapso definitivo, que arrastraría con él al sistema social que depende de él para su subsistencia. Pero además tiene efectos graves sobre el proceso de desarrollo, al comprometerlo en el largo plazo.

Una de las características de la industria moderna ha sido su persistente tendencia al aumento de la escala de producción, con lo cual los impactos ambientales que produce tienden también a ser mayores.

Es difícil encontrar una concentración de recursos naturales tal que permita el desarrollo de la industria en la escala de la era moderna. Aun cuando los recursos provienen de diversas partes del globo, se procesan en su gran mayoría en los establecimientos fabriles ubicados en el centro del sistema mundial. De ahí la identificación de países desarrollados con países industrializados. Son también estos países los que consumen la mayor parte de los productos de la actividad industrial. Por lo tanto, el impacto de la utilización de los recursos naturales debido al desarrollo industrial se da fundamentalmente en los países en desarrollo, que conforman la periferia del sistema mundial. En consecuencia, serán estos países los primeros afectados por el agotamiento o el uso irracional de los recursos naturales. La industria, dentro de ciertos rangos y dependiendo del tipo de recurso requerido, podrá encontrar siempre fuentes alternativas, tal vez de menor calidad o ubicadas más desfavorablemente, pero estos factores en el corto y mediano plazo se traducirían sólo en incremento de costos, fácilmente trasladables a los precios. En cambio, el agotamiento del recurso produce un impacto irreversible sobre el ecosistema local y puede comprometer el proceso de desarrollo futuro del sistema social. Como tal agotamiento no tiene expresión monetaria, se tiende a ignorarlo y no se refleja explícitamente en el mercado.

La industria no requiere sólo recursos naturales, sino también espacio. La forma en que se va ocupando el espacio tiene efectos importantes en el sistema natural e, indirectamente, en el sistema social, sobre todo cuando esa ocupación se lleva a cabo a expensas de otros recursos y, muy en especial, de los terrenos agrícolas. La ocupación del espacio agrícola por establecimientos industriales significa no sólo un determinado impacto ambiental, sino también la pérdida del recurso tierra para la producción de alimentos. Por lo tanto, reduce las capacidades de sustentación del ecosistema natural frente a una población creciente.

Es por eso que conociendo todos los impactos que genera el desarrollo de una nueva industria, la mentalidad del proyecto es aportar desde la conciencia ambiental el uso responsable de los recursos naturales, basándonos en la producción de un compuesto químico



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

que originalmente se desarrolla a través de fuentes no renovables, y producirlo a partir de materia prima sustentable como lo es el maíz, el cual se encuentra en grandes capacidades de disponibilidad en nuestra región.

Por otro lado, se tomó la iniciativa de planificar el desarrollo en un parque industrial el cual se encuentra en estos momentos a una distancia considerable de la urbe poblacional de Villa María, con el objetivo de disminuir lo más posible la contaminación a la ciudad.

Además, es importante mencionar, que nuestro proceso productivo no se caracteriza en el grupo de elaboraciones con alto nivel de contaminación, ya que la idea principal es poder disminuir el consumo del petróleo, generando una ruta sustentable para un futuro no muy lejano.



4.10 CONCLUSIÓN

La localización de una industria, es un punto de partida de mucha importancia debido a que la inversión es muy grande y un error en las consideraciones o aspectos a tener en cuenta para su determinación pueden costar muy caros, llevando en muchas oportunidades a la quiebra proyectos que económicamente simulan ser rentables, sin embargo, no encajan en el mercado regional simplemente por su ubicación.

Es por esto que se concluye el desarrollo del presente capítulo cumpliendo con el objetivo de lograr a través de análisis cuantitativos y cualitativos la elección de la localización más adecuada de acuerdo a las preferencias económicas y de mercado que se plantearon para la instalación de la nueva industria productora de Ácido Bio-succínico en Argentina.

El resultado refleja una evaluación que tuvo como primera medida exponer varias opciones de ubicación repartidas por la región de mayor producción del país, considerando a cuatro de las provincias más productivas y descartando por beneficios geográficos una a una de las alternativas hasta llegar a elegir la ciudad de Villa María, en territorio cordobés. Siendo esta última una gran oportunidad de inversión, debido a los beneficios tanto provinciales como locales que se mencionan anteriormente, sin dejar de lado, que es un punto intermedio en nuestra ruta de mercado, minimizando de esta manera los costos de flete, los cuales en nuestro país representan un monto importante a considerar en el balance económico de la empresa.



CAPÍTULO 5
CAPACIDAD DE LA PLANTA



5.1 INTRODUCCIÓN

El capítulo de capacidad tiene como objetivo determinar el volumen de producción que tendrá la planta en un determinado periodo de tiempo, siendo uno de los aspectos fundamentales en el desarrollo del proyecto. El estudio de mercado provee información para la estimación de la demanda futura, que puede ser variable con el tiempo y que sirve como referencia para la determinación del tamaño de un proyecto. La capacidad también depende de la disponibilidad de materias primas, la tecnología disponible, el financiamiento y los equipos, y es muy importante definir el tamaño del proyecto ya que posibilita la determinación del monto de las inversiones y el nivel de operación que, a su vez, permitirá cuantificar los costos de funcionamiento y los ingresos proyectados.

El objetivo principal de este capítulo es escoger aquel tamaño de producción que pueda financiarse con mayor comodidad y seguridad, ofreciendo a la vez, de ser posible, los menores costos productivos y un alto rendimiento de capital.

5.2 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La importancia de conocer la capacidad del sistema de producción radica en que este conocimiento define los límites competitivos de la empresa. De manera específica establece la tasa de respuesta de la empresa a un mercado, su estructura de costos, la composición de su personal y la estrategia general de inventarios.

El sistema productivo puede ser planteado a largo, mediano o corto plazo, en donde el sentido de las decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo son de gran importancia para la capacidad.

En nuestro caso el desarrollo se logra a través de una determinación de producción a largo plazo, enfocándose en más de un año siendo a nivel estructural. Esto implica que requiere gran inversión y que su importancia es totalmente estratégica.

Planear adecuadamente la capacidad a largo plazo es vital, ya que junto a la inversión que requiere, también es determinante para demanda posterior. Debido a que, si la capacidad no consigue igualar el nivel de demanda, resulta insuficiente conllevando a la pérdida de competitividad, con la posibilidad de perder clientes, si su servicio es lento o si permite que entre la competencia al mercado, no pudiendo abastecer por su propia cuenta la demanda de mercado.

En cambio, si la capacidad es excesiva, tendrá elevados costos en el funcionamiento de la planta, por lo que es probable que la compañía tendrá que reducir precios para estimular la



demanda y volver a ser competitivos, subutilizar su personal, llevar un exceso de inventario o buscar adicionales, menos rentables, para seguir en actividad, tomando como última alternativa, frenar su producción temporalmente hasta disminuir su stock.

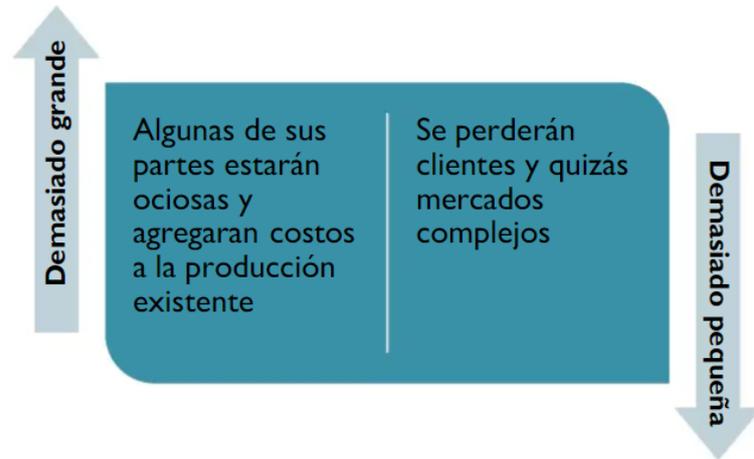


FIGURA 5.1 - Capacidad en función de la demanda.

Fuente: "Capacidad de planta" - Ing. Pereyra Salazar, Jorge.

5.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA PLANTA

- Instalaciones. La dimensión y previsión para expansión, así como los costes de transporte, distancia al mercado, oferta de mano de obra, fuentes de energía, etc. afectan directamente a la capacidad presente y futura de la planta.

- Productos. La estandarización de los componentes, la duración de la serie y la uniformidad de los productos favorecen la producción a gran escala y por tanto la capacidad de las plantas. Una producción muy diversificada que requiere procesos diferentes condiciona el crecimiento de las instalaciones en el mismo lugar físico.

- Proceso. Un proceso bajo control estadístico permitirá una mayor tasa de salida de productos de buena calidad, que en otro caso habría que reprocesar. A su vez, los procesos rígidos permiten un mayor volumen de producción que los procesos flexibles.

- Trabajadores. La cualificación de los trabajadores, el período de aprendizaje, la rotación en los puestos, así como la motivación también incide en la capacidad.

- Factores de producción. La política de inventarios y la calidad deseada para los productos afectan a la capacidad de la planta. No es lo mismo fabricar productos con una elevada calidad de diseños dirigidos a segmentos de elevado poder adquisitivo, que fabricar productos con un diseño estándar dirigido al mercado de masas.

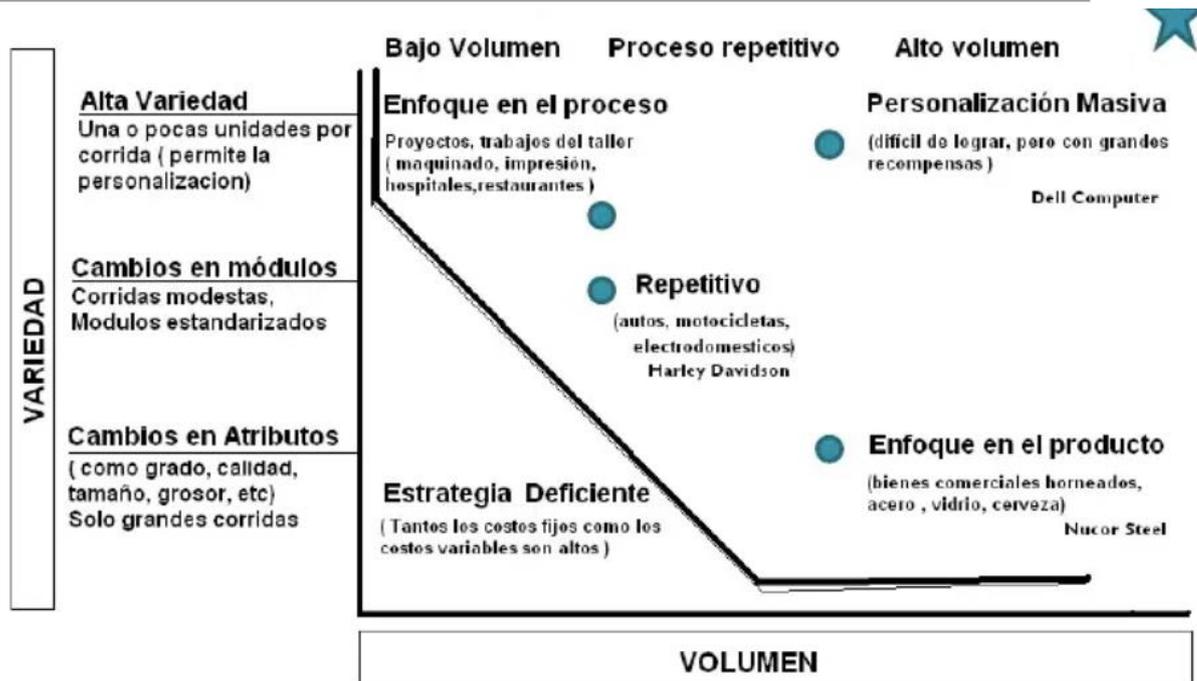


FIGURA 5.2 -Enfoque de producción.

Fuente: "Capacidad de planta" - Ing. Pereyra Salazar, Jorge.

- Fuerzas externas. Las políticas gubernamentales, las leyes que regulan las actividades de los trabajadores, la legislación medioambiental, los cambios en las necesidades del mercado, el nivel de ingresos y la concentración de los clientes condicionan asimismo la capacidad.

Sin embargo, la cantidad demandada proyectada a futuro es el factor condicionante de tamaño productivo más importante.

Para determinar la capacidad de la planta, se considera la demanda en función del estudio de mercado y se realizan proyecciones futuras de los datos analizados para que el tamaño sea adecuado a corto plazo y también para que se optimice frente al dinamismo de la demanda.

La distribución geográfica suele ser un factor a tener en cuenta, además de contar con conocimiento acerca de la disponibilidad de materias primas e insumos que puedan satisfacer la capacidad seleccionada.

Otros factores que deben considerarse son la relación entre tamaño, tecnología y equipos, debido a que siempre debe buscarse el mínimo costo de producción y una máxima rentabilidad. En términos generales se puede decir que la tecnología y los equipos tienden a limitar el tamaño del proyecto a un mínimo de producción necesario para ser aplicables.

Además, es importante contar con personal capacitado y disponible para todos los puestos que sean requeridos en la planta, y que los recursos financieros sean suficientes para suplir las necesidades de inversión.



5.3 DEMANDA DE ÁCIDO SUCCÍNICO

A partir del estudio de mercado que se realizó en el capítulo N°3, se obtiene la siguiente tabla, donde se observan los valores de la demanda insatisfecha del ácido succínico proyectada a 10 años. Cabe aclarar que estos valores corresponden a la demanda insatisfecha de Argentina sumado al 35% de la demanda insatisfecha de Brasil, ya que, como se dijo anteriormente en el capítulo N°3, se busca exportar para ampliar la capacidad de producción de la planta y de esta manera poder garantizar que el proyecto sea rentable.

TABLA 5.1: Proyección de la demanda insatisfecha.

Fuente: elaboración propia.

Año	Demanda insatisfecha (tn)
2020	1003,07
2021	1004,44
2022	1005,96
2023	1007,41
2024	1008,80
2025	1010,10
2026	1011,31
2027	1012,42
2028	1013,50
2029	1014,74

Con los datos obtenidos de la tabla 5.1, se realiza el siguiente gráfico, donde se representa el incremento de la demanda insatisfecha proyectada, entre los años 2020-2029. Los cuales fueron obtenidos a partir de la recopilación de valores presente en el capítulo 3 del proyecto.

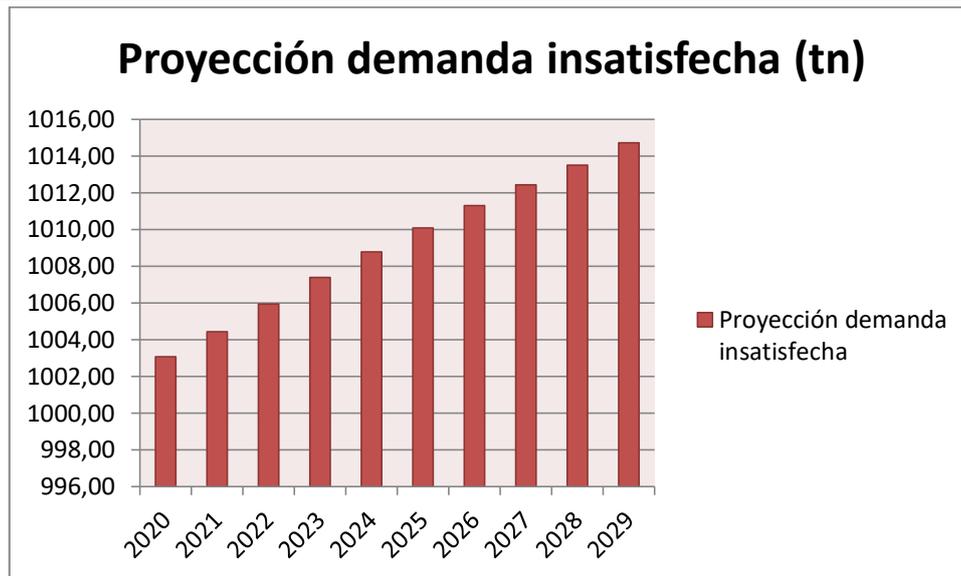


GRÁFICO 5.1: Proyección de la demanda insatisfecha del ácido succínico.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos obtenidos se puede calcular una tasa de crecimiento anual promedio de la demanda de ácido succínico en Argentina. Esta corresponde a $r = 0.00115659$.

5.4 DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ÓPTIMA EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA

Al proyectar la demanda esperada, se observa que crece año tras año, lo que indica que la producción debería crecer al mismo ritmo.

Ante esta situación, deberá llevarse a cabo una estrategia de ampliación definida previamente, para satisfacer el crecimiento de la demanda futura.

Mediante la ecuación 5.1 se calcula el número de periodos (años) en que se desarrolla el mercado desde que se inicia la producción de la empresa.

La demanda que se observa en el periodo en que el mercado llega a su desarrollo óptimo, corresponde al tamaño óptimo.

$$\frac{1}{R^n} = 1 - 2 \times a \times \left[\frac{1-a}{a} \right] \times \left[\frac{R-1}{R+1} \right]^{N-n} \quad (\text{Ec. 5.1})$$

Dónde:

R = Desarrollo porcentual de la demanda.

a = Exponente del factor de escala.

N = Vida útil de los equipos.

n = Periodo óptimo.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

El desarrollo porcentual de la demanda (R) es una función de la tasa de crecimiento estimada de mercado (r), que puede expresarse como:

$$R = (1 + r) \quad (\text{Ec. 5.2})$$

El valor del exponente del factor a, fue tomado del Boletín N°20 de la Organización de las Naciones Unidas "Industrialización y Productividad", cuyo valor para las industrias químicas, de alimentos, fármacos, petroquímicas y automovilísticas es 0.65.

Por último, la vida útil de los equipos (N) se estima en 10 años por convención.

A partir de estos datos, y utilizando la ecuación 5.1, se obtiene un valor del periodo óptimo aproximado, mediante un método de aproximaciones sucesivas, que corresponde a 9,155 años.

$$\frac{1}{1.00115659^2} = 1 - 2 * 0.65 * \left(\frac{1-0.65}{0.65}\right) * \left(\frac{0.00115659}{1.00115659}\right)^{10-n} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

$$n = 9.155 \quad (\text{Ec. 5.4})$$

Con el n óptimo calculado, se utiliza la siguiente ecuación para determinar el tamaño óptimo del proyecto D_n .

$$D_n = D_o \times (1 + r)^n \quad (\text{Ec. 5.5})$$

Dónde:

D_o = Magnitud del mercado actual.

D_n = Tamaño óptimo.

Del estudio de mercado se tiene que el valor de la demanda insatisfecha para el año 2020 es de 1003074,203 kg de ácido succínico, por lo tanto:

$$D_n = 1003074,203 \text{ kg/año} \times (1 + 0.00115659)^{9,155} \quad (\text{Ec. 5.6})$$

$$D_n = 1014000 \text{ kg/año} \quad (\text{Ec. 5.7})$$



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

De acuerdo con el desarrollo esperado del mercado, el tamaño del proyecto debe dimensionarse para satisfacer una demanda de 1014000 kg/año de ácido succínico. Este valor permitiría mantener al mínimo los costos totales durante la vida útil estimada. Sin embargo, por una cuestión de facilidad en cuanto al procedimiento en los próximos capítulos, sobre todo en balances de materia y cálculo de suministros necesarios para la producción, se recurre a generar un valor de producción redondeado. Es decir que el proyecto se llevará a cabo bajo el análisis productivo y económico de una capacidad de producción de 1000000 de kg/año de ácido succínico.



5.5 CONCLUSIÓN

Estudiar la capacidad de producción es necesario para toda empresa, con el fin de poder abarcar la mayor cantidad de demanda, optimizando las utilidades y a largo plazo contemplar la posibilidad de crecer o expandirse para poder aumentar su mercado, brindar un mejor servicio de calidad y satisfacción de necesidades a la mayor parte de la población consumidora del producto.

Desde nuestro análisis económico, podemos concluir que la industria se realizaría con una capacidad suficiente para poder satisfacer la demanda creciente del mercado argentino y aproximadamente un 35% de la demanda insatisfecha de Brasil. A largo plazo (10 años) proponemos alcanzar el nivel óptimo de producción que no permitiría mantener al mínimo los costos totales para el periodo de ejecución planificado, definiendo al valor de 1000000 kg/año (1000 toneladas) como la capacidad máxima de la planta, con la finalidad de cumplir con los datos estadísticos anteriormente calculados, sin dejar de lado, que si en el caso que el mercado siga creciendo favorablemente se pueda años futuros pensar o no en una posible ampliación de producción.



CAPÍTULO 6
SELECCIÓN DE PROCESO



6.1 SELECCIÓN DEL PROCESO

El ácido succínico, también conocido como ácido ámbar o ácido butanodioico, es un ácido dicarboxílico que tiene la fórmula molecular de $C_4H_6O_4$. Después de su primera purificación del ácido succínico de ámbar por Georgius Agrícola en 1546, se ha producido por microbios de fermentación para el uso en las industrias agrícola, alimentos y farmacéutica. En la actualidad, la mayor parte de ácido succínico se produce mediante un proceso químico, en el que el gas licuado de petróleo (GLP) o aceite de petróleo se utiliza como material de partida.

Análisis recientes mostraron que la producción fermentativa de ácido succínico es más rentable que los procesos a base de petróleo. En términos sencillos, la tecnología de producción de ácido succínico de base biológica consiste en una etapa de fermentación seguida de una etapa de purificación. Se han hecho muchos progresos en los campos de las tecnologías de fermentación y purificación utilizando cepas silvestres o mutantes de microorganismos productores de ácido succínico como *Actinobacillus succinogenes*.

6.1.1 OBTENCIÓN QUÍMICA DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Aunque hay varios métodos tradicionales para la obtención de ácido succínico de base no biológica, el mayoritario es la ruta petroquímica basada en la hidrogenación de anhídrido maleico. Algunos de los principales, son los siguientes:

- Separación de ácido succínico de una mezcla de diferentes ácidos.

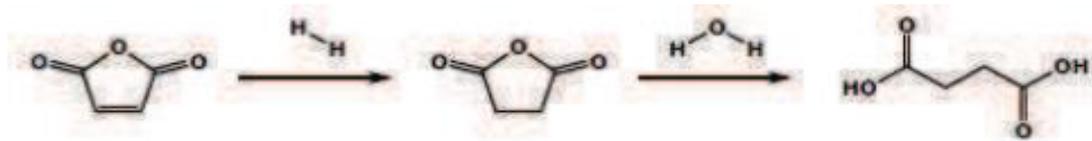
El ácido succínico puede ser producido como subproducto, formando parte de una mezcla de ácidos carboxílicos. La oxidación de la mezcla ciclohexanol/ciclohexanona con ácido nítrico produce ácido adípico como producto y una mezcla de ácido succínico y ácido glutárico como subproducto.

Otro ejemplo es la oxidación de hidrocarburos parafínicos con oxígeno, que produce ácidos carboxílicos de bajo peso molecular, entre los que se encuentran el ácido levulínico, ácido succínico, ácido glutárico y ácido adípico, además de otros compuestos orgánicos de alto punto de ebullición. El proceso de recuperación se compone de tres pasos: calentamiento de la mezcla pasando así el ácido succínico a anhídrido succínico; separación por destilación; y recuperación mediante cristalización o precipitación, seguido de filtración o centrifugación.

También se han llevado a cabo extracciones reactivas del ácido succínico de una mezcla con otros ácidos carboxílicos, empleando como agente extractor una amina terciaria.



- Hidrogenación de anhídrido maleico seguido de hidratación.



Anhídrido maleico → Anhídrido succínico → Ácido succínico

FIGURA 6.1: Ruta petroquímica de obtención del ácido succínico

Fuente: Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico y ácido láctico.

El proceso se lleva a cabo con una corriente que es una solución de anhídrido maleico (contiene xileno, pentano, hexano, etc. como disolventes) y otra corriente que está formada por hidrógeno. Ambas corrientes entran a un primer reactor de hidrogenación que opera a una temperatura entre 60-200°C y a una presión entre 1-10 MPa. El reactor consta de un lecho de catalizador de níquel, que utiliza como soporte $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. El gas que no ha reaccionado se mezcla con una corriente fresca de hidrógeno y es recirculado al reactor, mientras que la corriente líquida pasa por un intercambiador de calor donde se enfría, y va hacia una segunda etapa de hidrogenación en un reactor catalítico. Este reactor opera a temperatura entre 35-180°C y una presión entre 0,5-10 MPa. El gas y el líquido se separan de nuevo, obteniendo entonces anhídrido succínico, que si se somete a hidratación da lugar a ácido succínico. Se controlan las condiciones de reacción evitando así deposición o coquización causada por la polimerización de reactivo.

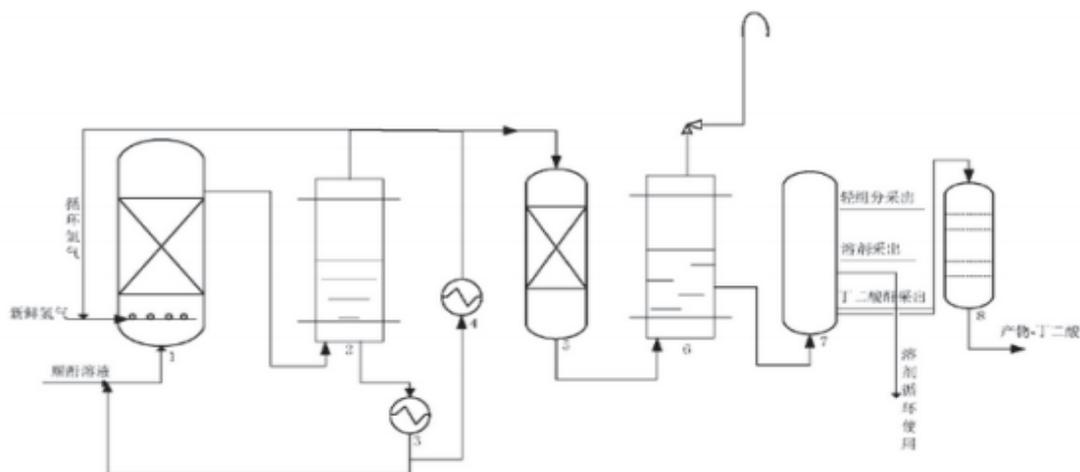


FIGURA 6.2: Diagrama de flujo de la producción petroquímica de ácido succínico

Fuente: Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico y ácido láctico.



- Síntesis electroquímica a partir de anhídrido maleico en una membrana dipolar.

La electroreducción del ácido málico es irreversible, y el proceso está controlado por la difusión de los electrones.

La reducción se lleva a cabo en acero inoxidable, empleando cobre y plomo como cátodos, entre los cuales se sitúa una membrana de intercambio iónico altamente conductora. Presenta como ventajas un elevado rendimiento, reducido coste, alta pureza y muy baja formación de residuos. Por ello, el ácido succínico producido por este método puede ser empleado en alimentación y farmacia.

- Producción a partir de acetileno, monóxido de carbono y agua

Se emplea como catalizador $K_2Ni(CN)_4$. Las reacciones se dan en medio alcalino, en un rango de temperatura de 60°C a 200°C y a una presión de al menos 30 atm.



FIGURA 6.3: Serie de reacciones para la producción de ácido succínico

Fuente: Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico y ácido láctico.

6.1.2 OBTENCIÓN BIOQUÍMICA DE ÁCIDO SUCCÍNICO

La obtención biotecnológica está adquiriendo gran importancia. Ello se debe a los continuos incrementos en los precios del petróleo, las mejoras en las tecnologías involucradas en fermentación y purificación, y sobre todo, al potencial de este compuesto como el futuro compuesto C_4 de partida en la química orgánica industrial. Además, el proceso emplea dióxido de carbono a modo de sustrato, un gas de efecto invernadero.

El primer paso que tiene lugar en un proceso de fermentación es la conversión de glucosa en glucosa-6-fosfato gracias a la enzima hexoquinasa. Seguidamente se obtiene fosfoenolpiruvato (PEP), el cual puede seguir dos rutas metabólicas dependiendo del nivel de dióxido de carbono presente en el ambiente. Con un adecuado suministro de dióxido de carbono, se favorece la producción microbiana de ácido succínico. Por el contrario, si no está presente en cantidad suficiente, la ruta metabólica da lugar a otros productos como formiato, etanol y acetato.

La reacción que tiene lugar es la hidrogenación para producir malato, el cual se convierte en fumarato por la enzima fumarasa con eliminación de una molécula de agua. A partir del fumarato se forma el succinato en forma iónica, que es su forma común para el rango de pH



típico en fermentación. Se puede formar ácido succínico cuando el ión succinato recibe un protón.

6.2 MICROORGANISMOS

Desde que Robert de Knock, ganador del Premio Nobel, ha demostrado que el ácido succínico tiene una influencia positiva en el metabolismo humano y no hay riesgo de su acumulación en el cuerpo humano, se ha utilizado en las industrias de alimentos. El ácido succínico es un intermedio del ácido ciclo tricarboxílico (TCA) y uno de los productos finales de fermentación de metabolismo anaeróbico. Por lo tanto, se sintetiza en casi todas las células microbianas, vegetales y animales. Esos microorganismos adecuados para la producción eficiente de ácido succínico se pueden clasificar en hongos y bacterias.

Entre ellos, *Anaerobiospirillum succiniciproducens* y *succinogenes actinomycetemcomitans* han sido estudiados con mayor intensidad debido a su capacidad de producir una cantidad relativamente grande de ácido succínico. Más recientemente, una nueva bacteria productora de ácido succínico (*Mannheimia succiniciproducens* MBEL55E) se aisló del rumen bovino. Además, ha habido mucho esfuerzo en el desarrollo de cepas recombinantes de *Escherichia coli* que son capaces de la producción de ácido succínico mejorada en condiciones aeróbicas y anaeróbicas.

Las vías metabólicas que conducen a la síntesis de ácido succínico son diversas. Algunas bacterias utilizan principalmente la reacción de carboxilación del ácido fosfoenolpirúvico (PEP), mientras que otros utilizan múltiples vías para formar ácido succínico. Muchas de las diferentes bacterias Gram-negativas productoras de ácido succínico se han aislado en diversos ambientes anaeróbicos tales como lodos domésticos, los residuos del ganado, arrozal, carcoma marinos, la boca del perro, rumen y gastrointestinal. Hasta la fecha, las bacterias aisladas del rumen, incluyendo *A. succinogenes* y *M. succiniciproducens*, son las mejores candidatas para la producción de ácido succínico, ya que lo generan como un importante producto de fermentación. Esto es más probable debido a que el rumen es un órgano altamente eficiente que provee un gran entorno para producir ácido succínico.

El rumen es un ecosistema microbiano único encontrado en muchas especies de mamíferos herbívoros conocidos como los rumiantes. La función principal del rumen es permitir la digestión pre-gástrica de varios materiales polisacáridos, que está mediada por una gran diversidad de microorganismos del rumen. La producción de ácidos dicarboxílicos C_4 en el rumen reduce la pérdida de energía asociada con la metanogénesis (30-40% en moles de CH_4



está presente en el gas ruminal) mediante el aumento de la cantidad de energía metabolizable a disposición del animal en la forma de ácido propiónico.

Aunque los compuestos dicarboxílicos C_4 , tales como oxalacética, málico, fumárico y succínico no se detectan en el fluido ruminal, grandes cantidades de estos ácidos son producidos por las reacciones de fijación de CO_2 , usando 60- 70% en moles de CO_2 presente en el gas ruminal. Los principales compuestos C_3 en la célula usada para la reacción de carboxilación son PEP y piruvato. En particular, el ácido succínico se convierte en ácido propiónico, que puede representar el 20% (w / w) de ácidos grasos volátiles totales (AGV) en el rumen, por la utilización de bacterias del ácido succínico como *Veillonella parvula*, *Selenomonas ruminantium* y *Succiniclasticum ruminis*. El ácido propiónico producido de esta manera se absorbe a través de la pared del rumen para la oxidación posterior para proporcionar energía y precursores biosintéticos para los animales. Por lo tanto, es razonable pensar que algunos microorganismos presentes en el rumen serán buenos productores de ácido succínico.

6.2.1 ESCHERICHIA COLI

Conocida comúnmente como *E. coli*, ha sido objeto de ingeniería metabólica de diversas maneras para la producción de ácido succínico. Es una bacteria caracterizada por su abundancia en la naturaleza y su pequeño tiempo de duplicación. Las herramientas de ingeniería genética son en este organismo más fáciles de aplicar y permiten diversos procesos de producción.

En condiciones aeróbicas, se produce acetato. En condiciones anaeróbicas, *E. coli* en su forma natural puede fermentar en glucosa, produciendo etanol, ácido fórmico, acético y láctico, con pequeñas cantidades de ácido succínico. El rendimiento del ácido succínico en glucosa no suele superar el valor de 0,2 mol/mol. *E. coli* es capaz de utilizar seis rutas diferentes para producir ácido succínico, y a diferencia de los otros microorganismos, en ella la enzima PEP carboxiquinasa juega un papel secundario.

Aunque las cepas de *E. coli* sometidas a ingeniería metabólica mostraron una capacidad notablemente mayor para producir ácido succínico en comparación con su cepa madre, el rendimiento general es inferior a los otros productores de ácido succínico; en particular, la formación de cantidades importantes de subproductos y la menor productividad de ácido succínico en comparación con los productores de ácido succínico natural, *A. succinogenes* y *A. succiniciproducens* son los principales problemas.



6.2.2 MANNHEIMIA SUCCINICIPRODUCENS

Es una bacteria anaerobia facultativa, capnofílica, mesofílica, Gram-negativa y similar a la *A. succinogenes*. Lleva a cabo el proceso de fermentación en una amplia variedad de sustratos, pero tiene como desventaja la auxotrofia que presenta (necesidad de vivir en presencia de una sustancia porque el organismo es incapaz de sintetizarla).

A diferencia de *A. succinogenes*, *M. succiniciproducens* lleva a cabo el ciclo de Krebs completo. Puede crecer eficientemente en condiciones aerobias o anaerobias. Su metabolismo da lugar a ácido succínico como producto mayoritario, y a los ácidos acético y fórmico como subproductos principales, en condiciones de flujo de dióxido de carbono y pH entre 6,0-7,5.

Se ha visto que es posible una producción económica y eficiente a través de un medio de fermentación basado en suero lácteo y que contenga licor de maíz en lugar de extracto de levadura. También puede emplearse xilosa, lo que hace posible el aprovechamiento de madera hidrolizada, reduciendo así el coste de materia prima. Esto sugiere que *M. succiniciproducens* puede ser un buen candidato para su empleo industrial en el aprovechamiento de recursos renovables.

6.2.3 SUCCINICIPRODUCENS ANAEROBIOSPITILLUM

Se trata de una bacteria anaerobia estricta, capnofílica, mesofílica, pleomórfica, Gram-negativa y un patógeno oportunista. La composición requerida de su medio de crecimiento indica que esta cepa es auxotrófica para muchos aminoácidos y vitaminas. En la mayoría de los casos se requiere extracto de levadura y peptona, que dan lugar a considerables valores de rendimiento y producción. Con ella se lleva a cabo el aprovechamiento de licor de maíz.

A. succiniciproducens fue aislada de la garganta y heces de los perros Beagle. Produce ácido succínico como producto mayoritario, y etanol y ácido acético como minoritarios bajo condiciones estrictamente anaerobias. Pertenece a la familia *Succinivibrionaceae*. Utiliza la carboxilación de fosfoenolpiruvato (PEP) para producir ácido succínico. Los factores ambientales críticos para la producción de ácido succínico y para el crecimiento del microorganismo son la presencia de dióxido de carbono, el pH, una fuente externa que proporcione electrones y diversos compuestos del medio.

El suministro de hidrógeno como donante de electrones incrementa tanto el rendimiento hacia el ácido succínico como la productividad. Se ha visto además que el suministro de biotina incrementa el consumo de glucosa.

Este microorganismo puede emplear como fuentes de carbono glucosa, glicerol, sacarosa, maltosa, lactosa y fructosa. Se ha visto que el uso de glicerol en lugar de glucosa da lugar a un



incremento en el rendimiento del ácido succínico, y un aumento de la selectividad respecto al ácido acético. También en este caso es posible el aprovechamiento de suero lácteo, licor de maíz, etc.

6.2.4 ACTINOBACILLUS SUCCINOGENES

Muestra una capacidad distintiva para producir una cantidad relativamente grande de ácido succínico a partir de una amplia gama de fuentes de carbono como la arabinosa, la celobiosa, la fructosa, la galactosa, la glucosa, la lactosa, la maltosa, el manitol, la manosa, el sorbitol, la sacarosa, la xilosa o la salicina en condiciones anaeróbicas. A diferencia de *E. coli* o *A. succiniciproducens*, *A. succinogenes* es un osmófilo moderado y tiene buena tolerancia a una alta concentración de glucosa, lo que es beneficioso para la fermentación. Se han realizado amplios estudios fisiológicos y genéticos relacionados con la producción de ácido succínico en *A. succinogenes*. Se determinó que cinco enzimas clave responsables de la producción de ácido succínico son la carboxiquinasa PEP (PCK), la malato deshidrogenasa (MDH), la enzima málica (SFC), la fumarasa (FUM) y el fumarato reductasa (FRD). Además, el análisis enzimático reveló la presencia de piruvato cinasa (pyk), piruvato ferredoxina oxidoreductasa (PFO), acetato cinasa (ACK), alcohol deshidrogenasa (ADH) y lactato deshidrogenasa (LDH), que afectan al flujo de ácido succínico en las vías metabólicas centrales. La carboxilación de la PEP, que es el importante paso comprometido para la producción de ácido succínico en las bacterias del rumen, está fuertemente regulada por los niveles de CO₂. Teóricamente, se requiere 1 mol de CO₂ para formar 1 mol de ácido succínico. El mayor nivel de CO₂ da como resultado un aumento de la producción de ácido succínico a expensas del etanol y el ácido fórmico. Esto se debe al aumento de la carboxilación de PEP a oxalacetato en lugar de la conversión de PEP a piruvato.

TABLA 6.1: Productividades de ácidos orgánicos expresadas en g/l-h para *Actinobacillus succinogenes* con diferentes fuentes de carbono.

Fuente: Producción de ácido succínico por *Actinobacillus succinogenes* con diferentes fuentes de carbono.

	Succínico	Fórmico	Acético
Glucosa	0.98	0.41	0.53
Fructosa	0.69	0.29	0.35
Manitol	0.44	0.16	0.13
Lactosa	0.85	0.23	0.68
Lactosuero	0.71	0.47	0.35
Extracto de hojas de agave	0.92	0.39	0.50



6.3 RUTA METABÓLICA

6.3.1 RUTA ANAERÓBICA

El ácido succínico es un intermediario del ciclo del ácido tricarboxílico (TCA) y uno de los productos finales del metabolismo anaerobio. Ello significa que es sintetizado por prácticamente la totalidad de las células microbianas, vegetales y animales. Ello quiere decir también que alternativamente a los procesos de síntesis química habituales a partir de materias primas petroquímicas, el ácido succínico puede ser también producido mediante fermentación a partir de carbohidratos.

Diferentes sustratos han sido empleados para producir ácido succínico, por ejemplo, fructosa, xilosa, arabinosa, lactosa, sacarosa, etc., así como subproductos de desechos lignocelulósicos, hidrolizados de maíz, hidrolizados de caña, lactosuero, bagazo de caña, sake, hojas de elote y melazas, todos ellos con resultados favorables.

En la siguiente figura se pueden observar las curvas que se obtienen empleando diferentes fuentes de carbono y cómo la glucosa presenta mejores rendimientos que los demás.

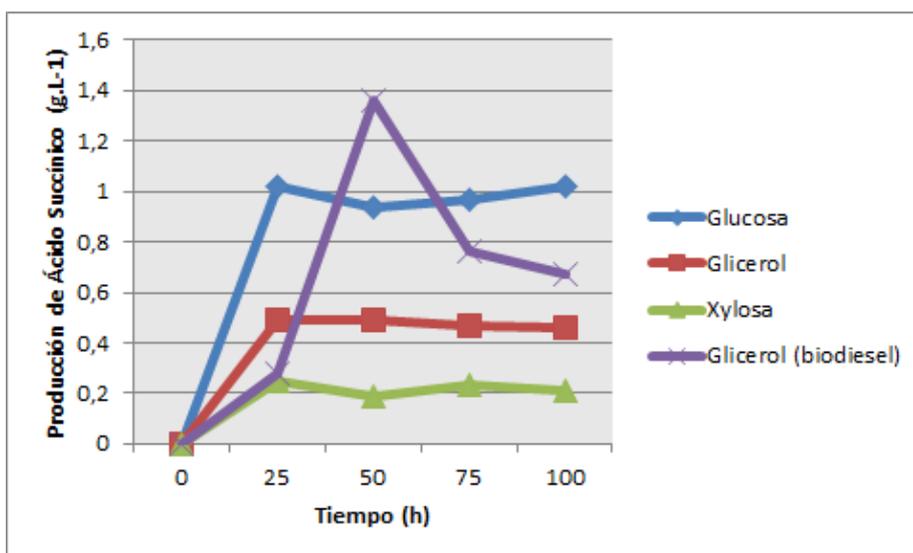


GRÁFICO 6.1: Producción de Ácido Succínico usando diferentes sustratos en condiciones anaerobias.

Fuente: Biotechnological Production of Succinic Acid by *Actinobacillus Succinogenes* Using Different Substrate.

Existen tres posibles rutas metabólicas para la producción de ácido succínico: la parte reductiva del ciclo del TCA, la parte oxidativa del ciclo del TCA, y el ciclo del glioxilato. El metabolismo por cualquiera de las dos últimas rutas conserva únicamente cuatro de los seis átomos de carbono de la glucosa inicial en el ácido succínico producido (los otros dos se pierden como CO₂). Por el contrario, la parte reductiva del ciclo del TCA produce dos moléculas



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

de ácido succínico por cada molécula de glucosa metabolizada vía glicólisis, en un proceso en el que fijan dos moléculas de CO_2 . Por tanto, a efectos de su producción industrial mediante fermentación es preferible emplear microorganismos que utilicen esta última ruta metabólica.

La ruta metabólica preferida de síntesis de ácido succínico (figura 6.4) parte del fosfoenolpiruvato (PEP) generado durante el metabolismo de los azúcares fermentables. El PEP es entonces convertido en oxalacetato por acción de cualquiera de dos enzimas alternativas, PEP carboxilasa o PEP carboxiquinasa, proceso en el que se fija una molécula de CO_2 . Posteriormente, el oxalacetato es reducido secuencialmente a malato, fumarato y succinato por las enzimas malato deshidrogenasa, fumarasa y fumarato deshidrogenasa, respectivamente. Como se ha indicado anteriormente, el balance de carbono indica una producción neta de dos moles de ácido succínico por cada mol de glucosa consumido. Sin embargo, el balance redox del proceso muestra que alrededor de un 15% del carbono debe ser desviado a través del ciclo del glioxilato para generar la cantidad suficiente de equivalentes de reducción. A consecuencia de ello el rendimiento teórico máximo de ácido succínico a partir de una molécula de glucosa es 1,71 (1,17 g por g de glucosa).

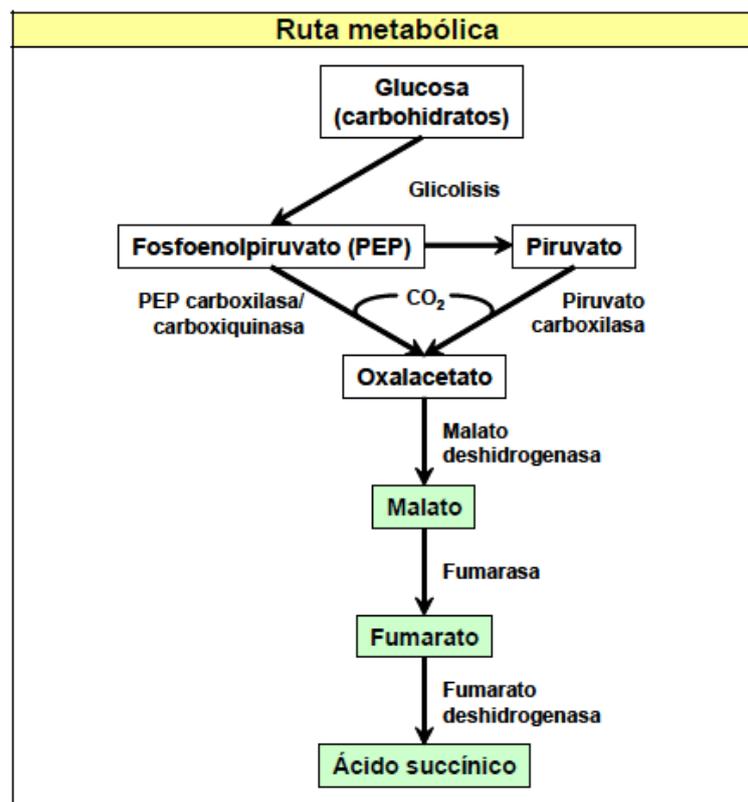


FIGURA 6.4: Ruta metabólica del ácido succínico.

Fuente: Tendencias en el uso de la biotecnología en el sector químico- Fedit.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Como se ve en la Figura 6.5, no se lleva a cabo un ciclo de Krebs completo. También se comprueba que la carboxilación del fosfoenolpiruvato, que es un paso muy importante en la formación de ácido succínico, está fuertemente regulada por los niveles de dióxido de carbono.

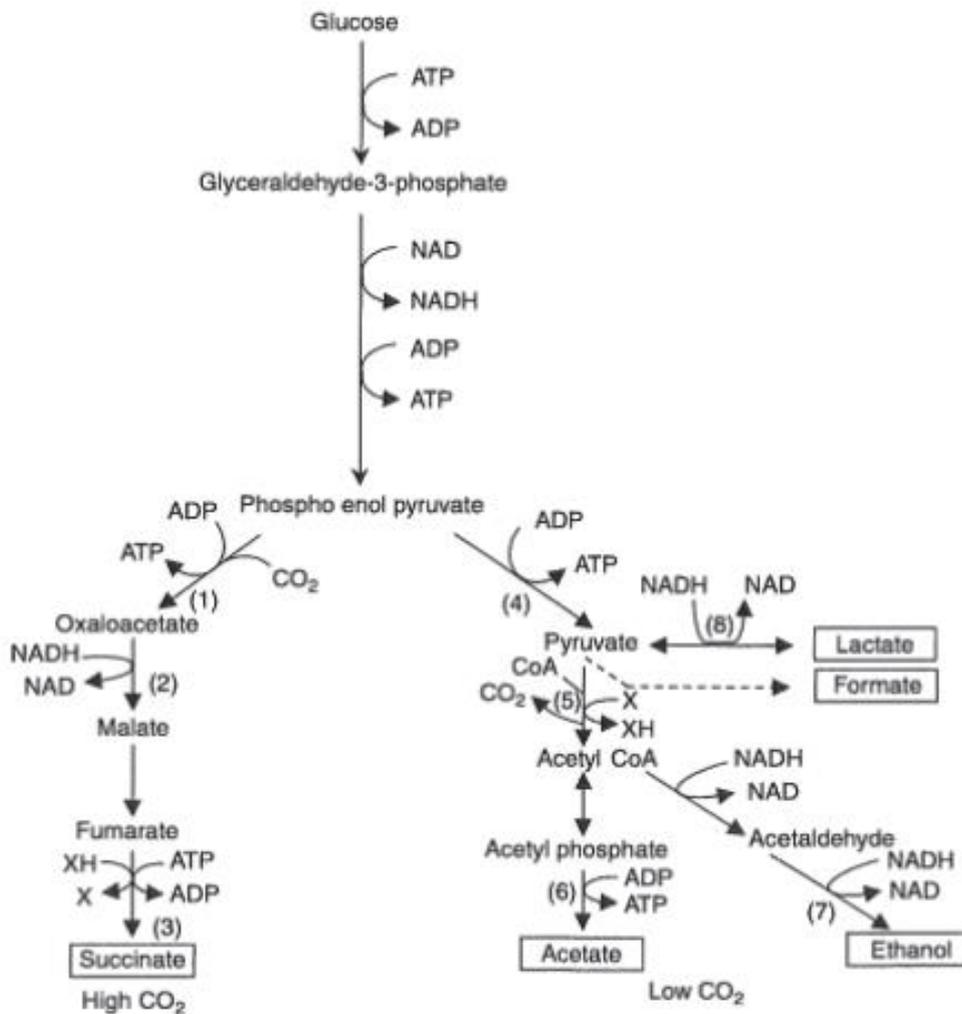


FIGURA 6.5: Ruta metabólica de fermentación de la glucosa en *Actinobacillus Succinogenes*.

Fuente: Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico y ácido láctico.

Teóricamente, se requiere un mol de dióxido de carbono para producir un mol de ácido succínico. Cuando hay altos niveles de este gas en el medio, tiene lugar un incremento en la producción de ácido succínico a expensas de etanol y ácido fórmico. Esto se debe a un incremento de la carboxilación del fosfoenolpiruvato (PEP) a oxalacetato en lugar de pasar a piruvato.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

La adición de donadores de electrones adicionales, como por ejemplo hidrógeno, también da lugar a un incremento en la concentración de ácido succínico. Es por ello, que el uso de azúcares más reducidos como arabitol, manitol y sorbitol da lugar a un incremento en la producción de ácido succínico y etanol en comparación con otros azúcares como la glucosa.

6.3.2 RUTA AEROBIA

En condiciones aerobias han demostrado que a partir de *A. succinogenes*, pueden obtenerse los mejores resultados utilizando glicerol. En la siguiente figura puede observarse el rendimiento que se obtiene usando diferentes sustratos en condiciones aerobias

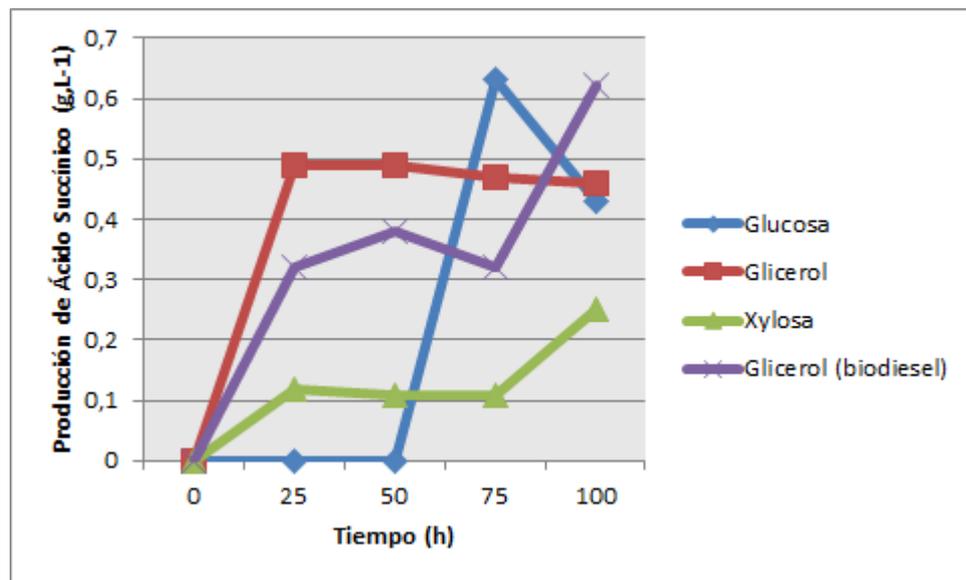


GRÁFICO 6.2: Producción de Ácido Succínico usando diferentes sustratos en condiciones aerobias

Fuente: Biotechnological Production of Succinic Acid by *Actinobacillus Succinogenes* Using Different Substrate

El aprovechamiento resulta interesante, pues obtenemos el producto deseado a partir de un subproducto de la fabricación del biodiesel, que además es de fácil almacenamiento, y que da lugar a un alto rendimiento. Estos estudios se hicieron en presencia de extracto de levadura, que elimina gran parte de las limitaciones asociadas al hecho de que se está metabolizando glicerol, que es una molécula altamente reducida. Se vio que la presencia de nitrato inhibe la producción de succinato por inhibición de la enzima fumarato reductasa, y que sin embargo la presencia de dimetilsulfóxido y condiciones microaeróbicas permiten altos rendimientos de succinato. Con microcultivos aeróbicos continuos, se obtuvo un rendimiento de succinato de 0,75 mol/mol glicerol, que es un 75% del máximo rendimiento teórico.



Sin embargo, las condiciones aerobias dan lugar a que el producto mayoritario sea ácido láctico, siendo escasos los estudios sobre la producción de ácido láctico por parte de *Actinobacillus succinogenes*. A pesar de ello, se ha determinado que un cultivo en doble fase permite alcanzar elevado rendimiento y producción de ácido láctico. Este cultivo se basa en un primer período de fermentación en condiciones aerobias seguido de un período anaerobio con flujo de dióxido de carbono. Mediante esta técnica se modifica la ruta metabólica desde el piruvato hacia el lactato.

Se ha visto que el suministro de dióxido de carbono y de medio buffer son de vital importancia en la producción de ácido láctico cuando se opera con una doble fase. Para controlar el pH se suele emplear carbonato de sodio durante el período aerobio, que sustituye al dióxido de carbono. Durante el período anaerobio con flujo de dióxido de carbono, una disolución de hidróxido de sodio es la encargada de mantener el pH en el valor deseado.

6.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN

Como se mencionó anteriormente la producción de ácido bio-succínico se logra a través de una fermentación bacteriana, por lo que inicialmente, para poder definir un proceso óptimo de desarrollo, se debe analizar un aspecto fundamental en este caso, que es la elección de una cepa bacteriana que asegure un rendimiento favorable para maximizar la obtención del producto. Es por esto que seguidamente se evalúan las cepas más reconocidas actualmente en la ruta biológica de la producción de ácido succínico por fermentación bacteriana, siendo evaluadas en diferentes medios de cultivos y condiciones de reproducción.

6.4.1 ENSAYOS DE BACTERIAS Y CONDICIONES

El proceso de producción de ácido succínico consiste básicamente en el cultivo de semillas, la fermentación, la recuperación del producto, la concentración y la purificación. En las tablas 6.2, 6.3 y 6.4 se pueden observar los resultados obtenidos utilizando distintas cepas de la bacteria, combinadas con diferentes medios de cultivo y variando las condiciones de operación del reactor. Dentro de las cuales se mencionan las del grupo "*Actinobacillus succinogenes*", "*Anaerobiospirillum succiniciproducens*", "*Mannheimia succiniciproducens*" y "*Escherichia coli*".



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 6.2: Rendimiento de las cepas de bacterias en la producción del Ácido Succínico.

Fuente: Continuous Succinic acid Production by Actinobacillus Succinogenes: Suspended Cell and Biofilm Studies in an Anaerobic Slurry Reactor. Universidad de Pretoria.

Organism	Medium (g L ⁻¹)	pH control and Inorganic carbon source	Reactor type Time (h) /Dilution rate (h ⁻¹)	Substrate conversion (%)	SA			Cell conc. (g L ⁻¹)	By- products (g L ⁻¹)	Reference
					Titer (g L ⁻¹)	Productivity (g L ⁻¹ h ⁻¹)	Yield (g g ⁻¹)			
<i>A. succinogenes</i> CGMCC 1716	Gluc(99,5) YE(10) CSL (5) MS	6,5 (1,5 M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (0,15 vvm)	Batch (NR)	100	75,1	NR	0,76	NR	Ace(13,5)	Li <i>et al.</i> (2011)
	Gluc(80) YE(10) CSL (5) MS	6,8 (1,5 M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (0,15 vvm)	Batch (34)	81	51,6	1,5	0,76	3,5	Ace(10,3)	Xi <i>et al.</i> (2011)
ATCC 55618	Gluc(40) YE(6) CSL (10) MS	6,5 (1,5 M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (0,15 vvm)	Repeat Batch PCS Biofilm (38,5)	98	33,9	0,9	0,87	NR	NR	Urbance <i>et al.</i> (2004)
CGMCC 1593	Gluc(25 ^a , 10-15 ^b) YE(5) CSL (3) MS	6,5 (1,5 M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (0,15 vvm)	Fed-Batch (48)	NR	60,2	1,3	0,75	7,5	Ace(9,2)	Liu <i>et al.</i> (2008)
	Gluc(50 ^a , 30-35 ^b) YE(5) CSL (3) MS		Fed-Batch (48)	NR	52	1,1	0,82	6	Ace(4,2)	
ATCC 55618	Gluc(20) YE(6) CSL (10) MS	6,5 (1,5 M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (0,15 vvm)	Continuous PCS Biofilm (0,2 - 1,2 h ⁻¹)	81	7,3	8,8	0,45	NR	NR	Urbance <i>et al.</i> (2004)
	Gluc(60) YE(20)	6,8 (acid & base) CO ₂ (saturated)	Continuous SC Membrane (0,2 - 0,5 h ⁻¹)	55	18,6	3,7	0,56	16,1	Ace(7,4) For(5,8)	Kim <i>et al.</i> (2009)

Bold: highest reported value for reactor type to date, Gluc: Glucose, YE: Yeast Extra, CSL: Corn Steeped Liquor, MS: Mineral Salts, Ace: Acetic acid/Acetate, For: Formic acid/Formate, PCS: Plastic composite support, SA: Succinic acid/ Succinate, SC: Suspended Cell, NR: Not Reported, Cell conc.: dry cell weight per liter, ^a: initial substrate concentration in batch reactor, ^b: substrate concentration maintained in fed batch reactor

TABLA 6.3: Rendimiento de las cepas de bacterias en la producción del Ácido Succínico.

Fuente: Continuous Succinic acid Production by Actinobacillus Succinogenes: Suspended Cell and Biofilm Studies in an Anaerobic Slurry Reactor. Universidad de Pretoria.

Organism	Medium (g L ⁻¹)	pH control and Inorganic carbon source	Reactor type Time (h) /Dilution rate (h ⁻¹)	Substrate conversion (%)	SA			Cell conc. (g L ⁻¹)	By- products (g L ⁻¹)	Reference
					Titer (g L ⁻¹)	Productivity (g L ⁻¹ h ⁻¹)	Yield (g g ⁻¹)			
<i>M. succiniciproducens</i> KCTC 10626BP	Gluc(18) YE(5) MS	6,5 (28% NH ₄ OH) CO ₂ (0,25 vvm)	Batch (14)	100	13,6	0,97	0,78	1,6	Ace(0,4) Lac(4,8)	Song <i>et al.</i> (2007)
	Gluc(18) YE(5) MS	6,5 (28% NH ₄ OH) CO ₂ (0,25 vvm)	Batch (7)	100	8,8	1,26	0,49	3,3	Ace (3,6) For(4) Lac(1)	Song <i>et al.</i> (2008)
KCTC 0769BP	Gluc(20) YE(20)	6,8 (acid & base) CO ₂ (saturated)	Continuous SC Membrane Recycle (0,1 - 0,3 h ⁻¹)	100	12,8	1,28	0,64	5	Ace(4)	Kim <i>et al.</i> (2009)
<i>A. succiniciproducens</i>	Gluc (20) CSL(10) MS	6,5 (2 M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (0,25 vvm)	Batch (13,5)	100	17,8	1,3	0,89	3,5	Ace (3,7)	Lee <i>et al.</i> (2000)
	Glc (20) YE(5) MS	6,5 (1,5 M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (0,15 vvm)	Continuous SC Membrane Filtration (0,032-0,63 h ⁻¹)	100	14,3	3,3	0,72	6,5	Ace (3,5)	Lee <i>et al.</i> (2008)
ATCC 29305	Gluc(19) YE(2,5) MS	6,5 (1,5 M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (0,25 vvm)	Continuous SC Membrane Filtration (0,032-0,63 h ⁻¹)	65	9,7	5,6	0,87	1,5	Ace (3,1)	Lee <i>et al.</i> (2009)
	Gluc(38) YE(5) MS		Continuous SC Membrane Filtration (0,032-0,63 h ⁻¹)	57	15,9	6,5	0,89	1,1	Ace (4,8)	

Bold: highest reported value for reactor type to date, Gluc: Glucose, YE: Yeast Extra, CSL: Corn Steeped Liquor, MS: Mineral Salts, Ace: Acetic acid/Acetate, For: Formic acid/Formate, Lac: Lactic acid/Lactate, SA: Succinic acid/ Succinate, SC: Suspended Cell, NR: Not Reported, Cell conc.: dry cell weight per liter



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 6.4: Rendimiento de las cepas de bacterias en la producción del Ácido Succínico.

Fuente: Continuous Succinic acid Production by Actinobacillus Succinogenes: Suspended Cell and Biofilm Studies in an Anaerobic Slurry Reactor. Universidad de Pretoria.

Organism	Medium (g l ⁻¹)	pH control and Inorganic carbon source	Reactor type Time (h) /Dilution rate (h ⁻¹)	Substrate conversion (%)	SA			Cell conc. (g l ⁻¹)	By- products (g l ⁻¹)	Reference
					Titer (g l ⁻¹)	Productivity (g l ⁻¹ h ⁻¹)	Yield (g g ⁻¹)			
<i>E. coli</i>	Gluc (40) ^a	O ₂ (4 vvm), 7(10M NaOH & 10% H ₂ SO ₄)	Aerobic Batch Cell Growth (11)							
DC1515	Gluc (10) ^b	6,7(MgCO ₃) CO ₂ (2 vvm)	Anaerobic Fed-Batch (75)	NR	116,2	1,6	1,13	19,2	Ace(11,4) Lac(1,8) Eth(3,4)	Wang <i>et al.</i> (2011)
AFP111	Gluc (13) ^a	O ₂ (4 vvm), 7(10M NaOH & 10% H ₂ SO ₄)	Aerobic Batch Cell Growth (30)							
	Gluc (20) ^b	6,8(Mg ₂ CO ₃ (OH) ₂) CO ₂ (3,5 vvm)	Anaerobic Fed-Batch (53)	NR	101,2	1,9	1,07	12	NR	Jiang <i>et al.</i> (2010)

Bold: highest reported value for reactor type to date, Gluc: Glucose, Ace: Acetic acid/Acetate, Lac: Lactic acid/Lactate, Eth: Ethanol, SA: Succinic acid/ Succinate, NR: Not Reported, Cell conc.: dry cell weight per liter, ^a: initial substrate concentration in batch reactor, ^b: substrate concentration maintained in fed batch reactor

Se han notificado tres colecciones de cultivos diferentes de *A. succinogenes*; *A. succinogenes* (ATCC 55618), *A. succinogenes* (CGMCC 1593) y *A. succinogenes* (CGMCC 1716). *A. succinógenos* (CGMCC1593) posee las mismas vías catabólicas que *A. succinogenes* (ATCC 55618), sin embargo, difieren en sus características fisiológicas y bioquímicas (Liu et al., 2008). *A. succinogenes* (ATCC 55618) es un quimioheterotrofo que crece en medios heterótrofos comunes a una temperatura de 37°C y un pH de entre 6.5 y 6.8. El microorganismo es un productor natural de ácido succínico, capaz de producir 130 g.l⁻¹ (Guettler et al., 1996). *A. succinogenes* es también un osmófilo moderado capaz de tolerar altas concentraciones de glucosa de hasta 160 g.l⁻¹ a diferencia de las demás cepas y puede fermentar una amplia gama de fuentes de carbono como la glucosa, la fructosa, el manitol, el arabitol, el sorbitol, la sacarosa, la xilosa y la arabinosa en condiciones anaeróbicas (Van der Werf y otros, 1997).

Por otro lado, la cepa *A. succinogenes* ATCC 55618 es capaz de producir grandes cantidades de ácido succínico y es más resistente a altas concentraciones del producto en referencia a las anteriormente nombradas.

Entonces tomando como elección el grupo de *Actinobacillus succinogenes*, se pueden observar en la tabla 6.5 los resultados obtenidos para diferentes cepas en donde se ve claramente que los mejores rendimientos se logran utilizando la cepa ATCC 55618 con el medio que contiene inferiores cantidades de glucosa, un pH de 6,5 y un tiempo de fermentación de 38,5h.



TABLA 6.5: Rendimiento de diferentes cepas de Actinobacillus Succinogenes en la producción del Ácido Succínico.

Fuente: Continuous Succinic acid Production by Actinobacillus Succinogenes: Suspended Cell and Biofilm Studies in an Anaerobic Slurry Reactor. Universidad de Pretoria.

<i>A. succinogenes</i>	Medium (g l ⁻¹)	pH control and Inorganic carbon source	Fermentation time (h)	Substrate conversion (%)	SA			Cell Conc. (g l ⁻¹)	By- products (g l ⁻¹)	Reference
					Titer (g l ⁻¹)	Productivity (g l ⁻¹ h ⁻¹)	Yield (g g ⁻¹)			
ATCC 55618	Gluc(40) YE(6) CSL (10) MS	6,5 (1,5 M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (0,15 vvm)	38,5	98	33,9	0,88	0,87	NR	NR	Urbance <i>et al.</i> (2004)
	Gluc(85) YE(15) MS Supplements	6,8 (10M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (0,5 vvm)	34	71	47,6	1,4	0,8	4,8	Ace(8,9) For(3,4) Pyr(4,8)	Lin <i>et al.</i> (2008)
CGMCC 1593	Gluc(25) YE(15) MS Supplements	6,8 (MgCO ₃) CO ₂ (0,1 vvm)	14	100	19	1,4	0,76	7,4	Ace(3,1)	Liu <i>et al.</i> (2008)
	Gluc(50) YE(15) MS Supplements		32	98,4	40,5	1,3	0,82	6,4	Ace(4,5)	
CGMCC 1716	Gluc(85) YE(10) CSL (5) MS	6,8 (3 M Na ₂ CO ₃) CO ₂ (3 vvm)	70	79	48	0,69	0,69	7,4	Ace(12,5) For(8,8)	Fang <i>et al.</i> (2011)
	Gluc(99,5) YE(10) CSL (5) MS	6,8 (MgCO ₃)	NR	99,6	75,1	NR	0,76	NR	Ace(13,5)	Li <i>et al.</i> (2011)
	Gluc(80) YE(10) CSL (5) MS	6,8 (1,5 M Na ₂ CO ₃) pCO ₂ (0,1 MPa)	34	81,3	51,6	1,52	0,76	3,5	Ace(10,3)	Xi <i>et al.</i> (2011)

Bold: highest reported value for reactor type to date, Gluc: Glucose, YE: Yeast Extra, CSL: Corn Steeped Liquor, MS: Mineral Salts, Ace: Acetic acid/Acetate, For: Formic acid/Formate, Pyr: Pyruvate, SA: Succinic acid/Succinate, NR: Not Reported, Cell conc.: dry cell weight per liter

Una vez elegida la cepa bacteriana encargada de generar ácido bio-succínico a través de la ruta biológica, se procede a tener en cuenta la influencia que tienen distintos compuestos o condiciones sobre los fenómenos tanto de inoculación bacteriana como la fermentación en sí.

6.4.2 INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA

Se realizaron pruebas para determinar la concentración óptima de glucosa que debe ser utilizada en la fermentación. En las siguientes gráficas se comparan los parámetros: concentración, rendimiento y productividad del ácido succínico utilizando concentraciones iniciales de glucosa de: (a) 20g/l⁻¹ y (b) 40 g/l⁻¹ en fermentaciones batch.

Si bien la bacteria *A. Succinogenes* es la indicada por tolerar concentraciones más altas de glucosa durante la fermentación que el resto de las bacterias, se observan unos resultados levemente mejores cuando se trabaja con concentraciones de glucosa iguales o cercanas a 20g/l⁻¹, aunque los rendimientos obtenidos con concentraciones de glucosa mayores son también muy aceptables.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

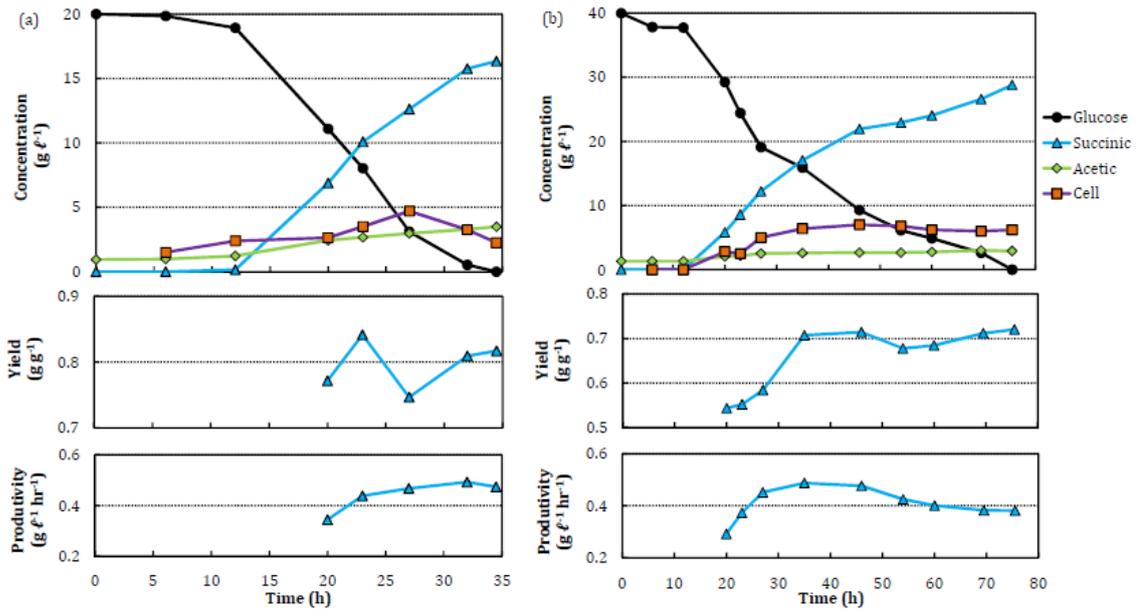


FIGURA 6.6: Fermentación Batch para condiciones iniciales de glucosa de (a) 20g/l⁻¹ y (b) 40 g/l⁻¹.

Fuente: Continuous Succinic acid Production by Actinobacillus Succinogenes: Suspended Cell and Biofilm Studies in an Anaerobic Slurry Reactor. Universidad de Pretoria.

6.4.3 EFECTO DEL CO₂

La producción de ácido succínico por la bacteria *A. Succinogenes* se estudió utilizando una fuente de carbono diferente, complementada o no con gas CO₂. Las condiciones anaeróbicas demostraron un efecto positivo en la producción de ácido succínico cuando se comparó con la fermentación de procesos aeróbicos. Además, aumenta en un 84% la producción de ácido succínico a partir de *A. Succinogenes* cuando se añade CO₂ en el medio de fermentación para obtener condiciones anaeróbicas.

Se comparan dos ensayos llevados a cabo sin adición de Na₂CO₃ y sin adición de medio buffer. Ambos operaron en condiciones anaerobias, uno de ellos sin flujo de CO₂ (Ensayo 1.2.1.) y otro con flujo de CO₂ (Ensayo 1.2.2.).

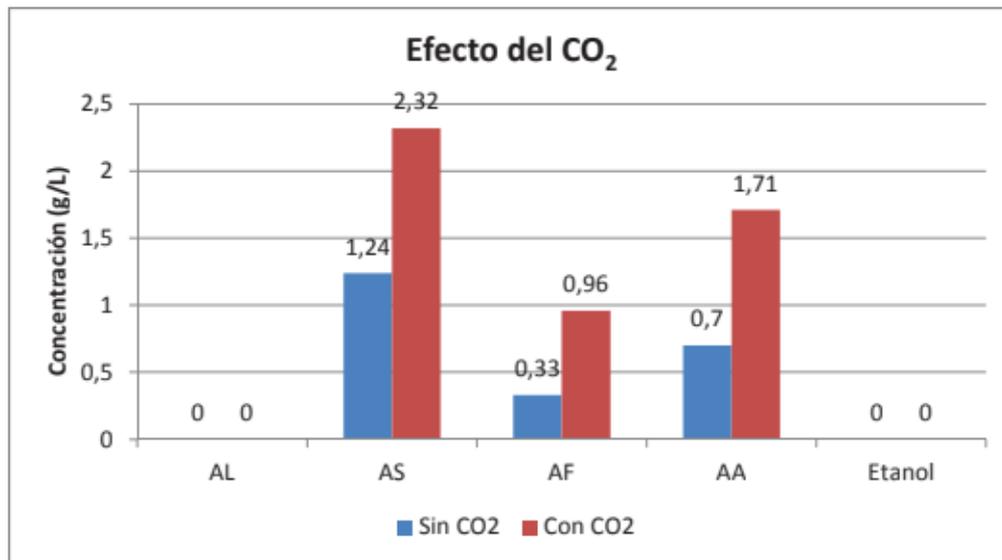


GRÁFICO 6.3: Efecto en la producción de ácidos orgánicos por inyección de CO₂.

Fuente: Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico.

TABLA 6.6: Efecto en la producción de ácidos orgánicos por inyección de CO₂.

Fuente: Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico.

Ensayo	P	Prod.	Y _{AL/S}	Y _{AS/S}	Y _{AF/S}	Y _{AA/S}	Y _{E/S}
	(g/L)	(g/Lh)	(g/g)	(g/g)	(g/g)	(g/g)	(g/g)
1.2.1.	1,240	0,010	0,000	0,138	0,037	0,078	0,000
1.2.2.	2,320	0,019	0,000	0,490	0,203	0,362	0,000

Las condiciones anaerobias dan lugar a que el producto mayoritario sea ácido succínico.

El flujo de CO₂ permite una concentración aproximadamente del doble en ácido succínico, ácido fórmico y ácido acético. Otra ventaja del uso de CO₂ es que actúa como fuente de carbono reduciendo el consumo de sustrato. Además, se demuestra cómo la adición de buffer no es tan importante en la obtención de ácido succínico.

6.4.4 EFECTOS DEL Na₂CO₃

Se comparan dos ensayos llevados a cabo en condiciones anaerobias con flujo de CO₂ y sin adición de medio buffer. A uno de ellos no se le adiciona Na₂CO₃ (Ensayo 1.2.2.) y a otro sí, en concentración 1 g/L (Ensayo 1.2.3.).

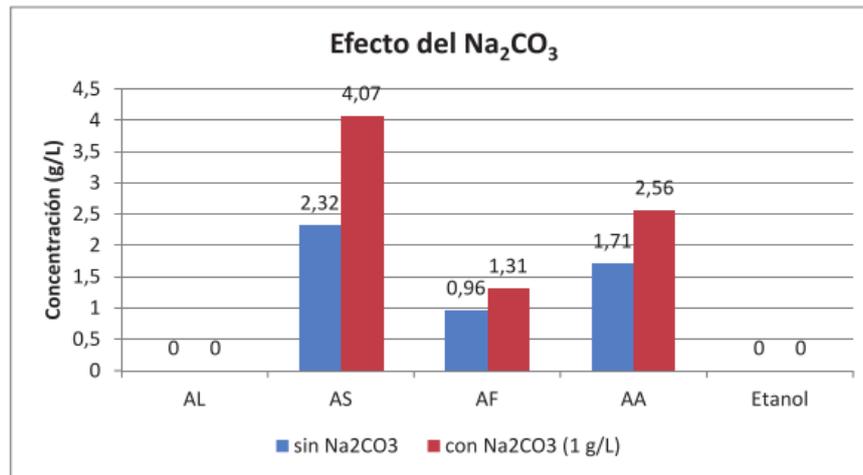


GRÁFICO 6.4: Efecto en la producción de ácidos orgánicos por la adición de Na₂CO₃.

Fuente: Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico.

TABLA 6.7: Efecto en la producción de ácidos orgánicos por la adición de Na₂CO₃.

Fuente: Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico.

Ensayo	P	Prod.	Y _{AL/S}	Y _{AS/S}	Y _{AF/S}	Y _{AA/S}	Y _{E/S}
	(g/L)	(g/Lh)	(g/g)	(g/g)	(g/g)	(g/g)	(g/g)
1.2.2.	2,320	0,019	0,000	0,490	0,203	0,362	0,000
1.2.3.	4,070	0,034	0,000	0,771	0,248	0,485	0,000

Las condiciones anaerobias con flujo de CO₂ dan lugar a que el producto mayoritario sea ácido succínico.

La adición de Na₂CO₃ permite un aumento en la concentración de los ácidos producidos, sobre todo en el ácido succínico. Otra ventaja del Na₂CO₃ es que actúa como fuente de carbono reduciendo el consumo de sustrato.

El uso de Na₂CO₃ da lugar por tanto a una mayor producción y rendimiento de ácido succínico en las condiciones dadas de operación.

6.4.5 EFECTO DE DISTINTAS CONCENTRACIONES DE Na₂CO₃

Se comparan ensayos llevados a cabo en condiciones anaerobias con flujo de CO₂ y sin adición de medio buffer. A un ensayo se le adiciona Na₂CO₃ en concentración 1g/L (Ensayo 1.2.3.) y a otro en concentración 2g/L (Ensayo 1.2.4.).



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

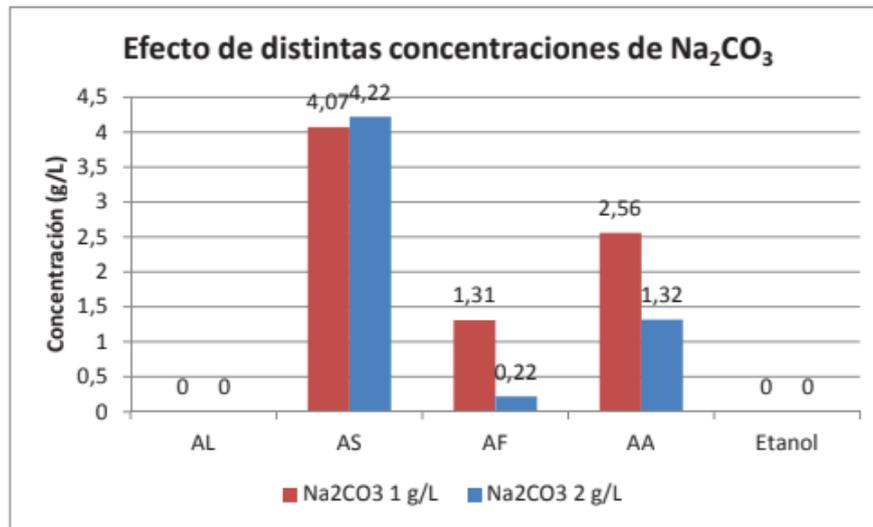


GRÁFICO 6.5: Efecto en la producción de ácidos orgánicos por la adición de distintas concentraciones de Na₂CO₃.
Fuente: Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico.

TABLA 6.7: Efecto en la producción de ácidos orgánicos por la adición de distintas concentraciones de Na₂CO₃.
Fuente: Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico.

Ensayo	P (g/L)	Prod. (g/Lh)	Y _{AL/S} (g/g)	Y _{AS/S} (g/g)	Y _{AF/S} (g/g)	Y _{AA/S} (g/g)	Y _{E/S} (g/g)
1.2.3.	4,070	0,034	0,000	0,771	0,248	0,485	0,000
1.2.4.	4,220	0,035	0,000	3,431	0,179	1,073	0,000

Las condiciones anaerobias con flujo de CO₂ dan lugar a que el producto mayoritario sea ácido succínico.

Una mayor concentración de Na₂CO₃ da lugar a una mayor producción de ácido succínico y sobre todo a una menor de subproductos. El consumo de sustrato también es menor en el caso de mayor concentración de Na₂CO₃ por actuar éste como fuente alternativa de carbono.

Resulta por tanto beneficioso la utilización de Na₂CO₃ en concentración 2g/L frente a en concentración 1g/L, pues aumenta la producción y el rendimiento del ácido succínico.



6.5 PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE ÁCIDO SUCCÍNICO

6.5.1 PROPAGACIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO

Este proceso comienza con la cepa liofilizada en el laboratorio (temperatura entre 2-8°C). Se utilizará la cepa designada como 130Z o ATCC 55618. Este material es el punto de partida a partir del cual se debe aumentar la cantidad del mismo, mediante sucesivos pasajes en Erlenmeyer de volúmenes crecientes, operados generalmente en agitadores de vaivén o rotatorios en cámaras de cultivo.

La cepa del microorganismo no debería ser adquirida más que al comienzo de la operación de la planta, en caso de conservarse en condiciones en las que su reproducción pudiese llevarse a cabo correctamente cuando correspondiese.

Al tener la cepa liofilizada, es necesario realizar algunas operaciones previas para disponer del microorganismo en forma activa para la fermentación. Estas son:

ACTIVACIÓN DE LA CEPA: El microorganismo se reconstituye y se siembra utilizando el medio de cultivo, las condiciones de incubación y el procedimiento indicado en las instrucciones del organismo proveedor de la cepa. Luego de activar la cepa se debe ir incrementando el volumen del recipiente de cultivo, para conseguir la velocidad de crecimiento adecuada. Es vital esta operación para que a escala industrial se alcancen los resultados óptimos.

PREPARACIÓN DEL INÓCULO: El inóculo se prepara con la composición idéntica al medio de fermentación, pero en menor volumen, realizando el mismo ajuste de pH y condiciones de esterilidad. Después se realiza el pasaje celular de la cepa activada y por último se procede a la incubación a 37°C, con agitación durante 12 horas. Finalmente se agrega el mismo al fermentador para iniciar la fermentación, siendo el volumen del inóculo recomendado, el 10% del volumen del fermentador.

Según la hoja de datos de la bacteria *Actinobacillus Sugginogenes* brindada por ATCC, el procedimiento de propagación debe hacerse como sigue:

1. Abrir el frasco según las instrucciones adjuntas.
2. Usando un solo tubo de caldo #18 (5 a 6 ml), extraer aproximadamente 0.5 a 1.0 ml con un Pasteur o Pipeta de 1.0 ml. Rehidratar todo el pellet.
3. Transferir asépticamente esta alícuota al tubo de caldo. Mezclar bien.
4. Usar varias gotas de la suspensión para inocular una inclinación de agar #18 y/o placa.
5. Incubar los tubos y la placa a 37°C durante 12 horas.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

COMPOSICIÓN DEL MEDIO:

TABLA 6.8: Composición del medio

Fuente: Continuous Succinic acid Production by Actinobacillus Succinogenes: Suspended Cell and Biofilm Studies in an Anaerobic Slurry Reactor. Universidad de Pretoria.

Compound	Concentration (g ℓ ⁻¹)
Glucose	20
Ardamine Z yeast extract	6
Heavy corn steeped liquor	10
Sodium acetate	1,36
NaCl	1
K ₂ HPO ₄	3
MgCl ₂	0,02
CaCl ₂	0,02
Na ₂ HPO ₄	0,31
NaH ₂ PO ₄	1,6

6.5.2 FERMENTACIÓN

Las condiciones para la preparación del inóculo y la fermentación se obtuvieron del estudio de la cinética de producción de ácido succínico por *A. succinogenes* Z-130, utilizando como referencia además los aspectos nombrados en la ficha técnica de la cepa.

Para el inóculo se consideró medio estéril de TSB (Trypticasein Soy Broth). Esta es la composición de este medio.

TABLA 6.9: Inóculo.

Fuente: Diseño conceptual y simulación del proceso de producción de ácido succínico por *Actinobacillus succinogenes*

INÓCULO (MEDIO ESTÉRIL)			
Inóculo	Digerido pancreático de caseína	17	g/l
	Digerido péptico de harina de soja	3	g/l
	Glucosa	2,5	g/l
	NaCl	5	g/l
	K ₂ HPO ₄	2,5	g/l
Condiciones	CO ₂	0,4	vvm
	Temperatura	37	°C
	Tiempo	12	Horas
	Tamaño del inóculo	10	v/v

Al realizar la comparación de la concentración inicial de la fuente de carbono (glucosa) en la fermentación batch sobre variables cinéticas de producción, se estableció que la concentración



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

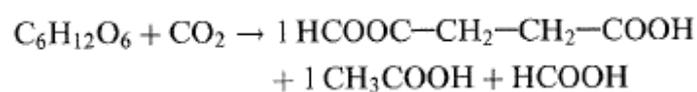
inicial de 30,18 g.l⁻¹ de glucosa fue la mejor de las evaluadas. Por tanto, el medio de cultivo de la fermentación contiene:

TABLA 6.9: Medio de cultivo.

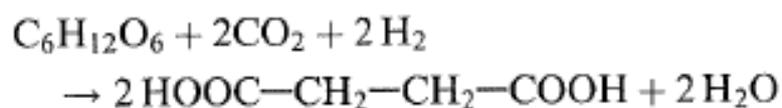
Fuente: Diseño conceptual y simulación del proceso de producción de ácido succínico por *Actinobacillus succinogenes*

MEDIO DE CULTIVO			
Medio de cultivo	Extracto de levadura	6,348	g/l
	Glucosa	30,18	g/l
	NaCl	0,55	g/l
	NaHCO ₃	5,52	g/l
	MgSO ₄	0,028	g/l
	K ₂ HPO ₄	3,75	g/l
	NaH ₂ PO ₄	8,55	g/l
Condiciones	Acidez	6,7*	pH
	Tiempo	24	Horas
	Revoluciones de agitado	300	rpm
*pH controlado con 2,5M de Na₂CO₃			

En donde el rendimiento en sustrato máximo teórico en este análisis es de 1.12 g.g⁻¹ y el rendimiento químico teórico del ácido succínico se representa por la siguiente estequiometría:



Logrando mejores rendimientos con la adición de Hidrógeno, el cual es asimilado por la misma cepa, reaccionando de la siguiente manera:



Después de 36 h de fermentación batch la concentración en el caldo fermentado fue la siguiente:



TABLA 6.10: Caldo de fermentación.

Fuente: Diseño conceptual y simulación del proceso de producción de ácido succínico por *Actinobacillus succinogenes*

CALDO DE FERMENTACION			
Caldo de fermentación	Glucosa	0,0243	4,374 g/l
	K ₂ HPO ₄	0,0115	2 g/l
	NaH ₂ PO ₄	0,0253	3,04 g/l
	NaHCO ₃	0,0357	3 g/l
	Extracto de levadura	0,0091	1,64 g/l
	Biomasa	0,3456	8,57 g/l
	Ácido succínico	0,2862	33,8 g/l
	Ácido fórmico	0,1543	7,1 g/l
	Ácido acético	0,108	6,5 g/l

6.5.3 RECUPERACIÓN, CONCENTRACIÓN Y PURIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que el costo de purificación posterior en el proceso basado en la fermentación normalmente representa más del 60% del costo total de producción, es crucial desarrollar un proceso económico de purificación del ácido succínico a partir del caldo de fermentación.

Se han desarrollado varios procesos descendentes para la recuperación y purificación del ácido succínico. Los cuales consisten normalmente en la eliminación de impurezas, la conversión de las sales de succinato en una forma de ácido libre, el pulido del ácido succínico hasta su pureza requerida y la cristalización. Una de las dificultades para recuperar el ácido succínico del caldo de fermentación es la existencia de otros ácidos orgánicos como los ácidos acético, fórmico y láctico.

La presencia de estos subproductos hace que los procesos posteriores sean más complicados y también reduce el rendimiento final del ácido succínico después de la recuperación. Por lo tanto, el desarrollo de un proceso descendente eficaz en función de los costos debe integrarse con el desarrollo de las cepas y el proceso de fermentación, de modo que la producción de estos subproductos se reduzca al mínimo. Todos los productores representativos de ácido succínico, incluidos *A. succinogenes*, *A. succiniciproducens*, *M. succiniciproducens* y *E. coli* recombinante, producen cantidades relativamente grandes de ácidos orgánicos y etanol que se han de eliminar durante los procesos posteriores. Además, el ácido succínico existe en forma de sal succinada ionizada, ya que el pH del caldo de cultivo (normalmente entre 6,0 y 7,0) suele ser superior al valor del pKa de ácido succínico (4,16 y



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

5,61 a 25°C). Cabe señalar que la mayoría de las aplicaciones de especialidades y productos básicos de ácido succínico requieren ácido succínico libre en lugar de su forma salina.

Glassner y Datta informaron sobre el proceso, que integra la convencional electrodiálisis en la que las sales de succinato ionizadas se separan de los compuestos no ionizados como los carbohidratos, proteínas y aminoácidos por las membranas de intercambio de iones y la separación de aguas de electrodiálisis en la que se eliminan los cationes de la sal. Como este proceso mostró mucha menor pureza de ácido succínico de la esperada, más resinas de intercambio catiónico y aniónico fueron integrados en el proceso anterior con el fin de eliminar los residuos catiónicos, aniónicos y aminoácidos.

El ácido succínico normalmente está presente como sal ionizada de succinato, mientras que por ejemplo los carbohidratos, proteínas y aminoácidos suelen estar no ionizados. Este proceso incrementa la concentración de ácido succínico a un 79,6 % (w/w), y elimina completamente proteínas y sales. Sin embargo, este método posterior podría producir el 79,6% (p/p) de ácido succínico mientras que el 19,9% (p/p) de ácido acético seguía estando presente. Este método fue beneficioso porque todo el caldo contenía células podrían ser usadas directamente para electrodiálisis, y las células restantes fueron recicladas de nuevo en el fermentador. Sin embargo, el problema de permanecer en el acetato incluso después de la electrodiálisis necesitaba ser resuelto. Además, el uso de membranas para la electrodiálisis y el sistema de reciclaje de células deben ser evaluados por su economía y su aplicabilidad a gran escala.

Se informó de otro proceso posterior que precipita el ácido succínico en forma de succinato de calcio durante la fermentación añadiendo hidróxido de calcio al caldo de cultivo. La adición de hidróxido de calcio también tiene un efecto amortiguador, permitiendo el mantenimiento del pH durante la fermentación. Después de recuperar el succinato de calcio por filtración, se convierte en ácido succínico mediante la adición de ácido sulfúrico, que ajusta el pH por debajo del valor pKa del ácido succínico. Como paso final, se emplean intercambiadores de iones ácidos y básicos para aumentar la pureza del ácido succínico. Esto permitió la recuperación del 94,2% (p/p) de ácido succínico, pero no se pudieron eliminar completamente los restos de proteínas porque los sitios de intercambio de iones se saturaron fácilmente con el anión succinato. También hay que considerar la eliminación del yeso, que es un subproducto resultante de la adición de iones de calcio.

Recientemente se ha desarrollado un sencillo proceso descendente que integra la extracción reactiva, la destilación al vacío y la cristalización. La extracción reactiva se basa en el hecho de que la tri-n-octilamina sólo extrae las formas no disociadas de los ácidos carboxílicos



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

y sus grados de disociación son dependientes del pH. La extracción reactiva en varias etapas permitió la eliminación de otros ácidos como el acético, el fórmico, el láctico y el pirúvico, y varios tipos de sales del caldo de fermentación. Los ácidos orgánicos volátiles residuales podían ser eliminados aún más por destilación al vacío. En un paso final, el ácido succínico se cristaliza selectivamente a baja temperatura (4°C) y bajo pH (1.0-3.0) sin añadir ninguna sal. Este proceso permitió la recuperación de más del 73% (p/p) de ácido succínico, y el ácido succínico cristalizado mostró una pureza superior al 99,8% (p/p). Cabe señalar que los procesos tradicionales posteriores requieren grandes cantidades de sales y producen cantidades iguales de productos de desecho sólidos y lodos, que deben ser tratados y eliminados con cuidado.

Es por esto que una alternativa para la etapa de purificación consiste en que, en la extracción reactiva, donde el caldo libre de células es mezclado con 0.25 mol·kg⁻¹ de trioctilamina (TOA) en 1-octanol en relación 1:1 (vol.) durante 2h a 25°C con agitación de 1000 rpm. Se ha reportado que TOA sólo extrae las formas no disociadas de los ácidos carboxílicos. Por lo tanto, la remoción selectiva de determinados ácidos del caldo fermentado es posible usando diferentes grados de disociación de cada ácido según el pH. En este caso, el pH de la fermentación es de 6 aproximadamente, por que, el pH es corregido ligeramente hasta 5 para favorecer la eliminación de los subproductos (ácido acético, ácido fórmico, ácido pirúvico). La eficiencia de extracción para el ácido succínico es de 92%. Los coeficientes de distribución (concentración en equilibrio del componente en la fase orgánica / concentración en equilibrio del refinado) para el ácido succínico, ácido acético y ácido pirúvico es de 0.05, 0.4 y 0.35 respectivamente. Cuando termina el proceso de extracción, pasa a otra sección del mismo equipo durante 1h para facilitar la separación de las fases.

La fase rica en ácido succínico, el extracto, pasa a una torre para realizar una destilación al vacío durante 2h a 80°C.

Una vez separados los volátiles, se pasan los fondos al proceso de cristalización donde se lleva a cabo el proceso a un pH de 2.0 y 4°C durante 24 horas. El pH se ajusta con una solución de ácido clorhídrico. Después se realiza el proceso de secado, se lleva la solución con los cristales a 70°C. Finalmente se obtienen los cristales de ácido succínico seco.

En este proceso de purificación se obtienen cristales de ácido succínico de alta pureza (~99%) con un rendimiento de 73.1%, a partir del caldo fermentativo de *A. succinogenes*.

Otra alternativa de purificación consiste en que después de la centrifugación, el caldo libre de células se somete a un proceso de adsorción usando carbón activado para retirar parte de las impurezas, por tanto, el caldo se mezcla con carbón activado 12.5% (p/v) durante 1 h, después se transfiere la solución a una columna de intercambio iónico catiónica. La resina de



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

intercambio iónico utilizada es Amberlite IR 120H. El pH del efluente es de 2.0 después del proceso. La resina se regenera usando una solución de ácido clorhídrico 4% (v/v) por 30 min. Posteriormente, sigue la destilación al vacío realizada a 48°C durante 1 h para eliminar los ácidos carboxílicos volátiles (ácido acético, ácido fórmico y ácido pirúvico) y un 97% (p/p) de agua. Los fondos del proceso de destilación se transfieren al proceso de cristalización. La cristalización se lleva a cabo a 4°C, bajo pH (1.0-3.0) por 24 h sin añadir ninguna sal. Posteriormente se llevan los cristales al proceso de secado a 70°C para obtener cristales de ácido succínico secos.

En este proceso de purificación se obtienen cristales de ácido succínico de alta pureza (~99%) con un rendimiento de 89.5%, a partir del caldo fermentativo de *A. succinogenes*.

Siendo este último el más conveniente de todas las posibles combinaciones de purificación, ya que se obtiene un rendimiento sumamente superior.

La ingeniería metabólica de una bacteria productora de ácido succínico debe permitir la producción de ácido succínico a una concentración alta con una alta productividad y alto rendimiento sin formación de subproductos. Por supuesto, este proceso de desarrollo de la cepa debe ser integrado con el desarrollo del proceso de fermentación que también considera la mejor fuente de carbono disponible, la masa celular óptimo, y otras condiciones de cultivo. Además, con los avances en el desarrollo de un proceso downstream eficiente, tales como la extracción reactiva basado en amina para la purificación de ácido succínico, el costo de purificación se puede reducir considerablemente. En conjunto, el futuro de la producción fermentativa de ácido succínico es brillante considerando el costo de materia prima cada vez más aceptable, gran tamaño del mercado potencial, la ventaja adicional de la fijación del dióxido de carbono, y los avances en el desarrollo de estrategias para la mejora de cepas, la fermentación y purificación.



6.6 CONCLUSIÓN

Debido a lo que se desarrolló en el presente capítulo se puede concluir que, como primera instancia, la producción de ácido succínico por la vía fermentativa apunta a ser más rentable en los próximos años, que los procesos basados en petróleo.

En cuanto a lo que es el proceso en sí, se establece una ruta de alternativas y elecciones de las diferentes etapas de producción, descartando opciones a través de criterios productivos. Inicialmente se trató la elección de la cepa que llevará a cabo la fermentación para la generación del producto, resultando la *Actinobacillus Succinogenes* ATCC 55618 la que mejor se apunta en cuanto a condiciones de proceso y rendimientos productivos, siendo esta una bacteria capaz de soportar altas concentraciones de ácido succínico sin ser inhibida, además de contar con una amplia gama de fuentes de carbono que la pueden nutrir. Sin embargo, nuestra materia prima por excelencia es la glucosa, debido a que estudios desarrollados en párrafos anteriores demuestran el máximo rendimiento de conversión frente a otras alternativas, expresando un rendimiento de 1.12 g de ácido succínico por gramo de glucosa.

También se definió que el proceso fermentativo se realizará a través del camino anaeróbico, debido a que esta cepa en presencia de oxígeno, desarrolla como producto principal ácido láctico, el cual es un subproducto de la ruta anaeróbica.

Se pudo determinar por experiencias que la presencia de ciertos compuestos favorece las condiciones de rendimiento, como lo es el dióxido de carbono el cual en exceso aporta un factor positivo a la producción cumpliendo el rol de fuente de carbono y genera ácido succínico a expensas de subproductos como el etanol y el ácido fórmico. Por otro lado, el carbonato de sodio es el encargado de regular el pH de la fermentación, aunque también genera un aumento en la producción de succínico en forma ácida.

Se finaliza el capítulo hablando de una de las partes más importantes del proceso, que es la purificación y obtención del ácido succínico después de la fermentación. Siendo la mejor ruta la que se detalla anteriormente, formada por la siguiente secuencia: Centrifugación - Adsorción - Intercambio Iónico - Destilación - Cristalización - Secado, logrando un alto rendimiento del 89.5 % con granos de producto de una pureza del 99 %, lo que es sumamente favorable para las expectativas del proyecto.

Debemos tener en cuenta que se trata de una forma de elaborar ácido succínico a través de fuentes renovables con el objetivo final de sustituir el consumo de petróleo en el mundo y fomentar el cuidado de los recursos, es por esto que la producción el compuesto está en pleno



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

desarrollo adquiriendo nuevas tecnologías de fermentación y purificación, sin dejar de lado la parte microbiológica, que sigue siendo estudiada para lograr mayores rendimientos.



CAPÍTULO 7

BALANCE DE MASA Y MATERIA



7.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realizan los balances de masa y energía correspondientes al proceso de producción global del ácido succínico, como así también los balances implicados en cada una de las etapas que se llevan a cabo. Esto se realiza con el fin de definir las bases necesarias para la realización del capítulo 8, orientado al diseño y adopción de los equipos.

Para el cálculo de estas corrientes y sus respectivas características, se toma como base la producción necesaria para cubrir la demanda del mercado. De acuerdo al estudio realizado en los capítulos anteriores, la capacidad total anual de ácido succínico es de 1000 t. Considerando un ciclo productivo de 320 días por año, los días restantes se dedican a mantenimiento y detenciones imprevistas de la planta, en el cual la etapa de fermentación tiene una duración total de 36 horas, se decide trabajar con dos fermentadores, con los que se obtienen 213 batch al año. Debido a la existencia de pérdidas propias de un proceso batch, las cuales rondan entre 1 - 3 %, se decide tomar como pérdida global de la producción un 2 % de nuestro producto. Por lo cual, los balances de masa se realizan teniendo en cuenta un sobredimensionamiento para compensar las mismas, buscando una producción anual que se encuentre alrededor de las 1020 toneladas anuales. A continuación, se detallan los cálculos realizados:

$$\text{Número de batch} = \frac{\text{Producción anual} + \text{pérdidas} \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)}{\text{Producto obtenido por batch} \left(\frac{\text{kg}}{\text{lote}} \right)} \quad (\text{Ec 7.1})$$

$$\text{Número de batch} = 213$$

$$\text{Días de producción} = \text{Duración c/batch (día)} * \text{Cantidad de batch/año} \quad (\text{Ec 7.2})$$

$$\text{Días de producción} = 320$$

7.2 ETAPAS DEL PROCESO

Se describen de manera general los aspectos técnicos relacionados al proceso de producción biotecnológica de ácido succínico. El proceso se puede dividir en las siguientes etapas:

- Preparación del inóculo
- Mezclado
- Fermentación



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

- Centrifugación
- Adsorción
- Destilación
- Concentración y secado.

En la figura que se encuentra a continuación, se puede observar con mayor detalle el diagrama de flujo del proceso completo para la obtención del ácido succínico, elaborado en CHEMCAD 7.1.2.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

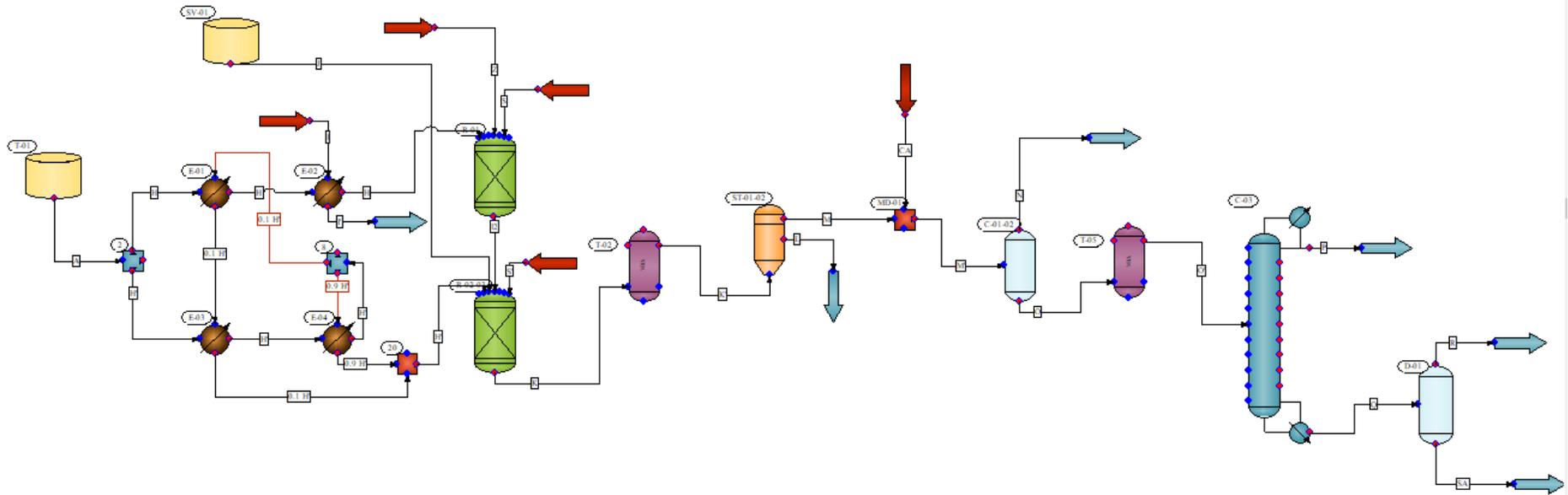


FIGURA 7.1: Diagrama de la producción biotecnológica del Ácido Succínico.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe aclararse que los divider esquematizados en el diagrama son solo ilustrativos ya que en el proceso representan un conjunto de válvulas automáticas reguladoras, cuya función es la de dividir el flujo de las corrientes A y H' con un mecanismo de apertura parcial. El mixer colocado para unir las corrientes provenientes de la columna de destilación C-01 y del secador D-01 representa en realidad unión de las cañerías que transportan estos vapores, pero se coloca este equipo para representarlo gráficamente.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

En la tabla que se adjunta a continuación, se diferencian por letras las corrientes que se requieren a lo largo de todo el proceso.

TABLA 7.1: Identificación de corrientes.

Fuente: Elaboración propia.

Nomenclatura	Corriente
A	Disolución de Glucosa
S'	Sólidos que ingresan a R-03
S	Sólidos que ingresan a R-01-02
Z	Cepa liofilizada, que ingresa a R-03
I2	Inóculo proveniente de R-03 que ingresa a R-01-02
H	Medio de cultivo que ingresa al reactor R-01
H'	Medio de cultivo que ingresa a R-02-03
J	Dióxido de carbono
K	Producto del fermentador
K'	Salida del tanque pulmón T-02
L	Residuo formado por biomasa, agua y glucosa
M	Producto de la centrifuga S-01 que ingresa a la columna de intercambio iónico C-01-02
CA	Carbón activado
O	Producto de la columna de intercambio iónico C-01-02
N	Impurezas que salen de la columna de intercambio iónico C-01-02
P	Impurezas que salen de la columna de destilación C-03
Q	Producto de la columna de destilación C-03
SA	Ácido Succínico al 99%



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

En la tabla que se adjunta a continuación, se detallan los equipos que se requieren a lo largo de todo el proceso.

TABLA 7.2: Identificación de equipos.

Fuente: Elaboración propia.

Nomenclatura	Equipo
T-01	Tanque de almacenamiento de glucosa
E-01	Economizador
E-02	Enfriador
E-03	Economizador
E-04	Economizador
R-02-03	Reactor batch con agitación
M-01-02	Motores fermentadores
R-01	Prefermentador
M-03	Motor prefermentador
SV-01	Tanque de CO ₂
T-02	Tanque de almacenamiento del producto de la fermentación
S-01-02	Centrífuga
T-03	Tanque de almacenamiento de la disolución de Ácido Clorhídrico
DM-01	Mezclador
M-04	Motor mezclador
T-04	Tanque de almacenamiento de impurezas de la columna de intercambio iónico
C-01-02	Columna de intercambio iónico
T-05	Tanque de almacenamiento de producto de la columna de intercambio iónico
C-03	Columna de destilación
E-05	Rehervidor
E-06	Condensador
D-01	Secador



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

7.3 BALANCE DE MASA

El objetivo de este balance es obtener el caudal másico y los componentes de cada una de las corrientes del proceso. Para la realización del análisis se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- La fermentación es discontinua, por lo tanto, se obtienen los cálculos del balance de masa total y parcial realizado por cada batch producido.
- El régimen es estacionario, por lo que no hay acumulación de materia.
- Se realiza un sobredimensionamiento con respecto a los datos obtenidos en el estudio de mercado para compensar las pérdidas que puedan ocasionarse a lo largo del proceso.

7.3.1 BALANCE GLOBAL

TABLA 7.3: Balance global.

Fuente: Elaboración propia.

Balance global del proceso
$A + I + J + Z + S + CA + U = I' + L + N + T' + V + SA$

7.3.2 PROPAGACIÓN DEL INÓCULO

Este proceso comienza con la cepa liofilizada en el laboratorio (temperatura entre 2-8°C). Se utiliza la cepa designada como 130Z o ATCC 55618. Este material es el punto de partida a partir del cual se debe aumentar la cantidad del mismo, mediante sucesivos pasajes en Erlenmeyer de volúmenes crecientes, operados generalmente en agitadores de vaivén o rotatorios en cámaras de cultivo.

El inóculo se prepara con la composición idéntica al medio de fermentación, pero en menor volumen, realizando el mismo ajuste de pH y condiciones de esterilidad. Después se realiza la inoculación de la cepa activada y por último se procede a la incubación a 37°C, con agitación durante 12 horas. Finalmente se agrega el contenido del prefermentador para iniciar la fermentación.

En la figura 7.2 se observa el proceso de la propagación del inóculo, donde el medio es esterilizado con vapor e introducido al prefermentador, junto con un inóculo proveniente del laboratorio, el cual contiene gran concentración del microorganismo *Actinobacillus Succinogenes*. Luego esta corriente ingresa al fermentador R-02 o R-03 donde se lleva a cabo la reacción.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

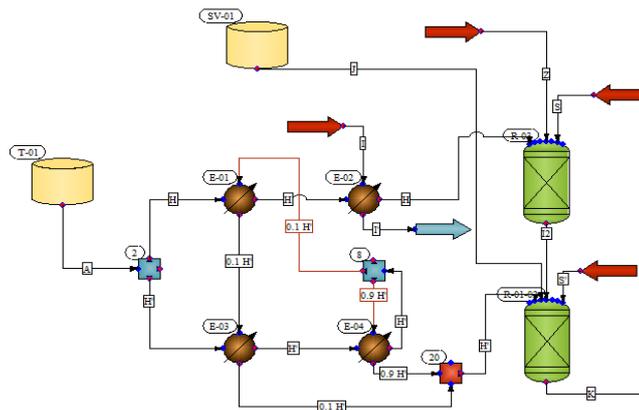


FIGURA 7.2: Prefermentación y fermentación

Fuente: Elaboración propia

TABLA 7.4: Balance de la propagación del inóculo

Fuente: Elaboración propia.

Balance de la propagación del inóculo	
Balance general	$A + S' = H$ $H + Z = I2$
Balances por componentes	$X_{(glucosa)} * H = X_{(glucosa)} * I2 + Y_{** (glucosa)} * MR *$
	$X_{(extracto)} * H = X_{(extracto)} * I2 + Y_{(extracto)} * MR$
	$X_{(NaCl)} * H = Y_{(NaCl)} * MR$
	$X_{(NaHCO_3)} * H = X_{(NaHCO_3)} * I2 + Y_{(NaHCO_3)} * MR$
	$X_{(MgSO_4)} * H = Y * MR$
	$X_{(K_2HPO_4)} * H = X_{(K_2HPO_4)} * I2 + Y_{(K_2HPO_3)} * MR$
	$X_{(NaH_2PO_4)} * H = X_{(NaH_2PO_4)} * I2 + Y_{(NaH_2PO_4)} * MR$
$X_{(Biomasa)} * Z + Y_{(Biomasa)} * MR = X_{(Biomasa)} * I2$	

*MR: Materia que reacciona

**Y representa lo que aparece o desaparece por reacción

En las siguientes tablas se representan las corrientes de entrada y salida del Reactor R-01, la cual ingresa al Reactor R-02-03 junto con una corriente de medio de cultivo H', el dióxido de carbono J y el resto de los sólidos S.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.5: Corrientes de entrada al fermentador.

Fuente: Elaboración propia.

Corrientes de entrada al fermentador R-01					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
H	Medio de cultivo	488.83	Glucosa	84,65%	258.65
			Agua	15,35%	46.89
			Extracto de levadura	100%	51.14
			NaCl	100%	1.08
			NaHCO ₃	100%	37.90
			MgSO ₄	100%	0.043
			K ₂ HPO ₄	100%	31.41
			NaH ₂ PO ₄	100%	61.72
Z	Inóculo	25.89	Biomasa	1%	0.259
			Medio de cultivo agotado	99%	25.63
Masa total: 514.72 kg					



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.6: Corrientes de salida del prefermentador

Fuente: Elaboración propia.

Corriente de salida del prefermentador R-01					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
I2	Medio de cultivo agotado	509.57	Glucosa	31,14%	158.69
			Agua	13,92%	70.93
			Extracto de levadura	11,66%	59.41
			NaHCO ₃	14,94%	76.13
			K ₂ HPO ₄	12,12%	61.76
			NaH ₂ PO ₄	16,22%	82.65
	Biomasa	5.15	Biomasa	100%	5.15
Masa total: 514.72 kg					

7.3.3 MEZCLADO

El medio de cultivo debe prepararse a partir del mezclado de las sustancias que lo componen. Para ello, se alimentan los reactores de igual manera, introduciendo los sólidos por la parte superior y las corrientes de cada uno de los componentes líquidos a través de bombas, provenientes de los tanques donde se encuentran almacenados.

TABLA 7.7: Balance general mezclado.

Fuente: Elaboración propia.

Balance del mezclado	
Balance general	$A + S = H'$
Balances por componentes	$X_{(glucosa)} * A = X_{(glucosa)} * H'$
	$X_{(extracto)} * S = X_{(extracto)} * H'$
	$X_{(NaCl)} * S = X_{(NaCl)} * H'$
	$X_{(NaHCO_3)} * S = X_{(NaHCO_3)} * H'$
	$X_{(MgSO_4)} * S = X_{(MgSO_4)} * H'$
	$X_{(K_2HPO_4)} * S = X_{(K_2HPO_4)} * H'$
	$X_{(NaH_2PO_4)} * S = X_{(NaH_2PO_4)} * H'$



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

En la siguiente tabla se expresan los datos de las corrientes que se mezclan y se dirigen al fermentador R-02-03.

TABLA 7.8: Balance de componentes mezclado.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de componentes en la etapa de mezclado					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
A	Glucosa	5011.12	Glucosa	84,65%	4241.91
			Agua	15,35%	769.21
S	Extracto de levadura	888.00	Extracto de levadura	100%	888.00
	Cloruro de sodio	17.78	NaCl	100%	17.78
	Bicarbonato de sodio	621.60	NaHCO ₃	100%	621.60
	Sulfato de magnesio	0.68	MgSO ₄	100%	0.68
	Fosfato dipotásico	515.20	K ₂ HPO ₄	100%	515.20
	Bifosfato de sodio	1012.23	NaH ₂ PO ₄	100%	1012.23
Masa total: 8066.61 kg					

7.3.4 FERMENTACIÓN

El proceso de fermentación se lleva a cabo en régimen discontinuo, en un reactor batch tipo tanque agitado, el cual opera por lotes.

El medio de cultivo es esterilizado y luego es introducido al reactor R-02 o R-03 junto con la alimentación de un inóculo de gran concentración de biomasa proveniente de la corriente I2. Además, se adiciona dióxido de carbono J, componente clave en la etapa ya que favorece la producción de ácido succínico, debido a que por cada mol agregado de CO₂, se produce un mol del ácido en cuestión. De esta manera, se produce la fermentación, la cual es la etapa más importante de nuestro proyecto.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Las consideraciones que se tienen en cuenta son las siguientes:

- Cada fermentación tiene una duración de 48 horas, donde 12 corresponden a la preparación del inóculo y 36 a la fermentación en sí.
- La inoculación se realiza al 5%
- La temperatura de operación es de 37°C
- El pH al que se lleva a cabo la reacción es 6,7
- La agitación se produce con una velocidad de 100 rpm
- La velocidad de adición del dióxido de carbono es 0,4 VVM
- Se consume el 100% del dióxido de carbono que se alimenta.

El caldo de fermentación resultante, además del ácido succínico, contiene ácido acético, fórmico, biomasa y residuos que deben ser eliminados. Esta mezcla sale del fermentador y se almacena en el tanque T-02 que funciona como tanque pulmón, para regular la corriente de entrada a la centrífuga S-01.

En la siguiente tabla se pueden observar los caudales másicos y las composiciones de las corrientes de entrada y salida al fermentador R-02 o R-03.

TABLA 7.9: Balance del fermentador.

Fuente: Elaboración propia.

Balance del fermentador R-02-03	
Balance general	$H' + I2 + J = K$
Balances por componentes	$X_{(glucosa)} * H' = X_{(glucosa)} * K + Y_{**} * (glucosa) * MR *$
	$X_{(extracto)} * S' = X_{(extracto)} * K + Y_{(extracto)} * MR$
	$X_{(NaCl)} * S' = Y_{(NaCl)} * MR$
	$X_{(NaHCO_3)} * S' = X_{(NaHCO_3)} * K + Y_{(NaHCO_3)} * MR$
	$X_{(MgSO_4)} * S' = Y * MR$
	$X_{(K_2HPO_4)} * S' = X_{(K_2HPO_4)} * K + Y_{(K_2HPO_3)} * MR$
	$X_{(NaH_2PO_4)} * S' = X_{(NaH_2PO_4)} * K + Y_{(NaH_2PO_4)} * MR$
	$X_{(biomasa)} * I2 + Y_{(Biomasa)} * MR = X_{(biomasa)} * K$
$X_{(CO_2)} * J = Y_{(CO_2)} * MR$	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.10: Corriente de entrada al reactor R-02-03.

Fuente: Elaboración propia.

Componentes que ingresan al fermentador R-02-03					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
H'	Disolución de glucosa	5011.12	Glucosa	84.65 %	4241.91
			Agua	15.35 %	769.21
S'	Medio de cultivo	3055.49	Extracto de levadura	29.06 %	888.00
			NaCl	0.58%	17.78
			NaHCO ₃	20.34 %	621.60
			MgSO ₄	0.02 %	0.68
			K ₂ HPO ₄	16.86 %	515.20
			NaH ₂ PO ₄	33.14 %	1012.23
I2	Inóculo	514.72	Biomasa	1%	5.15
			Medio de cultivo agotado	99%	509.57
J	Dióxido de carbono	1771.22	CO ₂	100%	1771.22
Masa total: 10352.55 kg					

En la tabla 7.11 se expresan los datos de la corriente de salida del fermentador R-02-03.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.11: Corriente de salida del reactor R-02-03.

Fuente: Elaboración propia.

Componentes que salen del fermentador R-02-03					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
K	Medio de cultivo agotado	1973.77	Glucosa	31,14%	614.63
			Agua	13,92%	274.75
			Extracto de levadura	11,66%	230.14
			NaHCO ₃	14,94%	294.89
			K ₂ HPO ₄	12,12%	239.22
			NaH ₂ PO ₄	16,22%	320.14
	Producto de la fermentación	8378.78	Biomasa	20,55%	1721.86
			Ácido fórmico	11,90%	997.07
			Ácido acético	10,87%	910.76
			Ácido succínico	56,68%	4749.09
Masa total: 10352.55 kg					

7.3.5 CENTRIFUGACIÓN

La corriente que ingresa a la centrífuga S-01, presentada en la tabla 7.11 como corriente que sale del reactor R-02-03, es dosificada de manera tal que el equipo tenga la capacidad de operar de manera continua, ya que esto es posible debido a la incorporación de un tanque pulmón previo T-02. En esta etapa se logra una separación de componentes, donde se eliminan la glucosa que no reaccionó en la fermentación, parte del agua y la biomasa. Por otro lado, se obtiene el caldo que se dirige a la columna de intercambio iónico C-01-02.

En la siguiente figura se encuentran representados el tanque pulmón T-02 que provee la alimentación a la centrífuga S-01.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

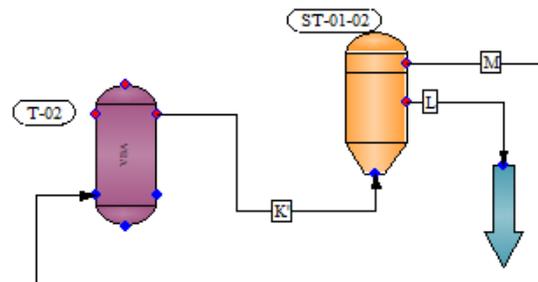


FIGURA 7.3: Centrifuga.
 Fuente: Elaboración propia.

TABLA 7.12: Balance general de centrifugación.
 Fuente: Elaboración propia.

Balance de la centrifuga S-01	
Balance general	$K' = L + M$
Balances por componentes	$X_{(glucosa)} * K' = X_{(glucosa)} * L$
	$X_{(extracto)} * K' = X_{(extracto)} * L$
	$X_{(NaHCO_3)} * K' = X_{(NaHCO_3)} * M$
	$X_{(K_2HPO_4)} * K' = X_{(K_2HPO_4)} * M$
	$X_{(NaH_2PO_4)} * K' = X_{(NaH_2PO_4)} * M$
	$X_{(biomasa)} * K' = X_{(biomasa)} * L$
	$X_{(H_2O)} * K' = X_{(H_2O)} * L + X_{(H_2O)} * M$
	$X_{(Ácido fórmico)} * K' = X_{(Ácido fórmico)} * M$
	$X_{(Ácido acético)} * K' = X_{(Ácido acético)} * M$
$X_{(Ácido Succínico)} * K' = X_{(Ácido Succínico)} * M$	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.13: Corriente de salida de la centrífuga S-01.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente de salida de la centrífuga S-01					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
L	Residuos	2759.07	Biomasa	62.41 %	1721.86
			Agua	6.97 %	192.44
			Glucosa	22.98 %	614.63
			Extracto de levadura	7.64 %	230.14
Masa total: 2759.07 kg					

En la siguiente tabla se detalla la composición de la corriente que se dirige al intercambiador iónico catiónico C-01-02.

TABLA 7.14: Corriente de salida de la centrífuga S-01 dirigida al intercambiador iónico C-01-02.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente de salida de la centrífuga S-01					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
M	Corriente de interés del proceso	7593.48	NaHCO ₃	3.88%	294.89
			K ₂ HPO ₄	3.15%	239.22
			NaH ₂ PO ₄	4.21%	320.14
			Agua	1.08%	82.31
			Ácido fórmico	13.13%	997.07
			Ácido acético	12.00%	910.76
			Ácido succínico	62.55%	4749.09
Masa total: 7593.48 kg					

7.3.6 ADSORCIÓN

La corriente M proveniente de la centrífuga se somete a un proceso de adsorción usando carbón activado para retirar parte de las impurezas, por lo tanto, el caldo se mezcla con carbón activado al 12.5% (p/v) durante 1 hora. Luego se transfiere la solución a una columna de



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

intercambio iónico C-01-02. La resina utilizada es Amberlite IR 120 H y se regenera usando una solución de ácido clorhídrico 4% (v/v) por 30 minutos. Se utilizarán dos columnas que están localizadas de manera paralela cuya operación es alterna, es decir, mientras uno de ellos aporta al sistema de producción, el otro está en etapa de regeneración de resina, logrando así el suministro continuo de alimentación a la torre de destilación. Se coloca un tanque pulmón a la salida de la columna de intercambio iónico para absorber variaciones del proceso y evitar salida de régimen de destilación, o en caso de salida de régimen de destilación enviar a este tanque el producto no conforme hasta retomar el régimen.

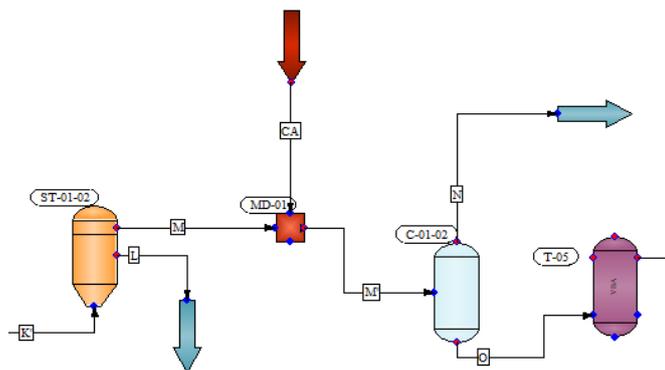


FIGURA 7.4: Columna de intercambio iónico.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior (Tabla 7.14) se representa la composición de la corriente entrante a la columna de intercambio iónico C-01-02 y en la siguiente tabla se representan las corrientes de salida obtenidas:



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.15: Balance general del intercambio iónico.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de la columna de intercambio iónico C-01-02	
Balance general	$M' = N + O$
Balance por componentes	$X_{(NaHCO_3)} * M' = X_{(NaHCO_3)} * N$
	$X_{(K_2HPO_4)} * M' = X_{(K_2HPO_4)} * N$
	$X_{(NaH_2PO_4)} * M' = X_{(NaH_2PO_4)} * N$
	$X_{(Carbón\ activado)} * M' = X_{(Carbón\ activado)} * N$
	$X_{(H_2O)} * M' = X_{(H_2O)} * O$
	$X_{(Ácido\ fórmico)} * M' = X_{(Ácido\ fórmico)} * O$
	$X_{(Ácido\ acético)} * M' = X_{(Ácido\ acético)} * O$
	$X_{(Ácido\ Succínico)} * M' = X_{(Ácido\ Succínico)} * O$

TABLA 7.16: Corriente de entrada de la columna de intercambio iónico.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente de entrada de la columna de intercambio iónico C-01-02					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
M'	Corriente de interés del proceso	7661.29	Carbón activado	0.88 %	67.81
			NaHCO ₃	3.85 %	294.89
			K ₂ HPO ₄	3.12 %	239.22
			NaH ₂ PO ₄	4.18 %	320.14
			Agua	1.07 %	82.31
			Ácido fórmico	13.01 %	997.07
			Ácido acético	11.89 %	910.76
			Ácido succínico	62.00 %	4749.09
Masa total: 7661.29 kg					



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.17: Corriente de salida de la columna de intercambio iónico.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente de salida de la columna de intercambio iónico C-01					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
N	Impurezas	922.06	Carbón activado	7.35 %	67.81
			NaHCO ₃	31.98 %	294.89
			K ₂ HPO ₄	25.94 %	239.22
			NaH ₂ PO ₄	34.73 %	320.14
O	Corriente de interés del proceso	6739.23	Agua	1.22 %	82.31
			Ácido fórmico	14.79 %	997.07
			Ácido acético	13.50 %	910.76
			Ácido succínico	70.49 %	4749.09
Masa total: 7661.29 kg					

7.3.7 DESTILACIÓN

El caldo resultante de la columna de intercambio iónico C-01-02 (corriente O detallada en la tabla 7.17) se dirige hacia la columna de destilación C-03. Se realiza la destilación a 0.61 atm, a 125.3 °C durante 1 hora para eliminar los ácidos volátiles como el acético y fórmico, junto con gran parte del agua presente. Por el fondo se obtiene el ácido succínico con algunas impurezas que serán eliminadas en las etapas posteriores. Esta corriente, detallada en la tabla que se encuentra a continuación, se transfiere al proceso de secado D-01.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

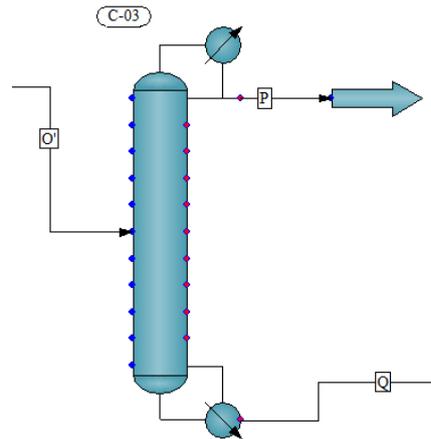


FIGURA 7.5: Destilación.

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 7.18: Balance general de destilación.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de destilación	
Balance general	$O' = P + Q$
Balances por componentes	$X_{(H_2O)} * O' = X_{(H_2O)} * P + X_{(H_2O)} * Q$
	$X_{(\text{Ácido fórmico})} * O' = X_{(\text{Ácido fórmico})} * P + X_{(\text{Ácido fórmico})} * Q$
	$X_{(\text{Ácido acético})} * O' = X_{(\text{Ácido acético})} * P + X_{(\text{Ácido acético})} * Q$
	$X_{(\text{Ácido Succínico})} * O' = X_{(\text{Ácido Succínico})} * Q$



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.19: Corrientes salientes de la columna de destilación C-03.

Fuente: Elaboración propia.

Corrientes de salida de la columna de destilación C-03					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
P	Volátiles	1776.00	Agua	4.6 %	81.89
			Ácido acético	40.64 %	721.82
			Ácido fórmico	54.76 %	972.29
Q	Corriente de interés del proceso	4963.23	Agua	0.01 %	0.42
			Ácido acético	3.81 %	188.94
			Ácido fórmico	0.50 %	24.78
			Ácido succínico	95.68 %	4749.09
Masa total: 6739.23 kg					

7.3.7.1 CONDENSADOR E-06 DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN C-03

La corriente de vapores que abandona la columna ingresa a un condensador total generando una corriente líquida, donde parte de ella vuelve a ingresar a la columna de destilación con el objetivo de enriquecer aún más la corriente del producto de interés.

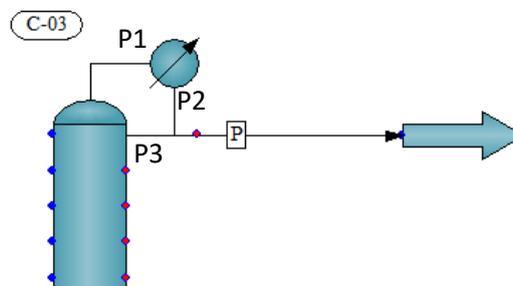


FIGURA 7.7: Condensador de la columna de destilación.

Fuente: Elaboración propia.

De los datos de la simulación es posible conocer el caudal másico de la corriente de reflujo P3, cuyo valor es de 1158.19 kg/h , y del balance de masa global de la columna de destilación se conoce el flujo másico de la corriente P, el cual es 74 kg/h (1776/día) . Se calcula entonces:



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

$$P1 = P2 = P + P3 \text{ (Ec 7.3)}$$

TABLA 7.20: Cálculo de energía en el condensador de la columna de destilación.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente	Componente	Estado	Fracción másica	Caudal másico (kg/h)	Total (kg/h)	T (°C)	P (atm)
P1	Ácido Fórmico	Vapor	0.5476	674.75	1232.19	92.2	0.61
	Ácido Acético		0.4064	500.76			
	Agua		0.0460	56.68			
AE-01	Agua	Líquido	1	21489.38	21489.38	28	1
P2	Ácido Fórmico	Líquido	0.5476	674.75	1232.19	90.4	0.61
	Ácido Acético		0.4064	500.76			
	Agua		0.0460	56.68			
AE-02	Agua	Líquido	1	21489.38	21489.38	35	1

7.3.7.2 REHERVIDOR E-05 DE LA COLUMNA DE DESTILACION C-03

La corriente líquida Q1 que abandona la columna por el fondo, ingresa al rehervidor parcial donde se evapora una parte de la misma y se generan dos corrientes: corriente Q3 en estado vapor, rica en ácido acético, y corriente Q de producto final, en estado líquido.

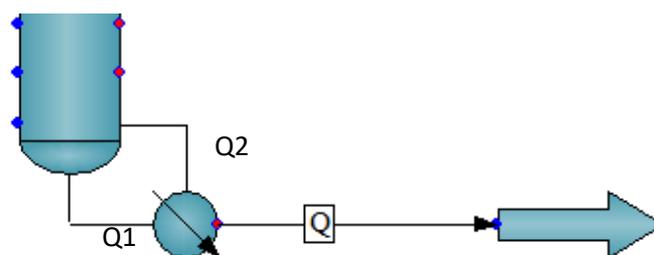


FIGURA 7.8: Rehervidor de la columna de destilación.

Fuente: Elaboración propia.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

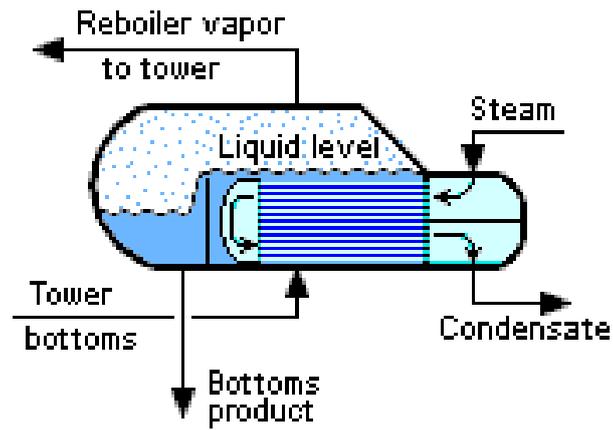


FIGURA 7.9: Rehervidor de la columna de destilación.

Fuente: Elaboración propia.

Del perfil de composición de la columna es posible obtener los datos de cada corriente, y así poder plantear el balance de masa y energía de la unidad. La corriente Q1 se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q1 = Q + Q2 \text{ (Ec 7.4)}$$



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.21: Balance en el rehedidor de la columna de destilación.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente	Componente	Estado	Fracción másica	Caudal másico (kg/h)	Total (kg/h)	T (°C)	P (atm)
	Ácido Succínico		0.2392	197.87			
Q1	Ácido Fórmico	Líquido	0.0924	76.43	827.2	160.097	0.61
	Ácido Acético		0.6653	550.34			
	Agua		0.0031	2.56			
V-01	Agua	Vapor	1	339.69	339.69	150	2
	Ácido Succínico		0.2392	197.87			
Q- rehedidor	Ácido Fórmico	Mezcla líquida/ vapor	0.0924	76.43	827.2	218.17	0.61
	Ácido Acético		0.6653	550.34			
	Agua		0.0031	2.56			
V-02	Agua	Vapor	1	339.69	339.69	150	2
Calor intercambiado (kcal/h)					178656		

Se observa una corriente denominada Q-rehedidor en la tabla anterior. Esta se va a dividir en las posteriores Q2 que retorna a la columna en forma de vapor, y la de producto final Q. Estos datos se encuentran expresados en la siguiente tabla:



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.22: Balance en el rehervidor de la columna de destilación.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente	Componente	Estado	Fracción másica	Caudal másico (kg/h)	Total (kg/h)	T (°C)	P (atm)
Q-rehervidor	Ácido Succínico		0.2392	197.87	827.2	218.17	0.61
	Ácido Fórmico	Mezcla líquida/vapor	0.0924	76.43			
	Ácido Acético		0.6653	550.34			
	Agua		0.0031	2.56			
Q2	Ácido Fórmico	Vapores a la columna	0.1215	75.4	620.4	218.17	0.61
	Ácido Acético		0.8744	542.46			
	Agua		0.0041	2.54			
Q	Ácido Succínico		0.9568	197.87	206.8	218.17	0.61
	Ácido Fórmico	Líquido	0.0050	1.03			
	Ácido Acético		0.0381	7.88			
	Agua		0.0001	0.02			

7.3.9 CONCENTRACIÓN Y SECADO

La corriente obtenida en la etapa anterior se somete a un proceso de secado D-01, el cual se lleva a cabo a 70°C de temperatura. Como resultado se obtiene el ácido succínico como sólido seco, con una pureza de aproximadamente 99%, con un rendimiento global del proceso de 98%. Los volátiles que se obtienen de esta etapa son posteriormente liberados al ambiente ya que las concentraciones de los mismos se encuentran dentro de los límites establecidos por la legislación.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

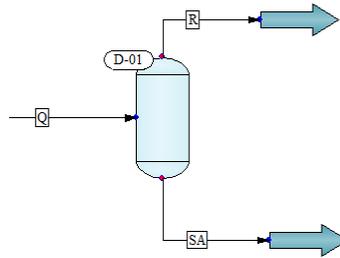


FIGURA 7.6: Concentración y secado.
 Fuente: Elaboración propia.

TABLA 7.23: Balance general de secado

Balance de secado	
Balance general	$Q = R + SA$
	$X_{(H_2O)} * Q = X_{(H_2O)} * R$
Balances por componentes	$X_{(\text{Ácido fórmico})} * Q = X_{(\text{Ácido fórmico})} * R + X_{(\text{Ácido fórmico})} * SA$
	$X_{(\text{Ácido acético})} * Q = X_{(\text{Ácido acético})} * R + X_{(\text{Ácido acético})} * SA$
	$X_{(\text{Ácido succínico})} * Q = X_{(\text{Ácido succínico})} * SA$

TABLA 7.24: Corriente de salida del secado.
 Fuente: Elaboración propia.

Corrientes de salida del secador D-01					
Nomenclatura	Nombre	Masa (kg)	Componente	Composición porcentual	Fracción (kg)
R	Volátiles	166.17	Ácido Acético	86.00 %	142.89
			Ácido Fórmico	13.76 %	22.86
			Agua	0.24 %	0.42
SA	Ácido succínico	4797.06	Ácido Acético	0.96 %	46.05
			Ácido Fórmico	0.04 %	1.92
			Ácido succínico	99.00 %	4749.09
Masa total: 4963.23 kg					



7.4 BALANCE DE ENERGÍA

Para la realización de estos balances, solamente se consideran aquellas etapas en las que la energía intercambiada es relevante, de manera que justifique el análisis. A partir de esto se determina la masa o el caudal del medio refrigerante o calefactor, dependiendo de lo que requiera la operación.

Las etapas que se tienen en cuenta al momento de realizar el balance energético son:

- Esterilización
- Fermentación
- Destilación
- Secado

7.4.1 ESTERILIZACIÓN

Para hacer el balance energético, deben conocerse las características del vapor que se utiliza en esta operación. Se realiza en dos esterilizaciones: Una al medio de cultivo que se utiliza para la propagación del inóculo y la otra se aplicará al medio de cultivo que se emplea para llevar a cabo la fermentación. Cabe aclarar que solo se someterá a este proceso térmico los componentes que se encuentren en estado líquido, ya que los sólidos se introducirán directamente al prefermentador o fermentador.

El vapor utilizado para la esterilización está a 2 atm de presión y 121°C, temperatura estándar que se realiza durante 30 segundos. Según las curvas de vapor de agua, se debe trabajar a una presión de 2 atm para dicha temperatura de proceso.

En la siguiente tabla se especifican los parámetros que se tienen en cuenta en ambas operaciones.

Además, se encuentra el balance de energía correspondiente a cada una de las esterilizaciones y su posterior enfriamiento despreciándose las pérdidas de calor.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.25: Definición de parámetros.

Fuente: Elaboración propia.

Operación	Parámetro	Valor
Esterilización del medio de cultivo para la propagación del inóculo	T_{ref}	0°C
	$T_{alimentación}$	25°C
	ΔH_{vap}	525.405 kcal/kg
	$T_{esterilización}$	121°C
	Tiempo de esterilización	30 minutos
	Tiempo de enfriamiento	20 minutos
	$T_{enfriamiento}$	37°C

TABLA 7.26: Ecuaciones para el balance de energía para la esterilización del medio de cultivo (inóculo).

Fuente: Elaboración propia.

Balances	Ecuaciones
Balance general de energía	$H * h_H = H^{esteril} * h_{H^{esteril}} + Q$
Consumo de vapor	$Q_{calentamiento} = m_{vapor} * \Delta H_{vapor}$
Cálculo de entalpía	$h = Cpm * (T - T_{ref})$ $Cpm = \sum xi * Cpi$
Consumo de agua de enfriamiento	$Q_{enfriamiento} = m_{H_2O} * Cp_{H_2O} * (T_{salida} - T_{entrada})$

En la siguiente tabla se especifican los detalles del cálculo energético requerido para esterilizar la corriente de alimentación al prefermentador aprovechando el calor aportado por el 10% de la corriente esterilizada que va a ingresar al fermentador. El mismo intercambio se realiza en el economizador E-01.

TABLA 7.27: Cálculos.

Fuente: Elaboración propia.

Componente	Cp (kcal/kg °C)	Fracción p/p
Glucosa	0.32	0.8495
Agua	1.00	0.1505
Cpm	0.4223	-
Masa a esterilizar H	12.73	Kg/h
$Q_{calentamiento}$	712.506	Kcal/h
$M_{0.1H'}$	20.88	kg



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

En la siguiente tabla se especifican las características del enfriamiento del medio de cultivo esterilizado que se requiere para la propagación del inóculo. Este proceso se realiza en el enfriador E-02.

TABLA 7.28: Cálculos.

Fuente: Elaboración propia.

Componente	Cp (kcal/kg °C)	Fracción p/p
Glucosa	0.32	0.8495
Agua	1.00	0.1505
Cpm	0.4223	-
Masa a esterilizar H	12.73	kg/h
Q _{enfriamiento}	650.676	kcal/h
M _{H₂O}	93.1	Kg/h

A continuación, se realiza el balance energético perteneciente a la esterilización del medio de cultivo que se utilizará para la fermentación.

En la siguiente tabla se especifican detalles del intercambio energético necesario para precalentar el medio de cultivo que se requiere para el proceso de fermentación. Este proceso se lleva a cabo introduciendo al economizador E-03, junto a esta, la corriente que contiene 10% de medio de cultivo que se alimentará al reactor, proveniente del economizador E-01.

TABLA 7.29: Cálculos.

Fuente: Elaboración propia.

Componente	Cp (kcal/kg °C)	Fracción p/p
Glucosa	0.32	0.8495
Agua	1.00	0.1505
Cpm	0.4223	-
Q _{intercambiado}	349.96	kcal/h
M _{0.1H'}	20.8	kg/h
M _{1H'}	208.8	kg/h

En la siguiente tabla se especifica el calor intercambiado en el proceso de enfriamiento de la corriente que contiene el 90% de medio de cultivo esterilizado que se requiere para el



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

proceso de fermentación, donde la corriente precalentada que ingresará al fermentador aprovechará este calor liberado para alcanzar los 121°C, requeridos para la esterilización.

TABLA 7.30: Cálculos.

Fuente: Elaboración propia.

Componente	Cp (kcal/kg °C)	Fracción p/p
Glucosa	0.32	0.8495
Agua	1.00	0.1505
Cpm	0.4223	-
Q _{intercambiado}	9562.24	kcal/h
M _{0.9H'}	187.92	kg/h
M _{1H'}	208.8	kg/h

Al inicio de la producción se debe considerar la inyección de vapor por única vez, para que la corriente de medio de cultivo que ingresa al fermentador, pueda alcanzar la temperatura de esterilización y de esta manera, ser utilizada para realizar el intercambio energético mencionado anteriormente.

Para dicha operación se alimenta directamente a la tubería vapor de 2 atm a 150°C. El balance energético se expresa de la siguiente manera:

TABLA 7.31: Cálculos.

Fuente: Elaboración propia.

Variable	Valor
Ecuación	$m_{vapor} * \lambda_{(p,T)} = m_{H'} * Cp_{H'} * (T_{salida} - T_{entrada})$
$\lambda_{(p,T)}$	525.933 kcal/h
T_{salida}	121 °C
$T_{entrada}$	25 °C
Masa de vapor	16.095 kg/h

7.4.2 PREFERMENTACIÓN Y FERMENTACIÓN

En las reacciones biológicas anaeróbicas se tiene en cuenta el calor generado debido al crecimiento celular, así como también el calor que genera el sistema de agitación y el calor perdido a causa de la geometría del sistema. Esto da como resultado una acumulación de



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

energía que debe ser removida a través de agua de enfriamiento o agregada por medio de vapor.

En las tablas que se encuentran a continuación, se pueden observar con detalle los cálculos implicados en cada uno de los calores mencionados anteriormente.

TABLA 7.32: Ecuaciones para el balance de energía.

Fuente: Elaboración propia.

Balances	Ecuaciones
Balance global de energía	$Q_{\text{metabolismo}} + Q_{\text{agitación}} - Q_{\text{pérdidas}} = Q_{\text{acumulado}}$
Balance para el enfriamiento	$Q_{\text{acumulado}} = Q_{\text{enfriamiento}}$
	$Q_{\text{enfriamiento}} = m_{\text{H}_2\text{O}} * C_p * (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})$

- Calor de metabolismo: Calor de reacción de la secuencia metabólica principal. El calor celular es el procedente del metabolismo energético y crecimiento celular.
- Calor de agitación: generación de calor debido a la agitación mecánica.
- Pérdidas de calor: velocidad de pérdidas de calor por convección y radiación.
- Calor acumulado: velocidad de acumulación de calor.
- Calor de enfriamiento: calor transferido por el sistema de enfriamiento.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.33: Cálculo de los calores involucrados en la fermentación.

Fuente: Elaboración propia.

Calor	Ecuación	Parámetros	Valor (kcal/h)
Calor de metabolismo celular	$Q_{met} = \frac{\mu * X * V}{Y_H}$	$\mu_{neto} = 0,63 \text{ h}^{-1}$	3793.7
		$X = \frac{259 \text{ g cél}}{0.461 \text{ m}^3}$	
		$V = 0.461 \text{ m}^3$	
Pérdidas de calor	$Q_{per} = h_a * A * (T_1 - T_a)$	$Y_H = \frac{0,16 \frac{\text{g cél}}{\text{g gluc}}}{3,72 \frac{\text{kcal}}{\text{g gluc}}}$	23.02
		$h_a = 0.53 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{°C}}$	
		$A = 3.62 \text{ m}^2$	
Calor de agitación	$Q_{ag} = \text{Potencia}$	$T_1 = 37\text{°C}$	114.13
		$P = 13.54 \frac{\text{kgfm}}{\text{s}}$	
		$T_a = 25\text{°C}$	
Acumulación de calor	-	-	3884.81
Agua de enfriamiento	$Q_{enf} = m_{H_2O} * Cp * (T_{sal} - T_{ent})$	$T_e = 28\text{°C}$	0.555 m ³ /h
		$T_s = 35\text{°C}$	
		$Cp = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg °C}}$	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.34: Cálculo de los calores involucrados en la fermentación.

Fuente: Elaboración propia.

Calor	Ecuación	Parámetros	Valor (kcal/h)
Calor de metabolismo celular	$Q_{met} = \frac{\mu * X * V}{Y_H}$	$\mu_{neto} = 0,63 \text{ h}^{-1}$	75434.625
		$X = \frac{5150 \text{ g cél}}{12.25 \text{ m}^3}$	
		$V = 12.25 \text{ m}^3$	
		$Y_H = \frac{0,16 \frac{\text{g cél}}{\text{g gluc}}}{3,72 \frac{\text{kcal}}{\text{g gluc}}}$	
Calor de agitación	$Q_{ag} = \text{Potencia}$	$P = 82.53 \frac{\text{kgfm}}{\text{s}}$	695.69
Pérdidas de calor	$Q_{per} = h_a * A * (T_1 - T_a)$	$h_a = 4.66 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{°C}}$	1784.407
		$A = 31.91 \text{ m}^2$	
		$T_1 = 37\text{°C}$	
		$T_a = 25\text{°C}$	
Acumulación de calor	-	-	74345.908
Agua de enfriamiento	$Q_{enf} = m_{H2O} * Cp * (T_{sal} - T_{ent})$	$T_e = 28\text{°C}$	10.62 m ³ /h
		$T_s = 35\text{°C}$	
		$Cp = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg °C}}$	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

7.4.3 DESTILACIÓN

La solución proveniente de la columna de intercambio iónico ingresa a la columna de destilación C-02, en la cual se elimina prácticamente toda el agua y gran parte de los ácidos acético y fórmico.

El proceso se realiza bajo vacío (0.61 atm), y permite obtener concentraciones de ácido succínico muy altas, aproximadamente 95.7 %, trabajando a una temperatura promedio de 125.3°C.

En esta etapa existen dos intercambios de energía a analizar. En primer lugar, el calor que se aporta a los fondos de la columna para generar el cambio de fases y separar por diferencia de punto de ebullición los compuestos de la mezcla. En segundo lugar, se encuentra la energía removida para condensar la corriente de tope de destilación.

El balance de energía se calcula en el simulador CHEMCAD 7.1.2.

TABLA 7.35: Balance de energía en la destilación.

Fuente: Elaboración propia.

Balance de energía	Ecuaciones
	$Q_{O_1} + Q_{rehervidor} = Q_P + Q_Q + Q_{condesador}$
Destilación	$Q_{total} = Q_P + Q_Q + Q_{condesador}$



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.36: Cálculo de energía en la destilación.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente	Descripción	Masa (kg)	Componente	Fracción p/p	Temperatura (°C)	Cp (kcal/kg °C)
O'	Alimentación	6739.23	Ácido Succínico	0.7049	25	0.37
			Ácido Fórmico	0.1479		
			Ácido Acético	0.1350		
			Agua	0.0122		
P	Tope de columna	1776.00	Ácido Fórmico	0.5476	90.4	0.57
			Ácido Acético	0.4064		
			Agua	0.0460		
			Ácido Succínico	0.9568		
Q	Fondo de la columna	4963.23	Ácido Fórmico	0.0050	218.17	0.55
			Ácido Acético	0.0381		
			Agua	0.0001		
			Ácido Succínico	0.9568		
Calor en el rehvridor (kcal/h)					178656	
Calor en el condensador (kcal/h)					-155488	
Diferencia de Calor en la columna					23168	

7.4.3.1 CONDENSADOR DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN E-06

De la simulación realizada en CHEMCAD 7.1.2 se obtienen los datos correspondientes a la energía removida en el condensador. Se expresan en la siguiente tabla:



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 7.37: Condensador destilación

Fuente: Elaboración propia.

Componente	Fracción p/p	
Agua	0.046	
Ácido Acético	0.406	
Ácido Fórmico	0.548	
Cpm	0.54	kcal/kg °C
Masa	1232.19	kg/h
$Q_{\text{enfriamiento}}$	155488	kcal/h
$M_{\text{H}_2\text{O}}$	21489.38	kg/h
T_{ENT} del agua	28	°C
T_{SAL} del agua	35	°C

7.4.3.2 REHERVIDOR EN LA COLUMNA DE DESTILACIÓN E-05

De la simulación realizada en CHEMCAD 7.1.2 se obtienen los datos correspondientes a la energía aportada por el vapor en el rehervidor. Se expresan en la siguiente tabla:

TABLA 7.38: Balance en el rehervidor de la columna de destilación.

Fuente: Elaboración propia.

Componente	Fracción p/p	
Ácido Succínico	0.2392	
Agua	0.0031	
Ácido Acético	0.6653	
Ácido Fórmico	0.0924	
Masa	827.2	kg/h
$Q_{\text{calentamiento}}$	178656	kcal/h
M_{VAPOR}	339.69	kg/h
T Vapor	150	°C
P Vapor	2	atm

7.4.4 SECADO

La temperatura de operación de esta etapa es de 70°C, donde la corriente de ingreso que alimenta al secador se encuentra a 218 °C y a una presión de 1 atm, con una concentración de 95.68% de ácido succínico. El efecto que genera la diferencia de presión entre esta corriente y



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

el ambiente del equipo, hace que la alimentación tienda a enfriarse a temperatura ambiente 25°C, por lo cual en este equipo debe brindarse el calor necesario para mantener la corriente a la temperatura de operación, buscando así, eliminar una mayor proporción de ácidos orgánicos y restos de agua, buscando llegar a una concentración final del 99 %.

TABLA 7.39: Características del aire de secado

Fuente: Elaboración propia.

Componente	T entrada (°C)	T salida (°C)	Entalpía de entrada (kcal/kg aire seco)	Humedad de entrada (%)
Aire	180	90	56.0228	50

TABLA 7.40: Balance de energía en el secado.

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación general del balance energético del secado		
$S_s H'_{s1} + G_s H'_{g2} = S_s H'_{s2} + G_s H'_{g1} + Q$		
DENOMINACIÓN	ECUACIÓN	VALOR
S_s (kg sólido/h)	$m * (1 - X_2)$	
H'_{s1} (J/kg sólido seco)	$C_{ps} * (t_{s1} - t_0) + X_1 * C_{pa} * (t_{s1} - t_0)$	208867.01
H'_{s2} (J/kg sólido seco)	$C_{ps} * (t_{s2} - t_0) + X_2 * C_{pa} * (t_{s2} - t_0)$	152716
H'_{g1} (J/kg aire seco)	$(1005 + 1884 * Y_1) + 2502300 * Y_1$	
Q (kJ/h)	$R * 3.6 * \Delta T * A$	214980.48
ΔT (°C)	$\frac{(T_{G2} - T_{amb}) + (T_{G1} - T_{amb})}{2}$	110
A (m ²)	$\pi * D * H$	45.24
G_s (kg/h)		6326.4

Dónde:

S_s : Velocidad del sólido en base seca.

H'_{s1} : Entalpía del sólido húmedo por unidad de masa de sólido secado a la entrada.

H'_{s2} : Entalpía del sólido húmedo por unidad de masa de sólido secado a la salida.

H'_{g1} : Entalpía del gas húmedo por unidad de masa de gas seco a la salida.

Q: Pérdida de calor estimado.

R: Coeficiente estimado de transferencia de calor y radiación combinadas desde el secador a los alrededores; 12W/m²°C.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

ΔT : Diferencia de temperatura promedio entre el secador y los alrededores.

T_{G2} : Temperatura del aire a la entrada del secador.

T_{G1} : Temperatura del aire a la salida del secador.

T_{amb} : Temperatura ambiente, 20°C.

A: Área expuesta.

D: Diámetro del secador, 3m

H: Altura del secador, 4.8m.

G_5 : Masa de aire.

TABLA 7.41: Cálculos secado

Fuente: Elaboración propia.

Componente	Cp (kcal/kg °C)	Fracción p/p
Agua	1.000	0.0024
Ácido Acético	0.525	0.1376
Ácido Fórmico	0.515	0.8600
Cpm	0.5175	
Masa a evaporar	6.92	kg/h
ΔH_{aire}	24.48	kcal/kg
Q_{Secado}	44966.86	Kcal/h
M_{aire}	6326.4	kg
Caudal de aire	219.67	m ³ /h



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

CAPÍTULO 8
DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

8.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo está dedicado al diseño y adopción de cada uno de los equipos utilizados en el proceso productivo del Ácido Succínico, tomando como base los resultados obtenidos de los balances másicos y energéticos realizados en el capítulo anterior.

El diseño involucra a todos aquellos equipos que son específicos para este proceso, mientras que serán adoptados aquellos que son generales y comunes a la industria de procesos.

En la siguiente tabla se detallan cuáles de estos equipos son diseñados y cuales adoptados.

TABLA 8.1: Criterios tomados para los equipos.

Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Equipo
Diseño	Tanques de almacenamiento
	Esterilizadores
	Enfriadores
	Prefermentador
	Fermentador
Adopción	Columna de destilación
	Centrífuga
	Columna de intercambio iónico
	Secador
	Envasadora



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

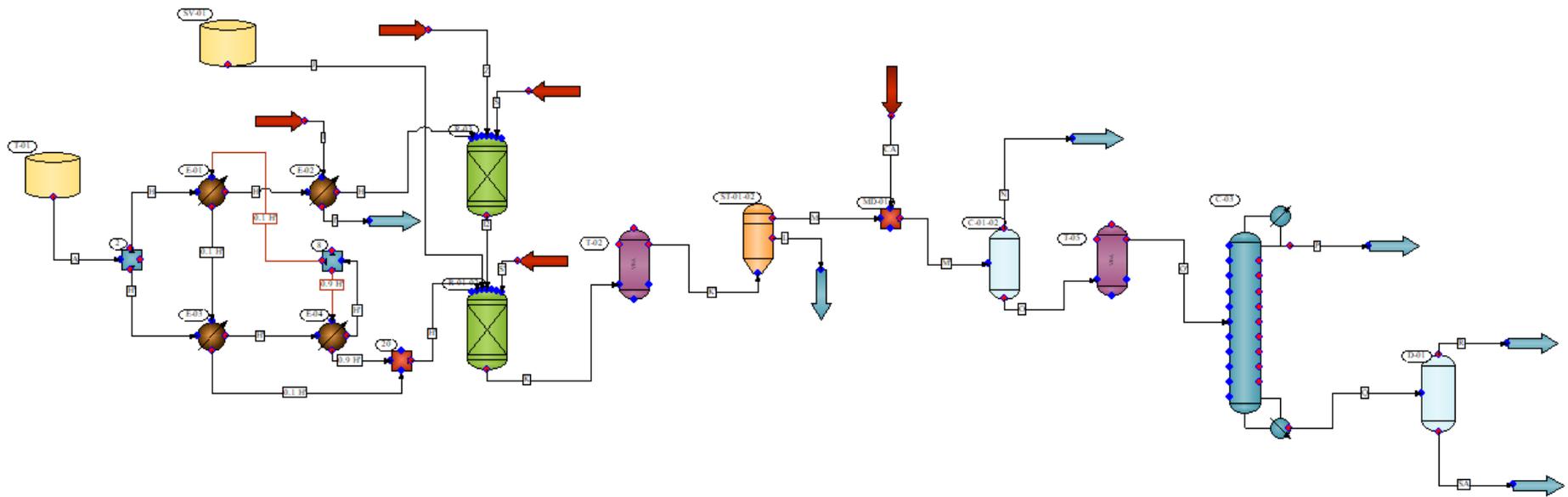


Figura 8.1: Flowsheet del proceso.

Fuente: Elaboración propia.



TABLA 8.2: Equipos utilizados en el proceso.

Fuente: Elaboración propia.

Nomenclatura	Equipo
T-01	Tanque de almacenamiento de glucosa
E-01	Economizador
E-02	Enfriador
E-03	Economizador
E-04	Economizador
R-01-02	Reactor batch con agitación
M-01-02	Motores fermentadores
R-03	Prefermentador
M-03	Motor prefermentador
SV-01	Tanque de CO ₂
T-02	Tanque de almacenamiento del producto de la fermentación
S-01-02	Centrífuga
T-03	Tanque de almacenamiento de la disolución de Ácido Clorhídrico
DM-01	Mezclador
M-04	Motor tanque pulmón
M-05	Motor mezclador
T-04	Tanque de almacenamiento de impurezas de la columna de intercambio iónico
C-01-02	Columna de intercambio iónico
T-05	Tanque de almacenamiento de producto de la columna de intercambio iónico
M-06	Motor del tanque T-06
C-03	Columna de destilación
E-05	Rehervidor
E-06	Condensador
D-01	Secador
H-01	Transporte de tornillo
W-01	Envasadora



8.2 EQUIPOS DISEÑADOS

8.2.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLUCOSA T-01

Las materias primas son almacenadas a temperatura ambiente donde la glucosa, se adquiere en camiones de 40 m³, que llegan a la planta aproximadamente cada 20 días, generando un ingreso anual de 628 m³ de glucosa. El diseño del tanque de almacenamiento se realiza en base a estos números proyectando que el almacén se mantenga a un 90% de capacidad máxima de llenado, incluyendo además un sobredimensionamiento del tanque del 15% como factor de seguridad. Dando como resultado un tanque de 50 m³. Este es de acero inoxidable AISI 304 ya que es un material resistente a la corrosión, versátil, reciclable y de fácil limpieza. Este tipo de acero presenta aplicaciones dentro de industrias químicas, farmacéuticas, alimenticias, entre otras. El tanque cuenta con fondo redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes de fluido.

Como base para los cálculos se determina que el diámetro interior del tanque (Di) sea igual a la altura del líquido contenido (H).

Teniendo en cuenta el tiempo de residencia, las propiedades del fluido, las condiciones de seguridad y el objetivo de la operación se parte de los siguientes cálculos:

$$V_{Tanque} = V_{cilindro} + 2 * V_{Cabezal} \quad (Ec 8.1)$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi * D^2}{4} * H \quad (Ec 8.2)$$

$$V_{Cabezal} = \frac{\pi * D^2 * h}{6} \quad (Ec 8.3)$$

$$h = \frac{D}{4} \quad (Ec 8.4)$$

Dónde:

D: Diámetro del cilindro (m).

H: Altura del cilindro (m).

h: Altura de la cabeza (m)

Dado que se considera una relación de esbeltez H/Dit=2.5 el diámetro del cilindro se calcula de la siguiente manera:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_{cilindro} * 4}{\pi * 2.5}} \quad (Ec 8.5)$$



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

$$D = 2.94 \text{ m}$$

$$H = 7.36 \text{ m}$$

$$h = 0.736 \text{ m}$$

Entonces, mediante la ecuación número 3 se puede calcular el volumen de cabezal:

$$V_{\text{cabezal}} = 3,33 \text{ m}^3$$

Según la ecuación (1), el volumen total del tanque es la suma del volumen del cilindro más el volumen de los dos cabezales, dando como resultado:

$$V_{\text{Tanque}} = 56.66 \text{ m}^3$$

TABLA 8.3: Características de diseño de T-01.

Fuente: Elaboración propia.

Características T-01	Valor
Material	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L
Relación de esbeltez	2.5
Volumen del cilindro (m ³)	50
Diámetro del cilindro (m)	2.94
Altura del cilindro (m)	7.36
Volumen de cabezal (m ³)	3.33
Altura de cabezal (m)	0.739
Volumen total del tanque	56.66

8.2.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR

Para poder llevar a cabo una fermentación con éxito es imprescindible mantener una contaminación mínima en el cultivo de alimentación, fermentador y equipamiento a través de la esterilización logrando así un máximo rendimiento de la etapa.

Existen diferentes procedimientos, pero en la práctica, para instalaciones a gran escala, el calor es el principal mecanismo utilizado.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

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

Existen diversos tipos de intercambiadores de calor, pero los más comunes son de coraza y tubos o los de placas. El primero consiste en una carcasa cilíndrica que contiene un arreglo de tubos paralelo al eje longitudinal de la carcasa, donde el fluido que circula por los tubos se denomina interno y el que circula por la carcasa externo. El intercambiador de placas consiste en un conjunto de placas metálicas corrugadas montadas entre dos marcos y selladas mediante juntas elastoméricas quienes a su vez dirigen los fluidos por canales alternos. Para nuestro proceso se decide utilizar intercambiadores de placas. Teniendo en cuenta el volumen necesario de los fermentadores y prefermentador, se determinan los caudales a esterilizar, y con la ayuda del software Chemcad 7.1.2 se obtiene el diseño de los equipos necesarios.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

8.2.2.1 ECONOMIZADOR E-01

En la siguiente tabla se especifican los datos para el equipo utilizado para esterilizar la corriente de alimentación al prefermentador aprovechando el calor aportado por el 10% de la corriente esterilizada que va a ingresar al fermentador.

TABLA 8.4: Características de diseño de E-01.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Tipo de intercambiador	Placas
Material	Acero al carbono
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Número de placas	21
Alto de placas (m)	1
Ancho (m)	0.5
Espacio entre placas (cm)	0.35
Grosor de las placas (cm)	0.254
Número de pasos lado caliente	1
Número de pasos lado frío	1
Boquilla de entrada al lado caliente (cm)	8
Boquilla de entrada al lado frío (cm)	8
Boquilla de salida del lado caliente (cm)	8
Boquilla de salida del lado frío (cm)	8
Área calculada (m ²)	10.08
ΔT_{ML} (°C)	4.5
U calculado (kcal/hm ² °C)	19.42
Factor de Fouling lado caliente (hm ² C/kcal)	0.005662
Factor de Fouling lado frío (hm ² C/kcal)	0.005662
Calor calculado (kcal/h)	712.506



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

8.2.2.2 ENFRIADOR E-02

En la siguiente tabla se especifican los datos para el equipo utilizado en el enfriamiento del medio de cultivo esterilizado que se requiere para la propagación del inóculo. Para este proceso se utilizan 93 kg/h de agua.

TABLA 8.5: Características de diseño de E-02.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Tipo de intercambiador	Placas
Material	Acero al carbono
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Número de placas	5
Alto de placas (m)	1
Ancho (m)	0.5
Espacio entre placas (cm)	0.35
Grosor de las placas (cm)	0.254
Número de pasos lado caliente	1
Número de pasos lado frío	1
Boquilla de entrada al lado caliente (cm)	8
Boquilla de entrada al lado frío (cm)	8
Boquilla de salida del lado caliente (cm)	8
Boquilla de salida del lado frío (cm)	8
Área calculada (m ²)	2.4
ΔT_{ML} (°C)	34.11
U calculado (kcal/hm ² °C)	7.95
Factor de Fouling lado caliente (hm ² C/kcal)	0.05438
Factor de Fouling lado frío (hm ² C/kcal)	0.05438
Calor calculado (kcal/h)	650.676



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

8.2.2.3 ECONOMIZADOR E-03

En la siguiente tabla se especifican los datos para el equipo utilizado para precalentar el medio de cultivo que se requiere para el proceso de fermentación. Este proceso se lleva a cabo introduciendo junto a esta, la corriente que contiene 10% de medio de cultivo que se alimentará al reactor, proveniente del economizador E-01.

TABLA 8.6: Características de diseño de E-03.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Tipo de intercambiador	Placas
Material	Acero al carbono
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Número de placas	5
Alto de placas (m)	1
Ancho (m)	0.5
Espacio entre placas (cm)	0.35
Grosor de las placas (cm)	0.254
Número de pasos lado caliente	1
Número de pasos lado frío	1
Boquilla de entrada al lado caliente (cm)	8
Boquilla de entrada al lado frío (cm)	8
Boquilla de salida del lado caliente (cm)	8
Boquilla de salida del lado frío (cm)	8
Área calculada (m ²)	2.4
ΔTML	25.88
U calculado (kcal/hm ² °C)	5.64
Factor de Fouling lado caliente (hm ² C/kcal)	0.079522
Factor de Fouling lado frío (hm ² C/kcal)	0.079522
Calor calculado (kcal/h)	349.963



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

8.2.2.4 ECONOMIZADOR E-04

En la siguiente tabla se especifican los datos para el equipo utilizado en el enfriamiento de la corriente que contiene el 90% de medio de cultivo esterilizado que se requiere para el proceso de fermentación, donde la corriente precalentada que ingresará al fermentador aprovechará este calor liberado para alcanzar los 121°C, requeridos para la esterilización.

TABLA 8.7: Características de diseño de E-04.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Tipo de intercambiador	Placas
Material	Acero al carbono
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Número de placas	80
Alto de placas (m)	1
Ancho (m)	0.5
Espacio entre placas (cm)	0.08
Grosor de las placas (cm)	0.254
Número de pasos lado caliente	1
Número de pasos lado frío	1
Boquilla de entrada al lado caliente (cm)	8
Boquilla de entrada al lado frío (cm)	8
Boquilla de salida del lado caliente (cm)	8
Boquilla de salida del lado frío (cm)	8
Área calculada (m ²)	38.39
ΔTML	4.16
U calculado (kcal/hm ² °C)	59.92
Factor de Fouling lado caliente (hm ² °C/kcal)	0.005197
Factor de Fouling lado frío (hm ² °C/kcal)	0.005197
Calor calculado (kcal/h)	9562.24



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

8.2.2.6 CONDENSADOR E-06

En la siguiente tabla se especifican las características del condensador que se localiza en el tope de la columna de destilación.

TABLA 8.8: Características de diseño de E-06.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Tipo de intercambiador	Placas
Material	Acero al carbono
Flujo	Contracorriente
Régimen de trabajo	Continuo
Número de placas	50
Alto de placas (m)	1.2
Ancho (m)	0.6
Espacio entre placas (cm)	0.1
Grosor de las placas (cm)	0.254
Número de pasos lado caliente	1
Número de pasos lado frío	1
Boquilla de entrada al lado caliente (cm)	25.4508
Boquilla de entrada al lado frío (cm)	25.4508
Boquilla de salida del lado caliente (cm)	25.4508
Boquilla de salida del lado frío (cm)	25.4508
Área calculada (m ²)	25.8253
ΔTML	59.76
U calculado (kcal/hm ² °C)	97.31
Factor de Fouling lado caliente (hm ² C/kcal)	0.005619
Factor de Fouling lado frío (hm ² C/kcal)	0.005619
Calor calculado (kcal/h)	150183



8.2.3 PREFERMENTADOR R-01 / FERMENTADOR R-02-03

El diseño del prefermentador/fermentador se realiza considerando un reactor de tipo mezcla perfecta en modo de operación batch, cultivo anaeróbico y con control de la velocidad de agitación. Estos reactores operan a 37 °C y pH 6.7 por lo tanto también se utilizarán sensores para controlar que estos valores se encuentren dentro de los parámetros establecidos. El volumen del prefermentador es de 0,461 m³, según el requisito del proceso de inocular al 5% y el volumen de los fermentadores es de 12.25 m³ cada uno, valor obtenido teniendo en cuenta el rendimiento de Ácido Succínico por litro y la demanda de este, por año.

En ambos casos fue contemplado un 15% de sobredimensionamiento por factor de seguridad, aunque en el caso de los fermentadores se adicionó un 15% más por la posible presencia de espuma en su interior debido a la circulación de dióxido de carbono en el medio.

Se utilizan dos reactores de iguales características para alcanzar de esta manera la producción anual que se fijó como objetivo.

8.2.3.1 DIMENSIONAMIENTO

Los reactores serán de acero inoxidable AISI 304 ya que es un material con una elevada resistencia a la corrosión, de fácil mantenimiento, versátil y asegura calidad en la asepsia permitiendo una condición de higiene total, la cual es una necesidad en este tipo de reacciones que se llevarán a cabo. El acero AISI 304 contiene cromo y níquel, no es magnético, posee una muy buena soldabilidad, presenta características mecánicas muy buenas, además, su uso es altamente recomendado en industrias químicas y farmacéuticas.

El reactor consiste en un tanque cilíndrico vertical con fondo y tapa semielípticos (ASME) diseño higiénico que facilita la limpieza, impide la acumulación de impurezas y también favorece la descarga de líquido.

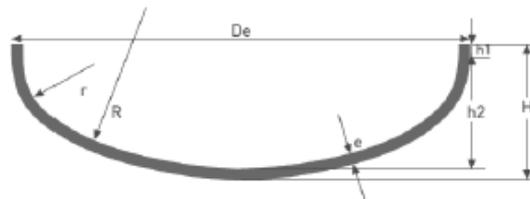


FIGURA 8.2: Fondo y tapa del tanque.

Fuente: <http://foncalp.es/fondos-campsa-klopper-korbbogen.html>

$$R = 0.9 * De \quad (\text{Ec 8.6})$$

$$r = 0.17 * De \quad (\text{Ec 8.7})$$



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

$$H = \frac{De}{4} + h_1 + e \quad (\text{Ec 8.8})$$

$$V = 0.52 * Di^2 * h_2 \quad (\text{Ec 8.9})$$

La relación entre altura y diámetro de los reactores tipo tanque agitados, denominada factor de forma, puede variar ampliamente. Se utiliza un factor de forma equivalente a 2.5.

En la tabla 8.9 se observan las dimensiones del prefermentador y de los fermentadores.

TABLA 8.9: Dimensiones de los reactores.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Prefermentador R-01	Fermentador R-02	Fermentador R-03
Volumen (m ³)	0.461	12.25	12.25
Altura (m)	1.55	4.6	4.6
Diámetro (m)	0.62	1.84	1.84

Para el cálculo de los espesores se tienen en cuenta las siguientes ecuaciones, dónde la primera corresponde al espesor del cilindro y la segunda al de los cabezales.

$$t_{cilindro} = \frac{P_d * \frac{D_i}{2}}{S * E - 0.6 * P} + C1 \quad (\text{Ec 8.10})$$

$$t_{cabezal} = \frac{P_d * D_t}{2 * S * E - 0.2 * P_d} + C1 + C2 \quad (\text{Ec 8.11})$$

Dónde:

$T_{cilindro}$: Espesor del cuerpo (inches)

P_d : Presión de diseño (psi)

D_i : Diámetro interior del tanque (inches)

S : Límite elástico (psi)

E : Factor de soldadura.

$C1$: Sobreespesor por corrosión (inches)

$C2$: Tolerancia de fabricación (inches)



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

En la siguiente tabla se resumen los espesores obtenidos para los equipos en cuestión.

TABLA 8.10: Espesores de los reactores.

Fuente: Elaboración propia.

	Prefermentador R-01	Fermentador R-02	Fermentador R-03
Espesor del cilindro (mm)	1.9	3.06	3.06
Espesor de los cabezales (mm)	1.9	3.06	3.06

8.2.3.2 SISTEMA DE AGITACIÓN

Debido a que el proceso consta de una fermentación anaeróbica, la agitación tiene como objetivo lograr una distribución uniforme de los nutrientes, organismos y temperatura. Para llevar a cabo la agitación, se decide utilizar la turbina de 4 palas planas. De esta manera, se adopta un sistema de agitación compuesto por un eje con dos agitadores de turbina de cuatro palas planas, el cual genera un flujo radial y tangencial, pero además genera flujos verticales. Estas corrientes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras. Generalmente es suficiente colocar cuatro deflectores regularmente espaciados. La anchura óptima de los deflectores depende del diseño del rodete y de la viscosidad del fluido, pero es del orden de 1/10 a 1/12 el diámetro del tanque.

Para el prefermentador, se decide utilizar un agitador tipo turbina con seis palas planas.

En la siguiente tabla se especifican las ecuaciones para el cálculo de las dimensiones del agitador:

TABLA 8.11: Relaciones geométricas.

Fuente: Elaboración propia.

Relaciones geométricas
$\frac{D_t}{D_a} = 3.00$
$\frac{H_a}{D_a} = 1.00$
$\frac{L}{D_a} = 0.25$
$\frac{W_b}{D_t} = 0.10$
$\frac{W_a}{D_a} = 0.20$



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Dónde:

D_t : Diámetro del tanque

D_a : Diámetro del agitador

H_a : Altura de posición del impulsor

L: Longitud de la pala

W_b : Ancho de los baffles

W_a : Ancho de las palas del impulsor

H_t : Altura del tanque

La geometría del sistema queda definida de la siguiente manera:

TABLA 8.12: Relaciones geométricas de los reactores.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Prefermentador R-01	Fermentador R-02	Fermentador R-03
Dt	0.620	1.840	1.840
Da	0.210	0.610	0.610
Ht	1.550	4.600	4.600
Ha	0.210	0.610	0.610
L	0.053	0.153	0.153
Wa	0.042	0.122	0.122
Wb	0.062	0.184	0.184

La velocidad de giro para los fermentadores R-02 y R-03 se la adopta como 100 rpm, que es expresada en rps dando un valor igual a 1.67. Se determina a continuación el número de Reynolds conociendo el diámetro del agitador (D_a), la viscosidad de la mezcla (μ) y la densidad (δ).

$$NRe = \frac{n \cdot D_a^2 \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Ec 8.12})$$

$$NRe = 2312405.115$$

Para el cálculo del número de Reynolds del prefermentador, se utiliza también una velocidad de giro de 200 rpm. Utilizando la ecuación (8), se obtiene el siguiente resultado:



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

$$NRe = 818524.137$$

En tanques con placas deflectoras o para NRe superiores a 10.000, la función de potencia es independiente de este último y la viscosidad deja de ser un factor importante, por lo que la potencia se calcula como sigue:

$$P = \frac{KT * n^3 * Da^5 * \rho}{gc} \quad (\text{Ec 8.13})$$

Donde KT tiene un valor determinado de acuerdo al tipo de agitador utilizado.

Para cada uno de los fermentadores se obtiene el siguiente valor, teniendo en cuenta que se utilizan dos impulsores en cada uno de ellos:

$$P = 1.085 \text{ HP}$$

La potencia requerida para el prefermentador, el cual cuenta con un sistema de agitación compuesto por un eje con un agitador, es de:

$$P = 0.178 \text{ HP}$$

En la siguiente tabla se resumen las características del prefermentador y de los fermentadores.

TABLA 8.13: Diseño de los reactores.

Fuente: Elaboración propia.

Características	R-01	R-02	R-03
Material	AISI 304	AISI 304	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L	VM Acero S.R.L	VM Acero S.R.L
Relación de esbeltez	2.5	2.5	2.5
Sobredimensionamiento (%)	15	30	30
Volumen total del tanque (m ³)	0.523	13.890	13.890
Volumen cilindro (m ³)	0.461	12.250	12.250
Volumen cada cabezal (m ³)	0.031	0.820	0.820



Diámetro interno del tanque (m)	0.620	1.840	1.840
Altura del cilindro (m)	1.550	4.600	4.600
Espesor de la pared (mm)	1.900	3.060	3.060
Espesor de los cabezales (mm)	1.900	3.060	3.060
Número de impulsores	1	2	2
Diámetro del impulsor (m)	0.210	0.610	0.610
Tipo de agitador	Turbina de seis palas planas	Turbina de cuatro palas planas	Turbina de cuatro palas planas
Separación entre impulsores (m)	-	0.610	0.610
Ancho de las palas del impulsor (m)	0.042	0.122	0.122
Longitud de pala (m)	0.053	0.153	0.153
Altura de posición del impulsor (m)	0.210	0.610	0.610
Ancho de los deflectores (m)	0.062	0.184	0.184
Número de deflectores	4	4	4

TABLA 8.14: Parámetros de los reactores.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros	R-01	R-02	R-03
Velocidad de agitación (rpm)	200	100	100
Caudal volumétrico de CO₂ (VVM)	0,4	0,4	0,4
Número de Reynolds	1227788.8	6923385.625	6923385.625
Potencia calculada del agitador (HP)	0.178	1.085	1.085

8.2.3.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Durante la prefermentación y fermentación, el crecimiento de la biomasa junto con la generación de ácido succínico, se dan a través de reacciones exotérmicas que buscan elevar la temperatura del medio de cultivo, sacando de especificación a la etapa del proceso, ya que las bacterias encargadas de formar el producto deseado se manejan a una temperatura óptima de 37 °C. Es por esto que se opta por mantener refrigerados los reactores R-01-02-03 a través de un sistema interno de serpentín alimentado con agua proveniente de torre de enfriamiento, el cual se define por medio de una serie



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

de cálculos y consideraciones que se detallan a continuación, en donde se tiene en cuenta el espacio que queda disponible dentro de los reactores ya que estos poseen tanto agitadores como deflectores, reduciendo el espacio disponible.

En el diseño también se debe tener en cuenta los parámetros dinámicos de los fluidos, tanto el que circula en el interior del sistema de refrigeración como el que se encuentra contenido en el interior del tanque, siendo los mismos para el prefermentador y los fermentadores.

En la siguiente tabla se detallan dichos parámetros.

TABLA 8.15: Parámetros dinámicos de fluidos.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros dinámicos	Valor
Temperatura de entrada del agua	15°C
Temperatura de salida del agua	36.5°C
Temperatura de entrada del medio	37°C
Temperatura de salida del medio	37°C
ΔT_{ML}	10.23

Para el desarrollo de la serie de cálculos necesarios para definir las dimensiones del sistema de refrigeración, se toma como parámetro inicial la cantidad de calor que se debe remover de acuerdo al volumen de líquido, para mantener la temperatura óptima de prefermentación.

$$Q = 15405,86 \frac{BTU}{H}$$

En base a la secuencia de ecuaciones para diseño de sistemas de refrigeración del libro Donald Kern 1996, se detallan a continuación las dimensiones del mismo.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 8.16: Dimensiones de serpentín para R-01.

Fuente: Elaboración propia.

Dimensión	Valor
Material	AISI 304
BWG	12
Diámetro externo (De)	1.905 cm
Superficie por cm lineal (Sp)	5.99 cm ² /cm
Área de transferencia requerida (A)	1.55 m ²
Área de transferencia diseñada (A')	1.64 m ²
Exceso de área	6 %
Diámetro medio del serpentín (Ds)	22.86 cm
Número de vueltas	39
Área de transferencia por vuelta (As)	0.463 m ²
Paso del serpentín (P)	3.048 cm
Altura del serpentín (Lo)	1.18 m
Longitud del serpentín (L)	27.42 m
Ángulo de la hélice	2°25'

En cuanto al el diseño del serpentín de los fermentadores R-02-03, se define por balance de energía un calor a remover de:

$$Q = 294831.1 \frac{BTU}{H}$$

Por lo que, a través de la misma secuencia de cálculo, se determinan las dimensiones características del sistema de refrigeración a usar.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 8.17: Dimensiones de serpentín para R-02-03.

Fuente: Elaboración propia.

Dimensión	Valor
Material	AISI 304
BWG	16
Diámetro externo (D_e)	3.81 cm
Superficie por cm lineal (S_p)	11.96 cm ² /cm
Área de transferencia requerida (A)	29.72 m ²
Área de transferencia diseñada (A')	30.3 m ²
Exceso de área	2 %
Diámetro medio del serpentín (D_s)	0.762 m
Número de vueltas	106
Área de transferencia por vuelta (A_s)	0.29 m ²
Paso del serpentín (P)	3.048 cm
Altura del serpentín (L_o)	3.06 m
Longitud del serpentín (L)	253.27 m
Ángulo de la hélice	0° 43'

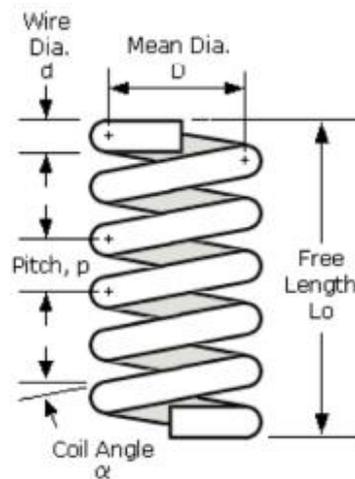


FIGURA 8.3: Diseño del serpentín.

Fuente: <http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/34622/6/TFMJoseluisHerranzGarciaRUO.pdf>



8.2.3.4 ACCESORIOS

El fermentador cuenta con una serie de accesorios necesarios para su buen funcionamiento y control durante las 36 horas de esta etapa, siempre manteniendo una barrera estéril entre el contenido del fermentador y el exterior.

- Boca de hombre: esta se encuentra en la parte superior del tanque con el objetivo de inspeccionar el interior del mismo y además, en nuestro caso, permitirá el ingreso de compuestos en estado sólido necesarios para la fermentación.
 - Motor agitador eléctrico o neumático.
 - Controlador de temperatura: presenta un termómetro y un sensor PT100 para medir la temperatura dentro del fermentador. La señal eléctrica es recibida por una unidad de control que determina si esta variable está dentro de un rango adecuado o si la misma es más alta o más baja que la prevista. El controlador activa la válvula de agua de refrigeración en el caso de que se requiera una disminución de temperatura.
 - Tomador de muestras: Permite tomar una muestra del medio para analizarla en el laboratorio.
 - Controlador de pH/ingreso de solución reguladora: un sensor se utiliza para establecer la medida del pH, consistiendo en un electrodo de referencia de vidrio combinado, mediante la medida potenciométrica de la concentración de iones hidrógeno. La señal electrificada del sensor es recibida por el controlador que determina la acción a seguir según el valor del pH y el rango de operación de esta variable de control. Si el pH es más bajo que el permitido, el control activará la bomba de base introduciendo medio alcalino que permita subir el pH. En el caso contrario, se activará la bomba del ácido y el pH bajará.
 - Controlador de presión: se utiliza un sensor de presión de diafragma para medir la presión dentro del reactor, generando el movimiento del diafragma en respuesta a los cambios.
 - Amortiguador de presión: este se localiza en la parte superior del biorreactor con el objetivo de accionarse en el momento en que, por determinadas causas del mecanismo de reacción o manipulación del proceso, el tanque se vea sometido a un aumento de presión que genere un riesgo de la ruptura del mismo.
 - Controlador de la velocidad de agitación: se utiliza un tacómetro para medir la velocidad de agitación, que consiste en un mecanismo de detección mediante inducción, generación de voltaje, sensores de luz o fuerzas magnéticas.
 - Controlador de espuma: se utilizan sondas metálicas de espuma aisladas en el extremo colocadas a diferentes niveles, cuando la espuma toca el extremo de la sonda completa un circuito eléctrico que actúa como un dispositivo de alimentación antiespuma.
-



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Todas las válvulas utilizadas en las distintas secciones deben estar en condiciones asépticas. Las válvulas de estrangulamiento y las de diafragma son particularmente adecuadas, puesto que su mecanismo de operación está separado del medio líquido o gaseoso por un tubo o un diafragma flexible.

8.2.3.5 ADOPCION DEL MOTOR ELÉCTRICO

El motor impulsor debe ser de corriente alterna (A.C.), preferiblemente de inducción y su potencia debe calcularse para manejar el doble (200%) de la potencia teórica requerida para agitar el fluido y el cultivo a $Re > 3.000$. La potencia requerida por lo tanto es de 1.62 kW (1.085 HP) para el motor del agitador del fermentador y 0.26 kW (0.356 HP) para el del prefermentador. Se decide adoptar motores de la marca WEG S.A. La velocidad de giro calculada de 100 rpm y 200 rpm, se tiene en cuenta para la adopción de la caja reductora, la misma se adopta de la firma WEG S.A.

TABLA 8.18: Motores M-02-03.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	WEG S.A.
Serie	W22 IE1
Cantidad de motores	2
Carcasa	100
Potencia (kW)	2.2
Número de polos	4
Frecuencia (Hz)	50
Rotación nominal (rpm)	1430
Resbalamiento (%)	4.67
Torque de arranque (%)	240
Torque máximo (%)	260
Tensión (V)	380
Masa aproximada (kg)	33.9
Dirección de rotación	Ambos
Nivel de ruido (dB)	53.0



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 8.19: Motor M-01.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	WEG S.A.
Serie	W22 IE1
Potencia (kW)	0.37
Frecuencia (Hz)	50
Rotación nominal (rpm)	1370
Resbalamiento (%)	8.67
Torque de arranque (%)	200
Torque máximo (%)	250
Tensión (V)	380
Masa aproximada (kg)	12.0
Dirección de rotación	Ambos
Nivel de ruido (dB)	43.0

Se usa el mismo modelo de motorreductor tanto para los motores de los agitadores de los reactores como para el prefermentador ya que se encuentran dentro del mismo rango de potencia.

TABLA 8.20: Motorreductor.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	WEG S.A.
Tipo	Coaxial de engranaje helicoidal
Serie	C03
Torque nominal (Nm)	200
Número de etapas	2/3
Rango de reducción	3.34 - 286.32
Velocidad de salida (rpm)	4 - 419
Potencia nominal en 50Hz (kW)	0.12 - 3.0
Eje de salida (mm)	25 x 50
Material de la carcasa	Aluminio



8.2.4 TANQUE PULMÓN T-02

En esta sección se procede a dimensionar el tanque de almacenamiento del producto obtenido de la fermentación. Este tanque funciona como tanque pulmón ya que permite regular el caudal de entrada al siguiente equipo del proceso para poder mantener un flujo uniforme.

Por cada batch se obtiene un volumen de líquido equivalente a aproximadamente $8,3 \text{ m}^3$, y suponiendo que este representa un 90% del volumen del tanque y un sobredimensionamiento del 15%, el volumen del tanque debe ser de $10,62 \text{ m}^3$.

El tanque se fabrica de acero inoxidable, al igual que los anteriores, con fondo redondeado para eliminar los bordes rectos o de difícil limpieza.

TABLA 8.21: Dimensiones del tanque pulmón T-02.

Fuente: Elaboración propia.

Características T-02	Valor
Material	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L
Relación de esbeltez	2,5
Volumen del cilindro (m^3)	10,62
Diámetro del cilindro (m)	1,755
Altura del cilindro (m)	4,387
Volumen de cabezal (m^3)	0,708
Altura de cabezal (m)	0,439
Volumen total del tanque	12,04

8.2.4.1 SISTEMA DE AGITACIÓN

La agitación en el tanque pulmón tiene como objetivo evitar la precipitación de los sólidos presentes. Para llevarla a cabo, se decide utilizar la turbina de 6 palas curvas. De esta manera, se adopta un sistema de agitación compuesto por un eje con dos agitadores de turbina de seis palas curvas, el cual genera un flujo radial y tangencial, pero además genera flujos verticales. Al igual que los fermentadores, este tanque contiene placas deflectoras para evitar la formación de vórtices y torbellinos, causa de las corrientes tangenciales.

La geometría del sistema queda definida de la siguiente manera:



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 8.22: Relaciones geométricas del tanque pulmón T-02.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Tanque T-02
Dt	1.755
Da	0.585
Ht	5.265
Ha	0.585
L	0.146
Wa	0.117
Wb	0.175

La velocidad de giro se la adopta como 100 rpm, que es expresada en rps dando un valor igual a 1.67. Se determina a continuación el número de Reynolds conociendo el diámetro del agitador (Da), la viscosidad de la mezcla (μ) y la densidad (δ).

$$NRe = \frac{n \cdot Da^2 \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Ec 8.14})$$

$$NRe = 31771.38$$

En tanques con placas deflectoras o para NRe superiores a 10.000, la función de potencia es independiente de este último y la viscosidad deja de ser un factor importante, por lo que la potencia se calcula como sigue:

$$P = \frac{KT \cdot n^3 \cdot Da^5 \cdot \rho}{gc} \quad (\text{Ec 8.15})$$

Donde KT depende del tipo de agitador utilizado, el cual para turbina de seis palas curvas tiene un valor de 4.8.

Teniendo en cuenta que se utilizan dos impulsores en el eje de agitación, se obtiene el siguiente valor:

$$P = 5 \text{ HP}$$



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

En la siguiente tabla se resumen las características del sistema de agitación del tanque T-02.

TABLA 8.23: Agitador de tanque pulmón T-02.

Fuente: Elaboración propia.

Características	T-02
Número de impulsores	2
Diámetro del impulsor (m)	0.585
Tipo de agitador	Turbina de seis palas curvas
Separación entre impulsores (m)	0.585
Ancho de las palas del impulsor (m)	0.117
Longitud de pala (m)	0.146
Altura de posición del impulsor (m)	0.585
Ancho de los deflectores (m)	0.175
Número de deflectores	4
Velocidad de agitación (rpm)	100
Número de Reynolds	31771.38
Potencia (HP)	5

En la tabla se detallan las características del motor eléctrico seleccionado.

TABLA 8.24: Motor M-04.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	WEG S.A.
Serie	W22 High Efficiency
Norma	NEMA MG-1
Carcasa	213
Potencia (HP)	7.5
Número de polos	2
Frecuencia (Hz)	50
Rotación nominal (rpm)	2920
Resbalamiento (%)	2.67



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Torque de arranque (%)	250
Torque máximo (%)	290
Tensión (V)	380
Masa aproximada (kg)	73.8
Dirección de rotación	Ambos
Nivel de ruido (dB)	67.0

8.2.5 TANQUE DE DISOLUCIÓN DE ACIDO CLORHIDRICO T-03

Esta se utilizará para regenerar las columnas de intercambio iónico. Cada 24 horas se utilizarán 27,4 kg de disolución de ácido clorhídrico al 4% para realizar este proceso, de manera que se diseñe un tanque con el objetivo de almacenar el contenido de disolución requerida para un mes de proceso. Considerando que se utiliza para regenerar las dos columnas, el volumen de líquido es de 0.52 m³. Este representa el 90% de capacidad máxima de llenado, incluyendo además un sobredimensionamiento del 15% como factor de seguridad, entonces el volumen del tanque es de 0.66 m³.

El valor de las demás dimensiones se detalla a continuación, utilizando las ecuaciones empleadas anteriormente en la sección 8.2.1.

TABLA 8.25: Características de diseño de T-03.

Fuente: Elaboración propia.

Características T-03	Valor
Material	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L
Relación de esbeltez	2.5
Volumen del cilindro (m³)	0.660
Diámetro del cilindro (m)	0.690
Altura del cilindro (m)	1.725
Volumen de cabezal (m³)	0.043
Altura de cabezal (m)	0.172
Volumen total del tanque (m³)	0.746



8.2.6 MEZCLADOR MD-01

La corriente proveniente de la centrífuga se somete a un proceso de adsorción usando carbón activado para retirar parte de las impurezas, por lo tanto, el caldo se mezcla con carbón activado al 12.5% (p/v) durante 1 hora. A continuación, se detallan las características y dimensiones del mezclador utilizado en esta etapa.

TABLA 8.26: Diseño del mezclador MD-01.

Fuente: Elaboración propia.

Características	MD-01
Material	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L
Relación de esbeltez	2.5
Sobredimensionamiento (%)	15
Volumen total del tanque (m ³)	7.380
Volumen cilindro (m ³)	6.500
Volumen cada cabezal (m ³)	0.440
Diámetro interno del tanque (m)	1.500
Altura del líquido (m)	1.500
Altura del cilindro (m)	3.750
Espesor de la pared (mm)	2.700
Espesor de los cabezales (mm)	2.700
Número de impulsores	1
Diámetro del impulsor (m)	0.500
Tipo de agitador	Turbina de cuatro palas planas
Ancho de las palas del impulsor (m)	0.100
Longitud de pala (m)	0.125
Altura de posición del impulsor (m)	0.500
Ancho de los deflectores (m)	0.150
Número de deflectores	4



TABLA 8.27: Parámetros de diseño.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros	R-01
Velocidad de agitación (rpm)	100
Número de Reynolds	164678.7
Potencia calculada del agitador (HP)	0.37

En la siguiente tabla se observan los datos del motor que se decide adoptar.

TABLA 8.28: Motor M-05.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	WEG S.A.
Serie	W22 IE1
Carcasa	80
Potencia (kW)	0.75
Número de polos	4
Frecuencia (Hz)	50
Rotación nominal (rpm)	1435
Resbalamiento (%)	4.33
Torque de arranque (%)	210
Torque máximo (%)	229
Tensión (V)	380
Masa aproximada (kg)	16.7
Dirección de rotación	Ambos
Nivel de ruido (dB)	44.0

8.2.7 INTERCAMBIADOR IÓNICO C-01-02

La adsorción es una de las operaciones más utilizadas en la etapa de concentración de caldos acuosos diluidos. Es muy empleada en la obtención de varios tipos de productos biotecnológicos como ácidos orgánicos, antibióticos, vitaminas y proteínas. Mediante esta operación, las moléculas de un soluto se concentran en una superficie sólida por la acción de fuerzas intermoleculares entre el soluto y el sólido, consistiendo en un fenómeno de superficie. Debido a estas fuerzas, el fenómeno



es fácilmente reversible. Debe distinguirse de la absorción, la cual implica la penetración de una sustancia en el cuerpo de otra.

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

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

La adsorción en lecho fijo es la operación más empleada a escala industrial para la concentración de caldos biológicos. Por la parte superior de la columna se alimenta la solución que contiene el soluto de interés. En nuestro caso, durante su paso por la columna las impurezas son adsorbidas en el lecho y la solución de interés es obtenida a la salida de la columna. Una vez que la concentración de impurezas a la salida alcanza un valor significativo, se interrumpe la operación y se regenera la columna. La concentración de los compuestos iónicos de un caldo mediante una operación de adsorción industrial requiere dos pasos fundamentales. Primero el adsorbente y la solución se ponen en contacto. Al efectuarse la adsorción, las impurezas se unen preferentemente a la superficie del adsorbente respecto a otros compuestos. Una vez concluida la adsorción, se efectúa la regeneración de la columna utilizando un fluido que favorezca la desorción, operación conocida como elución. Estas columnas de relleno tienen dimensiones muy superiores a las de una columna cromatográfica



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

de laboratorio (ésta de 1-2 cm de diámetro y 1 m de longitud), llegando a tener un diámetro de 80 cm.

Para el proceso de ácido succínico se utilizan resinas de intercambio iónico. En particular, estas se emplean en su mayoría para la purificación y separaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y química. Las resinas de intercambio iónico catiónico son atractivas debido a sus características de elución y regeneración y tienen grandes capacidades de adsorción.

Teniendo en cuenta la bibliografía consultada, se utiliza la resina Amberlite IR120-H. Se trata de una resina de poliestireno sulfonado cuya capacidad de funcionamiento depende de varios factores tales como el análisis de la corriente de entrada y el nivel de regeneración.

La figura 4 muestra la expansión del lecho de la resina Amberlite IR120 H en función de la tasa de flujo de retrolavado y la temperatura de la corriente. La Figura 5 muestra los datos de caída de presión de la resina Amberlite IR120 H, en función del caudal de servicio y la temperatura de la alimentación.

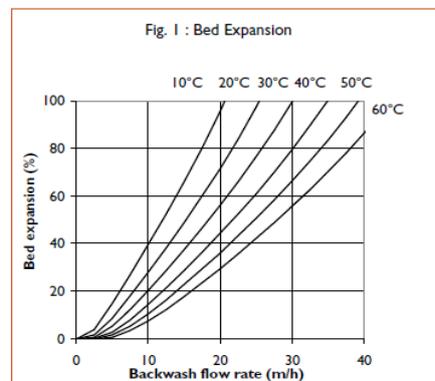


FIGURA 8.4.

Fuente: <https://www.lenntech.com/Data-sheets/Amberlite-IR-120-H-L.pdf>

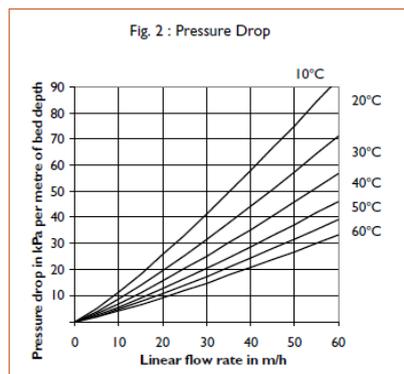


FIGURA 8.5.

Fuente: <https://www.lenntech.com/Data-sheets/Amberlite-IR-120-H-L.pdf>



En la tabla que se encuentra a continuación, se pueden observar las características principales de la resina utilizada.

TABLA 8.29: Características de la resina.

Fuente: Elaboración propia.

Características	
Forma física	Perla esférica de ámbar
Matriz	Copolímero de divinilbenceno de estireno
Grupo funcional	Ácido sulfónico
Forma iónica	H ⁺
Capacidad total de intercambio	≥1.80 eq/L
Capacidad de retención de humedad	53 a 58%
Peso de envío	800 g/L
Tamaño de la partícula	0.620 a 0.830 mm
Temperatura máxima de operación	135°C
Profundidad mínima del lecho	700 mm
Caudal de servicio	5 a 40 BV/h
Regeneración	
Regenerante	HCl
Nivel (g/L)	50 a 150
Concentración	4 a 8 %
Tiempo mínimo de contacto	30 minutos
Enjuague lento	2 BV al caudal de regeneración
Enjuague rápido	2 a 4 BV al caudal de servicio

* BV: 1 m³ de solución por m³ de resina.

Se diseñan dos columnas iguales para que se produzca la adsorción y la regeneración de las mismas, las cuales operarán en paralelo. En la siguiente tabla se detallan tanto las dimensiones de la torre como también los parámetros más importantes de operación en esta etapa. Cada columna será regenerada con una disolución de ácido clorhídrico al 4% cada 24 horas.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 8.30: Dimensiones de las columnas de intercambio iónico.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valores
Material	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L
Cantidad de columnas	2
Diámetro (m)	0.1355
Altura columna (m)	1.4798
Altura de relleno (m)	0.6541
Sección (m ²)	0.0577
Tiempo de operación (h)	24
Tiempo de regeneración (h)	0.5
Porosidad del lecho	0.442
Velocidad mínima de fluidización (m/h)	1.5
Caudal (m ³ /h)	0.212
Volumen tratado (m ³)	5.1
Volumen de resina (m ³)	0.068
Concentración regenerante (N)	1.57
Volumen regenerante (m ³)	0.0432

8.2.8 TANQUE DE IMPUREZAS QUE SALEN DEL INTERCAMBIO IÓNICO T-04

El diseño del tanque será tal que podrá almacenar las impurezas acumuladas durante un periodo de un mes de producción. Allí habrá un volumen de líquido equivalente a 9.41 m³, lo cual representa el 90% de capacidad máxima de llenado, incluyendo además un sobredimensionamiento del 15% como factor de seguridad, entonces el volumen del tanque es de 12.02 m³.



TABLA 8.31: Características de diseño de T-04.

Fuente: Elaboración propia.

Características T-04	Valor
Material	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L
Relación de esbeltez	2.5
Volumen del cilindro (m ³)	12.020
Diámetro del cilindro (m)	1.829
Altura del cilindro (m)	4.572
Volumen de cabezal (m ³)	0.800
Altura de cabezal (m)	0.457
Volumen total del tanque (m ³)	13.620

8.2.9 TANQUE DE PRODUCTO DE LA COLUMNA DE INTERCAMBIO IÓNICO T-05

Se coloca un tanque pulmón a la salida de la columna de intercambio iónico para absorber variaciones del proceso en caso de salida de régimen de destilación y enviar a este tanque el producto no conforme hasta retomar el régimen. Teniendo en cuenta los caudales provenientes de la misma, habrá un volumen de líquido equivalente a 4.7m³, lo cual representa el 90% de capacidad máxima de llenado, incluyendo además un sobredimensionamiento del 15% como factor de seguridad.

TABLA 8. 32: Dimensiones del tanque T-05.

Fuente: Elaboración propia.

Características T-05	Valor
Material	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L
Relación de esbeltez	2.5
Volumen del cilindro (m ³)	6
Diámetro del cilindro (m)	1.45
Altura del cilindro (m)	3.62
Volumen de cabezal (m ³)	0.40
Altura de cabezal (m)	0.36
Volumen total del tanque (m ³)	6.8



8.2.9.1 SISTEMA DE AGITACIÓN

La agitación en el tanque pulmón tiene como objetivo evitar la precipitación de los sólidos presentes. Para llevarla a cabo, se decide utilizar la turbina de 6 palas curvas. De esta manera, se adopta un sistema de agitación compuesto por un eje con dos agitadores de turbina de seis palas curvas, el cual genera un flujo radial y tangencial, pero además genera flujos verticales. Al igual que los fermentadores, este tanque contiene placas deflectoras para evitar la formación de vórtices y torbellinos, causa de las corrientes tangenciales.

La geometría del sistema queda definida de la siguiente manera:

TABLA 8.33: Relaciones geométricas del tanque pulmón T-05.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Tanque T-05
Dt	1.450
Da	0.483
Ht	4.34
Ha	0.483
L	0.121
Wa	0.100
Wb	0.145

La velocidad de giro se la adopta como 100 rpm, que es expresada en rps dando un valor igual a 1.67. Se determina a continuación el número de Reynolds conociendo el diámetro del agitador (Da), la viscosidad de la mezcla (μ) y la densidad (δ).

$$NRe = \frac{n \cdot Da^2 \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Ec 8.14})$$

$$NRe = 1298632.5$$

En tanques con placas deflectoras o para NRe superiores a 10.000, la función de potencia es independiente de este último y la viscosidad deja de ser un factor importante, por lo que la potencia se calcula como sigue:

$$P = \frac{KT \cdot n^3 \cdot Da^5 \cdot \rho}{gc} \quad (\text{Ec 8.15})$$



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Donde KT depende del tipo de agitador utilizado, el cual para turbina de seis palas curvas tiene un valor de 4.8.

Teniendo en cuenta que se utilizan dos impulsores en el eje de agitación, se obtiene el siguiente valor:

$$P = 2.28 \text{ HP}$$

En la siguiente tabla se resumen las características del sistema de agitación del tanque T-02.

TABLA 8.34: Agitador de tanque pulmón T-05.

Fuente: Elaboración propia.

Características	T-05
Número de impulsores	2
Diámetro del impulsor (m)	0.483
Tipo de agitador	Turbina de seis palas curvas
Separación entre impulsores (m)	0.483
Ancho de las palas del impulsor (m)	0.100
Longitud de pala (m)	0.121
Altura de posición del impulsor (m)	0.483
Ancho de los deflectores (m)	0.145
Número de deflectores	4
Velocidad de agitación (rpm)	100
Número de Reynolds	1298632.5
Potencia (HP)	2.28

En la tabla se detallan las características del motor eléctrico seleccionado.

TABLA 8.35: Motor M-06.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	WEG S.A.
Serie	W22 IE1
Norma	IEC 60034-1
Carcasa	90L



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Potencia (HP)	3
Número de polos	2
Frecuencia (Hz)	50
Rotación nominal (rpm)	2860
Resbalamiento (%)	4.67
Torque de arranque (%)	260
Torque máximo (%)	290
Tensión (V)	220
Masa aproximada (kg)	25
Dirección de rotación	Ambos
Nivel de ruido (dB)	64.0

Debe aclararse, que para los dos tanques pulmones presentes en el proceso (T-02 y T-05) se adopta el mismo motorreductor que se utiliza en los reactores.

8.2.10 COLUMNA DE DESTILACIÓN C-03

El diseño de la torre de destilación para la separación de ácido succínico se realiza y optimiza con el simulador CHMECAD 7.1.2, teniendo en cuenta los caudales de alimentación y especificaciones de salidas definidas en el Capítulo 7. Esta etapa de destilación se realiza de manera continua en una columna de platos.

TABLA 8. 36: Dimensiones de la columna de destilación.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	VM Acero S.R.L
Material	Acero al carbono
Número de platos	12
Plato de alimentación	12
Flujo de alimentación (kg/h)	278,64
Relación de reflujo (R/D)	13
Temperatura de cabeza (°C)	90,5
Temperatura de fondo (°C)	160,1



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Moles refluados (kmol/h)	22,66
Presión de trabajo (atm)	0,61
Diámetro de la torre (m)	0,7079
Altura de la torre (m)	4,56
Espacio entre platos (m)	0,38
Eficiencia de plato	0,85
Calor de Rehervidor (kcal/h)	178656,808
Calor de condensador (kcal/h)	-155488,746

8.3 EQUIPOS ADOPTADOS

8.3.1 TANQUE DE CO₂ ST-01

El dióxido de carbono es una materia prima fundamental para que se lleve a cabo la fermentación, por lo que debe ser almacenado y utilizado apropiadamente. Para ello, se adquiere directamente del proveedor "Gas Carbónico Chiantore S.A.I." en tanques de almacenamiento que tienen una capacidad de entre 800 y 25000 kg. La cantidad de dióxido que permite llevar a cabo el proceso operativo durante 7 días, es de aproximadamente 8113 kg, por lo que cada semana se suministra nuevamente esta materia prima.

TABLA 8.37: Dimensiones del tanque de CO₂.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	Gas Carbónico Chiantore S.A.I
Relación de esbeltez	2.5
Presión de almacenamiento (atm)	56.25
Temperatura de almacenamiento (°C)	20
Volumen del cilindro (m ³)	75.74
Diámetro del cilindro (m)	8.55
Altura del cilindro (m)	3.42
Volumen de cabezal (m ³)	1.53
Altura de cabezal (m)	0.85
Volumen total del tanque (m ³)	78.8



8.3.2 CENTRÍFUGA S-01-02

Para llevar a cabo esta operación, se decide adoptar una centrífuga de la empresa Flottweg, que se denomina Sedicanter. Es una centrífuga a tambor macizo con tornillo sinfín (decantadora) que combina las ventajas de las decantadoras y de las centrífugas de discos. El campo de centrifugación del Sedicanter es entre 7000 y 10000 x g. Por esta razón, la eficiencia de clarificación es parecida a la de las centrífugas de discos.

Simultáneamente y gracias a su construcción, el Sedicanter puede procesar (como las decantadoras) altas cantidades de sólidos en la alimentación.

En los diferentes campos de aplicación del Sedicanter se incluyen los “productos blandos”, tales como biomasa, suspensiones de levaduras y proteínas, caldos de fermentación, etc.

El funcionamiento del Sedicanter es similar a la de una centrífuga a tambor macizo con tornillo sinfín. Una característica de este tipo de centrífugas es un tambor macizo y un tornillo sinfín, ambos situados en el interior del tambor.

La fuerza centrífuga es generada por la rotación del tambor. El tornillo sinfín gira a una velocidad diferente a la del tambor y causa el transporte de los sólidos separados. El rotor consiste de un tambor, el tornillo sinfín y el reductor giratorio que genera la velocidad diferencial.

Se opta por este equipo teniendo en cuenta el caudal de la corriente a tratar (aproximadamente 350 L/h) y una ocupación del equipo de aproximadamente el 43%.

En la siguiente tabla se detallan las características del equipo adoptado:

TABLA 8.38: Dimensiones de las centrífugas adoptadas.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Tipo de separador	Centrífuga
Fabricante	Flottweg
Nombre	Sedicanter Flottweg
Modelo	S3E-3
Cantidad de equipos	2
Diámetro del tambor	300 mm
Velocidad del tambor	7750/rpm
Velocidad g máxima	10000
Velocidad diferencial	1,5-30/rpm



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Materiales de construcción	Todas las partes en contacto con el producto son fabricadas en acero inoxidable de alta calidad (1,4571 y superior)
Dimensiones (l x a x a)	2304 x 700 x 752 mm
Peso bruto	1050 kg
Potencia del motor	15 kW
Accionamiento del tambor	
Potencia del motor	4 kW
Accionamiento del tornillo	
Capacidad	1 t/h
Diseño	Equipada con capot abisagrado, juegos de toberas de enjuague para la carcasa y el tornillo

8.3.3 SECADOR D-01

Para lograr la pureza final del ácido succínico, se utiliza un secador de aire caliente directo a corriente, los cuales son adecuados para manejar en forma de spray flujos libres que pueden arrojarse sin temor a romper su fracción sólida.

El producto líquido se encuentra alojado en el tanque de alimentación (1). A través de un filtro de producto (2), es impulsado por la bomba (3) y por el conjunto de tuberías y accesorios (4) hasta el atomizador (7). El quemador del horno (5) y su cámara (6) proveen la temperatura necesaria para la corriente de aire caliente, que forzada por el ventilador (13), circula a través del dispersor (8) distribuyéndose uniformemente alrededor del disco del atomizador (7), del cual fluye el Líquido pulverizado. Cuando este último choca con el aire caliente el secado se produce en forma casi instantánea debido al tamaño de la gota. Como parte de ésta es sólido (producto en determinada concentración) cae en forma de polvo en el interior de la cámara de secado (9), siendo aspirado por el ventilador (13), es llevado por la tubería de interconexión (10) hasta al ciclón (11) que es el encargado de separar el polvo del aire y extraerlo en forma de producto terminado. Este último sale mediante una válvula rotativa (12) para su envasado. El aire separado escapará al exterior por medio de una chimenea (14) llevándose consigo un muy pequeño porcentaje de polvo. Para salvar esta pérdida GALAXIE Secado Spray ofrece como opcional la utilización de un sistema lavador de gases (16) que permite recuperar el producto y volverlo a utilizar, en caso de ser costoso y/o evitar la contaminación ambiental.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

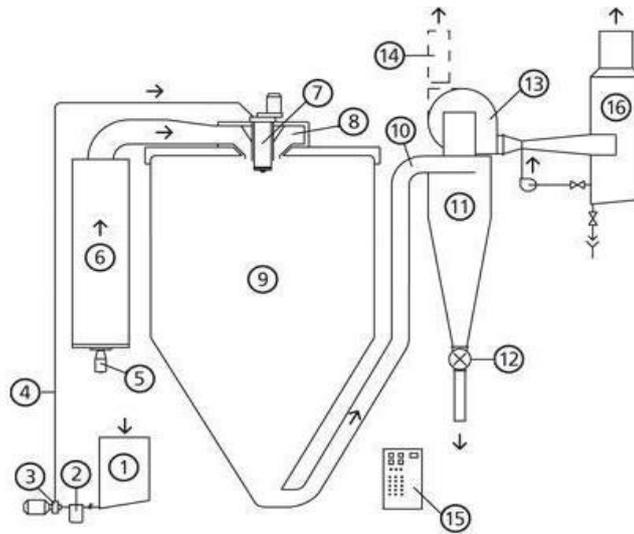


FIGURA 8.6.

Fuente: http://www.galaxie.com.ar/productos_estandar.php

TABLA 8.39: Referencias.

Fuente: Elaboración propia.

Referencia	Componentes
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
9	Cámara de secado con puerta y mirillas
10	Conductos de interconexión
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



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Algunas de las ventajas del secado spray con respecto a los otros tipos son que, por ejemplo, presenta un alto rendimiento (proceso rápido en pocos segundos), la evaporación refrigera la partícula, permitiendo usar altas temperaturas en el aire de secado sin afectar al producto, es un proceso continuo y constantemente controlado, puede ser automatizado fácilmente y brinda homogeneidad a la producción.

En la tabla que se encuentra a continuación, se pueden observar las especificaciones técnicas del secador adoptado para nuestro proceso.

TABLA 8. 40: Características del secador.

Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones	Valor
Fabricante	Galaxie
Modelo	1612
Temperatura de entrada del aire de secado (°C)	180
Temperatura de salida del aire de secado (°C)	80
Capacidad máxima de evaporación (l/h)	19
Consumo de combustible (kcal/h)	24000
FM (kW/h)	4
Espacio requerido (m)	3 x 3.5 Altura. 4.8

8.4.4 TRANSPORTE HELICOIDAL H-01

Para que el producto ingrese a la envasadora, es transportado por tornillos sinfín o también llamados de hélice, a través del movimiento circular del mismo por su propio eje, tomando el ácido succínico que sale por el fondo del cono del secador y llevándolo a la envasadora misma.

Debido a las dimensiones entre ambos equipos del proceso, se toma como adopción un transportador de tornillo con las siguientes características.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 8. 41: Características del transporte de tornillo.

Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones	Valor
Fabricante	Tecnomills
Modelo	RSF-150
Carcaza	Batea
Tornillo de paso	Constante
Forma de helicoide	Completo
Material	AISI 304
Tratamiento antidesgaste	Si
Capacidad max	400 kg/h

TABLA 8. 42: Dimensiones del transporte de tornillo.

Fuente: Elaboración propia.

Dimensiones (mm)								
A	B	C	D	D1	D2	D3	E	F
170	220	200	160	160	160	120	280	300

TABLA 8. 43: Dimensiones del transporte de tornillo.

Fuente: Elaboración propia.

Dimensiones (mm)								
G	H	I	J	K	L	M	N	O
120	3700	260	140	80	3700	280	380	210

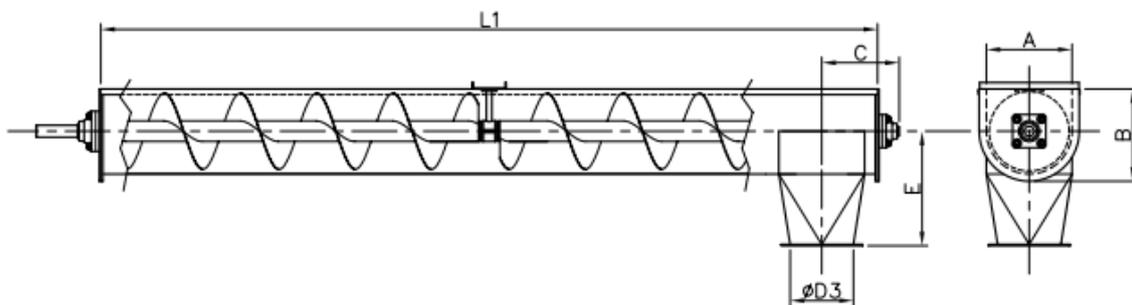


FIGURA 8.7: Transporte helicoidal.

Fuente: <http://www.tecnomills.com.ar/transporte-helicoidal-rsf-dd83361.html>



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

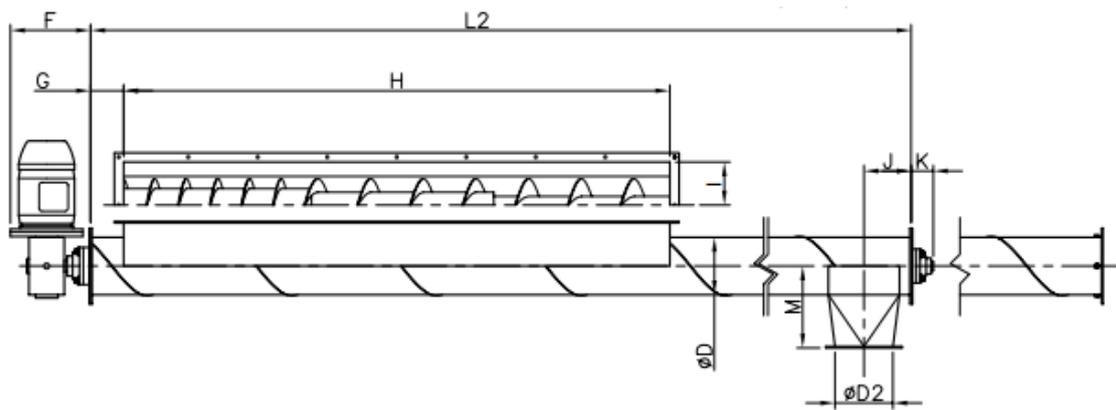


FIGURA 8.8: Transporte helicoidal.

Fuente: <http://www.tecnomills.com.ar/transporte-helicoidal-rsf-dd83361.html>

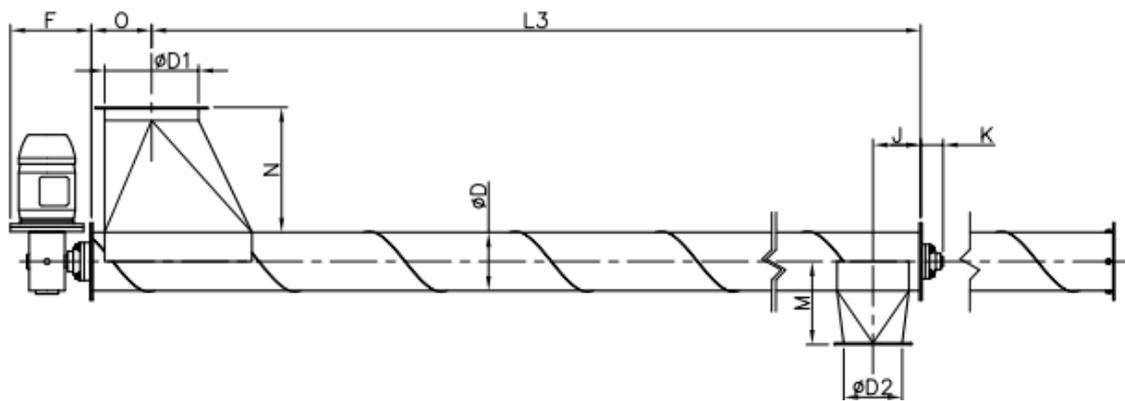


FIGURA 8.9: Transporte helicoidal.

Fuente: <http://www.tecnomills.com.ar/transporte-helicoidal-rsf-dd83361.html>



8.3.5 ENVASADORA W-01

El envasado del producto se realiza en bolsas de 25 kg y las mismas son almacenadas hasta su posterior expedición y comercialización. La máquina adoptada para realizar esta operación consta de las siguientes características:

TABLA 8.44: Características de la envasadora.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	Dingjuang
Tipo	Máquina de envasado
Modelo	DJ-1C3
Grado automático	Semiautomático
Peso del paquete (kg)	10-50
Velocidad de envasado (veces/min)	2-6
Fuente de alimentación (V)	380
Frecuencia (Hz)	50
Energía total (kW)	3
Dimensiones: largo x alto x ancho (m)	5.79 x 3 x 1.03



CAPÍTULO 9
SERVICIO AUXILIARES



9.1 INTRODUCCIÓN

Para el correcto funcionamiento de los equipos involucrados en el proceso de producción de ácido succínico se requieren diferentes servicios auxiliares, tales como agua, vapor de agua, sistema de vacío, gas natural, aire caliente y una red de suministro energético. La estimación de todos ellos se realiza en base a los valores obtenidos en los balances de masa y de energía realizados en el capítulo 7 y los datos de los equipos adoptados y diseñados, correspondientes al capítulo 8.

Además, se calculan las bombas que se utilizan para el transporte de fluidos y se detallan las características de cada una de ellas.

9.2 SERVICIO DE AGUA

El agua que se utiliza en el Parque Industrial de Villa María proviene de perforaciones subterráneas por lo que se usan equipos de bombeo y se posee una red de distribución interna. El predio cuenta con red de agua potable que se utiliza para proveer de agua corriente a las oficinas, el laboratorio, los baños, los vestidores y el comedor, donde se estima un consumo aproximado de 8.6 m³/día de acuerdo con personal con que se cuenta. Para el proceso y reposición de los circuitos cerrados, se obtiene a través de una bomba de pozo que succiona desde una perforación subterránea y es almacenada en un tanque de una capacidad de 32 m³ para asegurar el suministro durante un día completo.

En el proceso de producción de ácido succínico, 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, aunque 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. Teniendo en cuenta lo anterior, en la tabla 9.1 se detalla el consumo diario de cada operación y el consumo total.



TABLA 9.1: Consumo diario de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Etapa	Equipo	Consumo diario de agua (m ³ /día)
Esterilización	E-02	2.23
Propagación	R-03	0.05
Reacción	R-01 R-02	0.77
Enfriamiento	R-03	6.66
Enfriamiento	R-01 R-02	254.88
Condensación destilación	E-06	515.74
Limpieza CIP	-	1.24
Reposición torre de enfriamiento	-	23.38
Reposición Caldera	-	0.82
Uso personal	-	8.60
TOTAL	-	814.36

9.2.1 TRATAMIENTO DEL AGUA

El agua utilizada en el proceso de producción es purificada tanto para la generación de vapor en la caldera, en la refrigeración de las etapas de prefermentación, fermentación como así también para los intercambiadores de calor en las operaciones de enfriamiento. Para evitar incrustaciones en los equipos y por tratarse de un producto que puede utilizarse en la industria alimenticia y/o farmacéutica, el agua se somete a un proceso de tratamiento físico-químico.

El sistema con el que cuenta la industria para proveer agua en estas condiciones, está compuesto por cuatro etapas fundamentales, encargadas de purificar el agua de pozo que es bombeada desde las napas, obteniendo tres clases distintas con diferentes grados de purificación.

- Agua filtrada.
- Agua de proceso.
- Agua para caldera.



9.2.1.1 FILTRACIÓN

Todas las aguas naturales contienen diferentes tipos y cantidades de impurezas o sólidos en suspensión que incrementan la turbidez del agua, los cuales se dividen en sedimentables o filtrables o no sedimentables. Estas impurezas causan problemas de depósitos en calderas y equipos, y también sirve para que las bacterias queden adheridas.

Estos sólidos se separan con filtros para remoción de sedimentos, con medios filtrantes como la Zeolita natural llamada Micro Z que remueve sedimentos y partículas de óxido con una eficiencia 2,8 veces superior a la grava y arena sílice convencional. Este tipo de filtración es el primer paso en cualquier sistema de tratamiento de agua.

TABLA 9.2: Características Filtro Micro Z.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Material	Fibra de vidrio
Fabricante	Akun Filters
Modelo	FCK1524TX
Diámetro (pulgadas)	24
Altura (pulgadas)	71
Medio filtrante (pie ³)	10
Caudal litros por hora (m ³ /h)	7.5
Conexiones entrada y salida	1-1/2" NPT



9.2.1.2 ÓSMOSIS INVERSA

Las aguas contienen sólidos totales disueltos (STD), los cuales no son retenidos en la filtración convencional. Ellos son minerales disueltos, presentándose con mayor frecuencia y cantidad el carbonato de calcio, sulfato de calcio, carbonato de magnesio, sulfato de magnesio, sílice, cloruro de sodio, sulfato de sodio hidratado, y pequeñas cantidades de hierro, manganeso, fluoruros, aluminio, y otras sustancias. Los nitratos y fosfatos que se encuentran en el agua son por lo general debido a la contaminación de aguas residuales.

TABLA 9.3: Características membrana de ósmosis inversa.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	Akun Filters
Modelo	AK-700-3
Máxima capacidad (m ³ /h)	6.8
Porcentaje promedio de rechazo de minerales	98%
Recuperación (ajustable)	65-75%
Membrana (dimensiones)	4"x40"
Número de membranas	24
Conexión de la alimentación de agua	2" brida
Motor (HP)	10
Requerimiento eléctrico	30 amps/230V/3F
Dimensiones largo x ancho x alto (cm)	488 x 66 x 183



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

9.2.1.3 ABLANDAMIENTO

El suavizador de agua que se utiliza, está compuesto por una resina catiónica que intercambia iones de calcio y magnesio por sodio, los cuales no generan incrustación.

La dureza son los minerales de calcio y magnesio presentes en el agua causando incrustaciones en las calderas, siendo uno de los problemas más comunes encontrados en la generación de vapor.

Un efecto significativo en la disminución de la eficiencia de transferencia de calor se da cuando la incrustación está presente. Además de las pérdidas por transferencia de calor y del incremento en el consumo de energía, las incrustaciones pueden causar un sobrecalentamiento en el metal de los tubos de la caldera, generando fallas como roturas, lo que significa un aumento en el costo por mantenimiento.

El uso de un suavizador de agua en combinación con un tratamiento químico es más efectivo, confiable, seguro y económico, ya que emplear solo los químicos resulta más costoso y se incrementa con la dureza.

TABLA 9.4: Características del ablandador.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	Culligan
Modelo	EDI 30
Módulos (N°)	3
Caudal (m³/h)	6.5
Potencia	5 kW
Conexiones hidráulicas (mm)	
-Alimentación	1.5
- Producto	1
- Electrolito (diámetro)	6
Concentrado	1
Medidas largo x ancho x alto (mm)	1700 x 1200 x 1500



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

9.2.1.4 DESGASIFICACIÓN

La función de un desgasificador para el tratamiento de aguas es eliminar el oxígeno y dióxido de carbono disueltos en la alimentación de calderas para prevenir problemas de corrosión en la caldera. El equipo se adopta de tal manera que permita procesar el agua a reponer por día en la caldera, durante un periodo de funcionamiento de 1 hora. Por lo tanto, el desgasificador tiene las siguientes características:

TABLA 9.5: Características del desgasificador DH-01.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Fabricante	Schuster
Modelo	KHT 500
Contenido agua a nivel (m ³)	0.5
Volumen total (m ³)	1
Temperatura de trabajo (°C)	90-95
Peso en vacío (kg)	270

TABLA 9.6: Dimensiones del desgasificador.

Fuente: Elaboración propia.

A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
850	1050	1800	2290	1290

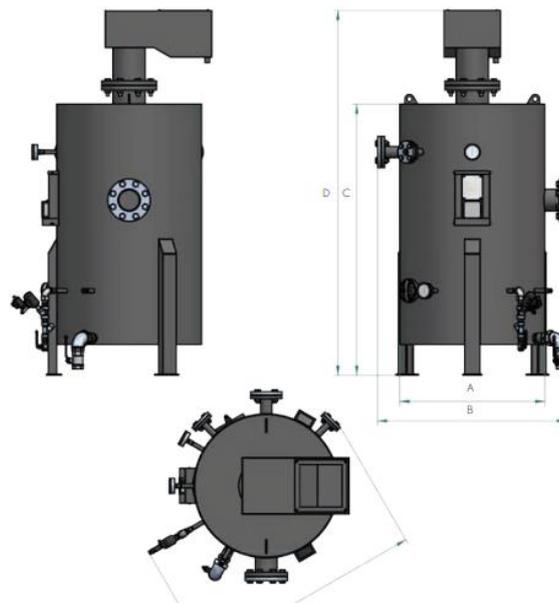


FIGURA 9.1: Desgasificador

Fuente: http://www.schusterboilers.com/upload/blocchi/X382allegatoDEPLIANT1-5X_degasatori-serbatoi_es.pdf



TIPIFICACIÓN DE AGUAS

Agua de caldera: En cuanto a lo que es el agua destinada a caldera, debe tener una conductividad prácticamente nula, para evitar el ingreso de sales dentro del sistema, lo que bajaría el rendimiento del equipo y futuras complicaciones graves en cañerías de distribución como en la misma caldera.

Los parámetros fundamentales a tener en cuenta para analizar en agua de alimentación de caldera son:

- **pH:** El pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).
- **Dureza:** La dureza del agua cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, los que favorecen la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera.
- **Oxígeno:** El oxígeno presente en el agua favorece la corrosión de los componentes metálicos de una caldera. Además, la presión y temperatura aumentan la velocidad con que se produce la corrosión.
- **Dióxido de carbono:** Al igual que el oxígeno, favorecen la corrosión. Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de ranuras y no de tubérculos como los resultantes de la corrosión por oxígeno. La corrosión en las líneas de retorno de condensado generalmente es causada por el dióxido de carbono. El CO₂ se disuelve en agua (condensado), produciendo ácido carbónico. La corrosión causada por el ácido carbónico ocurrirá bajo el nivel del agua y puede ser identificada por las ranuras o canales que se forman en el metal.
- **Conductividad -** La conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua.
- **Alcalinidad:** Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.

Esta es almacenada en un tanque con las siguientes características de diseño.

TABLA 9.7: Tanque T-09 para almacenamiento de agua de caldera.

Fuente: Elaboración propia.

Características	T-09
Material	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L
Relación de esbeltez	2.5



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Sobredimensionamiento (%)	15
Volumen total del tanque (m³)	8
Volumen cilindro (m³)	7.06
Volumen cada cabezal (m³)	0.47
Diámetro interno del tanque (m)	1.53
Altura (m)	4.6

Agua filtrada: La industria además cuenta con agua filtrada para la reposición de las torres de enfriamiento, con el fin de mantener los volúmenes necesarios en los sistemas de refrigeración, desvinculándose del tratamiento de agua para caldera, una vez que haya sido solamente filtrada, siendo distribuida por toda la industria, generando puntos de toma para conectar mangueras en los distintos sectores del proceso, facilitando la limpieza de los mismos, hasta desembocar en la torre de enfriamiento.

Esta es almacenada en un tanque con las siguientes características de diseño.

TABLA 9.8: Tanque T-07 para almacenamiento de agua filtrada.

Fuente: Elaboración propia.

Características	T-07
Material	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L
Relación de esbeltez	2.5
Sobredimensionamiento (%)	15
Volumen total del tanque (m³)	32
Volumen cilindro (m³)	28.22
Volumen cada cabezal (m³)	1.89
Diámetro interno del tanque (m)	2.43
Altura (m)	7.3

Agua de proceso: El proceso productivo requiere un consumo de agua de calidad media para llevar a cabo la fermentación, ingresando esta junto con la alimentación de glucosa tanto en el prefermentador como en los respectivos fermentadores, representado un 15% de la misma.

Este tipo de suministro se obtiene de la planta de tratamiento de agua, desvinculándose de la línea de purificación después de haber sido filtrada por ósmosis inversa (RO), asegurando una menor



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

conductividad en la alimentación y evitando una mayor cantidad de metales a separar luego en la etapa de intercambiadores iónicos.

TABLA 9.9: Tanque T-08 para almacenamiento de agua proceso.

Fuente: Elaboración propia.

Características	T-08
Material	AISI 304
Fabricante	VM Acero S.R.L
Relación de esbeltez	2.5
Sobredimensionamiento (%)	15
Volumen total del tanque (m ³)	8
Volumen cilindro (m ³)	7.06
Volumen cada cabezal (m ³)	0.47
Diámetro interno del tanque (m)	1.53
Altura (m)	4.6

9.2.2 DISEÑO DE PLANTA DE AGUA

La capacidad de los equipos de tratamiento de agua se define de acuerdo a los consumos que genere la industria, los cuales se detallan en siguiente tabla, teniendo en cuenta que se trabajan con tres tipos diferentes de agua.

- Agua filtrada
- Agua RO.
- Agua de caldera.

TABLA 9.10: Tipificación de aguas.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Consumo	Usos	Almacenamiento
Agua filtrada	24.59 m ³ / día	- Reposición en torre de enfriamiento. - Lavado CIP.	32 m ³
Agua de proceso	0.816 m ³ / día	- Prefermentación. - Fermentación.	8 m ³
Agua de caldera	0.815 m ³ / día	- Reposición en caldera.	8 m ³



9.2.3 AGUA PARA SISTEMA DE LIMPIEZA CIP

Para la correcta limpieza de los elementos integrados en la línea de proceso, se incorpora un sistema de limpieza CIP (“cleaning in place”). Haciendo circular por el entramado de tuberías y depósitos una solución de productos químicos.

La tecnología actual permite que dichos procesos se realicen de forma totalmente automatizada. Estos sistemas garantizan la repetibilidad de las operaciones, con el mantenimiento adecuado de los diferentes parámetros que intervienen en dicha limpieza.

Toda limpieza requiere de cuatro parámetros imprescindibles para su correcta ejecución:

- Tiempo
- Temperatura
- Acción química
- Acción mecánica

Si alguno de ellos varía, el resto se ven alterados.

9.2.3.1 PROGRAMA DE LAVADO

La función de la unidad de limpieza CIP es la de preparar automáticamente las soluciones de limpieza en la concentración y temperatura adecuadas, y programar los distintos ciclos para la limpieza de todos los elementos de la planta, controlando temperatura, caudal y/o presión. Los pasos para seguir para efectuar la limpieza son los siguientes:

- Aclarado inicial con agua.
- Fase alcalina.
- Aclarado intermedio.

En general los sistemas CIP disponen de dos programas de lavado:

- Programa corto: Primeramente, se realiza un enjuague con agua filtrada a fondo perdido. Este primer enjuague ya permite realizar una primera pasada por el circuito con una solución con un poder químico mayor que el agua por si sola.

En la segunda fase del programa se realiza una recirculación de agua con hidróxido de sodio al 2% de concentración durante el tiempo establecido.

En tercer lugar, se realiza un segundo enjuague con agua filtrada, para barrer los restos de hidróxido de sodio. Esto se comprueba con una muestra final de pH, dando un valor por debajo de 8.



9.2.3.2 LIMPIEZA CIP ADOPTADA

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, alcanza con utilizar una solución alcali para realizar la limpieza. Se utiliza NaOH, que presenta alta eficacia y bajo costo, a una concentración del 3% a 80 °C y 3 bar. Tanto el aclarado inicial como el final se llevan a cabo a temperatura ambiente.

Para la limpieza de los reactores se instalan en su interior bochas de limpieza (Spray Balls) que consisten en esferas que contienen una determinada cantidad de orificios de cierto diámetro, uniformemente distribuidos. Para los fermentadores R-01 y R-02, se adoptan boquillas TankJet, ideales para utilizar en la industria alimenticia. En la siguiente tabla se detallan las características de las boquillas.



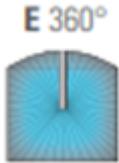
FIGURA 9.2: Boquilla usada en los fermentadores.

Fuente: https://www.spray.com/-/media/dam/sales-materials/t/tankjet_d41990_tank-cleaning-catalog.pdf



TABLA 9.11: Especificaciones de la boquilla usada en los fermentadores.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor
Fabricante	Tank Jet
Modelo	D41990E
Cantidad requerida	2
Diámetro máximo del tanque (m)	2
Mínima apertura del tanque (mm)	3/8", 1/2", 3/4" NPT or BSPT (F), CIP 182 o 192
Principio de operación	Fuerza reaccionaria impulsada por fluidos
Presión de operación (bar)	1 a 4
Máxima temperatura (°C)	130 °C
Rango de flujo (l/min)	9 a 40
Cobertura del Spray	
Material	Acero inoxidable 316L

El programa de lavado seleccionado para los reactores y centrífugas se debe ajustar al tiempo disponible para la limpieza, por lo tanto, se utiliza 1 h para la limpieza CIP. En cuanto al prefermentador, se realiza un tratamiento diferente debido a su pequeño tamaño. En este caso, se lava con agua para retirar la suciedad remanente y luego se esteriliza con vapor de la línea que se utiliza para poner en régimen los intercambiadores en el arranque de planta. De esta manera, se suministra vapor, presurizando el equipo, hasta que el sensor de temperatura alcance la temperatura de esterilización. Se lo deja durante 30 segundos para que esta sea efectiva, cortando el envío de vapor y luego se lo deja enfriar hasta que el sensor marque nuevamente temperatura ambiente. Una vez alcanzada esta, se produce la apertura del recinto.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

El lavado CIP de los fermentadores, por otra parte, consiste en tres etapas, las cuales tienen las siguientes características:

TABLA 9.12: Programa de lavado en los fermentadores.

Fuente: Elaboración propia.

Etapa	Tiempo (min)	Caudal (l/min)	Volumen (l)	Temperatura (°C)	Presión (atm)
Flushing con agua	15	30	450	25	3
Fase alcalina:					
Solución de NaOH al 3%	30	30	140*	80	3
Flushing con agua	15	30	450	25	3

* Debe aclararse que esta solución de hidróxido de sodio se alimenta con el mismo caudal que el correspondiente a las demás etapas de lavado, pero transcurridos aproximadamente 5 minutos, comenzará a recircularse de manera que el volumen fijo que permanece en el reactor sea siempre de 140 litros.

Para el caso del lavado CIP que se realiza en las centrífugas, el programa utilizado es el que se especifica en la siguiente tabla.

TABLA 9.13: Programa de lavado en las centrífugas.

Fuente: Elaboración propia.

Etapa	Tiempo (min)	Caudal (l/min)	Volumen (l)	Temperatura (°C)	Presión (atm)
Flushing con agua	15	30	450	25	3
Fase alcalina:					
Solución de NaOH al 3%	30	30	160*	80	3
Flushing con agua	15	30	450	25	3



* Debe aclararse que esta solución de hidróxido de sodio se alimenta con el mismo caudal que el correspondiente a las demás etapas de lavado, pero transcurridos aproximadamente 6 minutos, comenzará a recircularse de manera que el volumen fijo que permanece en la centrifuga sea siempre de 160 litros.

El Hidróxido de Sodio utilizado para la limpieza CIP se obtiene de bidones de 25 litros, los cuales se encuentran con una concentración del 50%. Para cada lavado se utilizan dos bidones, ya que se requieren 50 litros de soda, los cuales, combinados con 750 litros de agua, permiten obtener una solución de hidróxido de sodio al 3%.

9.2.3.3 DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES

Para el almacenamiento de la solución de hidróxido de sodio al 3% se cuenta con un maxi bidón de 1000 litros, de los cuales se ocuparán 800, dejando un margen libre de 200 litros que puede ser ocupado por la espuma formada por la soda al momento de la recirculación. Las características del maxibidón se detallan a continuación:

TABLA 9.14: Tanque T-06

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor
Modelo de envase	SLX
Descripción	Contenedor tipo IBC 1000 litros
Capacidad (l)	1000
Tara (kg)	65
Dimensiones (mm)	Ancho: 1000 ± 5 Longitud: 1200 ± 5 Altura: 1180 ± 10
Incluido	Pallet inferior (madera) Jaula metálica exterior Burbuja interior de polietileno



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

	Válvula de descarga 2" Tapa de carga 160 mm
Pallet: Material	Madera
Jaula exterior: Material	Acero galvanizado
Burbuja exterior: Material	Poliétileno de alta densidad

9.2.4 DIAGRAMA DE DISTRUBICIÓN DEL AGUA

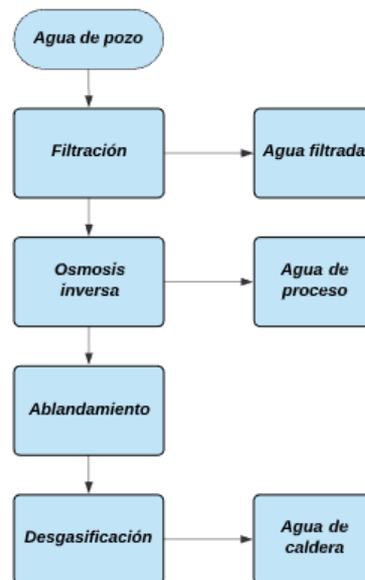


FIGURA 9.3: Diagrama de distribución de agua.

Fuente: Elaboración propia.

9.2.1.5 SERVICIO DE CAÑERÍAS

Para la selección de las cañerías se supone un diámetro y se calcula la pérdida de carga a través de estas, la cual no debe superar los 15 m. En el cálculo de cada bomba se especifica el diámetro de tubería a utilizar, la longitud del circuito y las pérdidas de carga correspondientes.



9.3 VAPOR DE AGUA

En la etapa de esterilización se realiza una única inyección inicial de 23.2 kg/h de vapor al poner en marcha la planta, hasta que la corriente alcance la temperatura necesaria, por lo que esta cantidad se considera despreciable. Luego se utiliza un sistema de intercambiadores de calor que se encuentran conectados de manera tal que permite una integración energética que hace que no sea necesaria la nueva incorporación de vapor. Por lo tanto, sólo se tiene en cuenta la cantidad de vapor suministrada al rehervidor de la columna de destilación. Este consiste en 6504.48 kg/día de vapor sobrecalentado a 1 atmósfera de presión y 220 °C.

9.3.1 ADOPCIÓN DE LA CALDERA DE VAPOR

En base a los cálculos realizados en el capítulo 7, los cuales dan como resultado un consumo de vapor de 339.69 kg/h, se procede a adoptar la caldera que se utilizará para proveer de vapor al equipo en el cual es necesario realizar calentamiento en la etapa de destilación.

Por otro lado, se considera una pérdida del 10% del vapor utilizado, correspondiente a 815.26 kg por día, los cuales se reponen diariamente como agua a la caldera.

Se tuvieron en cuenta para la adopción de la caldera, las calorías necesarias, durante el consumo máximo de vapor, para llevar la temperatura del agua de retorno desde 166.9 °C hasta 220 °C y transformarlo en vapor sobrecalentado.

En función de dichos requerimientos, se adopta una caldera de modelo E 15 con una capacidad de producción de vapor de 360 kg/h cuyo fabricante es la empresa Fontanet. Las calderas Modelo E son generadores de vapor con hogar de amplia superficie radiante y baja carga térmica, diseñadas para quemar combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Algunas de sus características principales son:

- Puede combinarse la quema de combustibles líquidos mediante quemador manual a vapor con flexibles ubicado en la puerta de carga del hogar.
- Fondo seco con aislación refractaria.
- Las bocas de inspección facilitan el acceso al interior del equipo simplificando su limpieza y mantenimiento.

Además, opcionalmente pueden incorporarse:

- Un domo superior que incrementa el volumen de la cámara de vapor para absorber sin inconvenientes picos de consumo a máxima producción.
- Tubo hervidor en el interior del hogar que favorece la circulación del agua disminuyendo el tiempo de puesta en régimen, obrando como un verdadero parallamas.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

- Construcción tipo paquete con todos sus accesorios incorporados. Lista para funcionar una vez acoplados los conductos de agua, vapor, combustible y conexión eléctrica.
- Fondo HÚMEDO, cámara de retorno de gases de combustión completamente inundada.
- Alimentador Mecánico Automático: Para utilizar BIOMASA aserrín, viruta, chips, pellets o pequeños trozos de madera, semillas, o desechos celulósicos de cualquier tipo pasándolo por un molino, lodos secados etc.
- Quemador a vapor para funcionar quemando combustibles líquidos.
- Quemador tipo Airfol, Monobloque o Duobloque. (s/modelo) para combustibles líquidos y/o gaseosos.

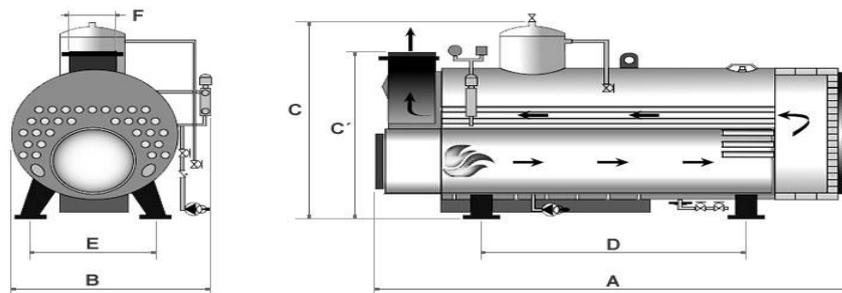


FIGURA 9.4: Caldera.

Fuente: <http://www.calderasfontanet.com/es/calderas-industriales/e>

En la tabla que se encuentra a continuación, se resumen las características y detalles técnicos de la misma.

TABLA 9.15: Caldera.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor
Marca	Fontanet
Modelo	Caldera E 15
Tipo	Humotubular de dos pasos
Combustibles	Sólidos, líquidos y/o gaseosos
Rendimiento	80 %



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Construcción	Tipo paquete (equipos auxiliares incorporados)
Materiales de construcción	Según códigos europeos y americanos
Producción de vapor	360 kg/h
Capacidad térmica	193997 kcal/h
Largo total A	2.7 m
Ancho total B	1.75 m
Alto total con domo C	2 m
Alto total sin domo C'	1,7 m
Distancia entre patas D	1,49 m
Distancia entre patas E	1 m
Diámetro chimenea	0.3 m

9.3.2 DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DE AGUA

En la siguiente figura se observa el diagrama de distribución de vapor en la planta de proceso productivo de ácido succínico.

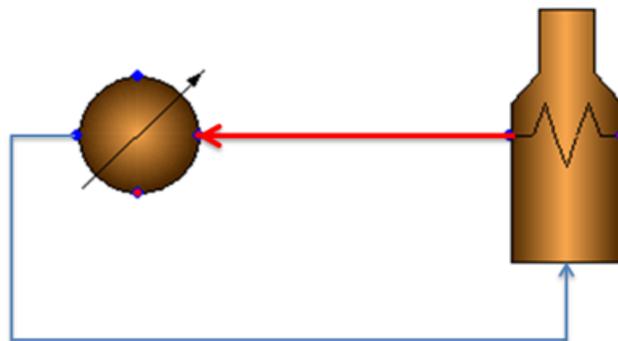


FIGURA 9.5: Diagrama de distribución de vapor.

Fuente: Elaboración propia



9.3.3 PÉRDIDA DE CALOR EN LA RED

A lo largo de toda la superficie externa de una tubería que transporta vapor existe una pérdida de calor hacia el ambiente por convección y radiación, provocando que parte del mismo se condense, reduciendo su presión y temperatura, lo cual ocasiona una disminución de la calidad del vapor. Por ello es que a las tuberías de distribución se le coloca un aislante térmico, de esta forma se minimiza el desperdicio de energía. En tuberías en las que pasa vapor a presiones iguales o menores a 10 atm se ha determinado empíricamente que:

- Para tuberías menores a 2 plg de diámetro se tendrá 1 plg de espesor de aislante.
- Para tuberías mayores a 2 plg de diámetro se tendrá 2 plg de espesor de aislante.

9.3.4 DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Para dimensionar el diámetro de una tubería de vapor sobresaturado y retorno de condensado se tiene en cuenta la velocidad y presión por la que circulan en la línea de distribución.

- El diámetro de las tuberías se ve ligado a la velocidad del vapor, puesto que, con una mayor velocidad del vapor en la línea de distribución, aumenta la erosión y el ruido en las tuberías. Por lo tanto, las velocidades recomendadas para una adecuada y correcta distribución de vapor sobrecalentado dentro de las líneas son de 25 a 35 m/s.

- Para el retorno de condensado la velocidad de diseño depende de la existencia de vapor en la línea. Si es solo líquido condensado generalmente la velocidad es de 1 a 1,5 m/s, pero si es flujo de dos fases, las líneas deben ser dimensionadas en base al flujo de vapor. Para el flujo de dos fases la velocidad de diseño aproximadamente es 15 m/s.

El cálculo del diámetro de la tubería corresponde a la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Mv \cdot Ve}{V \cdot \pi}} \quad (\text{Ec. 9.1})$$

Dónde:

- D: Diámetro de la tubería (m)
- Mv: Masa de vapor (kg/h)
- Ve: Volumen específico del vapor (m³/kg) que es función de (P y T)
- V: Velocidad del vapor (m/h)



Como se mencionó anteriormente, se considera un valor de pérdidas de vapor del 10 %, por lo que esto da como resultado tuberías de acero al carbono Schedule 80 con aislante de lana mineral, las cuales cuentan con las dimensiones expresadas en la siguiente tabla:

TABLA 9.16: Características de las tuberías
Fuente: Elaboración propia.

Línea	Diámetro de la tubería		Diámetro adoptado	Espesor aislante
Línea de vapor	0.083 m	3.25 pulg.	3.5 pulg	2 pulg.
Línea de condensados	0.043 m	1.69 pulg.	2 pulg.	1 pulg.

9.4 SISTEMA DE VACÍO

En la etapa de destilación, para la separación de los volátiles, se utiliza un vacío 0.61 atm de presión para facilitar la remoción de los mismos al disminuir sus temperaturas de ebullición y evitar las altas temperaturas para estos compuestos. Con esto se obtiene un ahorro significativo del vapor de servicio. Para la generación del vacío se utiliza una bomba de vacío de paletas Becker. Se caracterizan por ser bombas longevas, eficientes y de bajo mantenimiento. No utilizan aceite para trabajar y las cámaras están separadas por resistentes paletas de carbón / aspas de carbón originales Becker. Las válvulas reguladoras y los filtros están integrados. Su carcasa es compacta y la bomba puede mantener un bajo nivel sonoro y un estable nivel térmico. Su efectivo diseño, con sólo un eje y transmisión directa, hace de estas bombas de vacío de paletas de larga vida útil, con bajos costes de servicio y de mantenimiento. Estas bombas de vacío de paletas no precisan lubricante para funcionar y las diferentes cámaras de trabajo están separadas por robustas paletas de grafito.

Las válvulas de regulación y los filtros de aspiración están integrados en exactamente las mismas bombas de vacío. El enfriador de aire impulsado, que viene integrado, garantiza que se tendrá una temperatura muy baja en el aire impulsado.

Dado que el caudal de trabajo es bajo, se adopta el equipo más pequeño que produce la empresa. En la siguiente tabla se pueden observar las características del equipo.



FIGURA 9.6: Bomba de vacío

Fuente: <https://exportvacio.com/bomba-de-vacio-becker-paletas-sin-aceite/>

TABLA 9.17: Características de la bomba de vacío.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor
Fabricante	Becker
Tipo	Paletas rotativas sin aceite
Modelo	VT 4.2
Máximo volumen de aspiración 50/60 Hz	1.9 - 2.3
Máximo vacío 50/60 Hz	400/400
Máximo vacío 50/60 Hz	-600/600
Máxima potencia del motor 50/60 Hz	0.09 – 0.105

9.5 EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento de la industria se basa en modelos de torres con ventiladores, las cuales son adoptadas de la empresa FAVRA. Estas consisten en recircular agua de calidad filtrada, a una temperatura media de 31.5°C, por el circuito de refrigeración, manteniendo la temperatura óptima de proceso, principalmente en el área de fermentación y en la condensación de la cabeza de la torre de destilación, donde se genera el mayor consumo.

La planta cuenta con cuatro módulos de enfriamiento, es decir con cuatro ventiladores encima de una gran batea de hormigón con nivel de agua, la cual se encarga de refrigerar todo el proceso productivo, saliendo a una temperatura de 28 °C y retornando con una carga calorífica representada por 35 °C.



La distribución de agua de torre se da por toda la planta, teniendo su punto de partida a metros del área de fermentación, llegando así a los diferentes equipos que requieren refrigeración, como es el caso del economizador encargado de enfriar la corriente de alimentación del prefermentador a 37 °C después de ser esterilizada a 121 °C, así como también al prefermentador en sí, junto con el fermentador que se está cargado en ese momento, refrigerando a ambos a través de un sistema interno de serpentines.

Por otro lado, el circuito llega hasta la zona de destilación, en donde como se mencionó anteriormente, el consumo de agua para remover la carga calórica es muy grande, con respecto a los valores que maneja el proceso, condensando de esta forma los compuestos volátiles que escapan por la cabeza de la columna de destilación.

9.5.1 FUNCIONAMIENTO

En las torres de enfriamiento se consigue disminuir la temperatura del agua caliente que proviene de un circuito de refrigeración mediante la transferencia de calor y materia al aire que circula por el interior de la torre. A fin de mejorar el contacto aire-agua, se utiliza un entramado denominado “relleno”, el cual es de fibra de vidrio y plástico. El agua entra en la torre por la parte superior y se distribuye uniformemente sobre el relleno utilizando pulverizadores o toberas. De esta forma, se consigue un contacto óptimo entre el agua y el aire atmosférico.

El relleno sirve para aumentar el tiempo y la superficie de intercambio. Una vez establecido el contacto entre el agua y el aire, tiene lugar una cesión de calor del líquido hacia el aire. Ésta se produce debido a dos mecanismos: la transmisión de calor por convección y la transferencia de vapor desde el agua al aire.

En la transmisión de calor por convección, se produce un flujo de calor en dirección al aire que rodea el agua a causa de la diferencia de temperaturas entre ambos fluidos.

Alrededor del 90 % del flujo térmico es debido al fenómeno de enfriamiento por evaporación. Al entrar en contacto el aire con el agua se forma una fina película de aire húmedo saturado sobre la lámina de agua que desciende por el relleno. Esto es debido a que la presión parcial de vapor de agua en la película de aire es superior a la del aire húmedo que circula por la torre, produciéndose una cesión de vapor, es decir, la evaporación. Esta masa de agua evaporada extrae el calor latente de vaporización del propio líquido. Este calor latente es cedido al aire, obteniéndose un enfriamiento del agua y un aumento de la temperatura del aire. La diferencia de temperaturas del agua a la salida y la temperatura húmeda del aire se llama «acercamiento» o “aproximación”, ya que representa el límite termodinámico de enfriamiento al que puede llegar el agua



9.5.2 ADOPCIÓN DE TORRE DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento se adopta como se mencionó anteriormente, de la empresa dedicada al diseño de torres de enfriamiento, FAVRA, optando por uno de sus modelos de acuerdo a la energía que se debe remover en el proceso por hora de producción.

TABLA 9.18: Calores a remover.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Calor a remover
Economizador E-02	9562.24 kcal/h
Prefermentador R-01	3884.81 kcal/h
Fermentador	74345.91 kcal/h
Condensador E-06	155488.00 kcal/h

Para definir el modelo de torre se considera el término tonelada de refrigeración (TR), el cual es la unidad nominal de extracción de carga térmica (enfriamiento) y puede definirse como la cantidad de calor latente absorbida por la fusión de una tonelada corta de hielo sólido puro en 24 horas.

$$TR = Q \text{ a remover (BTU/h)} / 12000 \text{ (BTU/h)}$$

$$Q \text{ a remover} = (9562.24 + 3884.81 + 74345.91 + 155488) \text{ kcal/h} * 3.96567 \text{ BTU/kcal}$$

De acuerdo a la plantilla de diseño que ofrece la empresa encargada de instalar la torre de enfriamiento, se seleccionan cuatro módulos con la capacidad de remover 20 TR/h cada uno de ellos, permitiendo de esta manera cubrir las 80 TR/h que necesita perder el proceso para mantener sus operaciones de manera óptima.

Por otro lado, se prefiere encarar un sistema de refrigeración con módulos pequeños para poder evitar altos consumos energéticos en condiciones favorables del clima, ya que, en este momento, si se hubiese optado por un solo módulo de 80 TR/h, el equipo estaría muy sobredimensionado, generando un alto consumo energético, en cambio teniendo varios módulos, permite una flexibilidad mayor pudiendo detener los sobrantes.

9.5.2 Dimensiones - torre de enfriamiento SERIE 190



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

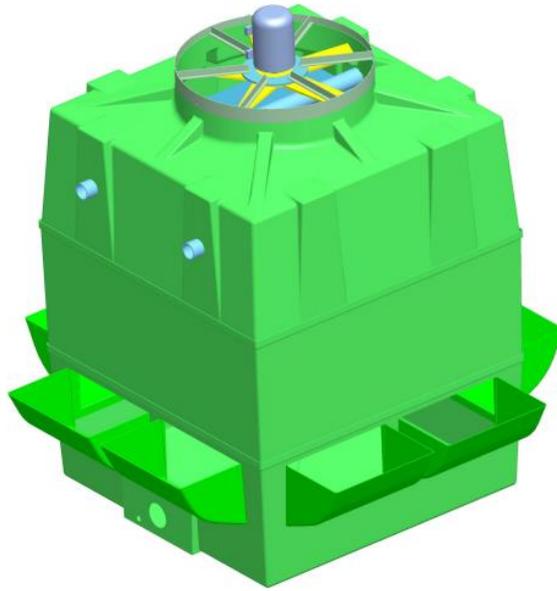


FIGURA 9.7: Torre de enfriamiento.

Fuente: <https://favra.com.ar/subcategoria/serie-190>.

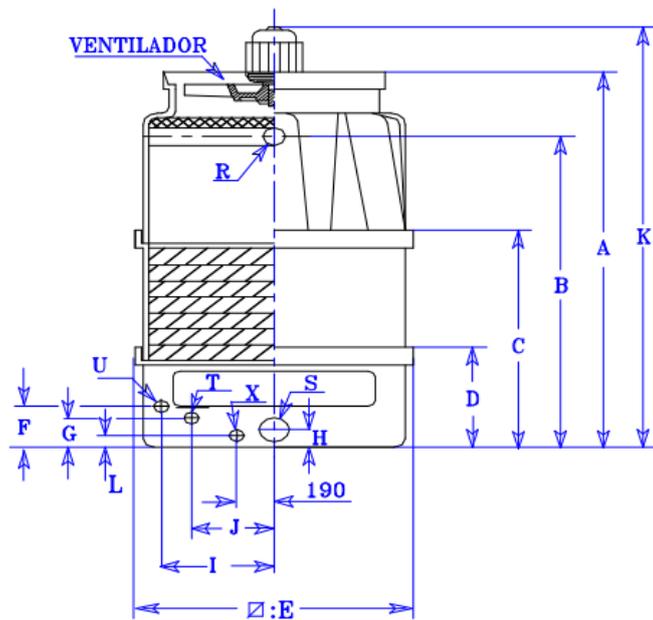


FIGURA 9.8: Nomenclatura dimensiones torre de enfriamiento.

Fuente: http://www.solucionesmro.com.ar/components/com_catalogo_de_productos/storage/productos/adjuntos/3_Dimensiona%20TEA%20FAVRA%20Serie%20190.pdf.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.19: Características de las torres de enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Tamaño		Peso (kg)			Conexiones (pulg)			
TR	Q	Vacío	Operativo	R	S	T	U	X
70	47730	361	981	3	4	11/2	½	1 1/2

TR – Tonelada de refrigeración.

Q – Caudal en l/h.

TABLA 9.20: Dimensiones de las torres de enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Dimensiones (mm)											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2650	2220	1720	820	1480/1900	423	365	95	675	480	2910	65

9.6 GAS NATURAL

El parque industrial de Villa María cuenta con una estación reguladora de presión y cañerías de distribución interna de gas natural.

En la producción del ácido succínico, el gas se utiliza como combustible de la caldera principalmente y, en menor medida, en el laboratorio, calefacción, cocina, administración, etc.

9.6.1 CONSUMO DE GAS NATURAL

En los cálculos se considerará solamente el gas utilizado en el proceso productivo de la planta, es decir, el usado en la caldera y en el secado, ya que el utilizado en las instalaciones (donde se utilizan en conjunto aproximadamente 22.68 m³) resulta despreciable comparado con éste. Por lo tanto, se calcula el gas requerido para el funcionamiento de la caldera y se realiza la sumatoria de los demás valores:

$$C_g = \frac{Q_c}{P_c \cdot \eta} \quad (\text{Ec 9.2})$$

Dónde:

C_g: consumo de gas natural en la caldera: 625.8 m³/día

Q_c: calor utilizado en la caldera por día: 4655928 kcal/día



Pc: poder calorífico del gas natural: 9300 kcal/m³

η : rendimiento del gas natural: 0.8

Para realizar el cálculo de consumo de gas natural del generador de aire caliente, se utiliza la misma ecuación, la que da como resultado:

C_g: consumo de gas natural por el generador de aire caliente: 77.42 m³/día

Qc: calor utilizado por el generador de aire caliente por día: 576000 kcal/día

Pc: poder calorífico del gas natural: 9300 kcal/m³

η : rendimiento del gas natural: 0.8.

TABLA 9.21: Consumo de gas natural.

Fuente: Elaboración propia.

Destino	Consumo (m ³ /día)
Caldera	625.8
Secador	77.42
Instalaciones	22.68
TOTAL	725.9

9.6.1 RED DE CAÑERÍAS DE GAS

Las cañerías de distribución del gas natural a toda la planta son especiales para este servicio, de acero galvanizado con revestimiento de pintura Epoxi. La rama principal de suministro a la caldera es de 1 ½" de diámetro nominal y las derivaciones a las instalaciones de ¾" de diámetro.

9.7 CÁLCULO Y ADOPCIÓN DE BOMBAS

Para el transporte de las corrientes principales debe diseñarse un sistema de cañerías y adoptar, para cada conexión entre equipos, una bomba adecuada para dicho recorrido. La fuerza impulsora necesaria para que el líquido fluya de un punto a otro en una tubería, es suministrada por bombas que incrementan la energía mecánica del fluido para aumentar la velocidad, presión y elevación del mismo. Existen dos tipos de bombas principalmente, las de desplazamiento positivo y las de acción centrífuga. Cada una de ellas tiene aplicaciones específicas para las cuales se adaptan de manera más adecuada que la otra.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Los parámetros a estimar son: diámetro mínimo de la tubería de aspiración y de la de impulsión; potencia mínima de la bomba a instalar; y altura neta positiva en la aspiración (NPSH). El cálculo comienza con la ecuación de Bernoulli corregida para tener en cuenta la fricción del fluido (Mataix, 1986).

$$H + P_a \gamma + Z_a + \frac{v_a^2}{2g} = P_b \gamma + Z_b + \frac{v_b^2}{2g} + hf \quad (\text{Ec 9.1})$$

Dónde:

H: altura efectiva de la bomba (ideal).

P_a y P_b : presión sobre el fluido en los puntos de succión y descarga respectivamente.

γ : peso específico del fluido.

Z_a y Z_b : altura del nivel del líquido en los puntos de succión y descarga respectivamente.

v_a y v_b : velocidad lineal del fluido en los puntos de succión y descarga respectivamente.

hf : pérdidas por fricción.

g : aceleración de la gravedad.

A continuación, se detallan las bombas necesarias para el transporte de fluidos. Como referencia para el tipo de bomba se utiliza la nomenclatura P seguido del número correspondiente a la misma.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.22: Bombas utilizados en el proceso.

Fuente: Elaboración propia.

Símbolo	Conexión entre equipos	Corriente	Caudal máximo (m ³ /h)	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Denominación	Tipo de bomba
P-01	T-01 con E-03, E-04 y R-01	A, H y H'	0,00625	25	1	Jarabe de glucosa - Agua	Dosificadora
P-02	E-03, E-04 y R-01 con R-02 y R-03	H y H'	0,00658	37	1	Medio de cultivo	Dosificadora
P-03	CT-01 con R-01, R-02, R-03, E-02 y E-06	Agua de enfriamiento	32.48	28	1	Agua de enfriamiento	Multietapas
P-04	CT-01 con R-01, R-02, R-03, E-02 y E-06	Agua de enfriamiento	32.48	28	1	Agua de enfriamiento	Multietapas
P-05	R-02 y R-03 con T-02	K	0.35	37	1	Producto de fermentación	Dosificadora
P-06	R-02 y R-03 con T-06	CIP	0.14	25	1	CIP	Dosificadora
P-07	T-06 con R-02, R-02, ST-01 y ST-02	CIP	0.16	25	1	CIP	Dosificadora
P-08	ST-01 y ST-02 a T-06	CIP	0.16	25	1	CIP	Dosificadora
P-09	T-02 con ST-01 y ST-02	K'	0.35	25	1	Salida del tanque pulmón T-02	Dosificadora



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

P-10	ST-01 y ST-02 con laguna de efluentes	L	0.21	25	1	Impurezas ST-01 y ST-02	Dosificadora
P-11	MD-01 con C-01 y C-02	M'	0.21	25	1	Corriente de interés del proceso	Dosificadora
P-12	T-03 con T-04	HCl	0.001	25	1	Corriente de regeneración de C-01 y C-02	Dosificadora
P-13	C-01 y C-02 con T-05	O	0.24	25	1		Dosificadora
P-14	T-05 con C-03	O'	0.196	25	1	Salida del tanque pulmón T-05	Dosificadora
P-15	C-03 con P-10	P	0.065	90.4	1	Impurezas que salen de la columna de destilación C-03	Dosificadora
P-16	T-07 con línea de agua filtrada	Agua filtrada	5	25	1	Corriente de agua filtrada	Multietapas
P-17	T-07 con T-08	Agua filtrada	5	25	1	Corriente de agua de pozo	Multietapas
P-18	Pozo con T-07	Agua de pozo	5	25	1	Corriente de agua de pozo	Multietapas



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

P-19	T-08 con T-09	Agua de osmosis inversa	5	25	1	Corriente de agua de osmosis inversa	Multietapas
P-20	T-08 a corriente A	Agua de osmosis inversa	0.034	25	1	Agua para proceso	Dosificadora
P-21	T-09 con DH-01	Agua desionizada	0.0014	25	1	Corriente de agua desionizada	Dosificadora
P-22	DH-01 con SG-01	Agua desgasificada	0.0014	25	1	Corriente de agua para caldera	Dosificadora



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

En las tablas que se encuentran a continuación, se detallan los parámetros calculados para cada una de las bombas utilizadas en el proceso.

TABLA 9.23: Descripción bomba P-01

Fuente: Elaboración propia.

P-01	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	13	9.4
Número de Reynolds	478.74	957.49
Factor de fricción f	0.134	0.067
Pérdida de carga hf (m)	0.063	1.062
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	7.954	1.395
Potencia (HP)	0.01	

TABLA 9.24: Descripción bomba P-02

Fuente: Elaboración propia.

P-02	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	13	9.2
Número de Reynolds	478.74	957.49
Factor de fricción f	0.134	0.067
Pérdida de carga hf (m)	0.48	0.59
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	1.395	4.14
Potencia (HP)	0.0037	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.25: Descripción bomba P-03

Fuente: Elaboración propia.

P-03	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.6	0.9
Diámetro de la cañería (mm)	113	113
Número de Reynolds	114000	114000
Factor de fricción f	0.05	0.05
Pérdida de carga hf (m)	0.01	1.28
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0.95	4.14
Potencia (HP)	0.662	

TABLA 9.26: Descripción bomba P-04

Fuente: Elaboración propia.

P-04	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.6	0.9
Diámetro de la cañería (mm)	113	113
Número de Reynolds	114000	114000
Factor de fricción f	0.05	0.05
Pérdida de carga hf (m)	0.01	1.28
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0.855	4.14
Potencia (HP)	0.676	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.27: Descripción bomba P-05

Fuente: Elaboración propia.

P-05	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	20	14
Número de Reynolds	127.09	254.17
Factor de fricción f	0.504	0.252
Pérdida de carga hf (m)	0.82	0.71
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	4.14	4.7385
Potencia (HP)	0.0043	

TABLA 9.28: Descripción bomba P-06

Fuente: Elaboración propia.

P-06	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	13	9.1
Número de Reynolds	1193	2386
Factor de fricción f	0.054	0.027
Pérdida de carga hf (m)	0.063	0.134
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	4.14	0.9
Potencia (HP)	0.01	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.29: Descripción bomba P-07

Fuente: Elaboración propia.

P-07	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	14	9.7
Número de Reynolds	1193	2386
Factor de fricción f	0.054	0.027
Pérdida de carga hf (m)	0.015	0.488
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0.9	4.14
Potencia (HP)	0.003	

TABLA 9.30: Descripción bomba P-08

Fuente: Elaboración propia.

P-08	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	14	9.7
Número de Reynolds	1193	2386
Factor de fricción f	0.054	0.027
Pérdida de carga hf (m)	0.131	0.134
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0.405	0.9
Potencia (HP)	0.0006	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.31: Descripción bomba P-09

Fuente: Elaboración propia.

P-09	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	20	14
Número de Reynolds	127.09	254.17
Factor de fricción f	0.504	0.252
Pérdida de carga hf (m)	0.142	1.628
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	4.74	0.54
Potencia (HP)	0.01	

TABLA 9.32: Descripción bomba P-10

Fuente: Elaboración propia.

P-10	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	16	11
Número de Reynolds	65.13	130.26
Factor de fricción f	0.983	0.491
Pérdida de carga hf (m)	0.822	4.793
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0.405	0
Potencia (HP)	0.003	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.33: Descripción bomba P-11

Fuente: Elaboración propia.

P-11	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	16	11
Número de Reynolds	15930	31870
Factor de fricción f	0.004	0.002
Pérdida de carga hf (m)	0.001	0.018
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	3.375	1.332
Potencia (HP)	0.01	

TABLA 9.34: Descripción bomba P-12

Fuente: Elaboración propia.

P-12	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	11	8
Número de Reynolds	2155	4311
Factor de fricción f	0.049	0.047
Pérdida de carga hf (m)	0.015	0.745
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	1.863	4.937
Potencia (HP)	0.0002	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.35: Descripción bomba P-13

Fuente: Elaboración propia.

P-13	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	15	11
Número de Reynolds	13030	26050
Factor de fricción f	0.0049	0.0026
Pérdida de carga hf (m)	0.008	0.016
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	1.332	3.906
Potencia (HP)	0.0035	

TABLA 9.36: Descripción bomba P-14

Fuente: Elaboración propia.

P-14	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	15	11
Número de Reynolds	13030	26050
Factor de fricción f	0.0049	0.0026
Pérdida de carga hf (m)	0.0034	0.0077
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	3.906	3.762
Potencia (HP)	0.001	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.37: Descripción bomba P-15

Fuente: Elaboración propia.

P-15	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	10	6
Número de Reynolds	2487	4973
Factor de fricción f	0.049	0.047
Pérdida de carga hf (m)	0.086	0.722
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	1.2	0.2
Potencia (HP)	0.01	

TABLA 9.38: Descripción bomba P-16

Fuente: Elaboración propia.

P-16	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	77	54
Número de Reynolds	22790	37990
Factor de fricción f	0.03	0.023
Pérdida de carga hf (m)	0.0015	0.25
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	6.57	2
Potencia (HP)	0.001	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.39: Descripción bomba P-17

Fuente: Elaboración propia.

P-17	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	77	54
Número de Reynolds	22790	37990
Factor de fricción f	0.03	0.023
Pérdida de carga hf (m)	0.0073	0.065
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	6.57	4.14
Potencia (HP)	0.005	

TABLA 9.40: Descripción bomba P-18

Fuente: Elaboración propia.

P-18	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	77	54
Número de Reynolds	22790	37990
Factor de fricción f	0.03	0.023
Pérdida de carga hf (m)	0	0.213
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	36.57
Potencia (HP)	0.838	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.41: Descripción bomba P-19

Fuente: Elaboración propia.

P-19	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	77	54
Número de Reynolds	22790	37990
Factor de fricción f	0.03	0.023
Pérdida de carga hf (m)	0.0046	0.067
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	4.14	4.14
Potencia (HP)	0.02	

TABLA 9.42: Descripción bomba P-20

Fuente: Elaboración propia.

P-20	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	6	4
Número de Reynolds	22790	37990
Factor de fricción f	0.03	0.023
Pérdida de carga hf (m)	0.0074	0.161
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	4.14	0.2
Potencia (HP)	0.001	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.43: Descripción bomba P-21

Fuente: Elaboración propia.

P-21	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	28	20
Número de Reynolds	384.343	543.405
Factor de fricción f	0.167	0.118
Pérdida de carga hf (m)	5.274	4.736
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	4.14	1.6
Potencia (HP)	0.022	

TABLA 9.44: Descripción bomba P-22

Fuente: Elaboración propia.

P-22	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0.3	0.6
Diámetro de la cañería (mm)	28	20
Número de Reynolds	9496	1519
Factor de fricción f	0.032	0.032
Pérdida de carga hf (m)	0.0043	0.054
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	1.6	0.765
Potencia (HP)	0.002	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Las bombas adoptadas de acuerdo a los cálculos detallados anteriormente, son las siguientes:

TABLA 9.45: Adopción de bombas.

Fuente: Elaboración propia.

Código de equipo	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05
Fabricante	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos
Modelo	DMH 222-50	DMH 222-50	CRN 45-1	CRN 45-1	DMH 520-16
Caudal máx. (m³/h)	0.222	0.222	45	45	0.52
Presión máx. (psi)	725.19	725.19	232	232	232.06
Diámetro entrada (pulg)	3/4	3/4	3	3	1 1/4
Diámetro salida (pulg)	3/4	3/4	3	3	1 1/4
Potencia Teórica (HP)	0.01	0.0037	0.662	0.676	0.0043
Potencia (HP)	1.48	1.48	5.5	5.5	1.48
Frecuencia (Hz)	50	50	50	50	50
Peso neto (kg)	52	52	94	94	69



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.46: Adopción de bombas.

Fuente: Elaboración propia.

Código de equipo	P-06	P-07	P-08	P-09	P-10
Fabricante	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos
Modelo	DMH 213 - 10	DMH 222 - 50	DMH 222-50	DMH 520-16	DMH 332 - 10
Caudal máx. (m ³ /h)	0.213	0.222	0.222	0.52	0.332
Presión máx. (psi)	145	725.19	725.19	232.06	145
Diámetro entrada (pulg)	3/4	3/4	3/4	1 1/4	3/4
Diámetro salida (pulg)	3/4	3/4	3/4	1 1/4	3/4
Potencia Teórica (HP)	0.01	0.003	0.0006	0.01	0.003
Potencia (HP)	0.738	1.48	1.48	1.48	0.738
Frecuencia (Hz)	50	50	50	50	50
Peso neto (kg)	50	52	52	69	36



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.47: Adopción de bombas.

Fuente: Elaboración propia.

Código de equipo	P-11	P-12	P-13	P-14	P-15
Fabricante	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos
Modelo	DMH 332 - 10	DMH 1.45	DMH 291 -10	DMH 291 -10	DMH 97 - 16
Caudal máx. (m³/h)	0.332	0.0015	0.291	0.291	0.097
Presión máx. (psi)	145	2900	145	145	232
Diámetro entrada (pulg)	3/4	4/6	3/4	3/4	3/4
Diámetro salida (pulg)	3/4	4/6	3/4	3/4	3/4
Potencia Teórica (HP)	0.01	0.0002	0.0035	0.001	0.01
Potencia (HP)	0.738	0.241	0.738	0.738	0.738
Frecuencia (Hz)	50	50	50	50	50
Peso neto (kg)	36	16	41	41	41



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.48: Adopción de bombas.
Fuente: Elaboración propia.

Código de equipo	P-16	P-17	P-18	P-19	P-20
Fabricante	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos
Modelo	CM5 - 2	CM5 - 2	CM5 - 2	CM5 - 2	DMH 50 - 10
Caudal máx. (m ³ /h)	5	5	5	5	0.05
Presión máx. (psi)	145	145	145	145	145
Diámetro entrada (pulg)	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	3/4
Diámetro salida (pulg)	1	1	1	1	3/4
Potencia Teórica (HP)	0.001	0.005	0.838	0.02	0.001
Potencia (HP)	0.992	0.992	0.992	0.992	0.738
Frecuencia (Hz)	60	60	60	60	50
Peso neto (kg)	11.6	11.6	11.6	11.6	41



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 9.49: Adopción de bombas.

Fuente: Elaboración propia.

Código de equipo	P-21	P-22
Fabricante	Grundfos	Grundfos
Modelo	DMH 880 - 10	DMH 880 - 10
Caudal máx. (m ³ /h)	0.88	0.88
Presión máx. (psi)	145	145
Diámetro entrada (pulg)	1 1/2	1 1/2
Diámetro salida (pulg)	1 1/2	1 1/2
Potencia Teórica (HP)	0.022	0.002
Potencia (HP)	1.48	1.48
Frecuencia (Hz)	50	50
Peso neto (kg)	65	65



CAPÍTULO 10
GESTIÓN DE CALIDAD



10.1 INTRODUCCIÓN

La Gestión de Calidad tal cual como se conoce hoy ha ido evolucionando, ha desarrollado sus conceptos y ha incorporado nuevas filosofías, del mismo modo que ha excluido aquellos principios que por el paso del tiempo han quedado obsoletos. Sin embargo, en esencia el significado de Calidad como el cumplimiento de la totalidad de las características y herramientas de un producto o servicio que tienen importancia en relación con su capacidad de satisfacer ciertas necesidades dadas, permanece como pilar de cualquier modelo de gestión que busque su total cumplimiento.

10.1.1 FUNCIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD

La función principal del control de calidad que se aplica es asegurar que el ácido succínico, cumpla con los requisitos mínimos de calidad, definidos por las especificaciones establecidas por la ingeniería del producto y proporcionar asistencia al área de elaboración, para que la producción alcance dichos parámetros.

Se lleva a cabo con el apoyo de una recolección y análisis de grandes cantidades de datos que después se presentan a las distintas áreas de trabajo para iniciar una acción correctiva adecuada, dándole a todo aquel producto que no cumpla las características mínimas de calidad, un destino previamente definido.

10.1.2 OBJETIVOS DEL CONTROL DE CALIDAD

- Satisfacer las necesidades de los clientes.
- Determinar los estándares de calidad que el mercado espera.
- Controlar los procesos involucrados en la producción, en búsqueda de la calidad.
- Establecer un orden en la interrelación de los procesos de la empresa.
- Realizar seguimiento en las operaciones.
- Detectar, corregir y prevenir los problemas que se derivan del proceso de producción.

10.2 BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA (BPM)

Las BPA (Buenas Prácticas Agropecuarias) y BPM son actualmente las herramientas básicas con las se cuenta para la obtención de productos inocuos para el consumo humano, e incluyen tanto la higiene y manipulación como el correcto diseño y funcionamiento de los establecimientos, y abarcan también los aspectos referidos a la documentación y registro de las mismas. Las BPM se articulan



con las BPA y ambas son prerequisites del sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP de las siglas en inglés Hazard Analysis Critical Control Point) siendo de carácter obligatorio su cumplimiento para el Código alimentario argentino (CAA).

Los beneficios de la implementación, mantenimiento y mejora de las prácticas y proceso de las BPA y BPM permiten lograr productos alimenticios inocuos y con la calidad deseada de manera regular y de esta manera, ganar y mantener la confianza de los consumidores.

10.2.1 MATERIAS PRIMAS

La materia prima que ingresa al establecimiento debe llegar en condiciones químicas, física y/o microbiología, aptas para su manipulación, ya que son un pilar fundamental en el proceso, por lo que en el momento de la descarga el operario de logística debe observar si son inadecuadas para el consumo. De lo contrario, se rotulan y se aíslan, para luego eliminarlas.

La glucosa, materia principal del proceso es transportada y almacenada en el tanque T-01 descargada directamente desde el camión, después de analizar sus parámetros de calidad para aprobar el ingreso al proceso. En cuanto al resto de los insumos, estos son almacenados en el galpón, teniendo en cuenta que este está dividido en dos sectores, para evitar el contacto con el producto final, asegurando las condiciones apropiadas de protección contra contaminantes, considerando además los parámetros de almacenamiento como temperatura, humedad, ventilación e iluminación.

No menos importante, el transporte antes de su ingreso, debe ser evaluado en recepción, para comprobar que cumple con la legislación de carga de insumos para alimentos, además de los papeles necesarios que permiten la trazabilidad de la materia prima y un correcto manejo de stock en el área de logística, por lo que debe ser tarado en el caso de la glucosa, para conocer el kilaje que ingresa y por otro lado, el conteo de unidades de los demás insumos, los cuales no vienen a granel.

10.2.2 ESTABLECIMIENTOS

a. Estructura: El establecimiento se posicionó con el objetivo de evitar zonas que se inunden, que contengan olores objetables, humo, polvo, gases, luz y radiación que pueden afectar la calidad del ácido succínico.

Las vías de tránsito interno son de superficie pavimentada para permitir la circulación de camiones, transportes internos y contenedores.

En los edificios e instalaciones, las estructuras son sólidas y sanitariamente adecuadas, y el material no permite transmitir sustancias indeseables. Las aberturas impiden la entrada de animales



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

domésticos, insectos, roedores, moscas y contaminantes del medio ambiente como humo, polvo, vapor. Asimismo, el depósito cuenta con separaciones para impedir la contaminación cruzada.

El espacio es amplio y los empleados tienen presente que la operación se realiza en cada sección, para impedir la contaminación cruzada. Además, el diseño permite realizar eficazmente las operaciones de limpieza y desinfección, teniendo en cada una de las áreas una bajada de agua filtrada para favorecer el suministro de agua necesario para llevar a cabo dichas tareas.

El agua utilizada es potable, provista a presión adecuada y a la temperatura necesaria, contando también con un desagüe adecuado.

Los equipos y los utensilios para la manipulación de alimentos son de un material que no transmita sustancias tóxicas, olores ni sabores. Las superficies de trabajo son lisas sin hoyos, ni grietas, evitando el uso de maderas y de productos que puedan corroerse. Es por esto que se opta por acero inoxidable AISI 304.

Garantizando que las operaciones se realicen higiénicamente desde la llegada de la materia prima hasta obtener el producto terminado.

b. Higiene: Todos los utensilios, los equipos y los edificios se mantienen en buen estado higiénico, de conservación y de funcionamiento.

Para la limpieza y la desinfección se utilizan productos que no tengan olor ya que pueden producir contaminaciones además de enmascarar otros olores y para organizar estas tareas, se aplican 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 (plaguicidas, solventes u otras sustancias que pueden representar un riesgo para la salud y una posible fuente de contaminación) están rotuladas con un etiquetado bien visible y almacenadas en áreas exclusivas, siendo manipuladas sólo por personal autorizado.

Es de suma importancia que cada tarea se lleve a cabo en condiciones higiénicas y sanitarias, por lo que cada empleado tiene la responsabilidad de cumplirlo en su sector, donde se le brindan los insumos necesarios para que realice las tareas de limpieza.

Para mantener dicho control, el supervisor del turno posterior, debe recorrer cada uno de los sectores de la planta con la finalidad de comprobar que el turno anterior dejó a cada una de las áreas en buenas condiciones higiénicas ya que de lo contrario se lo debe reportar.



c. Plan de control de plagas: Las plagas más comunes en industria son las palomas, roedores y arácnidos, sin embargo, los animales domésticos también se consideran como plagas en el artículo 18 del C.A.A. (gatos, perros u otros) y deben permanecer fuera del establecimiento.

Las plagas buscan refugio, alimento y condiciones medioambientales indicadas para su desarrollo y es por esto que intentarán ingresar, por ejemplo, los arácnidos buscan el calor para agruparse, por lo que es muy común que en la zona de destilación sea mayor la concentración de estos insectos.

Los insectos y roedores constituyen un importante vehículo de transmisión de enfermedades y son un foco de contaminación para el proceso de producción.

El control de plagas se realiza de manera integral combinando los procedimientos de limpieza y desinfección, con técnicas de exclusión (barreras físicas que impidan el ingreso desde el exterior) y con métodos químicos.

Técnicas de exclusión

Sobre el edificio e instalaciones:

- Desagües protegidos con rejillas y mallado más fino si es necesario,
- Flejes metálicos debajo de las puertas o portones que comuniquen al exterior y de la del depósito de desechos.
- Todas las aberturas con mosquiteros,
- Pasado de cableado o cañerías a través de una pared exterior bien sellado (ídem si es a través de un techo),
- Cerrar todos los agujeros que comuniquen con el exterior.

En el caso de que alguna plaga invada la industria, deben adoptarse medidas de erradicación. Las medidas de lucha pueden consistir en tratamientos con agentes químicos o métodos físicos que sólo deben aplicarse por personal que conozca a fondo los riesgos que el uso de esos agentes puede causar a la salud o al proceso de producción, sobre todo en materias primas y producto final. Por esto mismo, es recomendable tercerizar el control de las plagas a empresas dedicadas a brindar este servicio (verificar inscripción de las mismas ante los organismos oficiales pertinentes y que utilicen agentes químicos aprobados por SENASA). Teniendo en cuenta que después de aplicar los plaguicidas hay que limpiar minuciosamente los equipos, utensilios y superficies.



Signos que revelan la presencia de plagas

- Sus cuerpos vivos o muertos.
- Excrementos de roedores.
- La alteración de envases, bolsas y cajas.
- La presencia de alimentos derramados cerca de sus envases.
- Manchas de grasa que producen los roedores en torno a las cañerías.

Métodos de control aplicados por empresas fumigadoras especializadas

- Gel de aplicación con pistola especial para el control de las cucarachas.
- Cebaderas con cebos parafinados tóxicos para control de roedores.
- Trampas de pegamento para roedores.
- Trampas de luz con pegamento para insectos voladores.
- Tramperas para roedores.
- Plaguicidas piretroides para control de insectos en general de aplicación por pulverización,
- Pastillas fumígenas (no aptas en sectores de elaboración y de almacenamiento de materias primas).

Los agentes químicos para la lucha contra plagas (fumigantes, insecticidas u otras sustancias tóxicas), se almacenan en recintos separados y cerrados bajo llave, con etiquetas en las cuales se informe sobre su toxicidad y uso apropiado y con acceso restringido, sólo para manejarse por personal convenientemente capacitado, con pleno conocimiento de los peligros que implican.

10.2.3 PERSONAL

El personal de la planta que manipula alimentos recibe capacitación sobre "Hábitos y manipulación higiénica" siendo responsabilidad de la empresa. Dichas capacitaciones son periódicas y continuas, en horario laboral, siempre y cuando el régimen de producción lo permita, de caso contrario se pactan para un día en horario fuera del turno laboral, remunerando al operario con horas extras.

Durante el año se busca llegar a varias incumbencias en lo que es la producción de alimentos, tocando temas como los siguientes.

- Conocimientos de enfermedades transmitidas por alimentos.
- Conocimiento de medidas higiénico-sanitarias básicas para la manipulación correcta de alimentos.



- Criterios y concientización del riesgo.

Los cursos son dictados por capacitadores de entidades Oficiales, Privadas o los de las empresas. El contenido de los cursos y los capacitadores deberán ser reconocidos por la Autoridad Sanitaria Jurisdiccional siendo la constancia de participación y evaluación del curso, obligatoria.

El estado de salud y la aparición de posibles enfermedades contagiosas entre los manipuladores son aspectos que la industria controla. Por esto, las personas que están en contacto con los alimentos se someten a exámenes médicos, no solamente previamente al ingreso, sino periódicamente. Cualquier persona que perciba síntomas de enfermedad tiene que comunicarlo inmediatamente a su superior.

Por otra parte, ningún empleado que sufra una herida puede manipular alimentos o superficies en contacto con alimentos hasta su alta médica.

Es indispensable el lavado de manos de manera frecuente y minuciosa con un agente de limpieza autorizado, con agua potable. Ejecutándose antes de iniciar el trabajo, inmediatamente después de ingresar al baño, después de haber manipulado material contaminado y todas las veces que las manos se vuelvan un factor contaminante. La industria cuenta con indicadores que obligan a lavarse las manos y un control que garantiza el cumplimiento.

Todo el personal que esté de servicio en la zona de manipulación tiene que mantener la higiene personal, llevar ropa protectora, calzado adecuado. No se permite trabajar con anillos, colgantes, relojes y pulseras durante la manipulación de materias primas y alimentos.

La higiene también 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 el lugar de producción ya que son fuertes contaminantes.

10.2.4 HIGIENE EN LA ELABORACIÓN

La higiene en la industria comienza desde que llega el transporte con la materia prima al establecimiento, hasta que sale el ácido succínico como producto final, para poder asegurar un proceso completo en buenas condiciones sanitarias.

Las materias primas utilizadas no deben contener parásitos, microorganismos o sustancias tóxicas, descompuestas o extrañas, siendo previamente inspeccionadas antes de utilizarlas, pasando por un ensayo de laboratorio. Y como se mencionó anteriormente, son almacenadas en el depósito que mantengan las condiciones que eviten su deterioro o contaminación.



Los manipuladores deben lavarse las manos cuando puedan provocar alguna contaminación. Y si se sospecha una contaminación se aísla el producto en cuestión, lavando adecuadamente todos los equipos y los utensilios que hayan tomado contacto con el mismo.

El agua utilizada en el proceso es potable y se suministra por un sistema independiente de distribución de agua recirculada que pueda identificarse fácilmente.

La elaboración se lleva a cabo por empleados capacitados y supervisados por personal técnico. Todos los procesos se realizan sin demoras ni contaminaciones. Los recipientes son tratados adecuadamente para evitar su contaminación respetando los métodos de conservación.

El material destinado al envasado y empaque debe estar libre de contaminantes y no debe permitir la migración de sustancias tóxicas. Se inspecciona siempre con el objetivo de tener la seguridad de que se encuentra en buen estado.

10.2.5 CONTROL DE PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN

Para tener un resultado óptimo en las BPM son necesarios ciertos controles que aseguren el cumplimiento de los procedimientos y los criterios para lograr la calidad esperada en el ácido succínico, garantizar la inocuidad y su genuinidad.

Los controles son empleados para detectar la presencia de contaminantes físicos, químicos y/o microbiológicos. Para verificar que los controles se lleven a cabo correctamente, se realizan análisis que monitoreen si los parámetros indicadores de los procesos y productos reflejan su real estado. Teniendo cada uno de los controles, al menos, un responsable.

Es por esto que el supervisor de cada área es el encargado de monitorear los sectores y como se realizan cada una de las tareas de producción, logística, calidad y mantenimiento. Logrando de esta forma poder controlar el proceso completo, desde la llegada de materia prima hasta el almacenamiento del ácido succínico.

El departamento de calidad es el encargado de encontrar posibles focos de contaminación, en las corrientes de proceso, de una manera pronta, con el objetivo de emplear una corrección temprana que evite perder kilos de producción. Para lograr dicho objetivo los empleados de cada sector deben asegurar muestras de cada equipo cada una cierta cantidad de tiempo, de acuerdo a la complicación de la etapa.

Los operarios son capacitados para poder obtener una muestra representativa de la etapa de proceso, brindándole el conocimiento de descarte, enjuague y muestra final, para evitar analizar puntos muertos de producto que se pueden encontrar en las canillas de toma de muestra.



En el depósito los operarios de logística deben controlar los productos almacenados para corroborar que no sean destruidos sus envases ya sea por mala manipulación o la presencia de plagas. Por lo que este control se hace de manera efectiva junto con el monitoreo de stock. Realizándose periódicamente en el momento de descargar o cargar insumos, o en el control semanal de stock, pudiendo observar de manera general e individual el estado de cada uno de los elementos almacenados.

10.2.6 DOCUMENTACIÓN

La documentación es un aspecto básico, debido a que tiene el propósito de definir los procedimientos y los controles, por lo que tiene que estar firmado por el operario del sector y su supervisor a cargo, generando una carpeta en formato papel y digital, para tener un historial amplio de los insumos y productos.

Además, permiten un fácil y rápido rastreo, ante la investigación de productos defectuosos favoreciendo la trazabilidad de cada lote.

El sistema de documentación permite diferenciar números de lotes, siguiendo la historia de los alimentos desde la utilización de insumos hasta el producto terminado, incluyendo el transporte y la distribución.

10.3 PLAN DE CONTROL DE CALIDAD

El plan de control de calidad es un documento donde se especifican exactamente los procedimientos, recursos y procesos que se tienen que aplicar, así como, en qué momento exacto debe hacerse, además de definir quiénes son los encargados de ejecutarlo. De esta manera se garantiza el cumplimiento de los requisitos y su realización.

Más específicamente, el plan de control de calidad muestra los puntos, etapas y momentos que se deben cumplir durante y después del proceso de fabricación del ácido succínico.

Es un documento abierto que delinea los procedimientos a desarrollar para el control de calidad. Igualmente, los aportes y la entrega de productos resultantes que cumplan o satisfagan los requerimientos del cliente. También especifica las mediciones, inspecciones y sistema de controles y su ubicación en el tiempo, a fin de controlar las partes que conforman la producción y el proceso.

10.3.1 MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

El control de la materia prima es un factor importante para la obtención del producto, tanto en calidad como en cantidad. Solamente se adquiere materia prima de proveedores que cumplan las



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

especificaciones requeridas, sin embargo, es necesario realizar los controles para determinar eventuales desviaciones en la calidad deseada. Además de los controles fisicoquímicos realizados, se controla que ingrese la cantidad detallada por el proveedor. Dado que los componentes químicos del medio de cultivo se adquieren de laboratorios reconocidos y vienen con sus propiedades ya detalladas, en esta sección sólo se considerarán los controles realizados sobre la glucosa.

En la tabla 10.1 se detallan los controles realizados.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 10.1: CONTROLES REALIZADOS A LAS MP E INSUMOS

Etapa	MP o insumo	Parámetro	Valor límite	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción	Responsable de tomar la muestra	Responsable de análisis
Recepción	Glucosa	Densidad	1540 ± 100 kg/m ³	T-01	Por batch	MPG-01	Rechazar	Operario de logística	Analista de laboratorio
		pH	3 - 6	T-03		MPG-03			
		Viscosidad	0.005 ± 0.0025 P	T-2		MPG-02			
		Sulfitos	100 ppm máximo	T-04		MPG-04			
		Apariencia	Jarabe ligeramente amarillo	Visual		MPG-V			
	Extracto de levadura	Densidad	490 ± 50 (kg/m ³)	T-01	Por batch	MPL-01	Rechazar	Operario de logística	Analista de laboratorio
		pH	7	T-03		MPL-03			
		Pérdida por secado	<6.0 %	T-05		MPL-05			
		Cenizas	< 13.0 %	T-06		MPL-06			
		Nitrógeno total	> 8.4 %	T-07		MPL-07			
		Apariencia	Polvo fino amarillo	Visual		MPL-V			
	Sales medio de cultivo y	Apariencia	Según especificaciones del proveedor	Visual	Por batch	MPS-V	Rechazar	Operario de logística	Analista de laboratorio
		pH	T-03	MPS-03					
		Pérdida por	T-05	MPS-05					



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

buffer	secado							
	Determinación de agua		T-08		MPS-08			
Ácido clorhídrico	Pureza	36.5 – 38 %	T-09	Por batch	MPA-09	Rechazar	Operario de logística	Analista de laboratorio
	Apariencia	Transparente	Visual		MPA-V			
Carbón activado	Área superficial	500 a 1200 m ² /g	T-10	Por batch	MPC-10	Rechazar	Operario de logística	Analista de laboratorio
	Densidad aparente	0.26 a 0.65 g/cm ³	T-01		MPC-01			
	Rango de tamaño de partícula	4x8 a 20x50 Malla estándar americana	T-11		MPC-11			
	Contenido de cenizas totales	3 a 15 % en base seca	T-06		MPC-06			
Cepa	Aspecto	Color crema claro	Visual	Por batch	MPB-V	Rechazar	Operario de logística	Analista de laboratorio
	Aglomeración	No presente grumos grandes	Visual		MPB-V			



10.3.2 CONTROLES DE PROCESO

Se establecen controles en diferentes puntos del proceso y las especificaciones que se deben cumplir para prevenir la producción de un producto de calidad defectuosa. Es necesario el monitoreo continuo de ciertos pasos de la producción, tal como es el caso de la fermentación (disposición ANMAT N°2819/2004). Por lo tanto, también debe haber elementos de control automático.

El control de un parámetro particular se lleva a cabo con un sensor que mide la propiedad y con un controlador que compara esta medida con un valor fijo predeterminado y que activa el equipo hasta ajustar el valor de la propiedad a éste.

Los sensores pueden estar “on line”, es decir, conectados a la instalación del fermentador en contacto con la corriente, o “off line”, para lo cual se debe tomar una muestra asépticamente para análisis. Los sensores “on line” en contacto con el medio del fermentador deben ser esterilizables con vapor de agua, fácilmente calibrables y dar una lectura continua fiable.

Si se encuentra algún desvío de la calidad durante el proceso, este se corrige inmediatamente; si el control en la corriente final de proceso se encuentra fuera de especificación se rechaza el lote, por lo tanto, es de suma importancia el control riguroso en las etapas iniciales.

En la tabla 10.2 se expresan los equipos y variables controladas.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 10.2: CONTROLES REALIZADOS EN EL PROCESO

Equipo	Parámetro	Valor limite	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción	Responsable del sector	Responsable de análisis
Equipo de Esterilización	Temperatura	$\geq 121^{\circ}\text{C}$	Control automático	Por batch	PPE	Inyección de vapor	Operario de fermentación	Panelista
	Tiempo	30 - 32 s				Regular caudal de alimentación		
	Temperatura	$37 \pm 1^{\circ}\text{C}$				Regular caudal de agua de enfriamiento		
Prefermentador R-03	Temperatura	$37 \pm 1^{\circ}\text{C}$	Control automático	Continua	PPR-03	Regular caudal de agua de enfriamiento	Operario de fermentación	Panelista
	Presión	$1 \pm 0.2 \text{ atm}$				Controlar salida de aire		
	pH	6.5 - 7				Solución buffer		
	Velocidad de agitación	200 ± 10				Regular variador de velocidad		
	Espuma	< 10 %				Dosificar rompedor de espuma		
	Nivel	1.395 m				Regular caudal de alimentación		
Rendimiento de	Ausencia de	T-15	Por batch		Dosificar antibióticos		Analista de	



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

	esterilización	microorganismo						laboratorio	
Fermentador R-01 / R-02	Temperatura	37 °C ± 1 °C					Regular caudal de agua de enfriamiento		
	Presión	1 ± 0.2 atm					Controlar salida de aire		
	pH	6.5 - 7					Solución buffer		
	Velocidad de agitación	100 ± 10	Control automático	Continua	PPR-01		Regular variador de velocidad	Operario de fermentación	Panelista
	Espuma	< 10 %			PPR-02		Dosificar rompedor de espuma		
	Nivel	4.14 m					Regular caudal de alimentación		
	Rendimiento de esterilización	Ausencia de microorganismo	T-15	Por batch			Dosificar antibióticos	Analista de laboratorio	
Tanque pulmón T-02	Nivel	3.95 m	Control automático	Continua			Regular caudal de alimentación	Operario de fermentación	Panelista
	Rendimiento de esterilización	Ausencia de microorganismo	T-15	Continua	PPT-02		Dosificar antibióticos		Analista de laboratorio
Centrifuga S-01 / S-02	Velocidad de tambor	7750 rpm	Control automático	Continua	PPS-01		Detener y revisar el equipo	Operario de destilación	Panelista
	Torque	< 30 %			PPS-02				Analista de



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

	Rendimiento de esterilización	Ausencia de microorganismo	T-15	Diaria		Detener y lavar el equipo		laboratorio
Columna de intercambio iónico C-01 / C-02	Concentración de sales	< 1 %	Control automático	Continua	PPC-01 PPC-02	Regenerar columna	Operario de destilación	Panelista
Tanque pulmón T-02	Nivel	3.58 m	Control automático	Continua	PPT-02	Regular caudal de alimentación	Operario de fermentación	Panelista
	Rendimiento de esterilización	Ausencia de microorganismo	T-15	Continua		Dosificar antibióticos		Analista de laboratorio
Destilación C-03	Temperatura de fondos	160 ± 5°C	Control automático	Continua	PPC-03	Regular inyección de vapor	Operario de destilación	Panelista
	Temperatura de tope	90.5 ± 3°C				Regular caudal de agua de enfriamiento		
Secador D-01	Temperatura	≥ 70 °C	Control automático	Continua	PPD-01	Regular caudal de fuente de calor	Operario de destilación	Panelista
	Humedad	< 1 %						
Envasado	Sellado de la bolsa	Buen estado	Visual	Continua	PPA	Reprocesar el producto	-	Operario de logística



10.3.2.1 CONTROLES EN EL FERMENTADOR Y PREFERMENTADOR

La calidad en las etapas de fermentación y prefermentación, constituye una parte muy importante en un proceso de producción. Para ello se utilizan diferentes técnicas para facilitar el análisis y registro de parámetros y propiedades específicas, para ayudar a establecer las condiciones óptimas del proceso de fermentación y para optimizar el proceso de producción.

En la tabla N°10.3 los controles realizados en las etapas mencionadas.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 10.3: CONTROLES REALIZADOS EN LA PREFERMENTACIÓN Y FERMENTACIÓN

Etapa	Medio	Parámetro	Valor	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción	Responsable de tomar la muestra	Responsable de análisis
Prefermentación	Inóculo	Recuentos	Especificado	T-12	4 horas	R-03	Reforzar con más cepas	Operario de fermentación	Analista de laboratorio
		Brotos	por el proveedor	T-12	4 horas				
		Viabilidad		T-12	4 horas				
		pH	6.5 - 7	T-03	4 horas				
Fermentación	Caldo de fermentación	Azúcares	< 6.0 %	T-14	6 horas	R-01 R-02	Reducir marcha de planta	Operario de fermentación	Analista de laboratorio
		Ácido succínico	> 45.0 %	T-13	6 horas				
		Ácido fórmico	< 10.0 %	T-13	6 horas				
		Ácido acético	< 9.0 %	T-13	6 horas				
		pH	6.5 - 7	T-13	6 horas				



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

10.3.3 PRODUCTO TERMINADO

Las especificaciones del producto final son las establecidas por ANMAT y por Farmacopea. Se aplican estos estándares ya que el Ácido Succínico en polvo es utilizado en la producción de salsas, bebidas y otros alimentos como mejorador del sabor. En la tabla N°10.4 se muestra plan de calidad para los productos finales.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 10.4: CONTROLES REALIZADOS AL PRODUCTO FINAL

Etapa	Producto	Parámetro	Valor	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción	Responsable
Antes del envasado	Ácido Succínico	Densidad	1560 ± 100 kg/m ³	T-01	Por batch	SA-01	Informar al jefe de calidad. Controlar registros de fermentación. Calibrar equipos. Rechazar lote	Analista de control de calidad
		Determinación de agua	< 1.0%	T-08		SA-08	Informar al jefe de calidad. Controlar el secador.	
		Apariencia	Sólido cristalino de color blanco	Visual		SA-V	Informar al jefe de calidad. Rechazar lote	
		pH	2.5 ± 3	T-03		SA-03	Informar al jefe de calidad. Revisar y calibrar los equipos. Rechazar lote	
		Cloruro	< 5 ppm	T-17		SA-17		
		Sulfato	< 30 ppm	T-17		SA-17	Informar al jefe de calidad.	
		Metales pesados	< 5 ppm	T-18		SA-18	Determinar la causa por la cual no se cumple la especificación.	
		Hierro	< 5 ppm	T-16		SA-16		
		Nitrógeno	< 0.001%	T-07		SA-07	Realizar auditorías internas	
		Pureza	> 99.0 %	T-13		SA-15		



10.3.4 PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME (ISO 9001)

La organización debe asegurarse de que el producto que no esté conforme con los requisitos, se identifique y controle para prevenir su uso o entrega no intencional. En cada una de las etapas del proceso de producción se llevan a cabo actividades de verificación y control del trabajo realizado, que pueden dar como resultado la detección de estos productos. Un producto no conforme, es todo aquel que no cumple con alguno de los requisitos determinados por el sistema de gestión de calidad. Ante una no conformidad, la organización debe seguir las siguientes pautas:

- Determinar qué unidades de productos son clasificados como no conformes.
- Documentar la existencia de las no conformidades, especificando en qué unidades de producto, máquinas de producción o lotes se han producido las irregularidades; se deberá incluir responsable de la identificación y la fecha, área involucrada, descripción y análisis.
 - Evaluar la naturaleza de la no conformidad.
 - Notificarlo al responsable del proceso, la persona que identifica el producto en cuestión notifica de forma verbal o escrita al jefe de producción, que junto al jefe de calidad analizan los motivos de no conformidad.
 - Decidir la acción a llevar a cabo, el jefe de producción deberá decidir el tratamiento a aplicar y derivar si fuese necesario su ejecución. Las posibles acciones son rechazar el producto no conforme o corregir el producto si fuese posible.

10.4 REGISTROS

A continuación, se detallan los registros que se llevan para materias primas (Tabla 10.5), fermentación (Tabla 10.7), producto terminado (Tabla 10.8) y del proceso completo (Tabla 10.6). El código de registro se encuentra conformado de la siguiente manera: letra/s que indica sobre qué se realiza el control (materia prima, insumo, equipo, producto final), en caso de ser necesario se agrega otra letra identificando qué materia prima se está controlando, el área de producción o el equipo donde se lleva a cabo el control; y a continuación un número identificando el análisis correspondiente, o letra V en caso que el análisis sea visual. Ejemplo: MPG-V (materia prima glucosa, análisis visual), SA-16 (Ácido Succínico, determinación de hierro) o PPR-03 (Parámetro de producción del reactor R-03).

Una vez que el registro ha sido realizado en el punto de control de proceso o en el laboratorio, se debe controlar su edición y cumplimentación. Este procedimiento alcanza a la totalidad de los registros del sistema de calidad. El registro debe ser enviado al Departamento de Calidad, donde se



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

llevan a cabo los análisis estadísticos pertinentes. A continuación, se detallan los registros mencionados anteriormente.

TABLA 10.5: Registro de control de materias primas.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de registro		MATERIA PRIMA		
Materia prima				
Técnica - Código				
Proveedor				
Valor límite de aceptación				
Lote	Fecha	Resultado	Analista	Firma

TABLA 10.6: Registro de control de proceso.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de registro		CONTROL DE PROCESO		
Equipo				
Descripción				
Técnica - Código				
Hora inicio de etapa		Hora final de etapa		
Operario a cargo				
Valor límite de aceptación				
Lote	Fecha	Resultado	Analista	Firma



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 10.7: Registro de prefermentación y fermentación.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de registro		PREFERMENTACIÓN Y FERMENTACIÓN		
Medio				
Técnica - Código				
Descripción				
Valor límite de aceptación				
Lote	Fecha	Resultado	Analista	Firma

TABLA 10.8: Registro de control del producto terminado.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de registro		PRODUCTO TERMINADO		
Producto				
Técnica - Código				
Descripción				
Valor límite de aceptación				
Condiciones de almacenamiento				
Lote	Fecha	Resultado	Analista	Firma



10.5 EQUIPOS DE LABORATORIO

- Densímetro Anton Paar DMA 5000 M.
- Peachímetro HANNA Edge.
- Horno memmert um 400.
- Agitador magnético HANNA HI 180.
- Tamices de malla ISO 3310-1.
- Conductímetro HANNA Edge.
- Microscopio binocular URA 107.
- Cromatógrafos de líquidos (HPLC).
- Centrifuga Frontier™ 5000 series Multi.
- Autoclave Numak, modelo ZX-50KBS.
- Turbidímetro HANNA HI93414.
- Balanza PCE-BS 3000.



CAPÍTULO 11
TRATAMIENTO DE EFLENTES



11.1 INTRODUCCIÓN

Los efluentes industriales son aquellos que no poseen un valor inmediato respecto al fin para el que se utilizaron inicialmente debido a su calidad degradada; deben ser tratados adecuadamente de manera tal que no produzcan ningún tipo de contaminación al medio ambiente y en consecuencia, a los seres vivos.

Un tratamiento para aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y/o biológicos que tiene como fin eliminar los contaminantes presentes en el efluente. El objetivo del mismo es producir un efluente tratado o reutilizable y un residuo sólido conveniente para su disposición o reúso.

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, además, la presencia de metales tales como cromo, mercurio y plomo, entre otros compuestos.

En este capítulo, se detalla el tratamiento de los efluentes derivado de la producción de ácido succínico, evaluando las características de los mismos y seleccionado el proceso más apropiado, con el fin de minimizar el impacto ambiental.

11.2 PARÁMETROS

- Oxígeno disuelto (OD): es la cantidad de oxígeno gaseoso que está 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 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.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

- **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 coloidal). 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.



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 establecidos por la ordenanza municipal de Villa María N°6271.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 11.1: Límites establecidos para el vertido de aguas a nivel nacional.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Desagüe 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
DBO sobre muestra bruta (mg/l)	200	300	180	30
DQO	-	-	-	125
Oxígeno consumido en KmgO ₄	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 (mh/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



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 11.2: Límites establecidos para el vertido de aguas a nivel municipal.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor
Temperatura (°C)	40
pH	5.5-10
Sólidos sedim. 100 (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
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.

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 succínico, 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: Características de los efluentes de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

Corriente	Descripción	Composición	Caudal (m ³ /h)	Temperatura (°C)	pH
L	Medio de cultivo residual proveniente de S-01	Biomasa 0.6241 Agua 0.0697 Extracto de levadura 0.0764 Glucosa 0.2298	0.2133	25	6.7
N	Salida columna de intercambio iónico C-01 C-02	Carbón activado 0.0714 NaHCO ₃ 0.3106 K ₂ HPO ₄ 0.2520 NaH ₂ PO ₄ 0.3372 Ácido Clorhídrico 0.0288	0.0238	25	7
P	Volátiles provenientes de C-03	Agua 0.046 Ácido Acético 0.4064 Ácido Fórmico 0.5476	0.0649	25	5.0
R	Volátiles provenientes de D-01	Agua 0.0024 Ácido Acético 0.86 Ácido Fórmico 0.1376	0.0064	25	5.5
Limpieza CIP	Descarte CIP	Solución de NaOH neutralizada	0.06m 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.

De acuerdo a los datos que se presentan en la tabla anterior, se decide que la corriente N (Salida columna de intercambio iónico C-01 C-02) se almacenará por un periodo de un mes y luego será vendida a una empresa encargada de realizar el tratamiento de la misma. El resto de los efluentes a tratar incorporan valores casi neutros de pH y ácidos orgánicos, por lo tanto, su 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.

A continuación, se desarrollará el tratamiento elegido, así como también los cálculos de diseño correspondientes.

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.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Se realiza un muestreo cada 8 horas para controlar el pH y en caso de que sea necesario, se agrega cloro para la regulación de este.

Además, la laguna cuenta 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 estas. Este está diseñado para adaptarse al nivel del agua.

En la siguiente tabla se pueden observar las características del aireador utilizado.

TABLA 11.5: Características del aireador.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor
Fabricante	Aqua Turbo Systems
Modelo	AER-AS Aireador superficial flotante
Rango	0.75-200 kW
Polos	4, 6, 8
Material	AISI 304

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: 204.972 m³/mes

Tiempo de residencia máximo: 30 días



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

$V: 1 \text{ mes} * 204.972 \text{ m}^3/\text{mes} = 204.972 \text{ m}^3$

Sobredimensionamiento: 15%

Volumen total: 235.65 m^3

TABLA 11.6: Características de la laguna de estabilización.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor
Caudal a tratar (m^3/mes)	204.972
Profundidad (m)	2
Relación largo/ancho	2
Longitud (m)	15.35
Ancho (m)	7.68



CAPÍTULO 12
INSTALACIONES ELECTRICAS



12.1 SERVICIO DE ELECTRICIDAD

La energía eléctrica en el Parque Industrial de Villa María se encuentra a cargo de la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC). 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.

12.1.1 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Para el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica son necesarios una serie de elementos que se detallan a continuación:

- Tableros eléctricos
- Conductores eléctricos
- Elementos de protección
- Tomacorrientes
- Generador de emergencia

12.1.1.1 TABLEROS ELÉCTRICOS

Los tableros eléctricos son equipos pertenecientes a los sistemas eléctricos y están destinados a cumplir con algunas de las siguientes funciones: medición, control, maniobra y protección.

Constituyen uno de los componentes más importantes de las instalaciones eléctricas y por ende están siempre presentes en ellas, independientemente de su nivel de tensión, su tipo o tamaño.

Los tableros adquieren las más variadas formas y dimensiones de acuerdo con la función específica que les toque desempeñar, como pueden ser aquellos que se emplean en los distintos tipos de inmuebles (viviendas, sanatorios, escuelas, estadios deportivos, etc.) o bien en industrias.

Se puede afirmar que no es posible la ejecución y funcionamiento de ningún tipo de instalación eléctrica sin la utilización de alguna clase de tablero.

Un tablero eléctrico de automatización permite albergar diferentes dispositivos eléctricos o electrónicos que energicen cargas, tales como motores, generadores o máquinas de procesos, es decir, todo aquello que se necesita para controlar el funcionamiento de las máquinas industriales.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Está constituido por equipos electromagnéticos como relés auxiliares, contadores, temporizadores electrónicos y temporizadores neumáticos, etc.

Por su constitución y construcción, los tableros eléctricos deben ser montados en lugares de fácil acceso, secos, con cierto grado de ventilación, bien iluminados y que permitan la realización de tareas de mantenimiento y reparación en forma segura y cómoda. En cuanto a las distancias mínimas, se puede decir que si el tablero tiene acceso solo por el frente se deberá dejar un espacio mínimo de un metro. En cambio, si tiene ingreso por el frente y por la parte trasera, se deberá dejar para esta última una distancia mínima de 0,7 m.



FIGURA 12.1: Tablero eléctrico industrial.

Fuente: <https://automatizacionmeta.wordpress.com/2014/05/03/montajes-y-cableado-tableros-electricos/>

Tipos de tableros eléctricos

Según su ubicación en la instalación eléctrica, los tableros eléctricos se clasifican en:

- Tablero principal de distribución: Este tablero está conectado a la línea eléctrica principal y de él se derivan los circuitos secundarios. Este tablero contiene el interruptor principal.
- Tableros secundarios de distribución: Son alimentados directamente por el tablero principal. Son auxiliares en la protección y operación de subalimentadores.
- Tableros de paso: Tienen la finalidad de proteger derivaciones que por su capacidad no pueden ser directamente conectadas a alimentadores o subalimentadores. Para llevar a cabo esta protección cuentan con fusibles.
- Gabinete individual del medidor: Este recibe directamente el circuito de alimentación y en él está el medidor de energía desde el cual se desprende el circuito principal.
- Tableros de comando: Contienen dispositivos de seguridad y maniobra.



12.1.1.2 CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Los conductores eléctricos o materiales conductores son aquellos que tienen poca resistencia a la circulación de la corriente eléctrica, dadas sus propiedades específicas. La estructura atómica de los conductores eléctricos facilita el movimiento de los electrones a través de estos, con lo cual este tipo de elementos favorece la transmisión de electricidad.

Un cable eléctrico es un elemento fabricado y pensado para conducir electricidad. El material principal con el que están fabricados es con cobre (por su alto grado de conductividad) aunque también se utiliza el aluminio que, aunque su grado de conductividad es menor también resulta más económico que el cobre.

Los cables eléctricos están compuestos por el conductor, el aislamiento, una capa de relleno y una cubierta. Cada uno de estos elementos que componen un cable eléctrico cumple con un propósito:

- Conductor eléctrico: Es la parte del cable que transporta la electricidad y puede estar constituido por uno o más hilos de cobre o aluminio.
- Aislamiento: Este componente es la parte que recubre el conductor, se encarga de que la corriente eléctrica no se escape del cable y sea transportada de principio a fin por el conductor.
- Capa de relleno: La capa de relleno se encuentra entre el aislamiento y el conductor, se encarga de que el cable conserve un aspecto circular ya que en muchas ocasiones los conductores no son redondos o tienen más de un hilo. Con la capa de relleno se logra un aspecto redondo y homogéneo.
- Cubierta: La cubierta es el material que protege al cable de la intemperie y elementos externos.

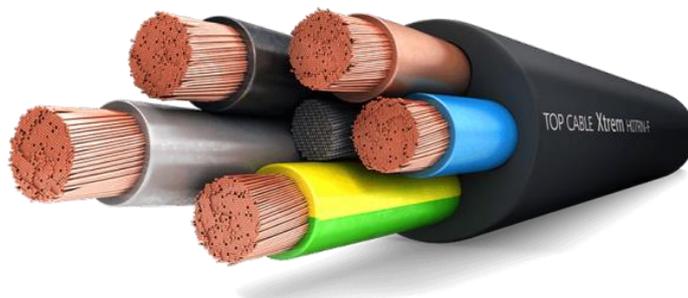


FIGURA 12.2: Conductores eléctricos

Fuente: <https://www.topcable.com/sites/es-lat/cables-para-instalaciones-industriales/>



12.1.1.3 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.

En los sectores tales como la oficina y el laboratorio se colocan tomacorrientes del tipo monofásicos mientras que en el sector de producción se colocan del tipo trifásico, ya que en este sector se requieren mayores necesidades energéticas.



FIGURA 12.3: Tomacorrientes trifásicos y monofásicos.

Fuente: <https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/como-conectar-toma-corriente>

12.1.1.4 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA

Para que una instalación sea segura, debe contar con la oportuna protección eléctrica para salvaguardar la integridad de personas, entornos, bienes y componentes eléctricos. Básicamente, están representadas por los siguientes dispositivos:

- Tomas de tierra
- Interruptores y relés
- Otros protectores y aislantes

Interruptores

Los interruptores son los componentes en los que podemos encontrarnos con una mayor variedad de dispositivos. La mayoría de ellos persiguen el objetivo de evitar electrocuciones, pero también sirven para impedir que se produzcan cortocircuitos, sobrecargas, y daños en el circuito eléctrico y/o en sus componentes. En cualquier tipo de instalación, pero en especial en entornos adversos, el uso de ciertos tipos de interruptores y relés es más que recomendable.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Entre otros, los interruptores de protección más utilizados en instalaciones eléctricas son:

Interruptores magnetotérmicos (o pequeños interruptores automáticos, conocidos como 'PIA'), destinados a proteger la instalación de sobrecargas y cortocircuitos.

Interruptores diferenciales, que 'saltan' o impiden el paso de corriente eléctrica cuando alguna de las fases del circuito eléctrico se deriva a tierra. Cumplen la misión de evitar, sobre todo, daños en la instalación eléctrica y electrocuciones.

Tomas de tierra

La misión principal de las tomas de tierra es evitar que se produzcan derivaciones de corriente no deseadas hacia elementos que estén en contacto directo con el entorno, para evitar descargas indeseadas a causa de fallos en otros sistemas de aislamiento. Son un tipo de protecciones eléctricas destinadas principalmente a evitar electrocuciones, y consisten básicamente en la puesta a tierra de todas las masas metálicas de las que consta una instalación mediante varios elementos conductores y una toma (una placa o una barra, generalmente), que disipa la corriente en el terreno.



FIGURA 12.4: Disyuntor

Fuente: <https://www.directindustry.es/prod/eaton/product-5067-1889604.html>

Otros protectores y aislantes

Dentro del apartado de los interruptores entran todos aquellos tipos de protecciones eléctricas con una conductividad eléctrica casi nula, como por ejemplo los plásticos. Éstos protegen los distintos componentes eléctricos de las instalaciones y lo aíslan de su entorno más inmediato, protegiéndolos del efecto de agentes externos, así como de golpes e impactos. De esta forma evitan que cualquier persona pueda entrar en contacto directo con ellos, con el consiguiente riesgo para la salud que ello supone. Algunos componentes protegidos contra polvo, agua y humedades con un



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

alto nivel de protección son los armarios pre cableados de alta resistencia, la toma de corriente, las clavijas, los interruptores y las bases de enchufe estancas.

12.1.1.5 GENERADOR DE EMERGENCIA

Los generadores industriales se desarrollan con el fin de asegurar que existe un suministro continuo de energía en caso de fallo de los sistemas de red eléctrica. Así, estos equipos tienen la capacidad de garantizar un desempeño eficiente de los equipos, si existen saltos de suministro eléctrico.



FIGURA 12.5: Generador eléctrico

Fuente: <https://www.dagartech.com/es/aplicaciones/industria>

**12.2 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LOS EQUIPOS DE PROCESO**

En la siguiente tabla se detalla la potencia consumida por los equipos del proceso, de acuerdo al funcionamiento que realizada cada uno de ellos.

TABLA 12.1: Adopción de bombas.

Fuente: Elaboración propia

Equipo		Potencia (kW)	Funcionamiento (h/día)	Consumo (kW/mes)
Motor M-01 (R-01)		0.37	12	133.2
Motores M-02-03 (R-02/R-03)		2.2	24	1584
Motor M-04 (T-02)		5.5	24	3960
Motor M-05 (MD-01)		0.75	24	540
Motor M-06 (T-05)		2.2	24	1584
Centrífuga ST- 01/ST-02	Motor	15	24	10800
	Tornillo	4		2880
Secador D-01		4	24	2880
Transporte helicoidal H-01		2	24	1440
Envasadora W-01		3	24	2160
Bomba P-01		1.1	24	792
Bomba P-02		1.1	24	792
Bomba P-03		4.1	12	1476
Bomba P-04		4.1	12	1476
Bomba P-05		1.1	24	792
Bomba P-06		0.55	2	33
Bomba P-07		1.1	2	66
Bomba P-08		1.1	2	66
Bomba P-09		1.1	24	792
Bomba P-10		0.55	24	396
Bomba P-11		0.55	24	396
Bomba P-12		0.18	0.5	2.7
Bomba P-13		0.55	24	396
Bomba P-14		0.55	24	396



Bomba P-15	0.55	24	396
Bomba P-16	0.74	3	66.6
Bomba P-17	0.74	3	66.6
Bomba P-18	0.74	3	66.6
Bomba P-19	0.74	3	66.6
Bomba P-20	0.55	24	396
Bomba P-21	1.1	24	792
Bomba P-22	1.1	24	792
Ósmosis inversa	3.73	3	671.13
Ablandador de agua EDI-30	5	3	450
Desgasificador DH-01	1.84	24	1324.8
Bomba de vacío	0.09	24	64.8
CT-01/CT-02/CT-03/CT-04	5	24	3600
TOTAL			44586.03

12.3 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

La finalidad de la iluminación en la industria es brindar una visibilidad eficiente y cómoda que permita realizar el trabajo en forma adecuada y ayude a mantener un ambiente seguro, generando ambientes agradables, ergonómicamente correctos y energéticamente racionales. Una buena iluminación presenta ventajas tanto para el trabajador como para la empresa. En el caso del trabajador, protege su capacidad visual, evita la fatiga ocular y disminuye los accidentes, mientras que en el caso de la empresa colabora con la disminución de errores, facilita la limpieza y el mantenimiento de las distintas áreas, mejorando a su vez la utilización de espacios.

El costo de la iluminación depende del tipo de luz que se use, de la geometría y el tipo de la iluminación, y de las características del entorno. En este apartado se calcula el número de lámparas requeridas en cada sector y la potencia consumida para determinar el mismo.

Nivel de iluminación necesaria en cada ambiente

Para determinar el nivel de iluminación necesario para cada sector, se tienen en cuenta las dimensiones de estos y el flujo luminoso necesario de acuerdo al trabajo que se realiza en él. El nivel de iluminación se mide en lux (lm/m^2) y surge del cociente del flujo luminoso (lumen) y el área de la



superficie iluminada. Los niveles mínimos de intensidad media de iluminación para diversas clases de tarea visual basados en la norma IRAM-AADL J 20-06, se detallan en la 9.51.

TABLA 12.2: Nivel de iluminación según la tarea.

Fuente: Elaboración propia

Tarea visual	Nivel de iluminación (lux)	Ejemplos
Tareas que no exigen esfuerzo visual.	50	En tránsito por pasillos, almacenes, carga y descarga de materia prima.
Visión ocasional	100	Para permitir movimientos seguros por ej. En lugares de poco tránsito como sala de calderas, depósito de materiales, baños y otros.
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes.	200	Trabajos simples, intermitentes y mecánicos inspección general y contado de partes de stock, colocación de maquinaria pesada.
Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos.	400	Trabajos medianos, mecánicos y manuales, inspección y montaje; trabajos comunes de oficina, tales como: lectura, escritura y archivo.
Tareas severas y prolongadas y de poco contraste.	750	Trabajos finos, mecánicos y manuales, montajes e inspección; pintura extrafina, sopleteado, costura de ropa oscura.
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste	1500	Montaje e inspección de mecanismos delicados, fabricación de herramientas y matrices; inspección con calibrador, trabajo de molienda fina.
Tareas excepcionales, difíciles o importantes	5000	Casos especiales, como por ejemplo: iluminación del campo operatorio en una sala de cirugía.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Número de lámparas y consumo energético

Uno de los métodos de cálculo de niveles de iluminación de una instalación de alumbrado de interiores más sencillo es el de lúmenes, este método consiste en la obtención del valor medio del alumbrado general. En el momento dado en que precisemos del cálculo del alumbrado general localizado o el alumbrado localizado recurriremos a un método más complejo denominado método punto por punto.

Los datos de entrada para el cálculo de la luminaria son:

- Dimensiones del local: Los primeros datos de entrada serán entonces las dimensiones del local.

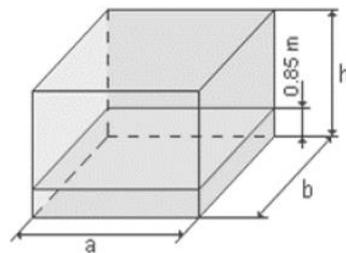


FIGURA 12.6: Descripción del espacio de iluminación.

Fuente: Bryan Salazar López, 2016.

- Determinar el nivel de iluminancia media (E_m): Este valor viene dado en lux, y depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrar este valor en la tabla anterior.

- Determinar el tipo de lámpara a utilizar: Debemos determinar el tipo de lámpara, si será incandescente, fluorescente de descarga alta, etc., según el tipo de actividad que se realice en la instalación.

- Determinar la altura de suspensión de las luminarias según el sistema de iluminación escogido.

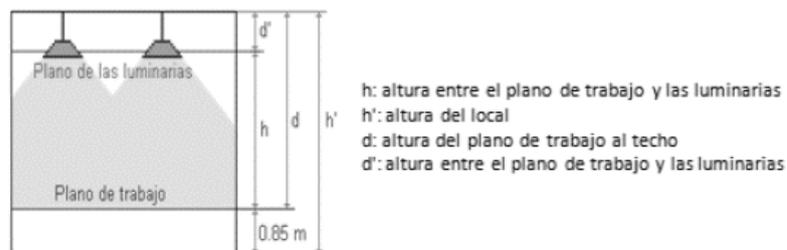


FIGURA 12.7: Descripción de la altura de sujeción.

Fuente: Bryan Salazar López, 2016.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

- Determinar el factor de utilización: Se calcula a partir del índice del local y los factores de reflexión:

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

FIGURA 12.8: Factor de utilización.

Fuente: Bryan Salazar López, 2016.

- Determinar el factor de mantenimiento (fm): Denominado también factor de conservación es un coeficiente que depende del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local.

Luego de determinar estas variables se calcula el número de lámparas necesarias empleando la siguiente ecuación.

$$n^{\circ} \text{lámparas} = \frac{E \times S}{F_m \times F_u \times I_l} \quad (\text{Ec. 9.1})$$

Dónde:

- E es el nivel de iluminación (lux).
- S es la superficie del sector a iluminar (m²).
- Fm es el factor de mantenimiento.
- Fu es el factor de utilización.
- Il es el flujo luminoso de la lámpara (lumen).

En los alumbrados interiores que presentan una polución del ambiente reducida se recomienda utilizar un factor de mantenimiento de 90% para luminaria cerrada y 80% para abierta. En los alumbrados exteriores se utiliza un factor de 60% cuando la polución es importante, 70% cuando es moderada y 80% si es reducida.

Se define el factor de utilización a la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

luminarias. Es decir, brinda un rendimiento de las luminarias ubicadas en el sector analizado. Para determinar este factor es necesario conocer el índice del local, el factor de reflexión para el techo, paredes y suelo.

El índice del local se calcula con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{a \times b}{h \times (a + b)} \quad (\text{Ec. 9.2})$$

Dónde:

- k es el índice del local.
- a es el largo de la superficie.
- b es el ancho de la superficie.
- h es la altura de las lámparas.

En la siguiente tabla se resumen la cantidad de lámparas calculadas y adoptadas para cada sector teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente, también así las luminarias externas y para cada equipo en particular.

TABLA 12.3: Cálculo de cantidad de lámparas.
Fuente: Elaboración propia.

Sector	Lux	S (m ²)	Flujo luminoso (lumen)	Luminaria seleccionada	Fu	Fm	Cantidad de lámparas adoptadas
Estacionamiento	400	887.7	22000	HQL E40-Osram	1	0.7	23
Garita de seguridad	400	32.13	22000	HQL E40-Osram	1	0.7	1
Hall de acceso y recepción	400	30	4000	Master TL-5 ECO HE	1	0.7	4
Oficinas administrativas	400	102.29	4000	Master TL-5 ECO HE	1	0.7	15
Sala de	400	20.335	4000	Master TL-5	1	0.7	3



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

reuniones				ECO HE			
Sanitarios	100	22.08	4000	Master TL-5 ECO HE	1	0.7	2
Comedor	200	31.875	4000	Master TL-5 ECO HE	1	0.7	3
Cocina y depósito	200	15.795	4000	Master TL-5 ECO HE	1	0.7	2
Sanitarios	100	38.961	4000	Master TL-5 ECO HE	1	0.7	2
Laboratorio	750	23.4	13000	HQL E40- Osram	1	0.7	2
Oficina panel de control	400	17.55	4000	Master TL-5 ECO HE	1	0.7	3
Paso de servicio	50	22.575	4000	Master TL-5 ECO HE	1	0.7	1
Área de producción	400	510.21	22000	HQL E40- Osram	1	0.7	14
Área de envasado y almacenamiento	400	68.44	4000	Master TL-5 ECO HE	1	0.7	10
Espacio de circulación camiones	150	1378.818	22000	HQL E40- Osram	1	0.7	14
Taller de mantenimiento	750	24	4000	Master TL-5 ECO HE	1	0.7	7



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 12.4: Cálculo de consumo energético de las luminarias.

Fuente: Elaboración propia.

Sector	N° lámparas	Funcionamiento (h/día)	Potencia (kW/h)	Consumo (kW/día)
Estacionamiento	23	11	400	101200
Garita de seguridad	1	24	400	9600
Hall de acceso y recepción	4	24	110	10560
Oficinas administrativas	15	24	110	39600
Sala de reuniones	3	9	110	2970
Sanitarios	2	12	110	2640
Comedor	3	6	110	1980
Cocina y depósito	2	3	110	660
Sanitarios	2	12	110	2640
Laboratorio	2	24	250	12000
Oficina panel de control	3	24	110	7920
Paso de servicio	1	12	110	1320
Área de producción	14	12	400	67200
Área de envasado y almacenamiento	10	24	110	26400
Espacio de circulación camiones	14	12	400	67200
Taller mantenimiento	7	24	110	18480
TOTAL (kW/día)				372370



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

CAPÍTULO 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.

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 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.

13.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO

La empresa productora de ácido succínico, 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.

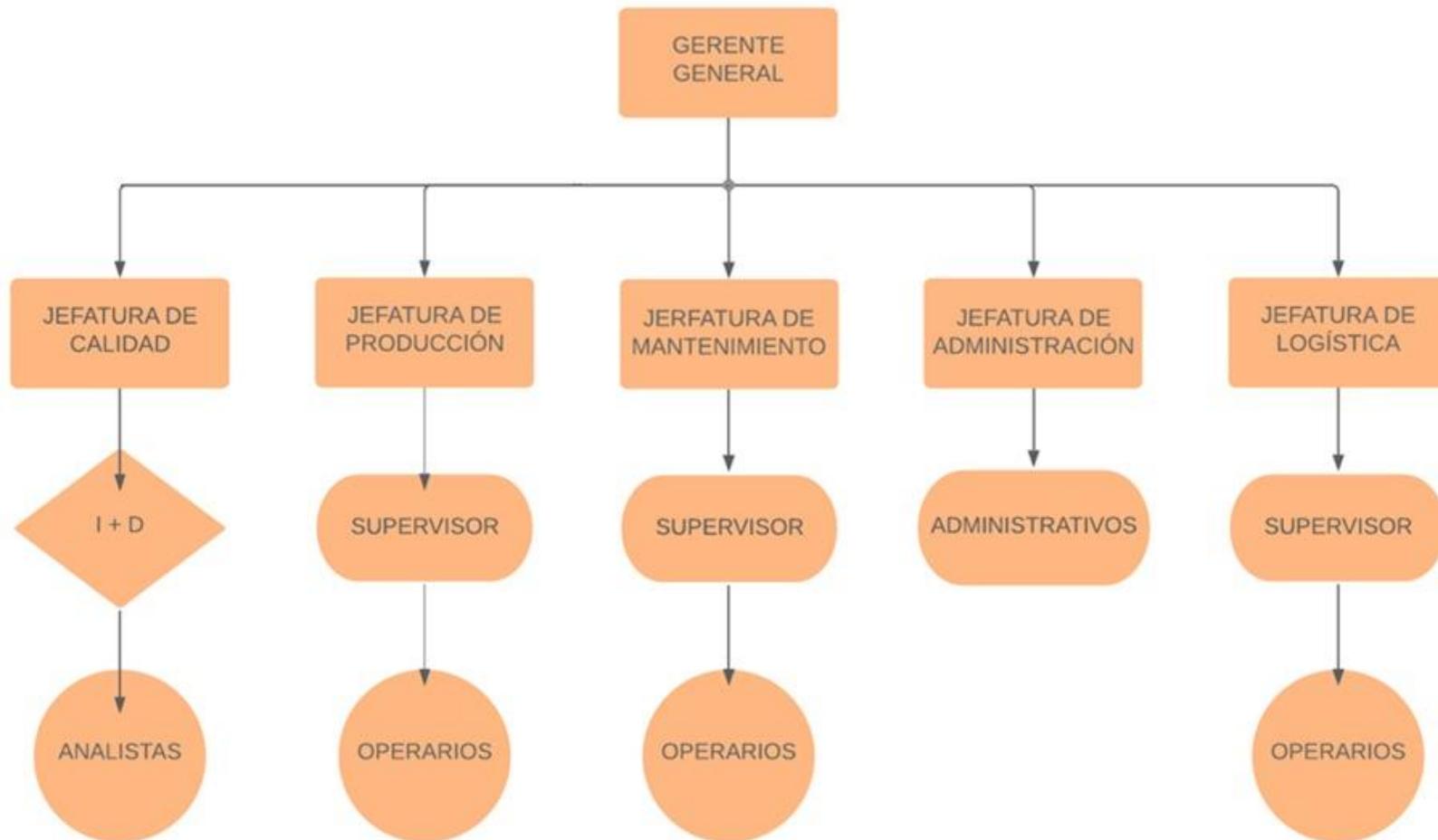


FIGURA 13.1: ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.

Fuente: Elaboración propia.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

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.
- 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 RESPONSABLE DE HIGIENE Y SEGURIDAD

Según el artículo 13 del decreto 1338/96, de acuerdo a la cantidad de trabajadores con los que cuenta la planta, corresponde un determinado número de técnicos responsables de higiene y seguridad. En la siguiente tabla se detallan estos datos.

TABLA 13.1: Número de técnicos según decreto 1338/96

Fuente: Elaboración propia.

Cantidad de trabajadores equivalentes	Número de técnicos
150-450	1
451-900	2



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Debido a que en el proceso de fabricación de ácido succínico se cuenta con un total de 60 empleados, no es necesario contar con un departamento propio encargado de esta área, por lo que decide tercerizarse.

El encargado de seguridad e higiene es un profesional externo contratado para controlar el cumplimiento de normas de higiene y seguridad, el estado de las instalaciones y el uso de elementos de protección personal. Dirige los programas de capacitación en materia de seguridad industrial e higiene ocupacional. Otras funciones son:

- Elaborar el programa de seguridad en todas sus fases: planeación, ejecución y control.
- Integrar el programa de aseguramiento las siguientes áreas: prevención de accidentes, prevención de siniestros, control de pérdidas e higiene industrial.
- Identificar agentes potenciales de peligro en las distintas áreas de trabajo (agentes físicos, agentes químicos, agentes biológicos y agentes ergonómicos) así como las vías de entrada.
- Conocer el marco jurídico para la práctica de la Higiene Industrial: Ley de Seguridad e Higiene en el Trabajo N° 19587, Ley N° 24557 de Riesgos del Trabajo.

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 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.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

- 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.

Analistas de laboratorio: Sus actividades son:

- Realizar los controles físico-químicos 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.
- Verificar la calidad, cantidades y las características de los materiales de construcción a su cargo.
- 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.
- Verificar la calidad técnica de los trabajos que se ejecuten; y de las personas que los lleven a cabo y dirijan estos.

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.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Operarios de producción: Sus actividades son:

- Se encargan del manejo y el correcto desempeño de los equipos que tienen a su cargo.
- 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 controlan 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 edilicios. Sus actividades son:

- Encargado de verificar la calidad, cantidades y características de los materiales de construcción que se utilizan en cada sección de la planta.
- 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.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

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.
- 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.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

- 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:

- 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.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

- 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.
- 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, coordinando 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.
- Supervisor de producción.
- 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.

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 17:30 Hs, de lunes a viernes, teniendo como franco el sábado y el domingo.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 13.2: Personal de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

Área	Puesto	Horario	Cantidad de empleados
Gerencia general	Gerente	-	1
Calidad	Jefatura	HE	1
	I + D	HE	1
	Analista	HR	4
Producción	Jefatura	HE	1
	Supervisor	HR	4
	Panelista	HR	4
	Operario de fermentación	HR	4
	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).



CAPÍTULO 14

CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESO



14.1 INTRODUCCIÓN

El control automático de procesos es parte del progreso industrial desarrollado durante lo que ahora se conoce como la segunda revolución industrial. El uso intensivo de la ciencia de control automático es producto de una evolución que es consecuencia del uso difundido de las técnicas de medición y control. Su estudio intensivo ha contribuido al reconocimiento universal de sus ventajas.

El control automático de procesos se usa fundamentalmente porque reduce el costo de los procesos industriales, lo que compensa la inversión en equipo de control. Además, hay muchas ganancias intangibles, como por ejemplo, la eliminación de mano de obra pasiva, la cual provoca una demanda equivalente de trabajo especializado. La eliminación de errores es otra contribución positiva del uso del control automático.

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana. Este es el elemento más importante de cualquier sistema de control automático.

En el presente capítulo se lleva a cabo el control automático de la etapa de fermentación.

14.2 LÓGICA DE LAZOS DE CONTROL EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN

1 – Alimentación a intercambiadores de esterilización.

La corriente A (glucosa y agua) antes de ingresar a los fermentadores (R-02/03) o al prefermentador (R-01) es esterilizada y enfriada por un conjunto de cuatro intercambiadores de placa, alimentados por una única bomba P-01, la cual posee un variador de motor VF-02 que le permite regular su caudal de impulsión a través del caudalímetro FT-01 en la misma línea, manteniendo el lazo de control entre este y el variador de la bomba.

2 – Inyección de agua de proceso en la salida del tanque T-01.

La corriente A (glucosa y agua) se genera por la salida del tanque de glucosa T-01 más la inyección de agua de RO en esta cañería, manteniendo la proporción de producción mediante un densímetro en la línea DH-01, que posee un lazo de control con el variador de la bomba P-20 VF-01, la encargada de impulsar agua RO desde el tanque T-08.



3 – Llenado del prefermentador R-01.

El prefermentador R-01 posee un sensor de nivel LSH-01, el cual está enlazado con un par de válvulas en la línea de alimentación (V-09-10), generando un desvío (abriéndose una de las válvulas y cerrándose la otra) de la corriente H, hacia la inyección en la línea de la corriente H', manteniendo de esta forma en régimen los cuatro intercambiadores de calor del proceso.

4 – Regulación de inyección de CO₂.

El CO₂ se suministra a la cañería de alimentación de los fermentadores (corriente H') regulando su caudal con una válvula modulante V-12 enlazada con un medidor de presión continua que posee cada fermentador PT-01-02 (R-01/02).

5 – Regulación de temperatura de los fermentadores (R-01/02).

La fermentación se lleva a cabo a una temperatura óptima de 37 °C para favorecer la producción de ácido succínico y un correcto desarrollo del cultivo, por lo cual, temperaturas superiores reducen el rendimiento fermentativo. Es por esto que el sistema interno de serpentines alimentados con agua de torre de enfriamiento, es el encargado de controlar este parámetro a través del enlace de la TT-01-02-03 del prefermentador y fermentadores con las válvulas de alimentación del serpentín, regulando de esta forma el caudal de agua fría.

6 – Llenado de los fermentadores (R-01/02).

Cada uno de los fermentadores contienen sensores de nivel LSH-02-03, los cuales son los encargados de cambiar a partir de aperturas y cierres de válvulas V-15-16, la dirección de la alimentación de los reactores, sin tener que cortar el flujo de la corriente H'.

7 – Alimentación prefermentador (R-01).

La alimentación del prefermentador (R-01) es regulada por la válvula V-05 la cual esta enlazada con el caudalímetro FT-02, generando la apertura o el cierre de la misma.

14.3 P&D

A continuación, se detalla el P&D de la etapa de fermentación del proceso de producción biotecnológica de ácido succínico.

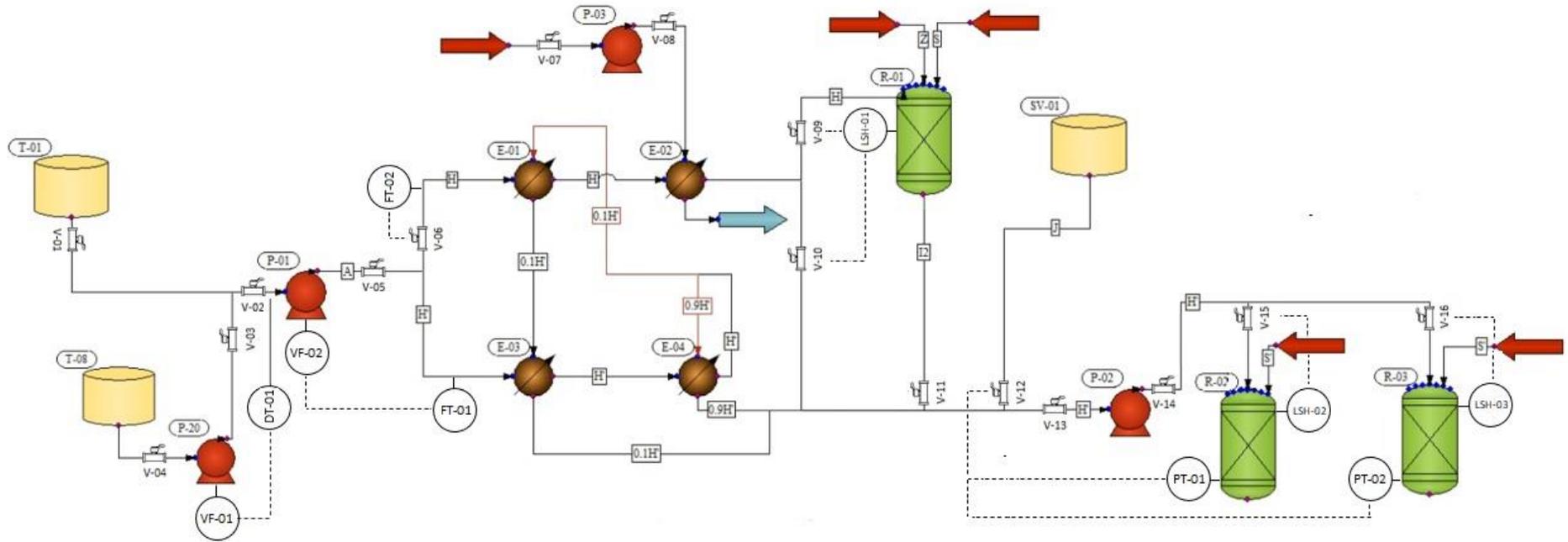


FIGURA 14.1: Flowsheet.

Fuente: Elaboración propia.



14.4 HOJAS DE ESPECIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS

En las siguientes tablas se encuentran detalladas las características de los instrumentos de medición utilizados en el control automático de la etapa de fermentación.

TABLA 14.1: Hoja de especificación transmisor de presión

Fuente: Elaboración propia

Características		Valor
General	Nombre	PT-001
	Servicio	Medición
	Ubicación	Fermentación
	Función	Medir la presión
Sensor	Tipo de sensor	Analógico
	Orientación	Horizontal
	Material	Carcasa metálica
	Medidas	162 x 122 x 77 mm
	Peso	1.96 kg
	Rango medición	1-2 atm
	Máxima presión	2 atm.
	Conexión a proceso	Roscada
Transmisor	Señal de salida	Analógica 4-20 mA
	Indicación local	Sí
Servicio	Fluido	Caldo fermentativo
	Caudal kg/h	431.36
	Presión atm.	1
	Temperatura °C	37

Cantidad requerida: 2 transmisores de presión.

Precio/unidad: \$16980



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO



FIGURA 14.1: Transmisor de presión.

Fuente: Danfoss.

TABLA 14.2: Hoja de especificación válvulas ON-OFF

Fuente: Elaboración propia

Características		Valor
General	Nombre	V-001
	Servicio	Control de caudal
	Ubicación	Prefermentación-Fermentación
	Función	Control
Cuerpo	Tipo de válvula	ON-OFF
	Conexión/Extremos	Bridado
	Material externo	Acero inoxidable
	Material interno	Acero inoxidable
Actuador	Tipo de actuador	Neumático
	Fluido motor	Aire comprimido
	Presión fluido motor	6 bar
	Voltaje	24 V
	Transmisor	Analógico
Condiciones operativas	Caudal máximo kg/h	4000
	Presión entrada	1 bar
	Presión salida	1 bar

Cantidad requerida: 3 válvulas ON-OFF.

Precio/unidad: \$6800.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO



FIGURA 14.2: Valvula ON-OFF.

Fuente: Burkert.

TABLA 14.3: Hoja de especificación transmisor de temperatura.

Fuente: Elaboración propia.

Características		Valor
General	Nombre	TT-001
	Tipo	Transmisor
	Ubicación	Prefermentación-Fermentación
	Función	Medir la temperatura
Cabezal	Tipo	Roscado
	Seguridad intrínseca	Sí
Elemento de medición	Material	Acero inoxidable
	Rango	0-100°C
	Conexión eléctrica	2-hilos
	Alimentación	24 V
Termopozo-Vaina	Material	AISI 304
	Conexión a proceso	1/2 pulgada

Cantidad requerida en la etapa: 19 transmisores de temperatura.

Precio/unidad: \$6800.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO



FIGURA 14.3: Transmisor de temperatura.
Fuente: Emerson.

TABLA 14.4: Hoja de especificación transmisor de temperatura.
Fuente: Elaboración propia.

Características		Valor
General	Nombre	FT-001
	Tipo de caudalímetro	Digital
	Ubicación	Prefermentación-Fermentación
	Función	Medición del caudal
Conexión a proceso	Diámetro de cañería	3 pulg
	Material cañería	Acero inoxidable
	Conexión/Extremo	Bridada-roscada
Transmisor	Voltaje para funcionamiento	24 V
	Señal de salida	4 a 20 mA
	Rangos de medición	+100 mbar a +16 bar
	Precisión	±0.075%

Cantidad requerida en la etapa: 2 caudalímetros.

Precio/unidad: \$34000.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO



FIGURA 14.4: Transmisor de caudal.

Fuente: E+H Deltabar FMD77.

TABLA 14.: Hoja de especificación transmisor de nivel.

Fuente: Elaboración propia.

Características		Valor
General	Nombre	LSL-001
	Servicio	Medición nivel bajo
	Ubicación	Prefermentación-Fermentación
	Función	Medición
Sensor	Voltaje	24 V
	Orientación	Vertical
	Material	Acero inoxidable
	Longitud del sensor	8 pulg.
	Conexión a proceso	Bridada
Transmisor	Señal de salida	4 a 20 mA
	Material de la membrana	316 L

Cantidad requerida en la etapa: 3 transmisores de nivel.

Precio/unidad: \$15470.



FIGURA 14.5: Transmisor de nivel.

Fuente: E+H Presión diferencial Deltabar FMD78.



CAPÍTULO 15
OBRAS CIVILES



15.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describen las obras civiles a realizar en el terreno seleccionado, donde se instalará la planta de producción de ácido succínico. Se detalla también, la distribución física de todas las áreas que la conforman y se confecciona el layout de los equipos involucrados en el proceso productivo.

La distribución física tiene muchas consecuencias prácticas y estratégicas, adicionalmente facilita el flujo de materiales, aumenta la eficiencia en la implementación de mano de obra y equipos, al mismo tiempo que reduce los riesgos y peligros para los trabajadores.

Los sectores con los que cuenta la planta se detallan a continuación:

- Estacionamiento
- Garita de seguridad (baño + oficina)
- Hall de acceso y recepción
- Oficinas administrativas
- Sala de reuniones
- Sanitarios
- Comedor
- Cocina + depósito
- Sanitarios
- Laboratorio
- Oficina panel de control
- Paso de servicio
- Área de producción
- Área de envasado y almacenamiento
- Espacio de circulación de camiones

15.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO

Como se mencionó en el capítulo 45, la planta se encuentra en el Parque Industrial y Tecnológico de Villa María, ubicado sobre la ruta 9, km 551,5 Villa María, Córdoba, Argentina. El predio cuenta con una superficie total aproximada de 5476.56 m² y todos los servicios antes mencionados. El terreno seleccionado, figura 15-1, se encuentra ubicado sobre la calle Emilio Ricardo Werner con orientación Noreste, teniendo un único acceso sobre la calle antes mencionada por donde ingresa el personal y el transporte.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

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. El mismo tiene una altura de 2 m y una extensión de 306 m, teniendo en cuenta que el terreno es un rectángulo de 57 m de frente por 96.08 m de fondo.



FIGURA 15.1: Plano del Parque Industrial, Logístico y Tecnológico de Villa María.
Fuente: Google Maps.

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 semejante. De acuerdo a esto, y dependiendo también de la entrada y salida de los equipos, se fija en 4,5 m (elevación suficiente para los 4,3 m fijados por el Mercosur).

En cuanto a las instalaciones edilicias propiamente dichas, se encuentran bajo techo y paredes de hormigón el área de producción y el edificio administrativo.

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 y la superficie que tiene cada una de estas. 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.

TABLA 15.1: Edificaciones emplazadas.

Fuente: Elaboración propia.

Identificación	Sector	Superficie (m ²)
1	Estacionamiento	887.70
2	Garita de seguridad	32.13
3	Hall de acceso y recepción	30.00
4	Oficinas administrativas	102.29
5	Sala de reuniones	20.34
6	Sanitarios	22.08
7	Comedor	31.88
8	Cocina y depósito	15.795
9	Sanitarios	38.96
10	Laboratorio	23.40
11	Oficina panel de control	17.55
12	Paso de servicio	22.58
13	Área de producción	510.21
14	Área de envasado y almacenamiento	68.44
15	Espacio de circulación de camiones	1378.82
16	Taller de mantenimiento	24.00



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.

impermeables.

En la figura 12-3 se muestra la disposición resultante de este sector.

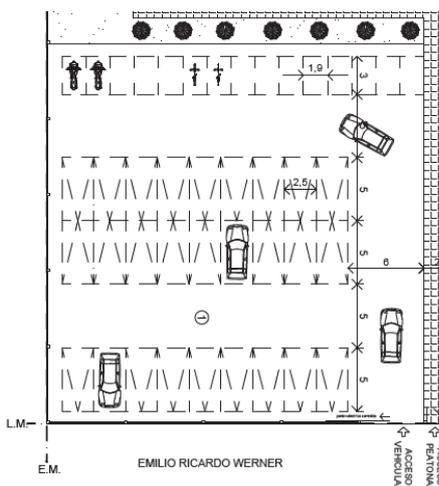


FIGURA 15.3: Establecimiento de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

15.2.2 Sector 2

Garita de seguridad

Al ingreso del predio por la calle Emilio Ricardo Werner 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 32.13 m². En su interior se encuentra un escritorio, un baño y una computadora para llevar a cabo los registros necesarios.

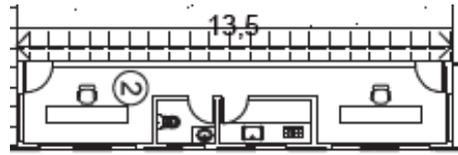


FIGURA 15.4: Garita de seguridad.

Fuente: Elaboración propia.

15.2.3 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.

15.2.4 Sector 4

Oficinas administrativas

En este sector se encuentran las oficinas, las cuales comparten el mismo ambiente y se encuentran separadas por box 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.

15.2.5 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 resultados. Esta sala tiene 4.15 m de ancho y 4.9 m. Posee las mismas características constructivas que las oficinas administrativas.



15.2.6 Sector 6

Sanitarios

Estos se encuentran próximos a la sala de reuniones. Entre los sanitarios de hombres y mujeres, representan 7.9 m de largo por 3 m de ancho.

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.

En la siguiente figura se pueden observar las edificaciones descritas en los sectores 3, 4, 5 y 6.

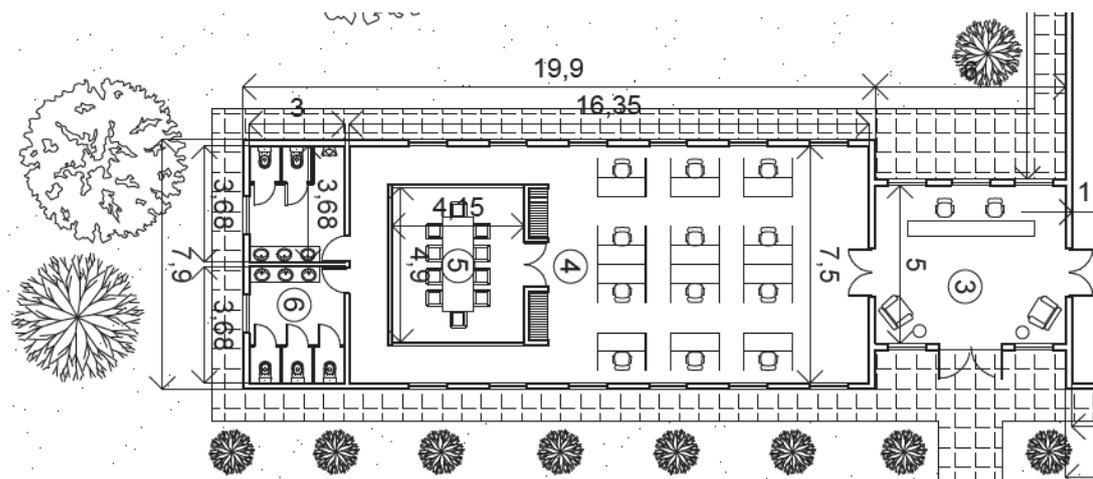


FIGURA 15.5: Edificios sociales y administrativos.

Fuente: Elaboración propia.

15.2.7 Sector 7

Comedor

A la derecha del hall de recepción se encuentra el comedor, el cual tiene una superficie de 31.875 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. El comedor está equipado con mesas y sillas para una totalidad de 14 personas.

15.2.8 Sector 8

Cocina + depósito

Contiguo al comedor se encuentra la cocina, la cual tiene los electrodomésticos necesarios como heladera, microondas y cocina. Además, el mobiliario incluye bajo mesada y la totalidad de los utensilios necesarios. Este sector tiene 2.7 m de ancho por 5.85 m de largo, representando una superficie total de 15.80 m². La cocina presenta las mismas características constructivas que el comedor.

15.2.9 Sector 9

Sanitarios

Próximo al depósito, en el mismo edificio, se encuentran dos baños, uno para mujeres y otro para hombres, de 3.3 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.

15.2.10 Sector 10

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 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.

Las dimensiones del área son 4 m de ancho por 5.85 m de largo, representando una superficie de 23.4 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.

15.2.11 Sector 11

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 17.55 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.

15.2.12 Sector 12

Paso de servicio

Este sector tiene 15.05 m de largo por 1.5 m de ancho y se extiende desde la cocina + depósito hasta la oficina de panel de control. Las paredes están hechas con ladrillos bloques de hormigón de 40 x 20 x 20 cm de 3 metros de altura.

En la siguiente figura se pueden observar las edificaciones descritas en los sectores 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

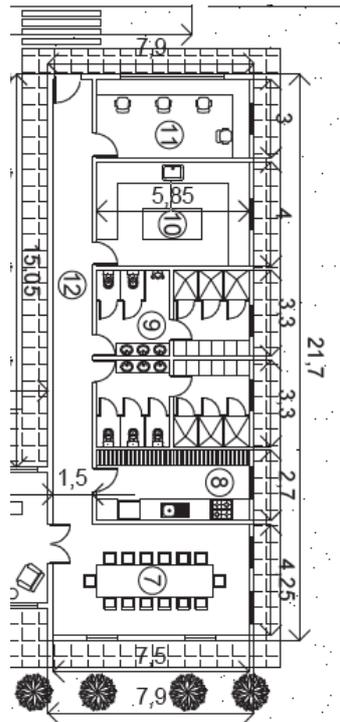


FIGURA 15.6: Sectores 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

Fuente: Elaboración propia.

15.2.13 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 encuentra la envasadora W-01, cubriendo la mayor parte de los equipos que intervienen en el proceso productivo.

Cabe aclarar que el sector no cuenta con paredes, y el techo es de chapa de zinc a dos aguas y con desagües pluviales de PVC.

La superficie total de esta sección es de 510.21 m².

15.2.14 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. Este es el único sector de proceso que cuenta tanto con paredes como con techo. 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.

15.2.15 Sector 15

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.

15.2.16 Sector 16

Taller de mantenimiento

Para el taller de mantenimiento se provee un espacio de 6 x 4 m (24 m²), 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.

En la siguiente figura se pueden observar las zonas descritas en los sectores 13, 14, 15 y 16.

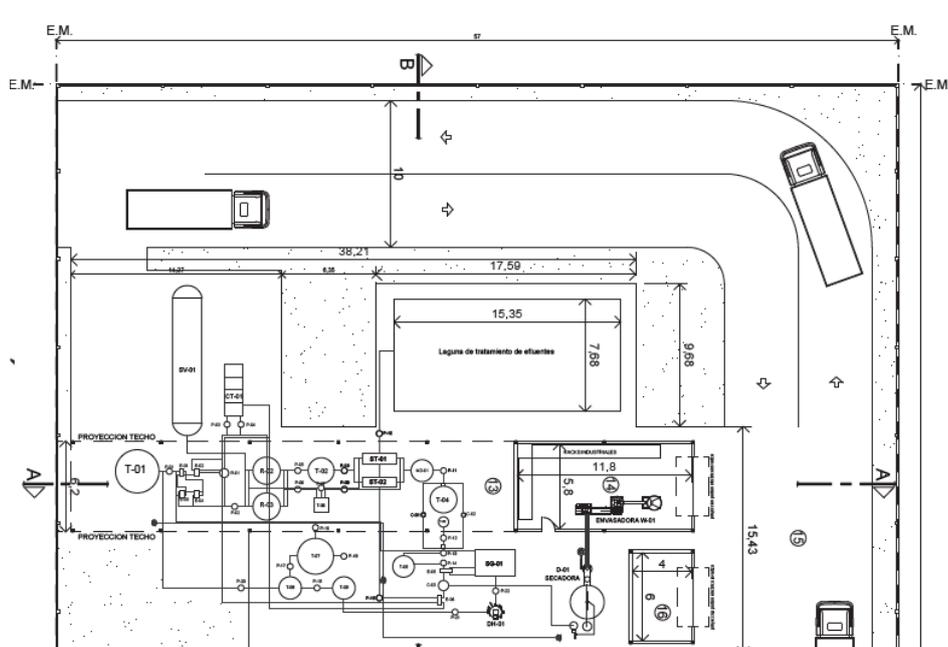


FIGURA 15.7: Sectores 13, 14, 15 y 16.

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO 16
ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO



16.1 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 de este debe ser sustancial, de lo contrario sería más sencillo invertir en otras opciones menos riesgosas del mercado.

Basados en el estudio de los capítulos previos, los cuales manifiestan una factibilidad técnica para un mercado potencial de ácido succínico, se procede a realizar en esta sección el estudio económico y financiero del proyecto.

Entre los objetivos propuestos para este capítulo, se encuentran:

- La estimación de la inversión y sus componentes principales, para darle valor al crédito necesario para cubrirla.

- El cálculo y análisis de los costos fijos y variables, entre los que se encuentran factores determinantes de la producción, como son los costos de materias primas e insumos, mano de obra, servicios, financieros, etcétera.

- Estimar los ingresos anuales por ventas de ácido succínico.

- La determinación del estado de resultados que permite conocer si la empresa luego de cancelar los costos totales e impuestos obtiene utilidades netas positivas.

- El cálculo de indicadores económicos más utilizados para determinar la rentabilidad de un proyecto. Estos son el VAN, la TIR y el PRI.

- Realizar un análisis de sensibilidad que permita deducir las condiciones en las que la empresa sigue siendo rentable, dada la variación de las principales variables del proceso productivo.

- Como conclusión, establecer si el proyecto es viable analizando los ítems anteriores.

- Redactar conclusiones y brindar sugerencias para los aspectos más débiles del proyecto.

El estudio tiene en cuenta los montos de dinero expresados en pesos argentinos, con una equivalencia de cambio al dólar de 85,00 \$ARG/ USD, y considera un volumen de producción constante en el periodo del ejercicio económico de 10 años.

6.2 INVERSIÓN

Se entiende al capital necesario para hacer frente a un proyecto y está compuesta por:

- activos fijos

- activos nominales

- fondo de maniobra.



En siguiente figura se representa la inversión con sus aristas más importantes y las categorías que componen.

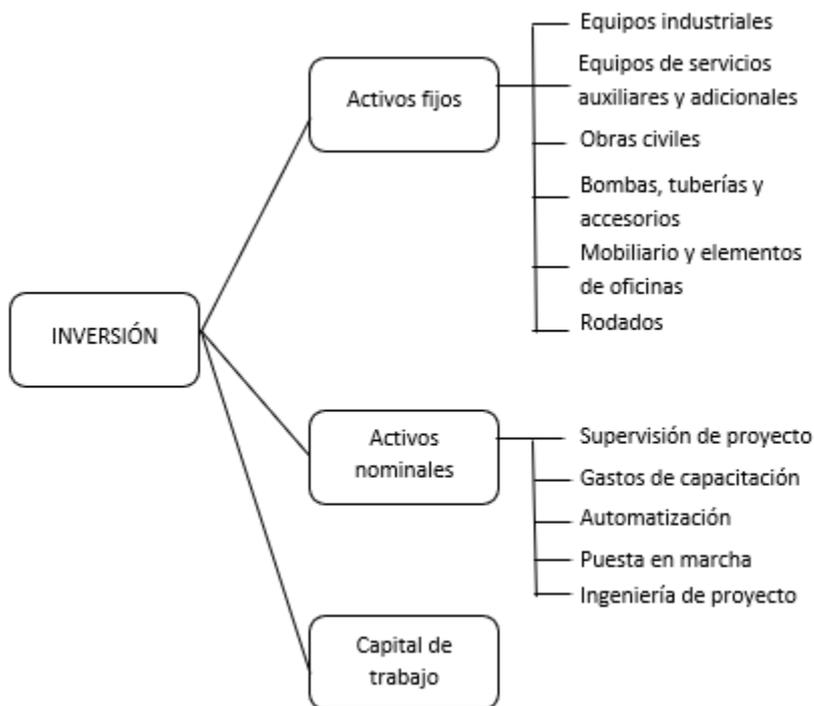


FIGURA 16.1: Inversión.

Fuente: Elaboración propia.

16.2.1 ACTIVOS FIJOS

Se denominan activos fijos a aquellos bienes que son permanentes en el período de actividad de la empresa y son indispensables para su normal desarrollo. Lo cual, supone que no serán vendidos ni desechados en el corto plazo. Entre los activos fijos de la empresa se encuentran: obras civiles, equipos industriales y de servicios auxiliares, tuberías y accesorios, rodados y elementos de oficina. Para efectos contables, los activos fijos, están sujetos a depreciación, debido a que pierden su valor por el desgaste provocado a causa del uso. En la determinación de los costos de estos activos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cotización del dólar al día 18/11/2020 del Banco de la Nación Argentina fue de \$85,00.
- De acuerdo a la ley de IVA (Ley Nacional 23.349), los artículos producidos en nuestro país perciben el 21 % de impuesto al valor agregado, mientras que los de producción extranjera tienen una reducción del 50 % es decir, 10,5 %.
- En la estimación del costo de flete, se supone un valor del 1,5 %.



16.2.1.1 OBRAS CIVILES

La planta de producción de ácido succínico se encuentra ubicada en la localidad de Villa María, provincia de Córdoba, razón por la cual se toman los costos establecidos de terreno en los boletines digitales del Colegio de Arquitectos de la Provincia de Córdoba.

TABLA 16.1: Estimación de los costos de obras civiles.

Fuente: Elaboración propia.

Rubro	Superficie (m2)	Precio (\$/m2)	Costo (\$)	I.V.A. (21%)	Costo total
Terreno	5476,56	1925,25	10543747,14	2214186,90	12757934,04
Estacionamiento	887,7	53,33	47344,00	9942,24	57286,2
Garita de seguridad	32,13	35955,00	1155234,15	242599,17	1397833,3
Hall de acceso y recepción	30	35955,00	1078650,00	226516,50	1305166,5
Oficinas administrativas	102,29	35955,00	3677836,95	772345,76	4450182,7
Sala de reuniones	20,335	35955,00	731144,93	153540,43	884685,4
Sanitarios	61,041	35955,00	2194729,16	460893,12	2655622,3
Comedor y cocina	47,67	35955,00	1713974,85	359934,72	2073909,6
Laboratorio	23,4	35955,00	841347,00	176682,87	1018029,9
Panel de control	17,55	35955,00	631010,25	132512,15	763522,40
Área de envasado y almacenamiento	68,44	26000	1779440,00	373682,40	2153122,40
Área de producción	510,21	4600	2346966,00	492862,86	2839828,86
Talle de mantenimiento	24	26000	624000,00	131040,00	755040,00
Circuito de camiones	1378,81	53,33	73536,53	15442,67	88979,21
TOTAL			27438960,95	5762181,80	33201142,75



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

16.2.1.2 EQUIPOS INDUSTRIALES, AUXILIARES Y ACCESORIOS.

Esta sección involucra todos los equipos inherentes a la producción de metanol como también los de servicios auxiliares, las cañerías y accesorios. Teniendo en cuenta que son bienes de capital se considera un costo de flete del 1% del costo total e IVA de 10,5 % del costo total.

TABLA 16.2: Estimación de los costos de los equipos industriales, auxiliares y accesorios.

Fuente: Elaboración propia.

Denominación técnica	Unidad	Precio			
		unitario (\$/u)	Costo (\$)	Flete	I.V.A.
Tanque de almacenamiento 56,66m3 T-01	1	1.052.600	1.052.600	15.789	110.523
Economizador E-01	1	150.000	150.000	2.250	15.750
Economizador E-02	1	102.000	102.000	1.530	10.710
Economizador E-03	1	102.000	102.000	1.530	10.710
Economizador E-04	1	195.000	195.000	2.925	20.475
Condensador E-06	1	176000	176.000	2.640	18.480
Reactor Tanque agitado 0,523 m3 R-01	1	16.822	16.822	252	1.766
Reactor Tanque agitado 13,89 m3 R-02	1	277.074	277.074	4.156	29.093
Reactor Tanque agitado 13,89 m3 R-03	1	277.074	277.074	4.156	29.093
Tanque pulmón 12,04 m3 T-02	1	237492	237.492	3.562	24.937
Tanque de almacenamiento 0,746 m3 T-03	1	23.995	23.995	360	2.519
Mezclador 7,38 m3 MD-01	1	146.058	146.058	2.191	15.336
Columna de intercambio iónico C-01/C-02	2	3.600	7.200	108	756



Tanque de almacenamiento 13,62 m3 T-04	1	269.554	269.554	4.043	28.303
Tanque pulmón 6,8 m3 T-05	1	134.579	134.579	2.019	14.131
Columna de destilación C-03	1	3.202.500	3.202.500	48.038	336.263
Tanque ST-01	1	1.530.000	1.530.000	22.950	160.650
Centrífuga S-01/S/02	2	650.000	1.300.000	19.500	136.500
Secador D-01	1	9.095.000	9.095.000	136.425	954.975
Transporte helicoidal H-01	1	153.000	153.000	2.295	16.065
Envasadora W-01	1	850.000	850.000	12.750	89.250
Bomba de proceso P-01	1	38.198	38.198	573	4.011
Bomba de proceso P-02	1	38.198	38.198	573	4.011
Bomba de proceso P-05	1	38.198	38.198	573	4.011
Bomba de proceso P-09	1	38.198	38.198	573	4.011
Bomba de proceso P-11	1	33.730	33.730	506	3.542
Bomba de proceso P-12	1	33.730	33.730	506	3.542
Bomba de proceso P-13	1	33.730	33.730	506	3.542
Bomba de proceso P-14	1	33.730	33.730	506	3.542
Tanque de almacenamiento de agua de caldera 8m3 T-09	1	158328	158.328	2.375	16.624
Tanque de almacenamiento de agua filtrada 32m3 T-07	1	590.933	590.933	8.864	62.048
Tanque de almacenamiento agua de proceso 8m3 T-08	1	158.328	158.328	2.375	16.624
Filtro Micro Z	1	71.000	71.000	1.065	7.455
Osmosis inversa RO-01	1	1.156.000	1.156.000	17.340	121.380
Ablandador de agua EDI-10	1	51.850	51.850	778	5.444



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Desgasificador de agua DH-01	1	1.360.000	1.360.000	20.400	142.800
Tanque 1 m3 T-06	1	9800	9.800	147	1.029
Caldera SG-01	1	3.116.610	3.116.610	46.749	327.244
Bomba de vacío	1	33.730	33.730	506	3.542
Torre de enfriamiento CT-01/02/03/04	4	34.000	136.000	2.040	14.280
Bomba de servicios auxiliares P-03/04	2	124.000	248.000	3.720	26.040
Bomba de servicios auxiliares P-06	1	33.730	33.730	506	3.542
Bomba de servicios auxiliares P-07/08	2	38198	76.396	1.146	8.022
Bomba de tratamiento de efluentes P-10	1	33730	33.730	506	3.542
Bomba de tratamiento de efluentes P-15	1	33730	33.730	506	3.542
Bomba de agua P-16/17/18/19	4	38198	152.792	2.292	16.043
Bomba de agua de osmosis inversa P-20	1	33730	33.730	506	3.542
Bomba de agua desionizada P-21	1	38198	38.198	573	4.011
Bomba de agua desgasificada P-22	1	38198	38.198	573	4.011
TOTAL			27.116.743	406.751	27.523.494

16.2.1.3 Rodados

Los rodados son necesarios para operar en el taller de mantenimiento en el traslado de equipos en reparación, tuberías y demás artículos, y para transportar insumos a la zona de producción y el laboratorio que no puedan ser llevados por esfuerzo humano. Para ello se adquieren 2 transpaletas capaces de elevar cargas de alto peso y un auto elevador. En la siguiente tabla se detallan los costos de estos.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 16.3: Estimación de los costos de los rodados.

Fuente: Elaboración propia.

Artículo	Unidades	Precio unitario (\$/u)	Costo total (\$)	I.V.A (21%)
Autoelevadores	1	750000	750000	78.75
Transpaletas	2	330000	660000	69.30
TOTAL			1410000	

16.2.1.4 MOBILIARIO Y ELEMENTOS DE OFICINA

En este caso se consideran todos aquellos elementos que, sin estar vinculados de forma directa con el proceso, son indispensables para el desarrollo organizado del proyecto.

En la siguiente tabla se expone el costo estimado de mobiliarios y elementos de oficina.

TABLA 16.4: Estimación de los costos de mobiliario y elementos de oficina.

Fuente: Elaboración propia.

Denominación técnica	Unidades	Precio unitario (\$)	Costo total (\$)	I.V.A.
Computadoras de mesa	13	30000	390.000	40.950
Notebook	2	36000	72.000	7.560
Aire acondicionado	7	47000	329.000	34.545
Escritorios	9	5600	50.400	5.292
Escritorio recepción	1	5000	5.000	525
Mesa sala de conferencia	1	9200	9.200	966
Mesa comedor	1	16800	16.800	1.764
Sillas	22	3200	70.400	7.392
Armario	12	1900	22.800	2.394
Heladera	1	37000	37.000	3.885
Cocina	1	13000	13.000	1.365
Microondas	2	15000	30.000	3.150
Televisor	1	22000	22.000	2.310
Proyector	1	5100	5.100	536
TOTAL			1.072.700	112.634



16.2.1.5 RESUMEN DE ACTIVOS FIJOS

A continuación, se muestra un resumen de los activos fijos descritos anteriormente por medio de tabla y gráfico.

TABLA 16.5: Resumen costos activos fijos.

Fuente: Elaboración propia.

Activo fijo	Costo (\$)	%
Terreno e inmueble	12.757.934,04	18.17
Obras civiles y construcción	27.438.960,95	39.08
Maquinaria y equipos	27.116.743	38.62
Flete	422.842	0.6
Rodados	1.410.000	2.01
Muebles y útiles	1.072.700	1.53
TOTAL	70.219.179,99	100%

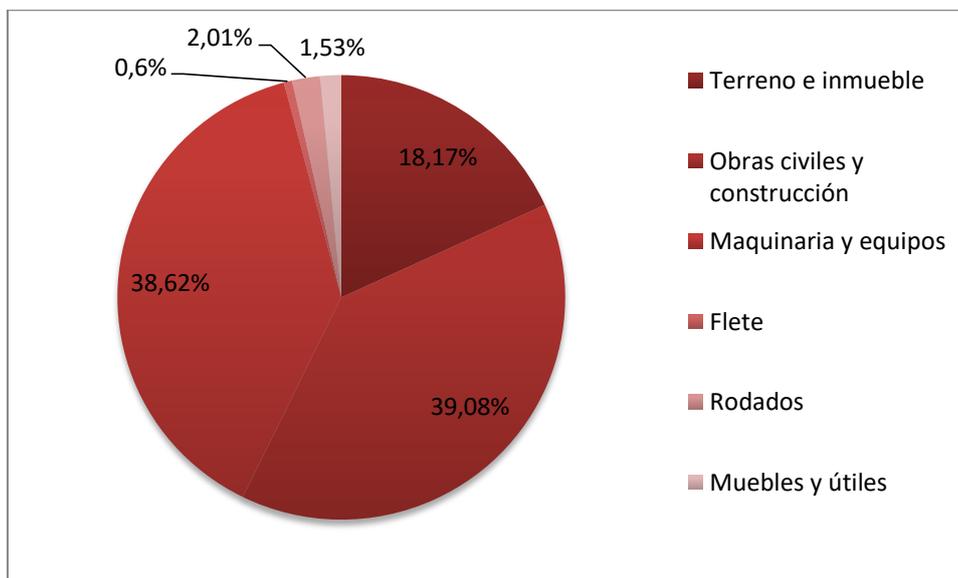


FIGURA 16.2: Activos fijos.

Fuente: Elaboración propia.

16.2.2 ACTIVOS NOMINALES

Los activos nominales o intangibles son aquellos que no tienen naturaleza física, pero son recursos muy valiosos para las empresas y pueden generar un impacto importante en términos de competitividad, si son correctamente gestionados. Los mismos son gastos que no son susceptibles



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

de ser recuperados por la empresa, pero que deben ser amortizados durante el período correspondiente.

En cuanto a los gastos de planeación y costos de supervisión de proyecto se considera un 5% de los activos fijos totales. El costo de control automático se considera como el 20% respecto al valor total de equipos industriales. Se considera 5% para los gastos de capacitación inicial. Además, el montaje e instalación de equipos se estima 50% de la suma de maquinarias y equipos y para imprevistos se considera un 1% del total. El costo de la puesta en marcha se estima como el costo total de producción por un tiempo determinado, el cual es igual al tiempo de puesta en marcha más la venta del producto. El tiempo tomado de puesta en marcha es de 30 días, el cual implica calibrar los equipos y ponerlos en régimen para obtener las condiciones de operación más favorables permitiendo lograr una buena calidad y rendimiento establecido para el producto.

TABLA 16.6: Resumen costos activos nominales.

Fuente: Elaboración propia.

Activos nominales	Costo (\$)	%
Costo automatización	5.443.789	9.45
Ingeniería de proyecto	2.721.895	4.72
Montaje e instalación de los equipos	13.558.371	23.53
Gastos de supervisión del proyecto	692.536	1.20
Gastos de capacitación	2.721.895	4.72
Gastos de puesta en marcha	22.056.028	38.27
Gastos de mantenimiento	2.721.895	4.72
Gastos de comercialización	2.268.246	3.95
Seguros e impuestos	2.721.895	4.72
Gastos de limpieza de la planta	2.721.895	4.72
TOTAL	47.194.513	100%

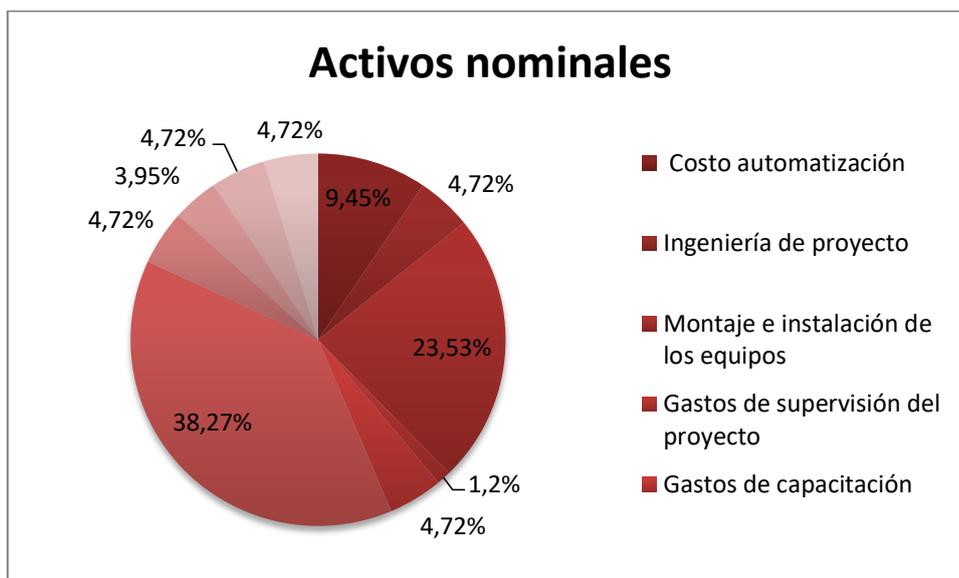


FIGURA 16.3: Activos nominales.

Fuente: Elaboración propia.

16.2.3 CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo, también denominado fondo de maniobra o activos corrientes hace referencia al conjunto de recursos financieros necesarios para la operación normal del proyecto durante el ciclo productivo, entendiéndose al ciclo productivo como el proceso que se inicia con el primer pago para cancelar los insumos de la operación y termina con la venta del producto terminado. En este caso, para estimar el capital de trabajo necesario se toma como un ciclo productivo: 20 días.

TABLA 16.7: Estimación costos de capital de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Capital de trabajo	Costo (\$)	%
Materia prima	18.273.103,84	79,79
Insumos	774,56	00,00
Mano de obra directa	2.289.840,00	10,00
Mano de obra indirecta	2.054.456,25	08,97
Servicio de limpieza	255.177,62	01,11
Gastos de comercialización	26.880,78	00,12
Total	22.900.233,06	100

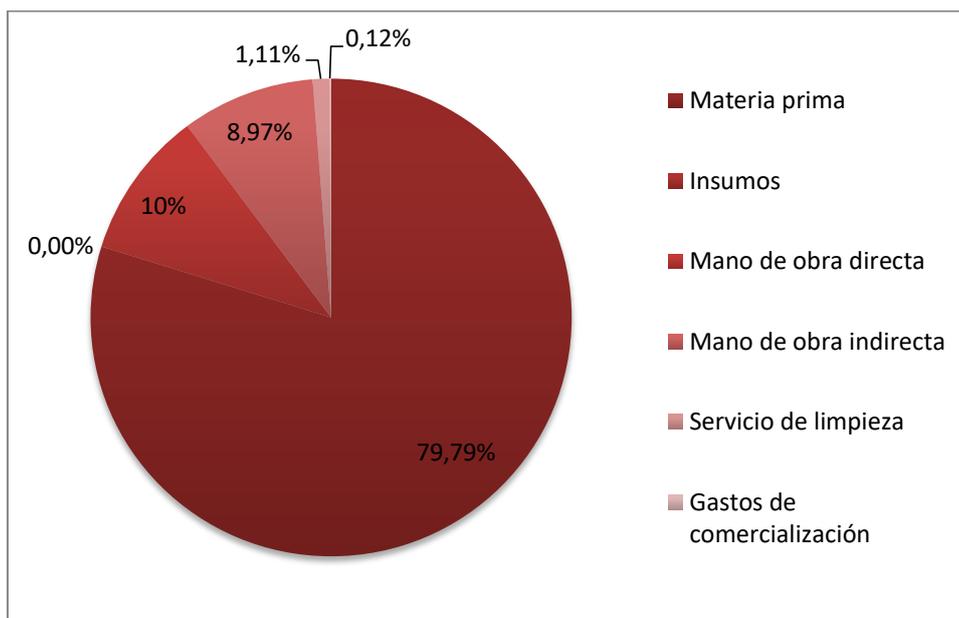


FIGURA 16.4: Capital de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

16.2.4 INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO

Estimados los tres ítems anteriores, se realiza la suma de estos para obtener el capital necesario total para concretar el proyecto y comenzar con la actividad industrial. Es importante la aclaración de que este capital se obtendrá a través de una financiación externa.

TABLA 16.8: Inversión total necesaria del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Categoría	Costo (\$)	%
Activos fijos	70.219.179,99	44,0293575
Activos nominales	47.194.513	29,5922579
Capital de trabajo	22.900.233,06	14,3590761
IVA	19.168.710	12,0193085
TOTAL	159.482.636,05	100

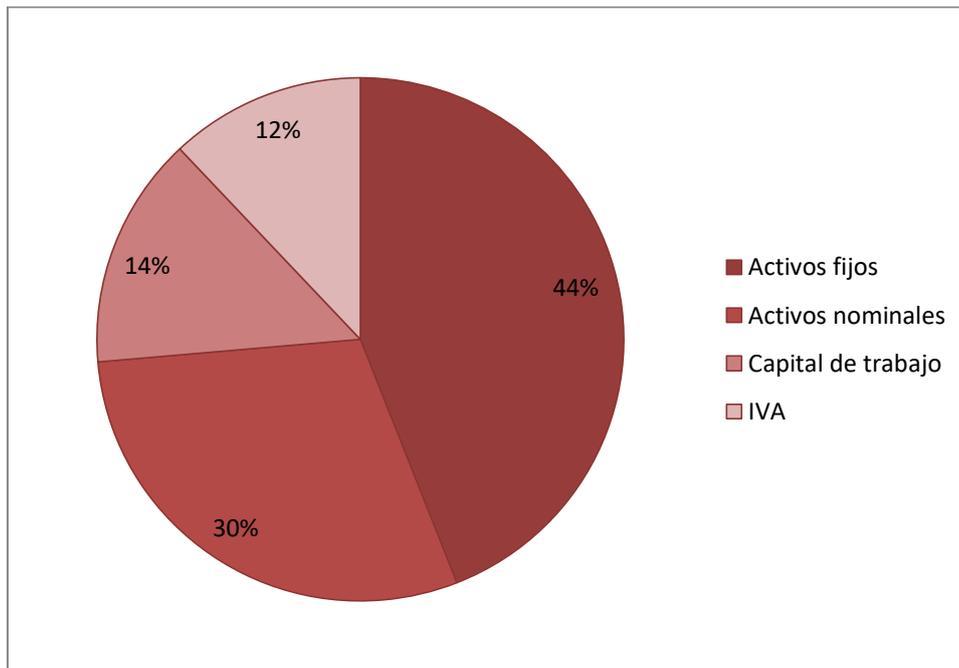


FIGURA 16.5: Inversión total.

Fuente: Elaboración propia.

16.3 COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN

Los costos de producción o de operación son los gastos necesarios para mantener una línea de procesamiento y equipos en funcionamiento. Se dividen en:

- Costos de fabricación (gastos directos, indirectos y fijos).
- Costos generales (gastos de administración, distribución, marketing, etc.).

En la siguiente figura se representa la composición detallada de los costos totales de producción.

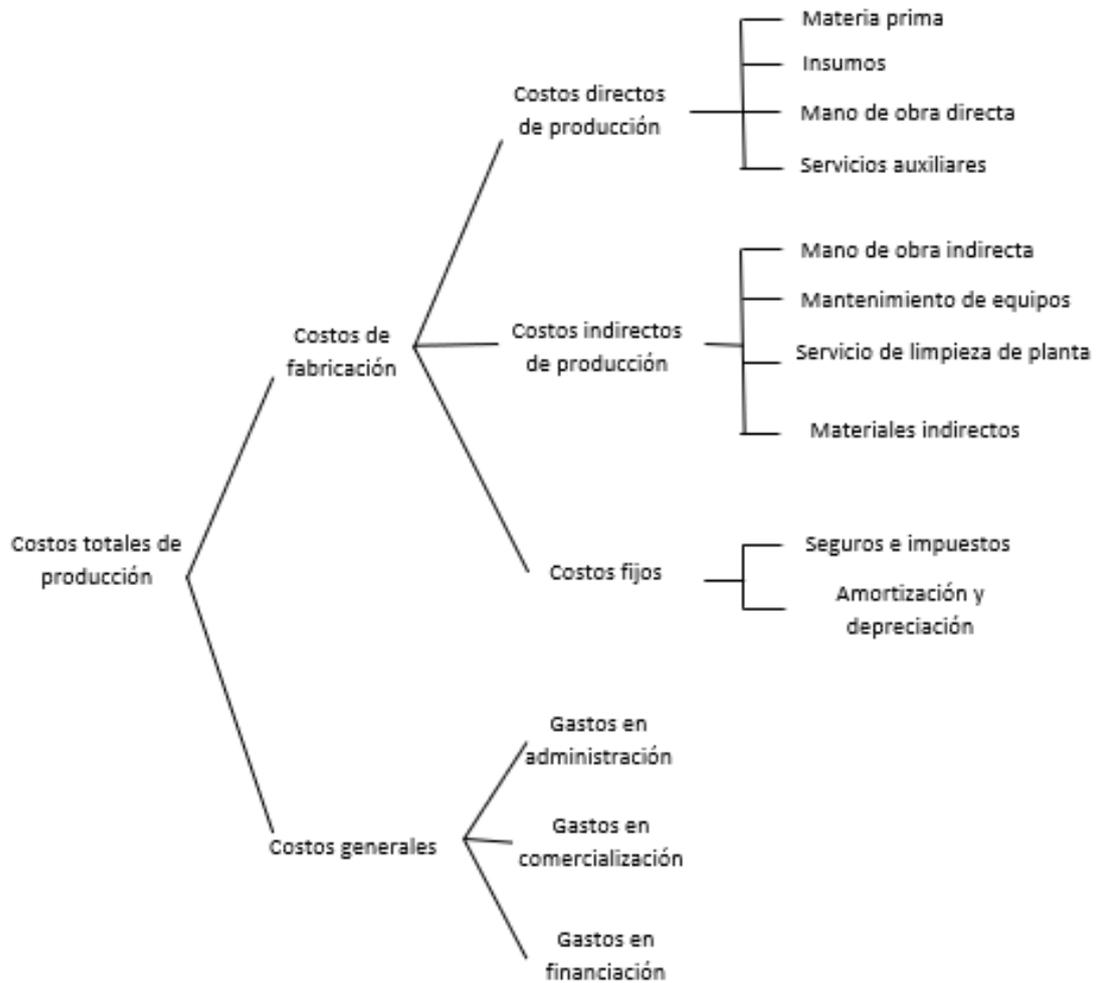


FIGURA 16.6: Costos totales de producción.
Fuente: Elaboración propia.

16.3.1 COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN

Dentro de la clasificación de costos de fabricación, existen los costos directos de producción. Estos costos intervienen de manera directa en la realización y producción del ácido succínico, afectando de manera inmediata a la determinación del precio final.

Están compuestos por materia prima e insumos, salarios de los operarios involucrados en la producción e los insumos energéticos empleados.

16.3.1.1 MATERIA PRIMA

La materia prima requerida proviene de las industrias productoras de glucosa. Los costos de transporte se incluyen en el precio de ésta. En la siguiente tabla se detalla el costo de la materia prima requerida.



TABLA 16.9: Costos anuales de la materia prima.

Fuente: Elaboración propia.

Materia prima	Cantidad	Unidad	Costo unitario (\$/u)	Costo total (\$)
Jarabe de glucosa	958.619	kg	66,00	64.217.906
Extracto de lavadura	200.037	kg	212,50	43.145.442
NaCl	4.017	kg	8,40	34.250
NaHCO ₃	140.474	kg	214,200	30.540.765
MgSO ₄	154	kg	4.104	641.492
K ₂ HPO ₄	116.428	kg	119	14.062.748
NaH ₂ PO ₄	228.751	kg	85	19.735.523
Cepa	55	kg	271.660	15.211.467
CO ₂	377.270	kg	19	7.323.515
TOTAL				194.913.108

16.3.1.2 INSUMOS

Como insumos solo tomamos en cuenta la resina catiónica utilizada en las columnas de intercambio iónico: Resina Amberlite IR 120H. El proveedor ATCC es el elegido para suministrar regularmente la misma.

TABLA 16.10: Costos anuales de los insumos.

Fuente: Elaboración propia.

Insumo	Cantidad	Unidad	Costo unitario (\$/u)	Costo total (\$)
Resina IR 120H	0.068	m ³	95625	8.262
TOTAL				8.262

16.3.1.3 SERVICIOS AUXILIARES

Entre los servicios que la empresa requiere a diario se encuentran el gas natural, la electricidad y el agua corriente. El resto de los servicios, como agua de proceso, vacío y vapor son producidos internamente por la misma.

Teniendo en cuenta el requerimiento anual de cada uno de los servicios solicitados, se procede a calcular el costo de estos, en los 10 años del proyecto, como se puede observar en la siguiente tabla.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 16.10: Costos anuales de los servicios.

Fuente: Elaboración propia.

Servicio	Consumo	Unidad	Precio unitario (\$/u)	Precio Total (\$)
Energía Eléctrica	3.600	kWh	1,98000	7.128
	181.500		2,04000	370.260
	272.646		2,24000	610.727
Gas natural	626.086	m ³	8,99	5.628.517
Agua de red	4.080	m ³	4,19000	17.095
TOTAL				6.633.727

16.3.1.4 MANO DE OBRA DIRECTA

Los costos de mano de obra directa están relacionados directamente al proceso y varían en función del volumen de producción.

TABLA 16.11: Costos anuales de mano de obra directa.

Fuente: Elaboración propia.

Cargo	Cantidad de personal	Jornal por hora	Gasto anual nominal	Cargas sociales	Gasto total anual
Operario de planta	8	200	4.096.000	1.843.200	5.939.200
Operario de panel de control	4	240	2.457.600	1.105.920	3.563.520
Operario mantenimiento	12	200	6.144.000	2.764.800	8.908.800
Operario logístico	9	180	4.147.200	1.866.240	6.013.440
TOTAL					24.424.960

16.3.1.5 RESUMEN COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN

En este momento, se resumen los costos directos de producción a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y representación gráfica.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 16.12: Resumen costos directos de producción.

Fuente: Elaboración propia.

Costo	Costo (\$)
Materia prima	18.273.103,84
Insumos	774,56
Mano de obra directa	2.289.840,00
Servicios auxiliares	6.633.727
Total	27.197.445,4

16.3.2 COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN

Los costos indirectos de producción hacen referencia a todos aquellos gastos que debe realizar una empresa para lograr la producción establecida. Cualquier gasto que no sea el costo directo de mano de obra ni el costo directo de los materiales es considerado una forma de gasto general. Comprende la mano de obra indirecta, los gastos de mantenimiento de equipos y el servicio de limpieza.

16.3.2.1 MANO DE OBRA INDIRECTA

Es el monto de salarios y demás cargas laborales devengados por los empleados que, aunque trabajan en la planta, no se relacionan directamente con la producción.

TABLA 16.13: Estimación de costos anuales de mano de obra indirecta.

Fuente: Elaboración propia.

Sector	Cargo	Cantidad de personal	Remuneración mensual (\$)	Gasto anual nominal (\$)	Cargas sociales 28% (\$)	Gasto total anual (\$)
Gerencia general	Gerente general	1	120.000,00	1.320.000	369.600	1.689.600
Calidad	Jefatura	1	85000	935.000	420.750	1.355.750
Producción	Jefatura	1	85000	935.000	420.750	1.355.750
Producción	Supervisor	4	70000	3.080.000	1.386.000	4.466.000
Mantenimiento	Jefatura	1	85000	935.000	420.750	1.355.750
Mantenimiento	Supervisor	4	70000	3.080.000	1.386.000	4.466.000
Administración	Jefatura	1	85000	935.000	420.750	1.355.750



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Administración	RRHH	1	60000	660.000	297.000	957.000
Logística	Jefatura	1	70000			
Administración	Contador	1	44000	484.000	217.800	701.800
Administración	Marketing	1	44000	484.000	217.800	701.800
Calidad	Auxiliar de laboratorio	5	44000	2.420.000	1.089.000	3.509.000
TOTAL						21.914.200

16.3.2.2 MANTENIMIENTO Y GASTOS DE COMERCIALIZACIÓN

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. El costo de mantenimiento se define por tanto como el 5% sobre el costo de equipos industriales y accesorios, arrojando un valor de \$255.177,62 anual. Mientras que, para los gastos de comercialización variables se los estima como el 0,1% de los costos de producción, representando un valor anual de 26.143,73.

16.3.2.3 RESUMEN DE COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN

En la tabla siguiente se resumen los costos indirectos de producción a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico circular se representan dichos valores porcentuales.

TABLA 16.14: Resumen costos indirectos de producción.

Fuente: Elaboración propia.

Costo indirecto	Costo (\$)	Porcentaje (%)
Mano de obra indirecta	21.914.200	98,73
Mantenimiento de equipos	255.177,62	1,15
Gastos de comercialización	26.143,73	0,12
TOTAL	22.195.521,35	100

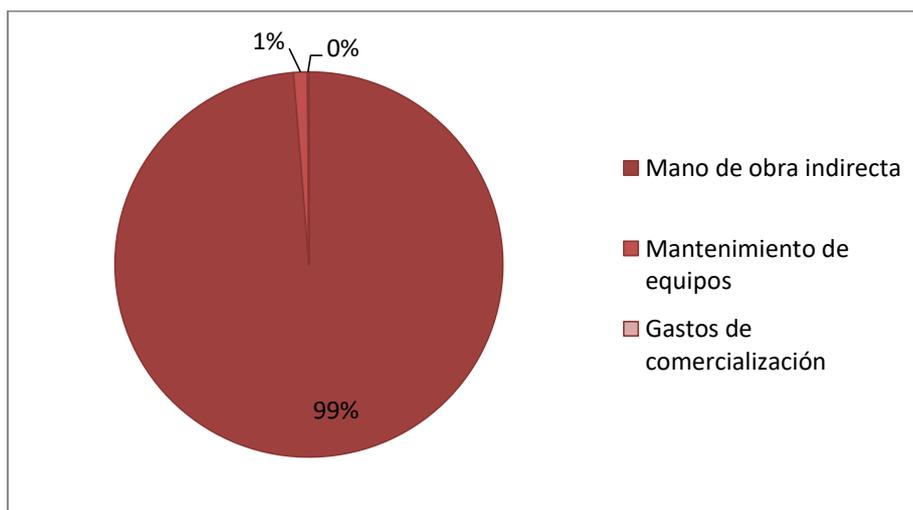


FIGURA 16.7: Costos indirectos de producción.

Fuente: Elaboración propia.

16.3.3 COSTOS FIJOS INDIRECTOS

En esta sección se incluyen los costos de amortización y depreciación de los activos, y los seguros e impuestos.

16.3.3.1 AMORTIZACIONES Y DEPRECIACIONES

Las amortizaciones son reducciones en el valor de los activos para reflejar en el sistema de contabilidad cambios en el precio del mercado u otras reducciones de valor.

Con las amortizaciones, los costos de hacer una inversión se dividen entre todos los años de uso de esa inversión.

Las amortizaciones se aplican a los activos fijos intangibles y representan el proceso financiero mediante el cual se extingue, gradualmente, una deuda por medio de pagos periódicos; y las depreciaciones a los activos fijos tangibles y representa el desgaste debido al uso, del paso del tiempo y la antigüedad del activo.

En la estimación de los costos de amortización se utiliza, adicionalmente, el decreto N° 873/1997 que fija la vida útil de los bienes considerados, a saber:

- Edificios: 300 años.
- Instalaciones: 10 años.
- Maquinarias y equipos: 20 años.
- Muebles y útiles: 10 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 valor un valor nulo o residual, dependiendo del caso.

TABLA 16.15: Estimación de costos anuales de amortizaciones y depreciaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Rubro	Inversiones (\$)	Tasa (%)	Depreciación/amortización anual (\$)
Terrenos y mejoras (Inmuebles)	10.543.747	2.2	235.126
Obras civiles y const. compl.	13.850.711	10	1.385.071
Maquinarias y equipos	27.116.743	5	1.355.837
Transporte de máq. y equ.	443.992	5	22.200
Rodados	1.410.000	15	211.500
Muebles y útiles	1.072.700	10	107.270
TOTAL	54.437.893		3.317.003

16.3.3.2 SEGUROS E IMPUESTOS

A los costos de seguro e impuestos y servicio de limpieza se los estiman mediante el cálculo del 5% de la inversión de los activos fijos, por lo tanto, arroja un valor de \$2.721.895 al año para cada uno de ellos.

16.3.3.3 RESUMEN DE COSTOS INDIRECTOS

A continuación, se resumen los costos fijos indirectos a lo largo de un año con su respectiva composición porcentual y posteriormente en un gráfico circular se representan dichos valores porcentuales.

TABLA 16.16: Resumen de costos fijos indirectos.

Fuente: Elaboración propia

Costos fijos indirectos	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)
Amortizaciones y depreciaciones	3.317.003	54,93
Seguros e impuestos	2.721.895	45,07
TOTAL	6.038.898	100

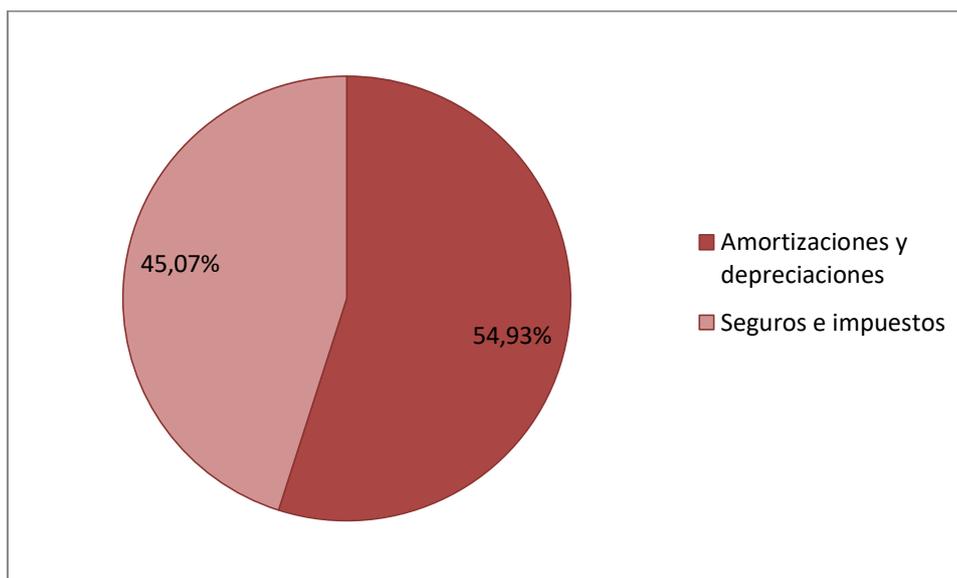


FIGURA 16.8: Costos fijos indirectos de producción.

Fuente: Elaboración propia.

16.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN UNITARIO

El costo unitario es el valor promedio que, a cierto volumen de producción, cuesta producir un kilogramo de producto (ácido succínico). Se obtiene sumando el costo total de producción (suma de costos fijos y variables) menos las ventas de los subproductos, dividido la cantidad total producida. Se expresa el costo unitario en \$/kg.

$$\text{Costos unitarios} = \frac{C. \text{ fijos} + C. \text{ variables} - V. \text{ subproductos}}{\text{Total de unidades}} = \frac{\text{Costo total de producción}}{\text{Total de unidades}}$$

En la siguiente tabla 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 succínico.

TABLA 16.17: Costo de producción unitario del ácido succínico.

Fuente: Elaboración propia

Costo total de producción (\$)	Volumen de producción (kg)	Costo unitario (\$/kg)
257.437.384	1000000	257.44
257.437.384	1000000	257.44
257.437.384	1000000	257.44
257.437.384	1000000	257.44



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

257.437.384	1000000	257.44
257.437.384	1000000	257.44
257.437.384	1000000	257.44
257.437.384	1000000	257.44
257.437.384	1000000	257.44
257.437.384	1000000	257.44

16.5 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 del ácido succínico con un 99% de pureza a un valor de 5,5 USD/kg.

Este monto se considera constante a lo largo del ciclo económico de 10 años debido a que las cantidades producidas y vendidas no varían en el mismo periodo.

TABLA 16.18: Ingreso por ventas.

Fuente: Elaboración propia

Producto	Cantidad	Unidad	Precio unitario (USD)	Ingreso anual (\$)
Ácido succínico	1000000	kg	5,5	467.500,00

16.6 FINANCIACIÓN DEL PROYECTO

La financiación es la contribución de dinero y/o crédito a la empresa que necesita afrontar la actividad del proyecto.

Para dicho inversión, el capital disponible es aportado por crédito bancario del BANCO NACIÓN con una TNA del 35% 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 del nivel de la tasa de interés acordada: cuanto mayor es la tasa menos será la proporción de capital cancelado en las primeras cuotas.

Para el cálculo de la cuota se tiene que:



$$TEM = \frac{(TNA * 30)}{100 * 360}$$

$$Cuota = \frac{(1 + TEM^n)}{(1 + TEM)^n - 1}$$

Donde TNA es la tasa de interés acordada con el banco, tomando el 35 %, TEM la tasa efectiva mensual tomada como el interés mensual, y “n” es el período de 10 años tomados en meses, es decir 120 meses.

TABLA 16.19: Características del crédito.

Fuente: Elaboración propia.

Capital	TNA	N° de cuotas	Tasa de seguro
142.970.936,56	35 %	120	0,25

TABLA 16.20: Pagos anuales del crédito otorgado.

Fuente: Elaboración propia.

Cuotas	Pagos anuales	Intereses
1	1.191.963,44	49.860.503,52
2	1.683.028,51	49.369.438,45
3	2.058.218,39	48.994.248,57
4	3.355.432,83	47.697.034,12
5	4.737.803,98	46.314.662,97
6	6.689.684,36	44.362.782,59
7	9.445.700,38	41.606.766,57
8	13.337.139,82	37.715.327,13
9	18.831.774,40	32.220.692,56
10	26.590.088,41	24.462.378,55

16.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Analizar la variabilidad y rentabilidad de un proyecto es un pilar fundamental, 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 representan la rentabilidad de un proyecto. Dos de los más utilizados en el área 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 caja 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.

16.7.1 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 indeterminado.

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 periodo concreto.
- **Costo de producción de lo vendido:** Cuando 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 considera un 0,50 % del costo de producción de lo que se vende). En gastos financieros incurre una empresa al financiarse con terceros (costo de capital) y se suponen las amortizaciones 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 transportes, etc.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

- **Utilidad ante los impuestos:** Resulta de sustraer a la utilidad operativa las depreciaciones y los gastos administrativos, comerciales y de financiación.
- **Impuesto a las ganancias:** Se considera el 35% de la utilidad antes del impuesto.
- **Utilidad o flujo netos efectivos:** Es la ganancia o pérdida final que la empresa obtiene después de la actividad y resulta de adicionar las depreciaciones de la utilidad después de impuestos.

Se detalla en las siguientes tablas el estado de los resultados para un período de 10 años de actividad del proyecto.

TABLA 16.21: Estado de resultados (año 1 a 5).

Fuente: Elaboración propia.

EJERCICIOS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ventas netas	477.523.200	477.523.200	477.523.200	477.523.200	477.523.200
Costo de producción de lo vendido	278.890.499	257.437.384	257.437.384	257.437.384	257.437.384
RESULTADO OPERATIVO	198.632.701	220.085.816	220.085.816	220.085.816	220.085.816
Gastos de administración	261.841	154.575	154.575	154.575	154.575
Gastos de comercialización	278.890	257.437	257.437	257.437	257.437
Gastos de financiación	65.796.930	65.651.715	65.446.675	65.157.161	64.748.374
Depreciación – Amortización	3.317.003	3.317.003	3.317.003	3.317.003	3.317.003
RESULTADOS ANTES DE IMPUESTO	128.978.036	154.002.088	154.227.129	154.516.642	154.925.429
Depreciación – Amortización	3.317.003	3.317.088	3.317.003	3.317.003	3.317.003
Impuesto a las ganancias	46.303.264	53.907.731	53.979.495	54.080.825	54.223.900
FLUJO NETO DE EFECTIVO	85.991.776	100.114.357	100.247.634	100.435.817	100.701.529



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

TABLA 16.22: Estado de resultados (año 6 a 10).

Fuente: Elaboración propia.

EJERCICIOS	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Ventas netas	477.523.200	477.523.200	477.523.200	477.523.200	477.523.200
Costo de producción de lo vendido	257.437.384	257.437.384	257.437.384	257.437.384	257.437.384
RESULTADO OPERATIVO	220.085.816	220.085.816	220.085.816	220.085.816	220.085.816
Gastos de administración	154.575	154.575	154.575	154.575	154.575
Gastos de comercialización	257.437	257.437	257.437	257.437	257.437
Gastos de financiación	64.171.176	63.356.182	62.205.428	60.580.586	58.286.342
Depreciación – Amortización	3.317.003	3.317.003	3.317.003	3.317.003	3.317.003
RESULTADOS ANTES DE IMPUESTO	155.502.628	156.317.621	157.468.376	159.093.218	161.387.462
Depreciación – Amortización	3.317.003	3.317.003	3.317.003	3.317.003	3.317.003
Impuesto a las ganancias	54.425.920	54.711.167	55.113.931	55.682.626	56.485.612
FLUJO NETO DE EFECTIVO	101.076.708	101.606.454	102.354.444	103.410.591	104.901.850



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

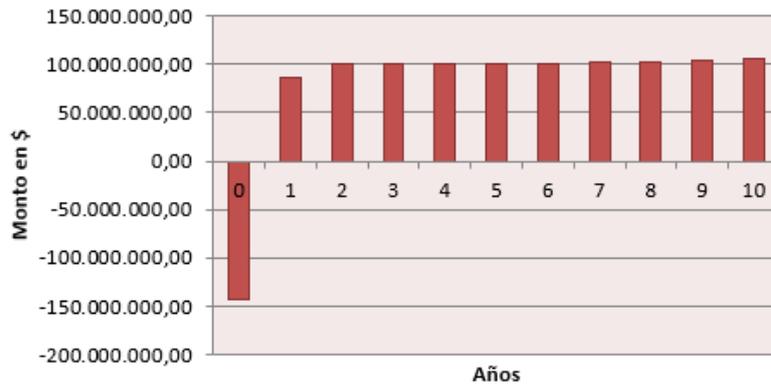


FIGURA 16.9: Flujo neto de efectivo.
Fuente: Elaboración propia.

16.7.2 INDICADORES

16.7.2.1 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 35%, que es la tasa anual impuesta por la entidad financiera para el crédito solicitado.

Los proyectos se clasifican según la rentabilidad:

- 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 decirse en función las ganancias.
- Si el VAN < 0, la inversión produce pérdidas y el proyecto debe rechazarse.

Numéricamente, el valor actual se obtiene de la siguiente ecuación

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

Donde I_o es la inversión inicial, FNE_n los flujos correspondientes a los n años de duración de la actividad e i la tasa de interés (TMAR), valor fijado por el banco que otorga el préstamo.

TABLA 16.23: Valor actual neto.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

Fuente: Elaboración propia.

Indicador	Valor
VALOR ACTUAL NETO - VAN	\$ 87.382.354

El resultado del VAN es positivo, lo que indica que el proyecto es viable.

16.7.2.2 TASA INTERNA DE RETORNO TIR

La TIR es el interés máximo que podría pagarse por el préstamo solicitado, para la inversión inicial, sin que se comiencen a apreciar pérdidas. Analíticamente, es la tasa que hace el VAN sea igual a cero (la diferencia entre los flujos futuros y la inversión inicial) y para calcularlo se despejan y calculan los intereses en la ecuación del VAN, para cuando el resultado es nulo.

Un proyecto puede determinarse como viable o rentable si la TIR es mayor que la TMAR, caso en el cual se acepta el mismo. Si la TIR es alta, estamos frente a un proyecto rentable, que supone un retorno de la inversión equiparable a unos tipos de interés altos que posiblemente no se encuentren en el mercado. Si la TIR es baja, sin embargo, es factible que existan otras opciones mejores en el mercado para invertir ($TMAR > TIR$).

El valor de la TIR de este proyecto, calculado analíticamente, se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 16.24: Tasa interna de retorno.

Fuente: Elaboración propia.

Indicador	Valor
TASA INTERNA DE RETORNO - TIR	53 %

Dado que el valor obtenido como TIR es mayor a la TMAR propuesta por el banco prestador, se concluye que el proyecto es rentable.

16.7.2.3 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 por que el beneficio es superior al costo; si la relación es menor a la unidad el proyecto debe rechazarse por que no existen beneficios, si la relación es igual a la unidad es indiferente



realizar o no el proyecto. Como se observa, la relación obtenida es superior a 1, lo cual hace viable el proyecto en cuestión.

TABLA 16.25: Relación Beneficio/Costo.

Fuente: Elaboración propia.

Indicador	Valor
Beneficio/Costo	1.13

16.7.3 PERÍODO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN REALIZADA

El periodo de recuperación de un proyecto es el número de años a partir de los cuales el acumulado de los FNE previstos iguala la inversión inicial, en este caso, el PRI es de 1 año y 3 meses.

En la siguiente tabla se detalla el período de recupero de la inversión.

TABLA 16.25: Recupero de la inversión realizada.

Fuente: Elaboración propia.

Período	FNE	Saldo	
Inversión inicial	0	-142.970.935,56	
AÑO 1	85.991.776,00	-56.979.159,56	
AÑO 2	Mes 1	8.342.863,00	-48.636.296,48
	Mes 2	8.342.863,00	-40.293.433,39
	Mes 3	8.342.863,00	-31.950.570,31
	Mes 4	8.342.863,00	-23.607.707,23
	Mes 5	8.342.863,00	-15.264.844,14
	Mes 6	8.342.863,00	-6.921.981,06
	Mes 7	8.342.863,00	1.420.882,02

16.7.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad determina los márgenes de rentabilidad de un proyecto desde otra perspectiva, que es el aumento o reducción de un indicador económico como la TIR, frente a la fluctuación de las principales variables consideradas en el estudio económico. De acuerdo con esto, se analiza la variación de la TIR con la desviación del volumen de producción, de los costos de mano de obra, insumos, materia prima y precio de venta, que son las principales variables que influyen en las utilidades.



Este análisis se realiza de forma gráfica, representando la variación de la TIR con la fluctuación de las variables antes mencionadas y comparándola con la función constante TMAR, dado que si la primera se encuentra sobre esta última el proyecto es rentable.

16.7.4.1 VARIACIÓN DE LA TIR CON EL PRECIO DE VENTA DEL ÁCIDO SUCCÍNICO.

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 15% el proyecto deja de ser rentable.

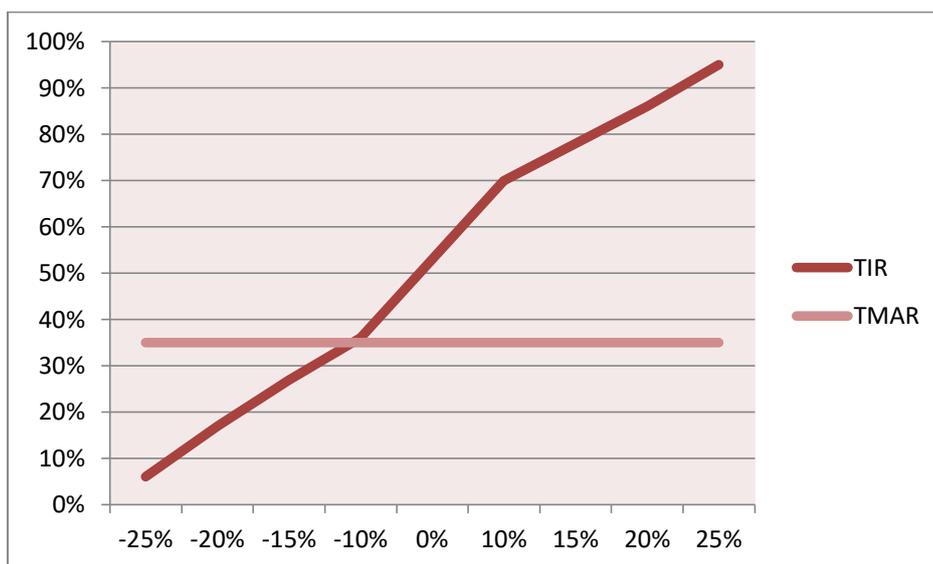


FIGURA 16.10: Variación de la TIR con el precio de venta.

Fuente: Elaboración propia.

16.7.4.2 VARIACIÓN DE LA TIR CON EL COSTO DE LA MATERIA PRIMA.

En esta sección se analiza la relación entre la tasa interna de retorno y el costo de la materia prima. En caso de aumentar el costo en un 20% el proyecto dejaría de ser rentable.

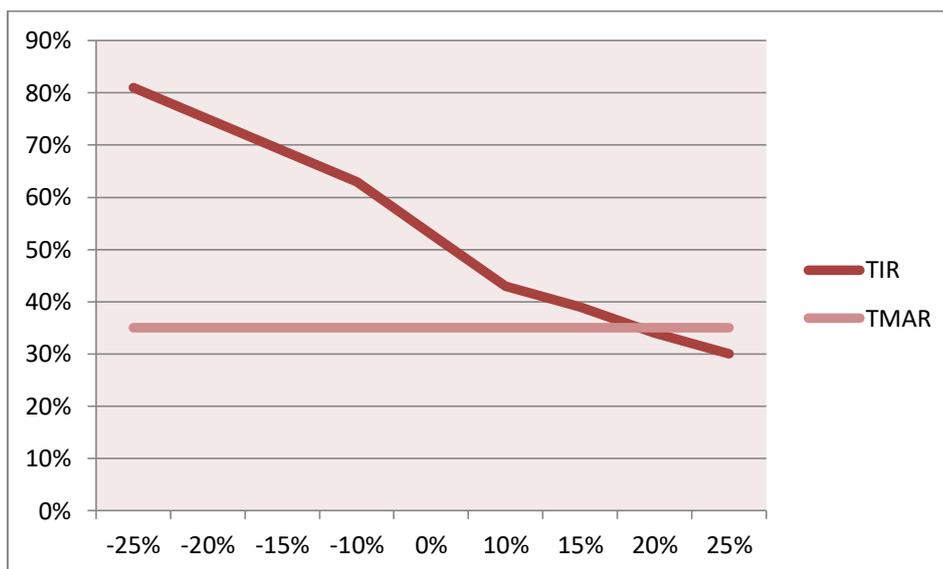


FIGURA 16.11: Variación de la TIR con el costo de la materia prima.

Fuente: Elaboración propia.

16.7.4.3 VARIACIÓN DE LA TIR CON RESPECTO A LA MANO DE OBRA.

Se analiza la sensibilidad de la tasa interna de retorno a los costos de mano de obra (tanto directa como indirecta). Para este caso, el proyecto admite aumentos en los costos de personal cercanos sin pérdida de rentabilidad.

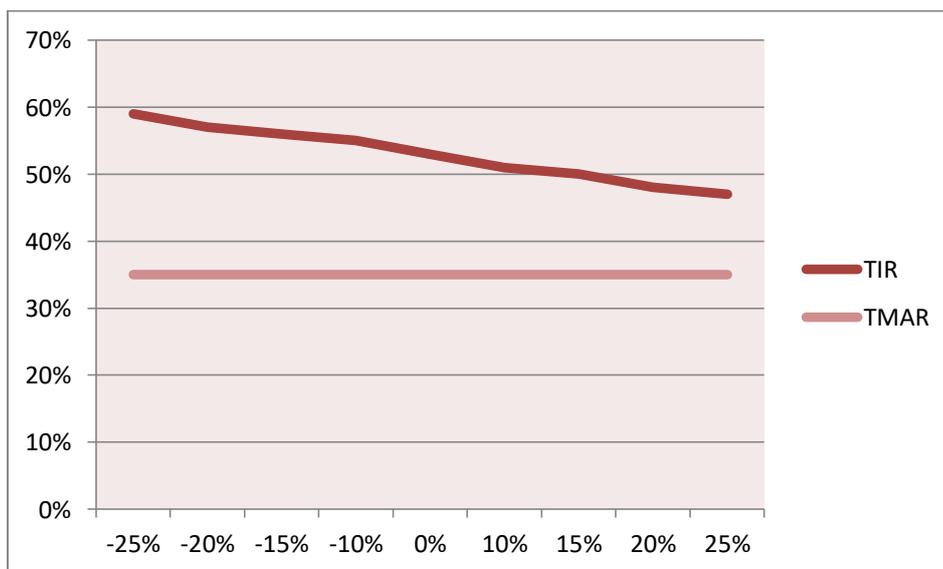


FIGURA 16.12: Variación de la TIR con la mano de obra.

Fuente: Elaboración propia.



16.8 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

A través del presente capítulo sobre el estudio económico financiero del proyecto, se puede concluir que producción de ácido succínico en la ciudad de Villa María con un nivel de elaboración de 1000 toneladas por año es rentable ya que los índices económicos generales de la inversión dan positivos y con un buen margen de riesgo. Dentro de los mismos, se encuentra la TIR con un valor del 53% acompañada con un VAN de \$ 87.382.354 en un periodo de análisis de 10 años y con una relación de beneficio-costos de 1,13.

El proyecto es afrontado por el aporte de un crédito bancario por sistema francés con un monto de \$ 142.970.935,56 a cancelar en 10 años, con una tasa nominal anual fija del 35%, siendo brindado por el Banco de la Nación Argentina.

En cuanto a la sensibilidad del emprendimiento, se puede observar que la variable que más acota al proyecto es el precio de venta del producto, ya que el mismo no debe superar una baja del 10 % para evitar entrar en números negativos revelando una pérdida en la inversión. Por otro lado, el precio de la materia prima es otro factor determinante, pero este posee un margen más amplio debido a que permite un aumento del 20% sin generar pérdidas. Por último, el valor de mano de obra se analizó con la finalidad de observar su influencia en el balance, pero se concluyó que su aporte es demasiado bajo, casi despreciable, debido a que el número de operarios en la industria es acotado.

Por estas razones se concluye que el proyecto es viable, con un período de recupero de la inversión de aproximadamente un año y siete meses, momento en el cual la empresa comenzaría a aumentar sus ingresos y seguir creciendo tanto en el mercado como en una posible ampliación que permita posicionarla en el exterior.



CONCLUSIONES



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

De acuerdo al estudio de mercado se puede concluir que se trata de un producto en pleno crecimiento a nivel mundial, a través de su ruta biológica, con consecuencias meramente favorables a lo que son las nuevas tendencias de mercados productores de compuestos amigables al medio ambiente.

Hoy en día Argentina no participa de este mercado ya que no hay plantas productoras del mismo, por lo que se propone que la elaboración de ácido succínico es una prometedora oportunidad tanto a nivel nacional como internacional, poniendo al país en un puesto de competencia futuro en Latinoamérica.

Es un producto que se genera por un camino biológico, iniciando en este caso desde la glucosa, la cual se obtiene de un elemento renovable como es el maíz, sin dejar de lado que nuestro país es un gran abastecedor de granos en el mercado mundial, por lo que producir a partir de él es una manera de poder seguir sumando valor agregado a nuestra materia prima.

Un factor importante que nos impulsa a seguir con la idea de ser pioneros en la producción de ácido succínico en Argentina es que los números de importaciones y exportaciones del producto en el país nos dejan a la vista un saldo de demanda insatisfecha que se podría cubrir con nuestro abastecimiento nacional y cubrir parte de la demanda de Brasil mediante exportaciones a dicho país.

Para la realización del proyecto se evaluaron varias opciones de ubicación repartidas por la región de mayor producción del país, considerando a cuatro de las provincias más productivas y descartando por beneficios geográficos una a una de las alternativas hasta llegar a elegir la ciudad de Villa María, en territorio cordobés. Siendo esta última una gran oportunidad de inversión, debido a los beneficios tanto provinciales como locales, sin dejar de lado, que es un punto intermedio en nuestra ruta de mercado, minimizando de esta manera los costos de flete, los cuales en nuestro país representan un monto importante a considerar en el balance económico de la empresa.

Desde nuestro análisis económico, podemos concluir que la industria se realizaría con una capacidad suficiente para poder satisfacer la demanda creciente del mercado argentino y aproximadamente un 35% de la demanda insatisfecha de Brasil. A largo plazo (10 años) proponemos un nivel óptimo de producción que no permitiría mantener al mínimo los costos totales para el periodo de ejecución planificado, definiendo al valor de 1000000 kg/año (1000 toneladas) como la capacidad máxima de la planta.



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

La producción de ácido succínico por la vía fermentativa apunta a ser más rentable en los próximos años, que los procesos basados en petróleo. En cuanto a lo que es el proceso en sí, se trató la elección de la cepa que llevará a cabo la fermentación para la generación del producto, resultando la *Actinobacillus Succinogenes* ATCC 55618 la que mejor se apunta en cuanto a condiciones de proceso y rendimientos productivos, demostrando el máximo rendimiento de conversión frente a otras alternativas, con un rendimiento de 1.12 g de ácido succínico por gramo de glucosa.

Sobre el estudio económico financiero del proyecto, se puede concluir que producción de ácido succínico en la ciudad de Villa María con un nivel de elaboración de 1000 toneladas por año es rentable ya que los índices financieros generales de la inversión dan positivos y con un buen margen de riesgo. Dentro de los mismos, se encuentra la TIR con un valor del 53% acompañada con un VAN de \$ 87.382.354 en un periodo de análisis de 10 años y con una relación de beneficio-costos de 1,13.

El proyecto es afrontado por el aporte de un crédito bancario por sistema francés con un monto de \$ 142.970.935,56 a cancelar en 10 años, con una tasa nominal anual fija del 35%, siendo brindado por el Banco de la Nación Argentina.

Por último, se concluye que el proyecto es viable, con un período de recupero de la inversión de aproximadamente un año y siete meses, momento en el cual la empresa comenzaría a aumentar sus ingresos y seguir creciendo tanto en el mercado como en una posible ampliación que permita posicionarla en el exterior.



BIBLIOGRAFÍA



CAPÍTULO 2

- Bioprocessing of Renewable Resources to Commodity Bioproducts - Bisaria, Kondo (2014)
- Bioprocessing Technologies in Biorefinery for Sustainable Production of Fuels, Chemicals and Polymers - Yang, El Enshasy, Thongchul (2013)
- Bio Succinic Acid Production from Glucose- Intratec (2019)
- Código Alimentario Argentino
- Ficha de seguridad Ácido Succínico:
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-8268-MX-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wzNDMwNjN8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oODkvaGE2Lzg5Njk4ODgxMDQ0NzgucGRmfGFjZjlyZjZlYTBlYmI2NzlwY2U3YjI0MWUxOGY1ZGQyMjRjZWMyOGMyOTA4ZmYzNGVhNTdiYTUxNmUwODIiInJA>
- GLUCOVIL. <http://www.glucovil.com.ar>
- <https://genome.jgi.doe.gov/portal/actsu/actsu.home.html>
- <https://www.condalab.com/int/es/peptonas-y-extractos/1752-7173-polipeptona.html>
- http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/extracto_levadura.pdf
- <https://www.ugr.es/~pomif/pom-bac/pb-i/pb-i-2-concepto.htm>
- <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/cloruro-de-sodio/>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_magnesio
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Magnesium-carbonate>
- https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_succ%C3%ADnico
- https://www.biopack.com.ar/ficha_19_acido-succinico-p-a-a-c-s
- <https://www.lifeder.com/acido-succinico/>

CAPÍTULO 3

- American Type Culture Collection: <https://www.atcc.org/>
- ComEX Indec: <https://comex.indec.gov.ar/search>
- ComEX Stat Brasil: <http://comexstat.mdic.gov.br/>
- <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/bio-succinic-acid-market>
- <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/succinic-acid-market-402.html>
- <https://www.alliedmarketresearch.com/bio-succinic-acid-market>
- <https://www.technavio.com/report/global-bio-succinic-acid-market-industry-analysis?tnplus>
- http://www.puntofocal.gov.ar/doc/s277-03_s.pdf
- <https://www.rau.edu.uy/mercosur/faq/pre3.merco.htm>



- <https://visual.ly/community/infographic/science/global-bio-succinic-acid-market-applications-and-geography-size-share>

- Ink Wood Research: <https://www.inkwoodresearch.com/>
- Scavage: <http://scavage.com/>

CAPÍTULO 4

- Google Maps
- “Localización de nuevas instalaciones” Acosta-Mejía, César A.
- <https://www.comafi.com.ar/1812-Los-10-beneficios-fiscales-y-financieros-de-la-nueva-Ley-Pyme.note.aspx>
- <https://www.cronista.com/general/Las-ventajas-de-instalarse-en-un-parque-industrial--19000201-0113.html>
- <http://www.edutecne.utn.edu.ar/transporte/costos.pdf>
- <https://es.slideshare.net/vapp05/mapa-conceptual-factores-de-localizacin>
- http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif36.htm
- <https://www.infobae.com/economia/2016/10/18/cuales-son-los-10-beneficios-de-la-nueva-ley-pyme/>
- <https://www.infobae.com/economia/2016/08/01/empezo-a-regir-la-ley-que-da-beneficios-impositivos-a-pymes-y-empresas-recuperadas/>
- Parque Industrial Río Cuarto: <http://parqueindustrialriocuarto.com/>
- Parque Industrial Villa María: <http://pilt.com.ar/parque-industrial/>

CAPÍTULO 5

- “Capacidad de Planta” - Ing. Pereyra Salazar, Jorge.
- “Evaluación de Proyectos” Sexta edición - Baca Urbina, Gabriel
- <https://www.argentina.gob.ar/>
- “Proyectos de inversión”. Segunda edición - Nassir Sapag, Chain

CAPÍTULO 6

- “Bio-based succinic acid” – Sudeep Vaswani (2010)
- “Biotechnology of succinic acid production and markets for derived industrial products” - J.G. Zeikus, M. K. Jain, P. Elankovan (1999)



- “Biotechnological Production of Succinic Acid by Actinobacillus Succinogenes Using Different Substrate” – Márcio de Barrios, Sindélia Freitas, Giovana S. Padilha, Ranulfo M. Alegre (2013)
- “Continuous Succinic acid Production by Actinobacillus Succinogenes: Suspended Cell and Biofilm Studies in an Anaerobic Slurry Reactor” – Joseph Mundu Mwakio (2012)
- Diseño conceptual y simulación del proceso de producción de ácido succínico por Actinobacillus Succinogenes – Carlos Eduardo Zuluaga Pulgarín, Gabriel Jaime Vargas Betancur. (2017)
- “Producción biotecnológica de ácido succínico: avances y perspectivas” – Rosa Isela Corona González (2015)
- “Producción de ácido succínico por Actinobacillus succinogenes ZT-130 en cultivo por lote alimentado” M. Luisa Espinoza Miranda, Rosa I. Corona González, Zazil Y. Escalante García, J. Pablo García Sandoval y Carlos Pelayo Ortiz (2011)
- “Producción de ácido succínico por Actinobacillus Succinogenes ZT-130 y Providencia Sp. con diferentes fuentes de carbono y desechos agroindustriales” – E.D Gutiérrez López, F. Mejía Cárdenas, C. Pelayo Ortiz, V. González Álvarez, R.I. Corona González, M.P Ríos Gutiérrez.
- “Producción de ácido succínico por la fermentación bacteriana” - Hyohak Song, Sang Yup Lee (2006)
- “Succinic Acid: Technology Development and Commercialization” – Nhuan P. Nghiem, Susanne Kleff, Stefan Schwegmann (2017)
- “Tendencias en el uso de la Biotecnología en el sector químico” – Fedit (2008)
- “Valorización biotecnológica de subproductos/residuos industriales: producción de ácido succínico y ácido láctico” - Marta Ramos Andrés (2015)

CAPÍTULO 7

- “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química” – Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriot – Cuarta edición (1991)
- “Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química” – David Himmelblau – Sexta edición (1997)
- “Problemas de Ingeniería Química, Operaciones Básicas” – Ocon y Tojo
- “Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias” C.J. Geankoplis – Tercera Edición (1998)
- “Procesos de Transferencia de Calor” –Donald Q. Kern (1999)
- Simulador CHEMCAD 7.1.2



CAPÍTULO 8

- Apunte de la cátedra “Biotecnología”
- <http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/34622/6/TFMJoseLuisHerranzGarciaRUO.pdf>
- <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>
- <http://myv-mixing.com.ar/agitadores-verticales/>
- <https://pdf.directindustry.es/pdf-en/lightnin/small-top-entry-portable-mixers-ecl/24564-434211.html>
- <https://www.agitadoresfluidmix.com/agitador-industrial-vts/>
- <https://www.alloywire.es/products/stainless-steel-304/>
- <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Dise%C3%B1o+y+c%C3%A1culo+de+tanques+de+almacenamiento.pdf/cf73a420-13f2-248f-034a-d413cb8a3924>
- http://www.galaxie.com.ar/productos_estandar.php
- <https://www.portal-industrial.com.ar/imprimir/vm-acero-srl/38675/>
- <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/hardware/allen-bradley/drives-and-motors/allen-bradley-industrial-motors/harsh-environment.html>
- <https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motores-para-Aplicaci%C3%B3n-Industrial/Motofreno/W22-Motofreno-IE1-0-37-kW-4P-71-3F-220-240-380-415-460-V-50-Hz-IC411---TEFC---B34T/p/13577519>
- <https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motores-para-Aplicaci%C3%B3n-Industrial/Motofreno/W22-Motofreno/W22-Motofreno-IE1/W22-Motofreno-IE1-0-75-kW-4P-80-3F-220-240-380-415-460-V-50-Hz-IC411---TEFC---B34T/p/13577521>
- https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Reductores-e-Motorreductores/WG20/Motorreductores/Motorreductor-Coaxial-de-Engranaje-Helicoidal/WG20---Motorreductor-Coaxial-de-Engranaje-Helicoidal/p/MKT_WATT_GLOBAL_GEAREDMOTOR_WG20_HELICAL
- <http://www.tecnomills.com.ar/transporte-helicoidal-rsf-dd83361.html>
- <https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motores-para-Aplicaci%C3%B3n-Industrial/Motofreno/W22-Motofreno-IE1-0-37-kW-4P-71-3F-220-240-380-415-460-V-50-Hz-IC411---TEFC---B34T/p/13577519>
- <https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motores-IEC-de-Baja-Tensi%C3%B3n/Usos-General-ODP-TEFC/Usos-General-TEFC-%28Hierro-Gris%29/W22---Usos->



[General-TEFC-%28Hierro-Gris%29/W22-IE1/W22-IE1-3-HP-2P-90L-3F-220-380-V-50-Hz-IC411---TEFC---B14R%28E%29/p/13037737](#)

- <https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motores-IEC-de-Baja-Tensi%C3%B3n/Usos-Generales-ODP-TEFC/Usos-Generales-TEFC-%28Hierro-Gris%29/W22---Usos-Generales-TEFC-%28Hierro-Gris%29/W22-IE2/W22-High-Efficiency-7-5-HP-2P-213-5TC-3F-380-660-V-50-Hz-IC411---TEFC---Con-pies/p/14039184>
- “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”- Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott – (2002)
- “Problemas de Ingeniería Química” – Joaquín Ocon Garcia, Gabriel Tojo Barreiro
- “Procesos de Transferencia de Calor” - Donald Kern (1999)
- “Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias” - C.J. Geankoplis – Tercera edición – (1998).

CAPÍTULO 9

- “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química” – Warren L McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott – Cuarta edición (1991)
- <http://akunfilters.com/index.php/industria-y-aplicaciones/7-tratamiento-de-agua-para-calderas>
- <http://akunfilters.com/index.php/productos/filtros/item/filtros-turbidex>
- <https://akunfilters.com/index.php/productos/osmosis-inversa/item/osmosis-inversa-serie-ak-700>
- http://164.132.44.34/webs/culligan2018/wp-content/uploads/CL_Catalogo-EDI_2012.pdf
- <https://es.slideshare.net/testgrupocomex/tratamientos-del-agua-en-torres-de-refrigeracin>
- <https://exportvacio.com/bomba-de-vacio-becker-paletas-sin-aceite/>
- <https://ecoblue.com.ar/images/archivos/01SLX.pdf>
- <https://favra.com.ar/subcategoria/serie-190>
- <https://www.acondicionamientos.com.ar/tratamiento-de-agua-para-calderas-tratamientos-internos-secundarios-del-agua/>
- <http://www.aquaquimi.com/Paginas/productos%20limpieza/soda-caust-liquida.html>
- <http://www.calderasfontanet.com/es/calderas-industriales/e>
- https://www.nuevaferia.com.ar/company/products/pdf/eqasaic/6383/GENERADOR_DE_AIRE_CALIENTE_61.PDF
- <https://www.nuevaferia.com.ar/m-p.asp?n=Generador-de-aire-caliente.-Mod.-61&i=6383>



- <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/Torre.htm>
- http://www.solucionesmro.com.ar/components/com_catalogo_de_productos/storage/productos/adjuntos/3_Dimensional%20TEA%20FAVRA%20Serie%20190.pdf
- <https://www.spray.com/products/tank-cleaning/tankjet-d41990--tanks-up-to-6-5-ft-dia-->
- https://www.spray.com/-/media/dam/sales-materials/t/tankjet_d41990_tank-cleaning-catalog.pdf
- <https://www.spray.com/products/tank-cleaning/tankjet-23240-2-and-23240-3>
- https://www.spray.com/-/media/dam/sales-materials/t/tankjet_23240_tank-cleaning-catalog.pdf
- http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo_tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf
- <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-pipe-sizing-by-velocity.html>
- <https://www.yumpu.com/es/document/read/41111245/guia-tecnica-de-operacion-y-mantenimiento-para-tratamiento-de->
- <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?custid=BGA&unitsystem=4&qcid=1136458411>

CAPÍTULO 10

- *Brock biology of microorganism* - Madigan, M. T; Martinko J., Parker J., décima edición, (2004)
- Editor Association of Official Analytical cal Chemist cal Chemists (A.O.A.C.) Twelfth William Horwitz
- <https://ibero.mx/campus/publicaciones/quimanal/pdf/practicaslaboratorio.pdf>
- <https://leanmanufacturing10.com/auditoria-de-calidad>
- <http://repositorio.uca.edu.ni/2104/1/UCANI2037.PDF>
- <http://seguridadalimentariaupc.blogspot.com/2009/09/1.html>
- <https://sinais.es/control-de-calidad-en-el-proceso-industrial/>
- <https://sites.google.com/site/exposiciondecontrol/tecnicas-de-control>
- https://www.academia.edu/11644462/%C3%81rea_superficial_del_carb%C3%B3n_activado_usando_la_isoterma_de_adsorc%C3%B3n_de_Langmuir?auto=download
- <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/plan-de-calidad#:~:text=Seg%C3%BAAn%20la%20norma%20UNE%2DEN,producto%2C%20proceso%20o%20contrato%20espec%C3%ADfico.>



PROYECTO FINAL - INGENIERÍA QUÍMICA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SUCCÍNICO

- <http://www.aguilafumigaciones.com.ar/bpm.php#:~:text=Todo%20el%20personal%20que%20est%C3%A9,de%20materias%20primas%20y%20alimentos.>
- http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_I/files/assets/basic-html/page152.html
- http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_I/files/assets/basic-html/page156.html
- http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_I/files/assets/basic-html/page167.html
- http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_I/files/assets/basic-html/page318.html
- http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_I/files/assets/basic-html/page158.html
- http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_I/files/assets/basic-html/page143.html
- http://www.anmat.gov.ar/portafolio_educativo/Capitulo4.asp
- http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_II/files/assets/basic-html/page840.html
- http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_II/files/assets/basic-html/page840.html
- <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/gestion-y-control-de-la-calidad/>
- https://www.merckmillipore.com/AR/es/product/Succinic-acid,MDA_CHEM-100682?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F
- <https://www.portalcalidad.com/articulos/53-como-hace-plan-control-calidad>
- https://www.researchgate.net/publication/235433422_Identificacion_y_cuantificacion_por_HPLC_de_los_acidos_organicos_mayoritarios_en_frutas
- <https://www.webyempresas.com/plan-de-control-de-calidad/#:~:text=Un%20plan%20de%20control%20de%20calidad%20es%20un%20documento%20donde,son%20los%20encargados%20de%20ejecutarlo.>
- <https://www.zelian.com.ar/autoclave-vertical-semi-automatico-de-acero-inox-de-50-lts-marca-numak-modelo-zx-50kbs--det--EQL-00620>
- http://www.hannaarg.com/productos.php?id_productos=57581&accion=detalles



- <https://www.memmert.com/fileadmin/products/documents/categories/BR-Estufas-espanol-D10027.pdf>
- http://www.hannaarg.com/productos.php?id_productos=57347&accion=detalles
- <https://www.anton-paar.com/mx-es/productos/detalles/densimetro-dmatm-5000-m/>
- <https://www.clinicord.com/wp-content/uploads/pdfs/Ficha-Tecnica-Microscopio-Binocular-URA-107.pdf>
- <https://www.hannainst.es/parametros/5407-turbidimetro-fotometro-portatil-turbidez-cloro-libre-y-total-salida-usb-rs232.html>
- <https://www.pce-iberica.es/Catalogo/catalogo-balanzas-de-precision.pdf>
- <https://www.medicaexpo.es/prod/ohaus/product-86473-857765.html>

CAPÍTULO 11

- “Caracterización de aguas residuales” - Ramalho (1996)
- https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/segumar/a13-3/material/Efluentes_higiene.pdf
- <https://es.slideshare.net/ArmandoEmilioPoujolC/modelo-para-construccion-de-lagunas-de-estabilizacion>
- <https://www.aquaturbo.com/es/productos/aeration/aer-as.html>
- <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Oxigeno%20disuelto%20f.pdf>
- “Ingeniería de las reacciones químicas” - Levenspiel Octave (1998)

CAPÍTULO 12

- <https://automatizacionmeta.wordpress.com/2014/05/03/montajes-y-cableado-tableros-electricos/>
- <https://www.topcable.com/sites/es-lat/cables-para-instalaciones-industriales/>
- <https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/como-conectar-toma-corriente>
- <https://www.directindustry.es/prod/eaton/product-5067-1889604.html>
- <https://www.dagartech.com/es/aplicaciones/industria>
- Bryan Salazar López, 2016.

CAPÍTULO 13

- Fundamentos de Organización Industrial - Hector Castillejos Jimenez (2012)
- <http://www.ftiasistema.com.ar/uploads/descargas/1b6e68d95d42d6b0941afbb9a7382297296d3263.pdf>



- <http://www.ley19550.com.ar/>
- <https://www.educaweb.com/profesion/director-investigacion-desarrollo>

CAPÍTULO 14

- <https://www.emerson.com/es-es/automation/measurement-instrumentation/temperature-measurement/about-temperature-transmitters>
- <https://www.danfoss.com/es-es/products/sensors-and-transmitters/dcs/industrial-pressure-transmitters/>
- <https://www.burkert.es/es/products/valvulas-de-proceso-y-de-control>
- <http://www.euroinstruments.com.ec/wp-content/uploads/2016/01/Medicion-de-Flujo-Endress-Hausser.pdf>
- <https://www.ar.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/transmisor-presion-diferencial>

CAPÍTULO 15

- Consideraciones para el diseño de laboratorios en la industria química. Rodríguez Méndez, Manuel y Cárcel Carrasco, Francisco Javier. Revista de investigación 3 ciencias: Área de investigación y desarrollo.
- “Administración de las organizaciones” - 2013 - Krajewski, Lee y Ritzman Larry -8va edición.

CAPÍTULO 16

- Andía Valencia, Walter. 2010. Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el Valor Actual Neto (VAN). S.I: Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, 2010.
- Baca Urbina, Gabriel. 1995. Evaluación de proyectos. México: McGraw Hill, 1995.
- <https://www.bna.com.ar/Empresas>
- <https://debitoor.es/glosario/activo-fijo>
- <https://debitoor.es/guia-pequenas-empresas/contabilidad/activos-amortizacion-y-depreciacion>
- <https://economipedia.com/definiciones/coste-total.html>
- <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>



ANEXO 1
TÉCNICAS DE CALIDAD



- **Técnica N°1: N°160 Farmacopea Argentina “Determinación de la densidad”**

A menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente, la determinación de la densidad relativa se realiza a 20 °C.

Procedimiento: Emplear un picnómetro perfectamente seco. Determinar el peso del picnómetro vacío y el peso de agua contenida en el picnómetro, recientemente hervida y enfriada a 20 °C. Al peso obtenido, sustraer el peso del picnómetro vacío. Llenar el picnómetro con la sustancia a ensayar a 20 °C. Ajustar la temperatura del picnómetro lleno a la misma temperatura, eliminar el exceso de líquido y pesar. Al peso obtenido, sustraer el peso del picnómetro vacío. Si el picnómetro contiene menos de 20 ml, las pesadas deben efectuarse con una aproximación de $\pm 0,001$ g; y si contiene más de 20 ml, con una aproximación de $\pm 0,01$ g.

A menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente, la densidad relativa de la sustancia es el cociente entre el peso de la sustancia contenida en el picnómetro menos el peso del picnómetro vacío y el peso de agua contenida en el mismo menos el peso del picnómetro vacío.

- **Técnica N°2: N°190 Farmacopea Argentina “Determinación de la viscosidad”**

Materiales y Reactivos

Solución de muestra. Filtrar 100,0 g de la muestra a examinar pasándola a través de un filtro de vidrio sinterizado. Descartar los primeros 10 ml.

El equipo que se utiliza es un viscosímetro de nivel suspendido (Ubbelohde). Constante del viscosímetro: 0,005 mm²/s², viscosidad cinemática entre 1-5 mm²/s, diámetro interno del tubo (R) 0,53 mm, volumen del bulbo (C) 5,6 ml, diámetro interno del tubo (N) 2,8-3,2 mm.

Procedimiento

Determinar el tiempo de flujo para la solución de muestra a $25,00 \pm 0,03$ °C. Emplear un viscosímetro de nivel suspendido apropiado con el extremo capilar inferior en forma de embudo. Emplear el mismo viscosímetro en todas las mediciones, medir los tiempos de flujo de salida al menos por triplicado.

El tiempo de flujo es el tiempo requerido para que el nivel de líquido fluya de una marca a la otra, medido con un cronómetro con una precisión de 1/5 de segundo. El resultado es válido solo si dos mediciones consecutivas no difieren en más de 1%. El promedio de todas las mediciones realizadas es el tiempo de flujo del líquido analizado.



Resultados

Calcular la viscosidad dinámica en mPa.s (cp) empleando la siguiente fórmula:

$$\eta = k \cdot \rho \cdot t$$

Dónde:

k: constante del viscosímetro (mm²/s²).

ρ : densidad del líquido examinado obtenida como múltiplo de su densidad relativa por 0,998 (mg/mm³).

t: tiempo de flujo del líquido examinado (s).

- **Técnica N°3: N°250 Farmacopea Argentina “Determinación de pH”**

El pH es un índice numérico que se emplea para expresar el grado de acidez o alcalinidad de una solución. La determinación del pH se realiza empleando un medidor de pH, calibrado y capaz de reproducir valores de pH con variaciones menores a 0,02 unidades de pH, empleando un electrodo indicador sensible a la actividad del ion hidrógeno, como el electrodo de vidrio, y un electrodo de referencia apropiado, como por ej., calomel o plata-cloruro de plata. La determinación del pH se realiza mediante la medición de la diferencia de potencial entre el par de electrodos.

Soluciones buffer de referencia

Todas las soluciones a examinar y los buffers de referencia deben prepararse empleando agua libre de dióxido de carbono. Las soluciones buffer deben almacenarse en envases químicamente resistentes, de cierre perfecto, y emplearse dentro de los 3 meses de preparadas.

- Tetraoxalato de potasio 0,05 M (pH 1,68 a 20 °C): disolver 12,61 g de KH₃(C₂O₄)₂·2H₂O en agua hasta obtener 1 litro.
- Biftalato de potasio 0,05 M (pH 4,00 a 20 °C): Disolver 10,21 g de KHC₈H₄O₄, previamente secado a 110 °C durante 1 hora, en agua hasta obtener 1 litro.
- Fosfato equimolar 0,05 M (pH 6,88 a 20 °C): Disolver 3,53 g de Na₂HPO₄ y 3,39 g de KH₂PO₄, previamente secados a 120 °C durante 2 horas, en agua hasta obtener 1 litro.
- Tetraborato de sodio 0,01 M (pH 9,23 a 20 °C): Disolver 3,80 g de Na₂B₄O₇·10H₂O en agua hasta obtener 1 litro. Proteger de la absorción de dióxido de carbono.



Procedimiento

Las mediciones se hacen a 25 ± 2 °C, a menos que se especifique de otro modo para una sustancia en particular. Es recomendable emplear un medidor de pH que incluya corrección por temperatura.

El medidor se calibra con una solución buffer de biftalato de potasio y otra solución buffer a diferente pH. Se mide el pH de una tercera solución buffer a un pH intermedio entre las dos anteriores, y la lectura obtenida no debe diferir en más de 0,05 unidades de pH del valor correspondiente a dicha solución. Sumergir los electrodos en la solución a examinar y registrar la lectura en las mismas condiciones que para las soluciones buffer.

Si el equipo se emplea frecuentemente, los controles deben realizarse periódicamente. Si no, la calibración debe realizarse antes de realizar cada medición.

Muestra líquida: Efectuar la medición luego de calibrar el equipo sumergiendo los electrodos en la misma. De ser necesario emplear agua libre de dióxido de carbono para diluir la muestra.

Muestra sólida: Disolver la sustancia a examinar en agua libre de dióxido de carbono hasta obtener una solución con una cantidad equivalente a 5 mg de sustancia seca por mililitro.

- **Técnica N°4: Farmacopea Europea “Determinación de Sulfitos”**

Se determina el contenido de sulfitos por un método enzimático en función de las siguientes reacciones. El sulfito es oxidado por sulfito oxidasa a sulfato y peróxido de hidrógeno que a su vez se reduce por nicotinamida-adenina-dinucleótido-peroxidasa en presencia de nicotinamida dinucleótido reducida-adenina (NADH). La cantidad de NADH oxidada es proporcional a la cantidad de sulfito.

Materiales y reactivos

Kit para la determinación de sulfito, cubetas de 10 mm, y un espectrofotómetro.

Preparación de la muestra: Disolver 4 g de la sustancia a examinar en agua destilada recién preparada y diluir a 10,0 ml con el mismo disolvente.

Solución de referencia: Disolver 4 g de la sustancia a examinar en agua destilada recién preparada, añadir 0,5 ml de la solución patrón de sulfito (80 ppm SO₂) y diluir hasta 10,0 ml con agua destilada recién preparada.

Preparación del blanco: Agua destilada solución recién preparada.



Método

Por separado introducir 2,0 ml de la solución de muestra, la solución de referencia y el blanco en cubetas de 10 mm y añadir los reactivos como se describe en las instrucciones en el kit para la determinación de sulfito.

Resultado

Medir la absorbancia en el máximo de absorción a aproximadamente 340 nm antes y al final del tiempo de reacción y restar el valor obtenido con el blanco.

- **Técnica N°5: N°680 Farmacopea Argentina “Pérdida por secado”**

El procedimiento establecido en este ensayo se emplea para determinar la cantidad de materia volátil de cualquier naturaleza que se elimina bajo las condiciones especificadas. Para las sustancias que únicamente contienen agua como constituyente volátil, proceder según se indica en < 120 >. Determinación de agua

Homogeneizar y pesar exactamente la muestra y, a menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente, llevar a cabo la determinación sobre 1 a 2 g de la misma. Pesar un pesafiltro previamente secado durante 30 minutos y colocar la muestra en el mismo.

Distribuir la muestra lo más uniformemente posible, agitando suavemente el pesafiltro de modo que se forme una capa de 5 mm de espesor aproximadamente y no más de 10 mm en el caso de materiales voluminosos. Tapar y colocar el pesafiltro en la cámara de secado. Secar la muestra a la temperatura y durante el tiempo especificado en la monografía correspondiente. Abrir la cámara, tapar el pesafiltro rápidamente y llevarlo a temperatura ambiente en un desecador antes de pesar.

Para muestras que fundan a una temperatura inferior a la especificada para la determinación de Pérdida por secado, mantener el pesafiltro con su contenido durante 1 ó 2 horas a una temperatura 5 a 10 °C por debajo de la temperatura de fusión y luego secar a la temperatura especificada.

Para muestras contenidas en cápsulas, emplear el contenido de no menos de cuatro unidades. Si son comprimidos, emplear una muestra del polvo obtenido a partir de no menos de cuatro unidades finamente pulverizadas.

Si la monografía correspondiente establece:

a: pérdida por secado mediante análisis termogravimétrico, emplear una termobalanza.

b: secado al vacío sobre un desecante o secado en un desecador, emplear un desecador de vacío, una pistola de secado al vacío u otro aparato apropiado de secado al vacío, teniendo las



precauciones necesarias para asegurar que el desecante se mantenga activo reemplazándolo frecuentemente.

c: secado en un pesafiltro con tapa provista de un capilar, emplear un pesafiltro o tubo equipado con una tapa provista de un capilar de un diámetro de $225 \pm 25 \mu\text{m}$ y mantener la cámara de calentamiento a una presión de 5 mm Hg o menor. El pesafiltro debe permanecer tapado durante toda la determinación.

Al finalizar el período de calentamiento, llenar la cámara de calentamiento con aire seco, retirar el pesafiltro y con la tapa colocada dejarlo enfriar en un desecador antes de pesar.

- **Técnica N°6: Farmacopea “Determinación de cenizas”**

Pesar exactamente una cantidad de muestra, obtenida según se indica en Muestreo, que represente de 2 a 4 g del material; molerla para que pase a través de un tamiz N° 20 y secarla al aire en un crisol previamente pesado.

Someter a calcinación, suavemente al principio, y aumentar gradualmente la temperatura hasta $675 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Continuar la calcinación hasta eliminar el residuo carbonoso y determinar el peso de las cenizas. Si de esta forma no se obtienen cenizas libres de residuo carbonoso, extraer la masa carbonizada con agua caliente. Recolectar el residuo insoluble en un papel de filtro libre de cenizas, calcinar el residuo y el papel de filtro hasta que las cenizas sean blancas o casi blancas.

Luego, agregar el filtrado, evaporarlo hasta sequedad y calentar a $675 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Si de esta forma no se obtienen cenizas libres de residuo carbonoso, enfriar el crisol, agregar 15 ml de alcohol, disgregar las cenizas con una varilla de vidrio, quemar el alcohol y calentar nuevamente a $675 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Enfriar en un desecador, pesar las cenizas y calcular el porcentaje de cenizas totales a partir de la cantidad de droga empleada.

- **Técnica N°7: N°200 Farmacopea Argentina “Determinación de Nitrógeno”**

Método I

En ausencia de nitratos y nitritos: Transferir aproximadamente 1 g de la sustancia en ensayo, exactamente pesada, a un balón de Kjeldahl, de vidrio duro al borosilicato, de 500 ml. Si la sustancia en ensayo es sólida o semisólida, envolverla en una hoja de papel de filtro exento de nitrógeno para poder introducirla fácilmente en el balón. Agregar 10 g de sulfato de potasio pulverizado o de sulfato de sodio anhidro, 0,5 g de sulfato cúprico pulverizado y 20 ml de ácido sulfúrico. Inclinar el balón con un ángulo de aproximadamente 45° y calentar suavemente, manteniendo la temperatura por debajo



del punto de ebullición de la mezcla hasta que no se produzca espuma. Aumentar la temperatura gradualmente hasta ebullición y continuar calentando hasta que la solución presente un color verde claro o casi incoloro y luego continuar el calentamiento durante 30 minutos. Dejar enfriar, agregar de a poco 150 ml de agua, mezclar cuidadosamente y enfriar nuevamente. Agregar con precaución 100 ml de hidróxido de sodio al 40 %, dejándolo resbalar por la pared interna del balón, de tal manera que forme una capa por debajo de la solución ácida. Agregar trozos de cinc granulado y conectar el balón por medio de una ampolla de Kjeldahl, con un refrigerante cuyo extremo libre esté sumergido en 100 ml de una solución de ácido bórico al 4 %, contenida en un Erlenmeyer de 500 ml. Mezclar suavemente el contenido del balón de Kjeldahl y destilar hasta que hayan pasado aproximadamente las dos terceras partes del líquido. Agregar al destilado cinco gotas de solución de rojo de metilo (SR) como indicador y valorar el exceso de ácido con hidróxido de sodio 0,5 N (SV). Realizar una determinación con un blanco y hacer las correcciones necesarias. Cada mililitro de ácido clorhídrico o sulfúrico 0,5 N equivale a 7,004 mg de nitrógeno. Cuando el contenido en nitrógeno es bajo, el ácido clorhídrico o sulfúrico 0,5 N debe ser reemplazado por una solución 0,1 N y el exceso se debe valorar con solución alcalina 0,1 N. Cada Mililitro de ácido clorhídrico o sulfúrico 0,1 N equivale a 1,4008 mg de nitrógeno. En presencia de nitritos y nitratos.

Transferir una cantidad de sustancia, exactamente pesada, equivalente a 0,15 g de nitrógeno a un balón de Kjeldahl al borosilicato de 500 ml. Agregar 25 ml de ácido sulfúrico que contengan 1 g de ácido salicílico disuelto. Mezclar cuidadosamente el contenido del balón y dejar reposar la mezcla durante 30 minutos; agitando frecuentemente. Agregar a la mezcla 5 g de tiosulfato de sodio pulverizado y mezclar. Agregar 0,5 g de sulfato cúprico pulverizado y proceder según se indica en: En ausencia de nitratos y nitritos, comenzando donde dice "inclinarse el balón con un ángulo de aproximadamente 45°".

Método II

Aparato: Debe construirse completamente con vidrio duro. El balón de digestión y destilación A, es un balón de 200 ml, con un cuello de aproximadamente 12 cm de largo. El generador de vapor B, es un balón de Kjeldahl de 1 litro. La alargadera de destilación C, sirve para retener gotitas y para introducir el álcali y el vapor en el balón A. El tubo D, provisto de un embudo en su extremo superior; sirve como válvula de seguridad para el balón B y permite la reposición de agua. El tubo de salida I, tiene un orificio en el punto K para evitar obstrucciones por el vapor que se condensa. El refrigerante L, tiene una camisa de 30 a 40 cm de largo y está dispuesto de modo que la extremidad inferior del tubo refrigerante J, cortada a bisel, se sumerja en la solución del recipiente de absorción



M, el cual tiene una capacidad de 250 a 300 ml. En caso de no poseer uniones esmeriladas emplear tapón de goma. El tapón de goma, empleado para unir el balón de digestión al aparato de destilación, debe lubricarse con glicerina. Todo el material de goma empleado debe hervirse, durante 10 minutos, en una mezcla de hidróxido de sodio (SR) y agua (50:50) y lavarse abundantemente con agua hasta reacción neutra antes de emplearse por primera vez.

- **Técnica N°8: N°120 Farmacopea Argentina “Determinación de Agua”**

Los métodos utilizados para la determinación de agua se basan en la reacción de Karl Fischer y en la destilación azeotrópica con tolueno. A menos que se especifique de otro modo se emplea el método de titulación volumétrica directa por el método de Karl Fischer.

Método de Karl Fischer

La determinación de agua por dicho método se basa en la reacción cuantitativa entre el agua y un reactivo constituido por dióxido de azufre y yodo en presencia de metanol y una base orgánica como la piridina, según la siguiente ecuación:



Existen dos métodos diferentes basados en la reacción con el yodo: uno es la titulación volumétrica y el otro es un método de titulación coulombimétrica. En el primero, el yodo se disuelve en el reactivo y el contenido de agua es determinado midiendo la cantidad de yodo consumido como resultado de la reacción con el agua. En el otro, el yodo es producido por la electrólisis de un reactivo de Karl Fischer que contiene al ion yoduro y el contenido de agua en la muestra se determina midiendo la cantidad de electricidad que se requiere para la producción de yodo durante la titulación. A continuación, se detalla el método de la titulación volumétrica ya que es el más utilizado. Para más información del otro método ver el libro de Farmacopea- volumen 1.

Titulación volumétrica directa

Materiales y reactivos

Buretas automáticas, un frasco de titulación, un agitador y un equipo para titulaciones amperométricas a voltaje constante o titulaciones potenciométricas a corriente constante. Desecantes (como por ej.: cloruro de calcio anhidro o gel de sílice), reactivo de Karl Fischer comercial o preparado (para este último caso, ver los reactivos necesario correspondiente descriptos en cada método), metanol, tartrato de sodio.



Reactivo de Karl Fischer: Puede emplearse reactivos comerciales o prepararse por cualquiera de los métodos indicados a continuación. Cabe aclarar que el cloroformo y el metanol empleados para la preparación del reactivo deben tener un contenido de agua inferior a 0,1 mg por ml.

a) Método 1: Disolver 63 g de yodo en 100 ml de piridina, con un contenido de agua inferior a 1 mg por ml, enfriar la solución en baño de hielo y hacer pasar dióxido de azufre seco a través de esta solución hasta que el aumento de peso sea de 32 g. Llevar a 500 ml agregando cloroformo o metanol y dejar en reposo durante no menos de 24 horas antes de usar.

b) Método 2: Disolver 102 g de imidazol, con un contenido de agua inferior a 0,1 %, en 350 ml de metilcellosolve o éter monometílico dietilenglicol, enfriar la solución en baño de hielo y hacer pasar dióxido de azufre seco a través de esta solución hasta que el aumento de peso sea de 64 g, manteniendo la temperatura entre 25 y 30 °C.

Disolver 50 g de iodo en esta solución y dejar en reposo durante no menos de 24 horas antes de usar.

c) Método 3: Hacer pasar dióxido de azufre a través de 150 ml de metilcellosolve hasta que el aumento de peso sea de 32 g. A esta solución, previamente enfriada en un baño de hielo, agregar 250 ml de metilcellosolve o cloroformo que contiene 81 g de 2- metilaminopiridina, con un contenido de agua inferior a 1 mg por ml. Disolver 36 g de iodo en esta solución y dejar en reposo durante no menos de 24 horas antes de usar.

El reactivo de Karl Fischer, preparado por cualquiera de estos métodos, debe estandarizarse antes de cada uso, porque su actividad para la determinación de agua cambia con el tiempo.

Almacenar el reactivo en un sitio frío, protegido de la luz y la humedad.

Estandarización del reactivo de Karl Fisher: Transferir una cantidad apropiada de metanol al frasco de titulación seco y titular el solvente con reactivo de Karl Fischer hasta alcanzar el punto final. Luego agregar rápidamente 30 mg de agua, exactamente pesados, a la solución en el frasco y titular el agua con el reactivo de Karl Fischer, con agitación enérgica, hasta alcanzar el punto final. Calcular el factor de equivalencia (f) correspondiente a la cantidad de agua, en mg por ml de reactivo, por la fórmula siguiente:

$$f=P/V$$

En la cual P es la cantidad de agua tomada (mg), y V es el volumen de reactivo de Karl Fischer (ml) consumido para la titulación del agua.

Para la determinación de cantidades de agua menores a 1 %, el reactivo puede estandarizarse con tartrato de sodio según se indica a continuación. Transferir una cantidad apropiada de metanol



al frasco de titulación seco y titular el solvente con reactivo de Karl Fischer hasta alcanzar el punto final. Agregar rápidamente 150 a 350 mg de tartrato de sodio ($C_4H_4Na_2O_6 \cdot 2H_2O$) exactamente pesados, y titular hasta alcanzar el punto final. Calcular el factor de equivalencia (f) correspondiente a la cantidad de agua, en mg por ml de reactivo, por la fórmula siguiente:

$$f = 2x \left(\frac{18.02}{230.08} \right) * \left(\frac{P}{V} \right)$$

En la cual 18,02 y 230,08 son los pesos moleculares del agua y del tartrato de sodio dihidratado, respectivamente, P es el peso (mg) del tartrato de sodio dihidratado y V es el volumen (ml) de reactivo consumido para la titulación del agua.

Procedimiento

En general, la titulación de agua con reactivo de Karl Fischer debería llevarse a cabo a la misma temperatura que se hizo la estandarización y evitando la humedad atmosférica.

Transferir una cantidad apropiada de metanol al frasco de titulación seco y titular el solvente con reactivo de Karl Fischer hasta el punto final. Tomar una cantidad de muestra, exactamente pesada, que contenga entre 5 y 30 mg de agua, transferirla rápidamente al frasco de titulación, disolver agitando y titular la solución, con agitación enérgica, hasta alcanzar el punto final.

Si la muestra es insoluble, reducir a polvo fino rápidamente, pesar exactamente una cantidad apropiada de la muestra con un contenido de agua estimado entre 5 y 30 mg y transferirla rápidamente al frasco de titulación. Agitar la mezcla entre 5 y 30 minutos, protegiendo de la humedad, y titular con agitación enérgica. Aunque el procedimiento de titulación debería llevarse a cabo bajo condiciones de baja humedad, si el efecto de la humedad atmosférica no puede evitarse, como por ej. si se requiere un tiempo largo de extracción y titulación, debe realizarse una titulación con un blanco, bajo las mismas condiciones empleadas para la muestra, y hacer las correcciones necesarias.

Resultado

El aparato se equipa con un resistor variable en el circuito y este resistor se manipula para mantener un voltaje constante entre los dos electrodos de platino sumergidos en la solución a ser titulada, midiéndose la variación de intensidad de corriente (titulación amperométrica a voltaje constante). Durante la titulación, la intensidad de corriente en el circuito varía notablemente, pero



vuelve al valor original en pocos segundos. Al final de la titulación, la corriente permanece fija en un valor durante un tiempo generalmente mayor a 30 segundos.

Este estado se designa como el punto final de la titulación. Adicionalmente, el reactivo de Karl Fischer proporciona un indicador visual del punto final, dado el color característico que produce el exceso de yodo en la solución que se está titulando. De otra manera, la manipulación del resistor sirve para pasar una corriente definida entre los dos electrodos de platino, midiéndose la variación de potencial (titulaciones potenciométricas a intensidad constante). Con el progreso de la titulación, el valor indicado por el potenciómetro disminuye repentinamente desde un estado de polarización de varios centenares de mV al estado de no polarización, pero vuelve al valor original en pocos segundos. Al final de la titulación, el estado de no polarización persiste por un tiempo generalmente mayor de 30 segundos. Este estado se designa como el punto final de la titulación.

Calcular el porcentaje de agua presente en la muestra, por la fórmula siguiente:

$$\%_{H_2O} = \left(\frac{V * f}{P} \right) * 100$$

En la cual V es el volumen de reactivo de Karl Fischer (ml) consumido para la titulación, f es el factor del reactivo de Karl Fischer (mg de agua por ml de reactivo), y P es la cantidad de muestra (mg) pesada para la determinación.

- **Técnica N°9: “Titulación de HCl y NaOH”**

Materiales:

- 1 vidrio de reloj
- 1 espátula
- 3 vasos de precipitados de 250 ml
- 1 probeta de 50 ml
- 1 bureta graduada de 50 ml
- 1 electrodo indicador de pH
- Pinzas para bureta
- Papel milimétrico
- Piseta



Reactivos:

- Soluciones de HCl y NaOH
- Carbonato de potasio
- Biftalato de potasio
- Fenolftaleína
- Anaranjado de metilo
- Soluciones buffer para calibrar el pHmetro de pH 4, de 7 y de 10 II.

Titulación de HCl 0.1 N = 0.1 M 1.

Se coloca en la estufa el K_2CO_3 a secar ($120\text{ }^\circ\text{C}$, 1 hora). Se pesan 0.106 g de K_2CO_3 por triplicado. (Pesarlo rápido pues la sal se humedece inmediatamente). La sal se coloca en un vaso de precipitados y se ajusta el volumen con agua a 100 ml aproximadamente. Añadir de 2 a 3 gotas de anaranjado de metilo (0.1% en etanol). Introducir en esta solución un electrodo indicador de pH. Colocar la solución de HCl que se va a valorar en la bureta y añadir de ml a ml a la solución de carbonato, anotando el pH después de cada adición. Anotar el volumen de titulante gastado hasta el momento en que el color de la solución cambie de amarillo a canela. Completar la titulación hasta completar los 50 ml. Repite la titulación dos veces más sin medir el pH y deteniéndola al vire de color del indicador, anota los ml gastados con exactitud.

- **Técnica N°10: Farmacopea Europea “Determinación del poder de absorción del carbón activado”**

Materiales y reactivos

Erlenmeyer con tapón de vidrio esmerilado, filtros, agua pura, bromuro de potasio, ácido clorhídrico diluido, rojo de metilo, bromato de potasio, fenazona.

Blanco: Llevar a cabo una valoración en blanco utilizando 10,0 ml de la solución fenazona.

Método

Pesar 0,3 g de la muestra en un Erlenmeyer con tapón de vidrio esmerilado de 100 ml y añadir 25,0 ml de una solución recién preparada con 0,5 g de fenazona en 50 ml de agua pura. Agitar durante 15 min, filtrar y rechazar los primeros 5 ml del filtrado. Para 10,0 ml del filtrado añadir 1,0 g de bromuro de potasio y 20 ml de ácido clorhídrico diluido. Usar 0,1 ml de solución de rojo de metilo como indicador. Titula con bromato de potasio 0,0167 M hasta que desaparece el color rojo.



Resultado

Calcular la cantidad de fenazona adsorbido (q) por 100 g de carbón activado a partir de la siguiente expresión:

$$q = \frac{2.353 * (a - b)}{m}$$

Donde a es el volumen de bromato de potasio 0.0167 M usado en la titulación del blanco (ml); b es el volumen de bromato de potasio 0.0167 M usado en la titulación de la muestra (ml); y m es la masa en gramo de la sustancia examinada.

- **Técnica N°11: N° 786 Farmacopea estadounidense “Estimación de la distribución del tamaño de partícula por tamizado analítico”**

El tamizado mecánico es el método recomendado si la mayoría de las partículas superan los 75 μm aproximadamente. En términos farmacéuticos, este es el método de preferencia para clasificar polvos o gránulos sin mezclas más gruesos. Es especialmente atractivo ya que tanto los polvos como los gránulos se clasifican solamente en función del tamaño de partícula y en la mayoría de los casos el análisis se puede efectuar con el material seco.

El método está destinado a estimar la distribución del tamaño de partícula total de un material sin mezclar. Se debe tamizar en condiciones tales que no generen ni pérdida ni aumento del contenido de humedad de la muestra. Controlar la humedad relativa del ambiente del lugar donde se efectúa el tamizado de forma de impedir que la muestra absorba o pierda humedad.

Equipo. Tamices analíticos que cumplan con la norma ISO 3310-1, de acero inoxidable, con aberturas nominales 250, 200, 125, 100 y 50 μm . Emplear un método de agitación mecánica o electromagnética.

Muestra de prueba

Ácido succínico: Emplear una muestra de 5 g, y realizar el análisis en un ambiente con humedad controlada.

Carbón activado: Emplear una muestra de 25 g, y agregar 0.5 % de un agente antiestático, como dióxido de silicio coloidal u óxido de aluminio.



Determinación del punto final

El tamizado analítico se da por concluido cuando el peso de cualquiera de los tamices no presenta variaciones de más de 5 % del peso previo obtenido en ese mismo tamiz. Si en uno de los tamices de encuentra más del 50% del peso total de la muestra, repetir la prueba agregando a ese conjunto de tamices un tamiz de orificios más grandes, de tamaño intermedio entre el tamaño del tamiz que contiene el exceso de peso y el siguiente tamiz en el orden del grupo original, es decir, agregando el tamiz de la serie ISO omitido en el conjunto.

Procedimiento: Método de Tamizado en Seco

Tarar cada tamiz con una aproximación de 0.1 g. Colocar una cantidad de la muestra de prueba pesada con exactitud en el tamiz superior y tapar. Agitar mecánicamente el conjunto de tamices durante 5 minutos. A continuación, desmontar cuidadosamente cada tamiz del conjunto de tamices sin que haya pérdida de material. Volver a pesar cada tamiz y determinar el peso del material en cada uno de ellos. Determina el peso del material utilizando una bandeja recolectora u otro adminículo similar para recolectar el material. Volver a montar el conjunto de tamices y agitar durante 5 minutos. Desmontar y pesar cada uno de los tamices como se describió anteriormente. Repetir los pasos hasta obtener los resultados del punto final. Una vez completado el análisis, conciliar los pesos del material. Las pérdidas totales no exceden de 5 % del peso de la muestra original.

Repetir el análisis con una muestra nueva, pero usando un solo tiempo de tamizado igual a la sumatoria de los tiempos mencionados anteriormente. Confirma que este tiempo de tamizado cumple con los requisitos de la determinación del punto final. Una vez validado el punto final para un material específico, ese tiempo único de tamizado fijado se puede usar en los próximos análisis, siempre y cuando la distribución de tamaño de partícula este comprendida dentro de los límites de la variación normal.

Resultados

Los datos sin procesar deben incluir el peso de la muestra en análisis, el tiempo total de tamizado y la descripción precisa de la metodología de tamizado empleada, así como los valores fijados para todo parámetro variable, además de los pesos del material retenido en cada tamiz individual y del peso en la bandeja. En algunos casos se recomienda convertir estos datos en una distribución acumulativa del peso y, si se desea expresar la distribución en términos del peso acumulado de partículas de tamaño inferior al esperado, el intervalo de tamices empleados debe incluir un tamiz



por cuyos orificios pasa todo el material. Si se observan indicios de que el material retenido en los tamices está compuesto por agregados formados durante el proceso de tamizado, el análisis no es válido.

La clasificación de la finura de polvos se efectúa determinando la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual pasa una cantidad determinada del material en estudio. Los resultados se informan de la siguiente manera:

d90 = la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual pasa una cantidad igual o superior al 90% del material.

d50 = la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual pasa una cantidad igual o superior al 50% del material.

d10 = la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual pasa una cantidad igual o superior al 10% del material.

Procedimiento: Prueba de conteo de partículas por obstrucción de luz

Se emplea un sistema electrónico que cuenta partículas suspendidas en un líquido mediante un sensor de obstrucción de luz con un dispositivo apropiado para la toma de muestras. El equipo se normaliza y calibra de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

El número de muestras de prueba debe ser suficiente para que la evaluación sea estadísticamente válida para afirmar que el lote entero de producción cumple o excede los límites. Si el volumen del envase es menor a 25 ml, se lleva a cabo la prueba con una solución combinada de 10 o más unidades.

Procedimiento

En un recipiente limpio, abrir y combinar el contenido de 10 o más unidades para obtener un volumen no menor de 20 ml. Desgasificar la solución combinada por ultrasonido durante aproximadamente 30 segundos o dejando la solución en reposo hasta que no tenga burbujas de aire. Mezclar el contenido en forma manual o por medios mecánicos, teniendo cuidado de no introducir burbujas de aire ni contaminación. La prueba debe realizarse en un ambiente controlado. Extraer no menos de tres alícuotas, cada una de un volumen no menor a 5 ml y colocarlas en el sensor del sistema de conteo por obstrucción de luz. Descartar los datos de la primera alícuota.



Resultados

Promediar los conteos de las dos o más alícuotas analizadas. Calcular el número de partículas en cada envase por la fórmula:

$$\frac{N^{\circ} \text{partículas}}{\text{envase}} = \frac{PV_t}{V_a n}$$

Donde P es el conteo de partículas promedio obtenido a partir de las porciones analizadas; V_t es el volumen de la muestra combinada, en ml; V_a es el volumen en ml de cada porción analizada; y n es el número de envases combinados.

- **Técnica N°12: “Tinción de Gram para la visualización de bacterias Gramnegativas”**

La tinción de Gram diferencia a las bacterias en dos grandes grupos. Se llama bacterias Gram positivas a aquellas que retienen la tinción azul-violeta, y se denomina bacterias Gram negativas a las que se decoloran y después se tiñen con safranina. Esta diferencia de tinciones se debe a la estructura de las paredes celulares de ambos tipos de bacterias. Las bacterias Gram positivas tienen una pared gruesa compuesta de peptidoglucanos y polímeros, e impermeable, que hace que resista la decoloración. En cambio, las bacterias Gram negativas tienen una capa delgada de peptidoglucanos más una bicapa de lipoproteínas que se puede deshacer con la decoloración. La tinción de Gram puede proporcionar información rápida para diagnósticos de infecciones, puede revelar los agentes causales incluso con una toma de muestra no adecuada. También hace posible distinguir entre contaminación de la muestra y una verdadera infección. Puede ayudar al clínico a seguir o cambiar un tratamiento antibiótico inicial antes de los resultados del cultivo, y en algunos casos, es capaz de mostrar la necesidad de una atención médica urgente. Actualmente la tinción de Gram sigue siendo un método eficaz e importante en el laboratorio, además de que es rápido y económico, por lo que se debe estandarizar para evitar errores técnicos o de interpretación. Material Cristal violeta, yodopovirona (Iugol), alcohol-acetona, safranina y aceite de inmersión.

Procedimiento

1. Recoger muestras para ubicarlas en el microscopio.
2. Hacer el extendido con un palillo de madera.
3. Dejar secar a temperatura ambiente y fijarlas utilizando un mechero.
4. Fijar la muestra con metanol durante un minuto o al calor (flameado tres veces aproximadamente).
5. Agregar azul violeta (cristal violeta o violeta de genciana) y esperar un minuto.



6. Enjuagar con agua no directamente sobre la muestra
 7. Agregar lugol y esperar un minuto aproximadamente.
 8. Agregar alcohol acetona y esperar entre 5 y 30 segundos según la concentración del reactivo (parte crítica de la coloración). (las gram - se decoloran, las gram + no)
 9. Enjuagar con agua.
 10. Tinción de contraste agregando safranina o fucsina básica y esperar un minuto. Este tinte dejará de color rosado-rojizo las bacterias gram negativas.
 11. Lavar levemente con agua.
- Para observar al microscopio óptico es conveniente hacerlo a 100x con aceite de inmersión.

- **Técnica N°13: "Identificación y cuantificación por Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC) para ácidos orgánicos"**

Materiales

Cromatógrafo de líquidos HPLC.

Vaso de precipitado.

Centrífuga.

Filtro de papel Whatman 542.

Membrana de 0,4 μm .

Reactivos

Fase móvil: Agua de grado HPLC llevada a pH 2.2.

Solución patrón de ácidos orgánicos en concentraciones similares a las de las muestras.

Muestra de caldo de fermentación.

Preparación de la muestra

En el momento del análisis se toman exactamente, en un vaso de precipitado 2 ml del caldo de fermentación y se le añaden aproximadamente 50 ml de agua, se mantienen en agitación mecánica durante quince minutos. Se trasvasa el contenido a un matraz aforado de 100 ml y se enrasa con agua.

La solución resultante se filtra a través de papel Whatman 542 y una alícuota del filtrado se pasa a través de una membrana de 0,4 μm y se inyectan en el cromatógrafo.



Cálculos

La cuantificación se realiza en función del FR (factor de respuesta) calculado para cada ácido en el patrón:

$$FR = \frac{C_p}{A_p}$$

Siendo FR = factor de respuesta.

C_p = Concentración del ácido patrón.

A_p = Área del ácido en el patrón.

El FR se multiplica por el valor del área correspondiente a cada ácido en el cromatograma, obteniéndose el valor de la concentración. Si es necesario se corrige este valor mediante el correspondiente factor de disolución.

La identificación de los ácidos orgánicos se realiza por comparación de los tiempos de retención obtenidos en un cromatograma de un patrón y un cromatograma de las muestras.

- **Técnica N°14: “Identificación y cuantificación por Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC) para azúcares”**

Materiales

Cromatógrafo de líquidos HPLC.

Vaso de precipitado.

Centrífuga.

Filtro de papel Whatman 542.

Membrana de 0,4 µm.

Reactivos

Fase móvil: Agua de grado HPLC llevada a pH 2.2.

Solución patrón de azúcares en concentraciones similares a las de las muestras.

Muestra de caldo de fermentación.

Preparación de la muestra

En el momento del análisis se toman exactamente, en un vaso de precipitado 2 ml del caldo de fermentación y se le añaden aproximadamente 50 ml de agua, se mantienen en agitación mecánica durante quince minutos. Se trasvasa el contenido a un matraz aforado de 100 ml y se enrasa con agua.



La solución resultante se filtra a través de papel Whatman 542 y una alícuota del filtrado se pasa a través de una membrana de 0,4 µm y se inyectan en el cromatógrafo.

Cálculos

La cuantificación se realiza en función del FR (factor de respuesta) calculado para los azúcares en el patrón:

$$FR = \frac{Cp}{Ap}$$

Siendo FR = factor de respuesta.

Cp = Concentración del azúcar patrón

Ap = Área del azúcar en el patrón.

El FR se multiplica por el valor del área correspondiente a cada azúcar en el cromatograma, obteniéndose el valor de la concentración. Si es necesario se corrige este valor mediante el correspondiente factor de disolución.

La identificación de los azúcares se realiza por comparación de los tiempos de retención obtenidos en un cromatograma de un patrón y un cromatograma de las muestras.

- **Técnica N°15: “N° 475 Farmacopea Argentina “Esterilización en equipos”**

Indicadores biológicos

Son preparaciones normalizadas de microorganismos seleccionados que se utilizan para valorar la eficacia de los procedimientos de esterilización. Habitualmente se presentan bajo la forma de una población de esporas bacterianas dispuestas sobre un soporte inerte o portador (disco o tira de papel de filtro, vidrio o plástico). Pueden emplearse también indicadores biológicos con más de una especie de bacteria sobre el mismo soporte. El portador inoculado se encuentra dentro de un empaque o envase primario que lo protege de cualquier deterioro o contaminación, pero que permite el pasaje del agente esterilizante.

La elección del organismo indicador para el método de esterilización se realiza de acuerdo a los siguientes requisitos:

- Resistencia elevada de la cepa de ensayo al método de esterilización previsto, en comparación a la resistencia de todos los microorganismos patógenos y de los que pueden producir contaminación del producto.
- La cepa de ensayo no debe ser patógena.
- La cepa de ensayo debe poder cultivarse con facilidad.



Se recomienda que se coloquen los indicadores biológicos en los lugares menos accesibles al agente esterilizante y bajo las mismas condiciones de empaque que el material a procesar. Después de la incubación, la existencia de crecimiento de los microorganismos de referencia que han sido sometidos al proceso de esterilización demuestra que dicho procedimiento ha sido ineficiente.

Para esterilización por vapor se recomienda el uso de las esporas de *Geobacillus stearothermophilus*, ATCC 7953. El número de esporas viables por soporte debe ser no menor de 1×10^5 y el tiempo de mantención a $121\text{ }^\circ\text{C}$ superior a 1,5 minutos. Se debe verificar que luego de la exposición de los indicadores al calor húmedo a $121 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ durante 6 minutos queden esporas capaces de germinar y que no haya crecimiento del microorganismo de referencia después que los indicadores biológicos hayan sido expuestos al agente esterilizante durante 15 minutos.

- **Técnica N°16: N°580 Farmacopea Argentina “Límite de Hierro”**

Este ensayo se emplea para determinar que el contenido de hierro, férrico o ferroso, no excede el límite especificado en la monografía correspondiente. La determinación se realiza mediante la comparación visual con un control preparado a partir de una solución estándar de hierro.

Reactivos especiales

- Solución estándar de hierro – Disolver 863,4 mg de sulfato férrico amónico [$\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$] en cantidad suficiente de agua, agregar 10 ml de ácido sulfúrico 2 N y diluir con agua hasta completar 100,0 ml. Transferir 10 ml de esta solución a un matraz aforado de 1 litro, agregar 10 ml de ácido sulfúrico 2 N, diluir a volumen con agua y mezclar. Esta solución contiene el equivalente a $10\text{ }\mu\text{g}$ de hierro por ml.

- Solución de tiocianato de amonio – Disolver 30 g de tiocianato de amonio en agua para obtener 100 ml.

- Solución estándar - Transferir 1 ml de Solución estándar de hierro ($10\text{ }\mu\text{g}$ de Fe) a un tubo de Nessler de 50 ml, diluir con agua a 45 ml, agregar 2 ml de ácido clorhídrico y mezclar.

- Solución muestra - Transferir la solución preparada para el ensayo según se indica en la monografía correspondiente a un tubo de Nessler de 50 ml y, si fuera necesario, diluir con agua a 45 ml o disolver en agua y luego diluir a 45 ml la cantidad de la sustancia en ensayo, en g, calculada por la fórmula siguiente:

$$\frac{1}{1000 * L}$$

En la cual L es el límite de hierro en porcentaje. Agregar 2 ml de ácido clorhídrico y mezclar.



Procedimiento

A cada uno de los tubos que contienen la solución estándar y la solución muestra agregar 50 mg de cristales de persulfato de amonio, 3 ml de Solución de tiocianato de amonio y mezclar: el color de la solución obtenida a partir de la solución muestra no debe ser más intenso que el de la solución obtenida a partir de la solución estándar.

- **Técnica T-17: N° 560 Farmacopea Argentina “Límite de cloruro y sulfato”**

Materiales y reactivos

Cloruro de sodio, agua destilada, nitrato de plata, cloruro de bario, ácido nítrico, tubos Nessler, papel de filtro, turbidímetro.

Solución estándar de cloruro: Disolver 165,0 mg de cloruro de sodio seco en agua para obtener 1 litro de solución. Esta solución contiene el equivalente de 0,10 mg de cloro (Cl) en cada ml.

Determinación del límite de cloruros: Preparar la Solución muestra y la Solución estándar de cloruro empleando tubos de Nessler. Emplear cantidades iguales de los reactivos, tanto para la Solución muestra como para la Solución de comparación. Si después de la acidificación, la solución no está perfectamente límpida, filtrarla a través de un papel de filtro libre de cloruro y sulfato. Según corresponda, agregar el precipitante, nitrato de plata (SR) o cloruro de bario (SR) a la Solución muestra y a la Solución de comparación.

Cuando en la monografía correspondiente se especifique la realización de este ensayo sobre un volumen específico de Solución muestra y el límite para cloruro o sulfato corresponda a 0,20 ml o menos de ácido clorhídrico o ácido sulfúrico 0,020 N respectivamente, realizar el ensayo sobre la solución sin diluir. En tales casos mantener la misma relación de volumen para la Solución de comparación y la Solución muestra. Cuando se realiza el ensayo sobre sales de metales pesados, que presentan normalmente una reacción ácida, omitir la acidificación y no neutralizar la solución. En el caso de las sales de bismuto, disolverlas en la menor cantidad de agua y 2 ml de ácido nítrico antes del tratamiento con el agente precipitante.

Procedimiento

Disolver la cantidad especificada de la sustancia en ensayo en 30 a 40 ml de agua o, si la muestra está en solución, agregar agua hasta obtener un volumen total entre 30 y 40 ml y, si fuera necesario, neutralizarla solución con ácido nítrico empleando papel de tornasol como indicador. Agregar 1 ml



de ácido nítrico, 1 ml de nitrato de plata (SR) y cantidad suficiente de agua para obtener 50 ml. Mezclar, dejar en reposo durante 5 minutos protegido de la luz solar directa y comparar la turbidez con la producida en una solución que contiene el volumen de ácido clorhídrico 0,020 N especificado en la monografía correspondiente.

Resultado

Cuando se indique una comparación visual de color o de turbidez, deberán emplearse tubos de comparación de fondo plano (tubos de Nessler) cuyas medidas internas se correspondan lo más estrechamente posible. Para la comparación de turbidez deberán ser observados transversalmente, colocados sobre un fondo oscuro, con ayuda de una fuente luminosa que los ilumine lateralmente. Para mayor exactitud se puede medir la turbidez con un nefelómetro o turbidímetro, el cual mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra. En este último caso los resultados se expresan en Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

- Técnica T-18: N° 590 Farmacopea Argentina “Determinación del límite de metales pesados”

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 límpidas en las condiciones específicas del ensayo. El Método II, se emplea para sustancias que no dan soluciones límpidas 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 ion 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:

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:

$$Muestra = \frac{2}{1000 * L}$$

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 (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 2
PLANOS
