

INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO FINAL

Universidad Nacional de Mar del Plata
Facultad de Ingeniería

Alonso Abbate Wanda
Pereyra Reynoso Lucía

Directores
Castañer Julieta
García de la Mata Manuel
Marcovic Norma
Soulé Ezequiel

DISEÑO DE UNA PLANTA DE
PRODUCCIÓN DE BIOETANOL





RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

“La mejor energía es la que no se consume“
Williams Roberto.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
1. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR	4
INTRODUCCION	4
1.1. Bioetanol	4
1.2. Marco Legal	6
1.3. Estado de la industria	10
1.3.1. Capacidad de producción.....	11
1.3.2. Volúmenes anuales consumidos.....	14
1.3.3. Precios en el mercado.....	14
1.3.4. Potenciales clientes.....	15
1.4. Materias primas.....	16
1.5. Proceso de producción	19
1.5.1. Rendimiento.....	20
1.6. Productos y sub-productos	20
1.7. Ubicación de la planta.....	21
1.8. Conclusión	24
1.9. Bibliografía	25
2. ANÁLISIS DE LA REACCIÓN QUÍMICA	29
INTRODUCCIÓN.....	29
2.1. Obtención de bioetanol.....	29
2.1.1. Descripción del proceso para la obtención del jugo	30
2.1.2. Composición y características de jugo de remolacha azucarera.	31
2.2. Fermentación	31
2.2.1. Microbiología de la fermentación	33
2.2.2. Caracterización de levadura.....	34
2.2.3. Inhibidores de la fermentación.....	35
2.2.4. Condiciones de operación óptimas	35
2.3. Cinética química	36
2.3.1. Modelo cinético de fermentación.....	36
2.3.2. Variables y parámetros.....	38
2.3.3. Condiciones de operación.....	41
2.4. Conclusión	43
2.5. Bibliografía	44
3. ANÁLISIS DE PRE/POST TRATAMIENTOS	47

INTRODUCCIÓN.....	47
3.1. Pretratamiento.....	47
3.1.1. Etapas de Pretratamiento.....	47
3.2. Post Tratamiento.....	49
3.2.1. Eliminación del CO ₂	49
3.2.2. Métodos de Adsorción.....	50
3.2.3. Comparación y elección de los métodos de separación.....	55
3.2.4. Elección del solvente.....	56
3.3. Modelos termodinámicos.....	58
3.3.2. Ecuaciones de Estado.....	60
3.3.3. Modelos de coeficientes de actividad.....	60
3.4. Análisis de equilibrios y sistemas de separación.....	63
3.5. Conclusión.....	64
3.6. Bibliografía.....	65
4. BALANCES GLOBALES DE LA PLANTA.....	68
INTRODUCCIÓN.....	68
4.1. Capacidad de producción.....	68
4.2. Estructura general del diagrama de flujo.....	69
4.2.1. Diagrama de flujo mediante módulos simples.....	70
4.3. Balances de masa.....	72
4.3.1. Primera Etapa: Preparación de la remolacha.....	73
4.3.2. Segunda Etapa: Pretratamiento.....	74
4.3.3. Tercera Etapa: Fermentador.....	76
4.3.4. Cuarta Etapa: Purificación del etanol.....	80
4.4. Conclusión.....	81
4.5. Bibliografía.....	82
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE REACTORES.....	85
INTRODUCCIÓN.....	85
5.1. Tipo de reactor.....	85
5.2. Volumen necesario.....	88
5.2.1. Dimensionamiento del reactor.....	89
5.3. Materiales constructivos.....	90
5.4. Sistemas de agitación.....	92
5.4.1. Selección del sistema de agitación.....	94
5.4.2. Diseño del sistema de agitación.....	95

5.4.3.	Potencia del sistema de agitación	96
5.5.	Balance de energía en el reactor	101
5.5.1.	Calor en el piso del reactor.....	104
5.5.2.	Calor en la techo del reactor.....	104
5.5.3.	Calor en la pared del reactor	104
5.5.4.	Calor de agitación	105
5.5.5.	Calor de reacción.....	105
5.5.6.	Calor de serpentín	106
5.6.	Dimensionamiento del serpentín y requerimientos de agua.....	106
5.7.	Sistemas de control	109
5.8.	Conclusiones.....	113
5.9.	Bibliografía	114
6.	DISEÑO DE SISTEMAS DE SEPARACIÓN	118
	INTRODUCCIÓN	118
6.1.	Composición deseada	118
6.2.	Diseño del sistema de separación.....	118
6.2.1.	Separación de CO ₂	119
6.2.2.	Purificación Etanol.....	120
6.3.	Simulación.....	122
6.3.1.	Experiencia sin reciclos	123
6.3.2.	Experiencia con reciclos.....	126
6.13.	Conclusión.....	128
6.14.	Bibliografía.....	129
7.	EQUIPOS AUXILIARES.....	132
	INTRODUCCIÓN	132
7.1.	Recepción de la remolacha	133
7.2.	Lavado y picado	136
7.3.	Extracción	138
7.3.1.	Pulpa extraída.....	139
7.3.2.	Prensado	140
7.3.3.	Secado.....	141
7.3.4.	Almacenamiento de pellets.....	144
7.4.	Tanque Madre.....	145
7.4.1.	Almacenamiento	145
7.4.2.	Sistema de aireación.....	146

7.5.	Fermentador.....	148
7.5.1.	Centrífuga.....	148
7.5.2.	Serpentín.....	149
7.6.	Tren de destilación.....	150
7.7.	Almacenamiento de etanol.....	150
7.7.1.	Normas de seguridad.....	151
7.7.2.	Señalización del tanque.....	152
7.8.	Accesorios y cañerías.....	154
7.8.1.	Cañerías.....	154
7.8.2.	Válvulas.....	156
7.8.3.	Bombas.....	158
7.8.4.	Columna de intercambio Iónico.....	159
7.9.	Conclusión.....	160
7.10.	Bibliografía.....	161
8.	INTEGRACION ENERGÉTICA.....	167
	INTRODUCCIÓN.....	167
8.1.	Análisis de corrientes.....	167
8.2.	Método Pinch.....	169
8.2.1.	Elección del valor inicial de ΔT_{MIN}	170
8.3.	Balance energético.....	170
8.4.	Diseño de intercambiadores.....	172
8.4.1.	Condensadores.....	175
8.4.2.	Torre de enfriamiento.....	175
8.4.3.	Caldera.....	179
8.5.	Conclusión.....	183
8.6.	Bibliografía.....	184
9.	HIGIENE, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE.....	186
	INTRODUCCIÓN.....	186
9.1.	Impactos específicos de la industria.....	186
9.1.1.	Medio ambiente.....	186
9.1.2.	Consumo de energía.....	188
9.1.3.	Consumo de agua.....	188
9.1.4.	Aguas residuales.....	189
9.1.5.	Residuos y subproductos sólidos.....	190
9.1.6.	Emisiones de olores y polvo al aire.....	191

9.2.	Seguridad e Higiene	192
9.2.1.	Riesgo de explosiones.....	192
	Prevencción y protección contra incendio	193
9.2.2.	Exposición a sustancias químicas	196
9.2.3.	Riesgos físicos.....	197
9.2.4.	Exposición al ruido y a las vibraciones.....	198
9.3.	Sistema de Gestión OHSAS 18001	198
9.3.1.	Política.....	199
9.3.2.	Planificación	200
9.3.3.	Implementación.....	209
9.3.4.	Verificación	210
9.3.5.	Revisión	212
9.4.	Evaluación de impacto ambiental.....	212
9.5.	Sustancias peligrosas	216
9.6.	Disposiciones generales	217
9.7.	Conclusión	218
9.8.	Bibliografía	219
10.	ANALISIS ECONÓMICO	222
	INTRODUCCIÓN	222
10.1.	Proyecto de inversión.....	222
10.1.1.	Justificación de la inversión.....	223
10.2.	Costos de Inversión (CapEx)	223
10.2.1.	Inversión fija total	224
10.2.1.1.	Terreno	224
10.2.1.2.	Inversión fija	225
10.2.2.	Capital de trabajo.....	233
10.2.3.	Inversión total	234
10.3.	Costos de operación (OpEx).....	234
10.3.1.	Costos variables.....	234
10.3.2.	Costos fijos	239
10.3.3.	Costos totales.....	242
10.4.	Rentabilidad.....	242
10.4.1.	Cuadro de Usos y Fuentes.....	243
10.5.	Cronograma de actividades	246
10.6.	Plan de negocios.....	248

10.6.1. Análisis FODA	249
10.7. Conclusión.....	251
10.8. Bibliografía.....	252
Conclusión general.....	255
Anexo.....	257
ANEXO 2: hojas de seguridad de los compuestos involucrados.	258

INTRODUCCIÓN

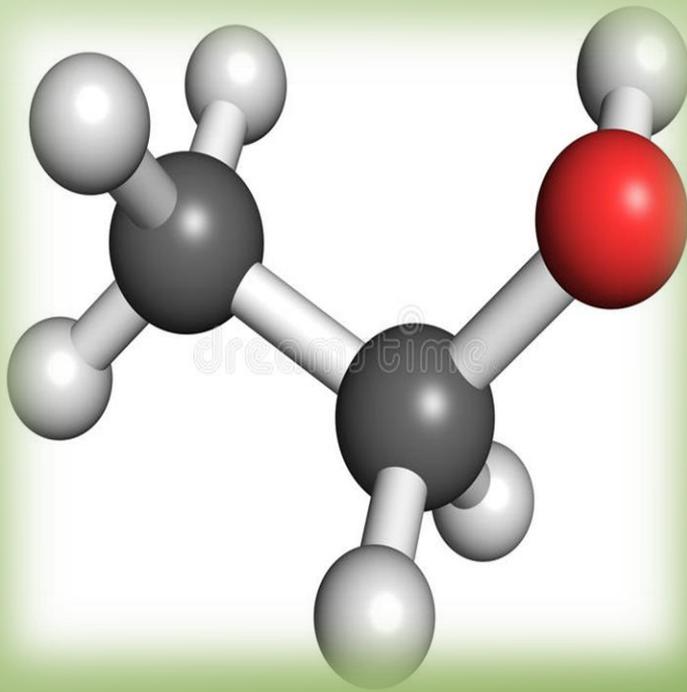
El objetivo de este proyecto es diseñar una planta de producción de bioetanol a partir de remolacha azucarera, mediante la fermentación anaeróbica.

La planta será ubicada en la provincia de San Juan, para llevarla a cabo se realiza un análisis de selección de los procesos involucrados en la producción de bioetanol junto con los parámetros operativos y un estudio económico para poner en funcionamiento la planta.

Se planifica obtener una producción de etanol de 150.000m^3 al año a partir de la remolacha azucarera. Se considera un desafío usar esta materia prima ya que no se produce actualmente en el país y sus experiencias para la producción del etanol son escasas.

Se analizará el proceso de producción, buscando las mejores alternativas para llevarlo a cabo. También se verificará la rentabilidad de la planta.

Es una alternativa que permite lograr un combustible no perjudicial para el ambiente.



1. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

1. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

INTRODUCCION

Desde la segunda mitad del siglo XVIII, con el comienzo de la revolución industrial, el uso de los combustibles fósiles ha tenido un aumento sostenido en el tiempo. El consumo desmedido de carbón, petróleo y gas natural provoca una crisis energética, económica y ambiental que hace replantearse a la humanidad la necesidad de buscar fuentes alternativas para satisfacer las grandes demandas de energía, las cuales crecen al aumentar la cantidad de población en el planeta.

Para mitigar la contaminación, muchos países se han propuesto aumentar el porcentaje de energía que obtienen de fuentes renovables y limpias, tales como la energía hidroeléctrica, solar, eólica, geotérmica, y la generada a partir de biomasa.

Los combustibles alternativos están surgiendo como otra opción para minimizar las emisiones de dióxido de carbono producido por los combustibles fósiles o derivados del petróleo. Además, la escases del petróleo y su cara obtención, convierte a la producción de combustibles verde en una buena inversión.

Las características principales que debe poseer un combustible alternativo frente a los convencionales son: renovables; menor costo; menor impacto ambiental, menores emisiones y que no comprometa a la soberanía alimenticia.

Los biocombustibles producidos en el país son el biodiesel y el bioetanol.

1.1. Bioetanol

El bioetanol es un biocombustible de origen vegetal que se produce a partir de la fermentación de materia orgánica rica en azúcar (caña, remolacha), así como de la transformación en azúcar del almidón presente en los cereales.

El bioetanol, a diferencia de los combustibles derivados del petróleo, presenta una elevada concentración de oxígeno que permite una combustión con menores residuos contaminantes. De esta manera, se mitiga la emisión de gases con efectos invernadero y de micro partículas a la atmósfera. El etanol a base de maíz puede reducir hasta un 30% las emisiones de CO₂ en comparación con el combustible tradicional, mientras que el de caña varía entre un 70 y 90%.

Si bien es un recurso energético potencialmente sostenible que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo, es el responsable de grandes

deforestaciones y del aumento del precio de los alimentos, al suplantar selvas y terrenos agrícolas para su producción.

A continuación se analizan las ventajas y desventajas de este combustible.

Tabla 1 - Principales ventajas y desventajas.

Factor	Ventajas	Desventajas
Ambiental	Carácter renovable.	Consumo elevado de agua, electricidad y gas natural, también es necesario disponer de terrenos de cultivo lo que genera menos tierras para la producción de alimentos o zonas deforestadas.
Calidad de vida	Combustión no tóxica, ni carcinógena, ya que se quema de manera más limpia que el petróleo en el aire, produciendo menos carbono y menor cantidad de monóxido de carbono.	Si proviene de la caña de azúcar, ésta quema, liberando metano y óxido nitroso, aumentando el calentamiento global.
Tecnológico	No requiere de tecnología compleja. Cualquier país del mundo puede desarrollarlo.	El proceso se optimiza con el avance de la tecnología, por lo que requiere de inversiones a lo largo de la vida útil del proyecto.
Eficiencia del motor	Reduce el costo global del combustible, aumenta la eficiencia del motor y actúa como un anticongelante en los motores, mejorando el arranque del motor en frío.	Los motores actuales requieren modificaciones antes de utilizar altas concentraciones de etanol, quien tiene menor calor de combustión que los combustibles fósiles. El costo de producción de los biocombustibles casi dobla al del de la nafta (sin aplicar impuestos). Por ello, no son competitivos sin ayudas públicas.
Político	Disminuye la dependencia de los combustibles fósiles en aquellos países no productores de petróleo, cuyas condiciones políticas suelen ser inestables y se ven afectados por las fluctuaciones del mercado.	Los elevados precios de los productos agrícolas tienen un impacto negativo en los países en desarrollo, que dependen en gran medida de las importaciones para satisfacer sus necesidades alimentarias.
Social	Consumir un combustible fabricado y distribuido por empresas locales, genera nuevos puestos de trabajo, produce un aumento del valor de los productos agrícolas, mejorando los ingresos de los habitantes rurales que se dedican al cultivo.	La materia prima son cultivos alimentarios y esto repercute en las poblaciones pobres, aumentando el precio del alimento por el crecimiento de la demanda.

1.2. Marco Legal

La industria argentina de los biocombustibles ha realizado grandes avances en poco tiempo. La evolución de esta actividad ha tenido a su vez un correlato en la creación y evolución de un marco normativo específico sobre la materia. A continuación se describe brevemente las legislaciones de mayor peso en nuestro país.

Ley Nacional Nº 26.093

“Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles. Autoridad de aplicación. Funciones. Comisión Nacional Asesora. Habilitación de plantas productoras. Mezclado de Biocombustibles con Combustibles Fósiles. Sujetos beneficiarios del Régimen Promocional. Infracciones y sanciones.”

Promulgada en abril de 2006 constituye la base del marco regulatorio de los biocombustibles, resultando aplicable a las actividades de producción, mezcla, distribución, comercialización, consumo y autoconsumo de biocombustibles.

Esta ley establece una autoridad de aplicación determinada por el Poder Ejecutivo nacional, que cumple principalmente con las funciones de: promover y controlar la producción y uso sustentables de biocombustibles; establecer las normas de calidad a las que deben ajustarse los biocombustibles; establecer los requisitos y condiciones necesarios para la habilitación de las plantas de producción y mezcla de biocombustibles.

Todo combustible líquido caracterizado como nafta, que se comercialice dentro del territorio nacional, deberá ser mezclado con la especie de biocombustible denominada "bioetanol", en un porcentaje del cinco por ciento (5%) como mínimo de este último, medido sobre la cantidad total del producto final.

Conforme el artículo 1º de la Ley, el Régimen de Promoción tendrá una vigencia de 15 años contados a partir de abril de 2006. El Poder Ejecutivo Nacional podrá extender su plazo de vigencia, según el nivel de desarrollo de la actividad, y principalmente, el grado de abastecimiento del mercado doméstico.

Se establece que sólo podrán producir biocombustibles las plantas habilitadas a dichos efectos por la autoridad de aplicación. La habilitación correspondiente se otorgará, únicamente, a las plantas que cumplan con los requerimientos que establezca la autoridad de aplicación en cuanto a la calidad de biocombustibles y su producción sustentable, para lo cual deberá someter los diferentes proyectos presentados a un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que incluya el tratamiento de efluentes y la gestión de residuos.

Ley Nacional 26.334

Sancionada en el 2007, establece la aprobación del Régimen de Promoción de la Producción de Bioetanol, con el objeto de impulsar la conformación de cadenas de valor entre los productores de caña de azúcar y los ingenios azucareros, y elaborar bioetanol para satisfacer las necesidades de abastecimiento del país.

Esta ley aplica a todas aquellas entidades que sean productoras de caña de azúcar o que produzcan industrialmente azúcar y a todas las entidades cooperativas que inicien sus actividades de producción de bioetanol.

Resolución 1295/2008

Especifica la calidad de bioetanol y el porcentaje mínimo que debe cumplirse para su mezcla. La composición debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Tabla 2 - Especificaciones de calidad del bioetanol.

Propiedad	Método	Valor
Densidad a 20° c, g/ml, valor máximo	ASTM D-4052	0,7915
Etanol - más C3-C5 AS % vol, valor mínimo	ASTM D-5501-IRAM 14651	99
Alcoholes superiores C3-C5%vol, valor máximo	ASTM D-5501	2
Metanol,%vol, valor máximo	ASTM D-5501	0,4
Agua,%vol, valor máximo	ASTM E203	0,6
Cobre, mg/kg, valor máximo	ASTM D-1688	0,1
Acidez Total (como Acético) mg/litro	ASTM D-1613	30
Azufre, ppm, p/p, valor máximo	ASTM D-5453	10
Sulfatos ppm, p/p, valor máximo	ASTM D 7318/7319/7328	4
Apariencia	Visual	Límpio sin materiales en suspensión

Conductividad Eléctrica, uS/m, valor máximo	ASTM D-1125	500
Gomas Lavadas mg/l	Valor máximo ASTM D-381	50
Benzoato de Denatonio ppm, Valor mínimo (*)	(Espectofotometría UV)	40

Fuente: Resolución 1295/2008.

Decreto 543/2016

Sancionado en el 2016, trata el porcentaje obligatorio de bioetanol y su abastecimiento. Establece un aumento de 10 % (establecido por medio de la Resolución N° 44 en el año 2014), a un 12%, en volumen, el porcentaje obligatorio de bioetanol en su mezcla con las naftas de uso automotor a comercializarse en todo el Territorio Nacional en el marco de las Leyes Nros. 26.093 y 26.334.

Además, se determina que el abastecimiento de bioetanol de corte obligatorio debe realizarse en forma equitativa, procurando alcanzar el 50% para el sector elaborador en base a caña de azúcar y el 50% para el correspondiente al de maíz.

Legislación internacional

Protocolo de Kioto

En el año 1997, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), estableció como objetivo la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, a un nivel que no implique una interferencia peligrosa con el sistema climático, y que permita un desarrollo sostenible. Como las actividades relacionadas con la energía (procesado, transformación, consumo) representan el 80% de las emisiones de CO₂ a escala mundial, la energía es clave en el cambio climático. Dentro de la Convención Marco UNFCCC se desarrolló el Protocolo de Kioto.

El objetivo del Protocolo de Kioto es reducir en un 5,2% las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo, con relación a los niveles de 1990, durante el periodo 2008-2012. Con ese fin, el Protocolo contiene objetivos para que los países industrializados reduzcan las emisiones de los seis gases de efecto invernadero originados por las actividades humanas: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido

nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Se estableció que el compromiso sería de obligatorio cumplimiento cuando lo ratificasen los países industrializados responsables de, al menos, un 55 % de las emisiones de CO₂.

Argentina, como país en desarrollo y con aproximadamente el 0,6 % del total de las emisiones mundiales, no estaba obligada a cumplir las metas cuantitativas fijadas por el Protocolo de Kioto. Pese a ello ratificó el acuerdo, previa aprobación del Congreso Nacional el 13 de julio de 2001, a través de la Ley Nacional 25.438. En consecuencia, su condición de país adherente hace que deba comprometerse con la reducción de emisiones o, al menos, con su no incremento.

En 2012, una cumbre de la ONU sobre cambio climático aceptó extender hasta 2020 el Protocolo de Kioto.

Conferencia Internacional sobre Energías Renovables de Bonn

Dentro de esta conferencia realizada en el año 2004 en Bonn, Alemania, el objetivo fue el compromiso de los países participantes a fijar metas concretas para el desarrollo e inserción de fuentes renovables en sus ámbitos locales.

El evento de Bonn se realizó en medio del recrudecimiento de la crisis energética, provocada en gran medida por la gran dependencia energética de las fuentes no renovables (el 80% de la energía primaria consumida a nivel mundial proviene de los combustibles fósiles y dentro de ello el petróleo representa el 40%).

Para esa fecha, Argentina ya contaba con la Ley 25.019 de 1998 que crea el Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar. Pero fue recién en el año 2006, con la sanción de la Ley de Energías Renovables, que el país fijó el objetivo de alcanzar en una década un 8% del consumo local de electricidad abastecido por energías renovables. El origen de esta meta fue el compromiso no vinculante presentado por Argentina ante la Conferencia Internacional sobre Energías Renovables. En dicha conferencia varios países de América Latina asumieron el desafío de lograr una mayor participación de fuentes renovables en sus matrices energéticas.

Acuerdo de París

Acordado el 12 de diciembre de 2015 en París por 195 naciones, fue un acuerdo histórico para combatir el cambio climático, impulsar medidas e inversiones para un futuro bajo en emisiones de carbono y sustentable.

El objetivo principal del acuerdo universal es mantener el aumento de la temperatura en este siglo por debajo de los 2°C, e impulsar los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura incluso más, por debajo de 1,5°C sobre los niveles preindustriales.

Además, el acuerdo busca reforzar la habilidad para hacer frente a los impactos del cambio climático, poniendo en marcha flujos financieros apropiados para los países en desarrollo y los más vulnerables en línea con sus propios objetivos nacionales.

El 1 de septiembre de 2016 Argentina ratificó el acuerdo de París.

1.3. Estado de la industria

El principal factor que contribuye a la consolidación del mercado de bioetanol es su uso como reemplazo del aditivo MTBE (éter metil terbutílico) en la nafta. La prohibición de su agregado fue impulsada por Estados Unidos por ser una sustancia con efectos nocivos para la salud y el medioambiente.

Hasta 2011, el 100% del bioetanol que se producía en la Argentina provenía de la caña de azúcar. Su producción se concentraba en el NOA (Salta y Jujuy: 53%, Tucumán: 47%) y hasta ese momento su destino principal era el abastecimiento de las industrias de alimentos, bebidas, cosméticos y agroquímicos, mientras que el remanente era destinado a la exportación.

Con el objetivo de abastecer el mercado interno, según lo reglamentado por la Ley 26.093, en agosto de 2012 comenzó a ingresar al mercado etanol elaborado a base de maíz y sorgo. En nuestro país, durante ese año, las naftas estaban siendo cortadas con aproximadamente un 8% de bioetanol. Para ello se requerían unos 630.000 metros cúbicos de bioetanol (347.000 de maíz y 283.000 de caña). En el mes de diciembre del año 2014, con la resolución 44/2014 de la Secretaría de Energía, se dispuso que el agregado de bioetanol en las naftas no sea inferior a 10%, con lo cual el consumo de bioetanol resultó de aproximadamente unos 750.000 metros cúbicos. Valor que requirió el procesamiento de poco más de un millón de toneladas de maíz, además del volumen

obtenido a partir de caña de azúcar. En el 2017, Argentina sólo destinaba un 4% de la cosecha maíz para generar etanol¹.

Durante los primeros meses del 2018, se observó un aumento en la producción y corte de bioetanol. El aumento de los combustibles convencionales provocó una ventaja económica, inclinando a las empresas petroleras a comprar mayor cantidad de etanol. Este hecho, sumado a la tendencia mundial por aumentar los cortes de las naftas con bioetanol produjo una serie de proyecciones económicas las cuales aseguran un crecimiento de esta industria en el país².

1.3.1. Capacidad de producción

Brasil y Estados Unidos están en la cima de la lista de los mayores productores de etanol del mundo, cerca del 90% de la oferta mundial es originaria de esos dos países. La producción de bioetanol en Argentina se encuentra en el 7° lugar en el ranking mundial, representando el 2% de la producción anual de EE.UU³.

La producción mundial de etanol estimada para el año 2015 fue de 97.000 millones de litros. El 85% de la producción mundial la generan Estados Unidos con aproximadamente 54.500 millones y Brasil con 27.800 millones de litros.

La producción argentina en dicho año habría sido de 815 millones de litros/año según datos del Ministerio de Energía y Minería de la Nación, representando casi el 1% de la producción mundial.

Durante el 2016, la producción de etanol en Estados Unidos alcanzó un nivel récord de 15 mil millones de galones, equivalente a alrededor de 1 millón de barriles por día.

Se procede a comparar la industria del etanol de los Estados Unidos con la nacional para dimensionalizar el alcance productivo y económico entre ambos países.

¹ Diario El Cronista (2017). *A pesar de demorarse el corte de los combustibles, crece este año la producción de bioetanol.*

² Calzada, J. & Ramseyer, F. (2018). *Se espera un record histórico en la producción de bioetanol en Argentina en el 2018.* Bolsa de Comercio Rosario.

³ Calzada, J. & Di Yenno, F. (2017). *Capacidad de producción de etanol de Argentina no llega al 2% de la de EE.UU.* Bolsa de Comercio Rosario.

Tabla 3 - Plantas industriales de Etanol.

	USA	Argentina
Número de plantas	198	14
Capacidad de producción (m ³ /año)	58.692.810	965.350
Producción Anual de Etanol 2016(m ³)	57.928.000	890.000
Capacidad de producción de la fábrica de mayor tamaño (m ³ /año)	1.419.529	150.000

Fuente: Calzada, J. & Di Yenno, F. (2017).

Actualmente, en Argentina hay 14 plantas elaboradoras de etanol, cinco a base de maíz y nueve a base de caña de azúcar que produjeron un total de 889.945 m³ en 2016. La provincia de Córdoba lidera el ranking de producción con el 39% del volumen total, contando con cuatro plantas de etanol a base de maíz.

La planta productora de etanol más grande de Argentina es la de Compañía Bioenergética La Florida SA ubicada en La Florida, en la provincia de Tucumán. Esta fábrica tiene una capacidad de producción de 150.000 m³/año y procesa caña de azúcar.

Tabla 4- Capacidad de producción teórica de las plantas industriales de bioetanol nacionales.

Plantas/ Empresas	Capacidad de producción de etanol m ³ /año
Plantas que utilizan maíz	
Primaiz (Alejandro Roca, pcia Cba) Bunge y Aceitera Gral Deheza	145.000
ACA Bio (Villa María .Pcia Córdoba)	145.000
Diaser (Pcia de San Luis)	82.500
BIO 4 (Rio cuarto- Pcia de Córdoba)	82.000
Vicentín (Avellaneda. Pcia de Santa fe)	60.000
Total Capacidad de producción Argentina usando maíz	514.500
Plantas que utilizan caña de azúcar	
Compañía Bioenergética La Florida SA- La Florida-Tucumán	150.000
Bio Ledesma SA- Libertador San Martin. Ledesma. Jujuy	64.000

Alconoa SRL El tabacal Orán (Salta)	51.000
Bionergia La Corona SA- Concepción. Tucumán	44.550
Bionergia Santa Rosa- León Rouges (Tucumán)	40.000
Biotrinidad SA- Villa Trinidad. Tucumán	30.000
Energías Ecológicas del Tucumán- Santa Bárbara- Tucumán	25.100
Rio grande- La Mendieta- Jujuy	29.700
Bio San Isidro SA - Campo Santo- Salta	16.500
Total Capacidad de producción Argentina usando Caña de azúcar	450.850
Total de capacidad de producción Argentina	965.350

Fuente: Calzada, J. & Di Yenno, F. (2017).

Hay 9 fábricas importantes que obtienen etanol en nuestro país procesando caña de azúcar. Cinco de ellas están localizadas en la provincia de Tucumán, dos en Salta y dos en Jujuy. En total la capacidad de producción de estas 9 plantas oscilaría en los 450.850 m³/año⁴.

Según la información aportada por el Ministerio de Energía y Minería, la producción anual se resume en el siguiente gráfico:

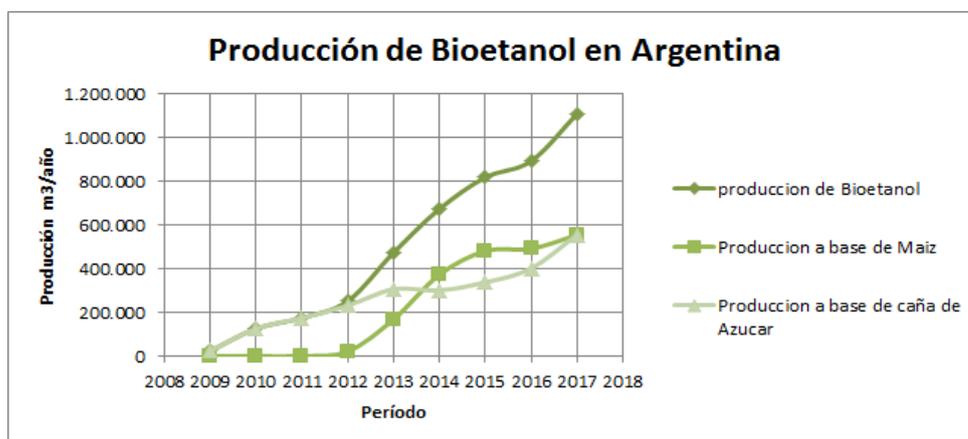


Gráfico 1- Producción de bioetanol Argentina.

Fuente: Ministerio de Energía y Minería. (2018).

⁴ Ministerio de agroindustria (2017). *Biocombustibles 08/17*.

1.3.2. Volúmenes anuales consumidos

En 2016 la producción y consumo interno de bioetanol fue del orden de 800.000 m³, con un aporte del 59 % de parte de las cinco destilerías de maíz, y de un 41 % de los nueve ingenios azucareros.

Tomando como referencia el informe anual de biocombustibles de Argentina publicado recientemente por el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), se observa que para el año 2018 la producción de bioetanol ascendería un 4,1% respecto al año anterior, alcanzando un volumen récord de 1.150 millones de litros en el presente año. A su vez, la capacidad productiva aumentaría un 5,8%, el consumo como combustible subiría un 7,8% y se harían leves importaciones para poder cumplir con la tasa de corte obligatoria⁵.

1.3.3. Precios en el mercado

Según datos aportados por el Ministerio de Energía, se establecen los precios de bioetanol vigentes desde mayo hasta octubre del 2018 en conformidad con la disposición SSRH 87E2018⁶.

Tabla 5 - Precios Naciones.

Período	Bioetanol a base de Caña [\$/L]	Bioetanol a base de maíz [\$/L]
Mayo	17,737	14,098
Junio	18,000	15,162
Julio	19,143	15,919
Agosto	20,248	16,234
Septiembre	21,097	17,216
Octubre	21,999	18,318

Fuente: Ministerio de Energía (2018).

⁵ Calzada, J. & Ramseyer, F. (2018). *Se espera un record histórico en la producción de bioetanol en Argentina en el 2018*. Bolsa de Comercio Rosario.

⁶ Ministerio de Energía (2018). *Precios de Bioetanol*.

Tabla 6 - Precios de bioetanol en Argentina, Brasil y EEUU.

Argentina Mercado Interno (10/2018)	Base caña	21,999 \$/lt	0,595 US\$/lt
	Base maíz	18,318 \$/lt	0,495 US\$/lt
Brasil Mercado interno (29/10/2018)	Base caña, hidratado	1,7315 R\$/lt	0,4679 US\$/lt
	Base caña, anhidro	1,9394 R\$/lt	0,5241 US\$/lt
EEUU (10/2018)	Base maíz	0,343 US\$/lt	

Fuente Argentina: Ministerio de Energía (2018).

Fuente Brasil: Unión de Productores de Bioenergía, UDOP (2018).

Fuente EEUU: Departamento de Agricultura de Estados Unidos, USDA (2018).

En Brasil coexisten dos tipos de etanol: el hidratado, que se emplea en vehículos flex fuel, y el anhidro que requiere un proceso adicional para remover la mayoría del agua del etanol hidratado, y se emplea en el corte obligatorio de 27% con nafta común y 25% con nafta premium.

El precio del etanol hidratado lo determina el mercado en función de la oferta (costo de oportunidad del etanol versus azúcar) y la demanda (competitividad del precio del biocombustible versus el valor de la nafta), mientras que el valor de etanol anhidro está representado por el precio del hidratado más el costo adicional del proceso de deshidratación.

1.3.4. Potenciales clientes

En el 2015, YPF fue el mayor comprador de bioetanol en Argentina con 440 millones de litros. Le siguieron Shell (152 millones de litros en el año) y Axion (128 millones de litros año).⁷ Las empresas consumidoras de bioetanol actualmente son:

Tabla 7- Empresas consumidoras.

Axion Energy Argentina S.A.	Shell Argentina C.A.P.S.A
Petrobras Argentina S.A	YPF S.A
Fox Petrol S.A	Energía y derivados del petróleo S.A
Refinería del Norte S.A	Oil Combustibles S.A.
	Trafigura Argentina S.A

⁷ Calzada, J. (2017). *Datos claves de biocombustibles*. Bolsa de Comercio Rosario.

Por el momento no hay clientes extranjeros, ya que no se exporta bioetanol para cortes de combustibles.

Se analizan posibles clientes extranjeros de países limítrofes de Argentina.

Tabla 8 - Potenciales clientes.

Chile	Petrobras , Shell , Copec
Bolivia	YPFB (Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos)
Uruguay	ANCAP (Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland)
Paraguay	Petropar (petróleos Paraguayos)

No se incluye a Brasil como cliente ya que es nuestro principal competidor por su larga trayectoria y experiencia en el mercado de bioetanol.

1.4. Materias primas

Los 6 cultivos analizados en esta sección son aquellos que, considerando aspectos productivos, tecnológicos y financieros, presentan un mayor potencial para la producción de biocombustibles líquidos.

Tabla 9 - Cultivos bioenergéticos.

Nombre común	Nombre científico
Caña de azúcar	Saccharum officinarum
Maíz	Zea mays L.
Trigo	Triticum aestivum L.
Remolacha azucarera	Beta vulgaris var. saccharifera
Yuca/Mandioca	Manihot sculenta
Sorgo	Sorghum bicolor L.

Fuente: Razo, C. et al (2007).

A continuación, se detallan características ecofisiológicas, productivas y de rendimiento de los cultivos en estudio.

Tabla 10 - Características generales de los cultivos utilizados para obtención de bioetanol.

Ítem	Caña de azúcar	Maíz	Remolacha azucarera	Trigo	Yuca/Mandioca	Sorgo
Temperatura [°C]	25-26	25-30	20-15	10-24	Alta	27-28
Zona climática	37° N - 31° S	58° N - 40° S	Templado	templado y subtropical	Trópicos húmedos (30° N - 30° S)	Trópico con lluvias de verano
Acidez de suelo (pH)	6-7,8	5,5-7,5	7-8,5	5,5-7,2	6-6,5	5-8,5
Producción después de	9-24 meses	4-7 meses	6-7 meses	4-6 meses	6-9 y 18-24 meses	2-8 meses
Reposición después de	5 años	anual	Anual	anual	0,5 – 2 años	anual
Agua mm/año [l/m ²]	1500-1800	>500	500	250-300	1000-2000	500-600
Etanol [l/ton]	85	396	98	362	280	359
Rendimiento medio mundial [ton/ha]	40-80	3,6	30-40	2,3	9-10	1,3
Nutrientes [kg/ton]						
N	1,2	24	4,5	30	3	50
P	0,3	4	0,9	8	1	9
K	2,5	23	4-7	28	7	45
Ca	0,6	3	1,5	3	2	-
Mg	0,4	3	-	3	1	-

Fuente: Razo, C. et al (2007).

La cantidad de bioetanol obtenido de los cultivos que pueden producirse con menos recursos hídricos, es de 98 lt/ton para la remolacha, 362 lt/ton para el trigo y 359 lt/ton para el sorgo. Aunque la remolacha tiene un menor rendimiento de bioetanol, sus altos rendimientos por hectárea hacen que la cantidad de litros obtenidos por unidad de superficie sea la más alta de los tres. Por tal motivo, se elige a la remolacha azucarera como materia prima para desarrollar la planta de producción de bioetanol en el presente trabajo.

Remolacha Azucarera

La remolacha azucarera es una planta bienal muy resistente al frío que puede crecer en climas templados. Durante el primer año forma una raíz (de uno a dos kilogramos) con un 15% - 20% de sacarosa. Desde un punto de vista productivo, es esta fase del cultivo la que interesa. El segundo año, la fase reproductiva, emite flores y fructifica. De esta fase, únicamente interesa la producción de semillas⁸. El extracto seco

⁸ Traxco (2010). *Remolacha azucarera*.

de la raíz representa alrededor del 25% del peso de esta y lo componen la armadura celulósica y otras materias tanto orgánicas como inorgánicas. El agua constituye el otro 75%.⁹

El clima es uno de los principales factores que inciden directamente sobre el rendimiento. Un clima templado, soleado y húmedo contribuye a la producción de un elevado porcentaje de azúcar en la remolacha. En este cultivo es muy importante la intensidad de iluminación, ya que favorece el proceso de la fotosíntesis y condiciona la cantidad de sacarosa que contenga la raíz.

La Unión Europea, los Estados Unidos y Rusia son los tres principales productores de remolacha azucarera del mundo.



Figura 1 - Remolacha azucarera
Fuente: AgriExpo (2018).

En Argentina han sido varias las experiencias de plantación de la remolacha azucarera, llegando a realizarse pruebas piloto a nivel comercial de producción de bioetanol, pero las mismas no pudieron tener continuidad en el tiempo ya que problemas de índole económico y social determinaron que dichos experimentos no prosperaran.

Durante muchos años, las zonas productivas del sur del país estuvieron enfrentadas con las provincias del norte hasta que una plaga (natural o implantada) arruinó las cosechas de la Patagonia y posteriormente las del norte, dando por finalizada la era de la remolacha en la Argentina.

En años recientes, el INTA ha vuelto a realizar experiencia de cultivo, que aún se encuentran en estado experimental. Por tal motivo, no se encuentran precios nacionales

⁹ Baquero Franco, J. (1987). *La industria azucarera de la remolacha*.

de la remolacha azucarera. En España el precio medio en el sector agrícola para el 2018 / 2019 ronda los 25,45 euros/ton o 29,17 US\$/ton¹⁰.

1.5. Proceso de producción

Al llegar a la planta, las remolachas son pesadas y almacenadas. El almacenado de la raíz no puede exceder más de un día debido a que se deshidrata y disminuye la concentración de azúcares.

Las remolachas son transportadas a la zona de lavado con el propósito de remover la tierra superficial. Luego se cortan en cosetas, trozos entre 2.5 - 5 cm.

En la siguiente etapa, las cosetas son llevadas a un difusor, donde se efectúa la extracción del azúcar, en contacto con agua a una temperatura entre 70 y 85 °C para lograr extraer entre 97.5 % y 98 % de los azúcares presentes¹¹.

Se obtiene un jugo azucarado que es acondicionado en un tanque madre, para posibilitar su posterior fermentación anaeróbica.

La etapa siguiente, considerada la más importante, es la etapa de fermentación, donde las levaduras transforman el azúcar de la remolacha en etanol, que es el producto deseado, además se obtiene dióxido de carbono como resultado de la respiración celular.

El líquido resultante de la fermentación, es sometido a un proceso de destilación para eliminar el agua y obtener etanol anhidro. La dificultad de la separación radica en que el etanol con el agua forma un azeótropo.

Finalmente, se obtiene un producto puro con más del 98,75% en peso de etanol.



Figura 2 - Proceso simplificado de obtención de bioetanol.

¹⁰ Diario La vanguardia. (2017). *Azucarera garantiza un precio de base de la remolacha de 25,45 euros/tn.*

¹¹ Pérez Ávila, A. D. (2012). *Evaluación del proceso de producción de etanol carburante a partir de Caña azucarera, remolacha azucarera y maíz.*

1.5.1. Rendimiento

La remolacha azucarera es la segunda en eficiencia para la producción de bioetanol, después de la caña de azúcar, con un rendimiento de 5.600 litros de etanol por hectárea¹².

El precio de la materia prima para producir un litro de etanol de remolacha sería de 0,23 US\$. La incidencia del costo del proceso de producción del etanol en el precio final de este producto, depende mucho del tamaño de la destilería. Considerando los costos de la materia prima conjuntamente con el de producción del etanol, el costo del litro de etanol procedente de remolacha es de 0,39 €. Se observa que la remolacha podría ser rentable para la producción de etanol si se logra un abaratamiento en el costo del proceso de producción del alcohol y si se comercializan los subproductos del proceso para pienso de animales. La producción de etanol a partir de remolacha parece ser viable desde el punto de vista económico, pero el problema es la falta de seguridad sobre la cantidad que se produciría anualmente de este tipo de remolacha.¹³

1.6. Productos y sub-productos

El bioetanol mezclado con la nafta produce un biocombustible de alto poder energético, con características muy similares a la nafta pero con una importante reducción de las emisiones contaminantes en los motores tradicionales de combustión. El etanol se usa en mezclas con la nafta en concentraciones del 5 o el 10%, E5 y E10 respectivamente, que no requieren modificaciones en los motores actuales.

En concentraciones más elevadas, autorizadas en Suecia, Estados Unidos y Brasil, se disponen de vehículos flexibles, con un depósito, motor y sistema de combustible único capaz de funcionar con nafta y etanol, solos o mezclados en cualquier proporción. Los usos más frecuentes del bioetanol para combustible son:

- Fabricación del ETBE (aditivo aumentador de octanos);
- Combustible mezcla (bioetanol-gasolina);
- Combustible directo (motores especializados que funcionan con bioetanol);
- Mezcla directa (bioetanol-diesel).

¹² Martínez Ruiz, A. (2010). *Remolacha azucarera, para etanol*.

¹³ Núñez García, M. J. y García Triñanes, P. (2011). *Biocombustibles: Bioetanol y Biodiesel*.

Sub-productos

La remolacha una vez tratada genera residuos que, si no son convenientemente utilizados, pueden causar un problema ambiental. Para remediarlo estos residuos pueden ser vendidos como sub-productos.

La pulpa o cosetas agotadas, junto con el mosto generado en el reactor de fermentación, pueden combinarse para obtener un alimento más equilibrado que pueda sustituir parcialmente a los cereales en los piensos¹⁴. También, esta biomasa generada puede ser utilizada para alimentar la caldera de la planta.

El otro sub-producto de la fermentación es el dióxido de carbono. Si se libera este gas al ambiente se acentúa el efecto invernadero, por lo tanto es necesario su tratamiento. Para ello se debe incluir una planta de recuperación, purificación y almacenamiento de CO₂ licuado con calidad para su posterior utilización.

En el proceso de destilación, se obtiene una serie de subproductos, entre ellos, material orgánico, alcoholes ligeros, como el metanol, alcoholes pesados y agua. Estos subproductos se pueden utilizar en otras industrias.

1.7. Ubicación de la planta

La decisión de la localización de la planta procesadora de bioetanol se fundamenta en tres ejes:

- Cercanía con la zona de cosecha de la materia prima.
- Parque industrial apto para las operaciones a realizar.
- Cercanía a rutas para la importación y exportación del producto.

Al evaluar las zonas del país en las cuales se puede llevar a cabo la plantación de la remolacha azucarera, se han encontrado distintos puntos que históricamente se han encargado de cultivar y cosechar dicha planta.

¹⁴ Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología, DICYT (2018). *Remolacha: más que azúcar y etanol*.

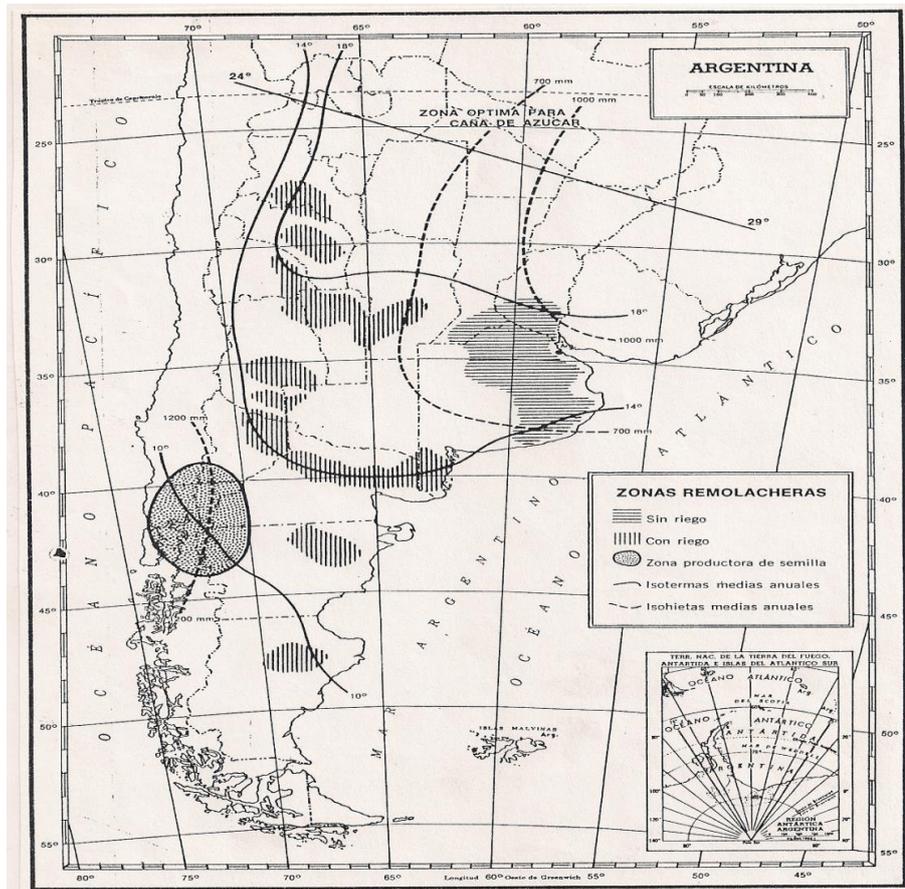


Figura 3 - Zonas remolacheras

Fuente: Chamorro, A. M. & Sánchez Vallduví, G. 2011.

Como se observa en la Figura 1.3, las zonas aptas son variadas, pero según experiencias realizadas, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires se han obtenido los mejores rendimientos con siembras primaverales, desde septiembre a mediados de noviembre. En ensayos bajo riego en Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza, los mejores resultados fueron en mayo y junio. En el sur de la Mesopotamia, la siembra otoñal dio los mejores resultados, aunque es posible también la siembra en primavera.

Desde hace algunos años, el INTA Mendoza-San Juan, en conjunto con la empresa sanjuanina Lomas del Sol, llevan a cabo estudios sobre el potencial de tres cultivos empleando aguas de reúso y a partir de ellos producir bioetanol.

En el caso particular de San Juan, la provincia cuenta con planes de inversión y de infraestructura para la radicación de nuevas industrias. Además, en los últimos años y debido a las consecuencias ambientales de la explotación minera, la provincia posee una nueva política ambiental que impulsa el desarrollo de empresas amigables con el ambiente a través de incentivos fiscales, los cuales otorgan apoyo crediticio y asistencia

técnica a través de la Agencia San Juan de Desarrollo de Inversiones, brindando asistencia financiera y técnica en el marco del Programa San Juan al Futuro.

San Juan cuenta con parques de generación de energía solar y eólica en desarrollo, cuyos servicios se esperan que sean utilizados por la industria.

Por lo mencionado anteriormente, se decide ubicar la planta de producción de bioetanol a partir de remolacha azucarera en la provincia de San Juan, el parque industrial elegido es el de Pocito, en el Departamento de Pocito,.

Se encuentra en cercanía de la zona de plantación y en una ubicación estratégica en el centro de la provincia, contando con accesibilidad a varias rutas, entre ellas, la ruta nacional 40 (conexión directa con Mendoza) y a las rutas hacia Chile. Esto último, posibilita la exportación utilizando los puertos del pacífico de Valparaíso y Coquimbo. Se espera que la futura construcción del túnel internacional Paso de Agua Negra, potenciara la ubicación de la provincia como eje de integración territorial y centro del Corredor Bioceánico Central.

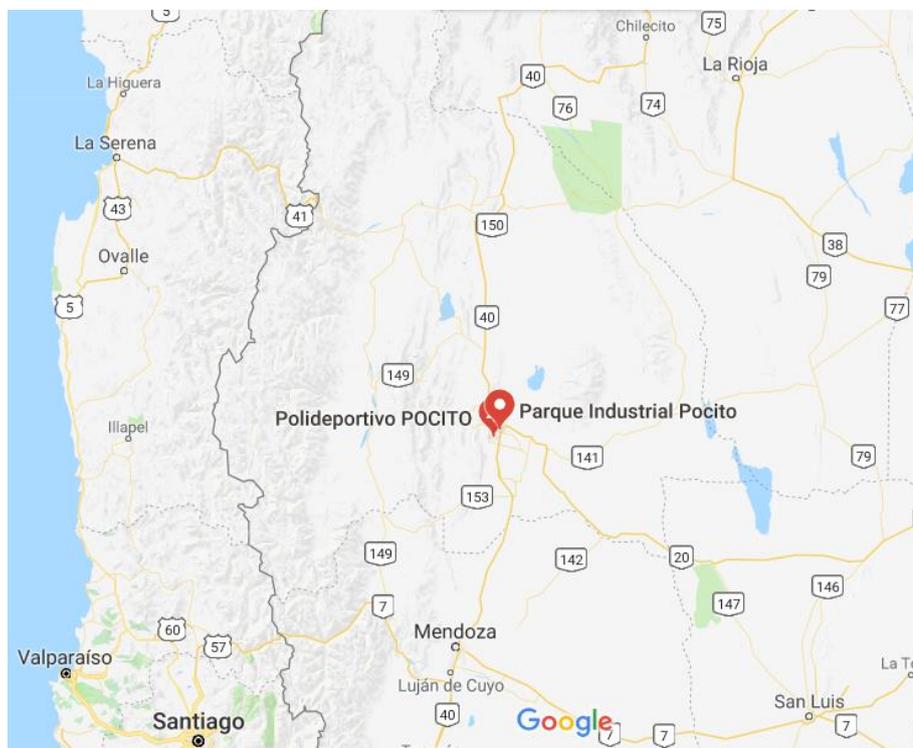


Figura 4 - Rutas de acceso al Parque Industrial Pocito.
Fuente: Google Maps (2018).

1.8. Conclusión

En los próximos años, se espera un aumento en el porcentaje de bioetanol presente en la nafta, por lo cual, es de suma necesidad aumentar la producción del mismo.

Los beneficios ambientales de producir bioetanol son el motor fundamental para el estudio y utilización del mismo. La obtención de él a partir de la remolacha azucarera nos asegura la soberanía alimentaria del país, ya que no se trata de un vegetal destinado al consumo humano y posee un mayor rendimiento por hectárea, a diferencia del maíz y la caña de azúcar.

Se espera posicionar al país como abastecedor y consumidor de bioetanol en Latinoamérica y crear un mercado competitivo con Brasil, actual referente latino de biocombustibles.

La localización de la planta ha sido pensada para realizar importaciones y exportaciones de manera dinámica y conveniente, ya que la provincia de San Juan, posee políticas de acompañamiento a las nuevas empresas y una ubicación limítrofe a un potencial cliente.

1.9. Bibliografía

Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología, DICYT (2018).

Remolacha: más que azúcar y etanol. Disponible en:

<http://www.dicyt.com/noticias/remolacha-mas-que-azucar-y-etanol>

AgriExpo. Venta de semillas de Remolacha Azucarera. Disponible en:

<http://www.agriexpo.online/es/prod/deleplanque/product-184485-74960.html>

Automotriz (2018). *Ventajas y desventajas de los biocombustibles etanol.* Disponible en:

<http://www.automotriz.mobi/coches/Combustibles/alternative-fuels/134554.html>

Baquero Franco, J. (1987). *La industria azucarera de la remolacha.* Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Dirección general de investigación y capacitación agrarias. Disponible en:

http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2281/hd_1987_08.pdf

Biodiesel Argentina (2017). Bioindustria Argentina: el etanol argentino, la potencia aun silenciada. Disponible en: <https://biodiesel.com.ar/11589/bioindustria-argentina-el-etanol-argentino-la-potencia-aun-silenciada>

Brandling, J. E., et al (2012). *Ethanol production from tropical sugar beet juice.* Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/128960>

Calzada, J. (2017). *Datos claves de biocombustibles.* Bolsa de Comercio Rosario.

Disponible en:

https://www.bcr.com.ar/Pages/Publicaciones/informativosemanal_noticias.aspx?pldNoticia=472

Calzada, J. & Ramseyer, F. (2018). *Se espera un record histórico en la producción de bioetanol en Argentina en el 2018.* Bolsa de Comercio Rosario. Disponible en:

https://www.bcr.com.ar/Pages/Publicaciones/informativosemanal_noticias.aspx?pldNoticia=1236

Calzada, J. & Di Yenno, F. (2017). *Capacidad de producción de etanol de Argentina no llega al 2% de la de EE.UU.* Bolsa de Comercio Rosario. Disponible en:

https://www.bcr.com.ar/Pages/Publicaciones/informativosemanal_noticias.aspx?pldNoticia=664

Chamorro, A. M. y Sánchez Vallduví, G. (2011). Remolacha azucarera. *Beta vulgaris* L. var. *Saccharifera* Curso: Oleaginosas y Cultivos Regionales - Tecnología Agropecuaria y

Forestal- FCAYF – UNLP. Disponible en: <https://studyres.es/doc/627922/remolacha-azucarera---aula-virtual---fcayf>

Departamento de Agricultura de Estados Unidos (2018). *Información de Etanol mensual*. Disponible en: <https://www.ams.usda.gov/services/transportation-analysis/datasets/ethanol>

Diario El Cronista (2017). *A pesar de demorarse el corte de los combustibles, crece este año la producción de bioetanol*. Disponible en: <https://www.cronista.com/negocios/A-pesar-de-demorarse-el-corte-de-los-combustibles-crece-este-ano-la-produccion-de-bioetanol-20170814-0013.html>

Diario Info Agro (2018). *El cultivo de remolacha azucarera: Parte I*. Disponible en: http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_remolacha_azucarera__parte_i_.asp

Diario La vanguardia. (2017). *Azucarera garantiza un precio de base de la remolacha de 25,45euros/tn*. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/vida/20170208/414153497736/azucarera-garantiza-un-precio-de-base-de-la-remolacha-de-2545-eurostn.html>

Diario Valor Soja (2017). *El gobierno argentino planea reformular el esquema de promoción del etanol para seguir los pasos de Brasil*. Disponible en: <https://www.valorsoja.com/2017/06/26/el-gobierno-argentino-planea-reformular-el-esquema-de-promocion-del-etanol-para-seguir-los-pasos-de-brasil/>

EcuRED. Remolacha azucarera. Disponible en: https://www.ecured.cu/Remolacha_azucarera

Martínez Ruiz, A. (2010). *Remolacha azucarera, para etanol*. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Remolacha-azucarera-para-etanol-20100628-0005.html>

Ministerio de Agroindustria (2017). *Biocombustibles 08/17*. Disponible en: [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/informes/_archivos//000001_Informes%20Biocombustibles%202017/000008_Informe%20biocombustibles%20\(agosto%202017\).pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/informes/_archivos//000001_Informes%20Biocombustibles%202017/000008_Informe%20biocombustibles%20(agosto%202017).pdf)

Ministerio de Energía (2018). Estadísticas de biodiesel y bioetanol. Disponible en: <http://datos.minem.gob.ar/dataset/estadisticas-de-biodiesel-y-bioetanol>

Ministerio de Energía (2018). *Precios de Bioetanol*. Disponible en: https://glp.se.gob.ar/biocombustible/reporte_precios_bioetanol.php

Núñez García, M. J. y García Triñanes, P. (2011). *Biocombustibles: Bioetanol y Biodiesel*. Dpto de Ingeniería Química, ETSE Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España. Disponible en:

http://www.encia.org/files/boletins/61/resumo_biocombustibles_bioetanol_y_biodiesel.pdf

Pérez Ávila, A. D. (2012). *Evaluación del proceso de producción de etanol carburante a partir de Caña azucarera, remolacha azucarera y maíz*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Disponible en:

<https://quimiart.files.wordpress.com/2012/05/evaluacion-del-proceso-de-produccion-de-etanol-carburante-a-partir-de-caña-azucarera-remolacha-azucarera-y-maíz.pdf>

Razo, C. et al (2007). *Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precio y empleo en América Latina*. Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL. Santiago de Chile, Chile. CEPAL-Serie Desarrollo Productivo N° 178. Disponible en:

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4573/S0700569_es.pdf?sequence=1

Resolución 1295/2008. *Especificaciones de calidad bioetanol*. Disponible en:

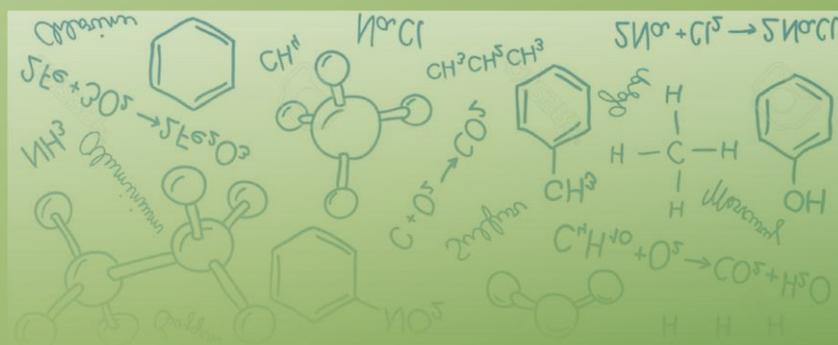
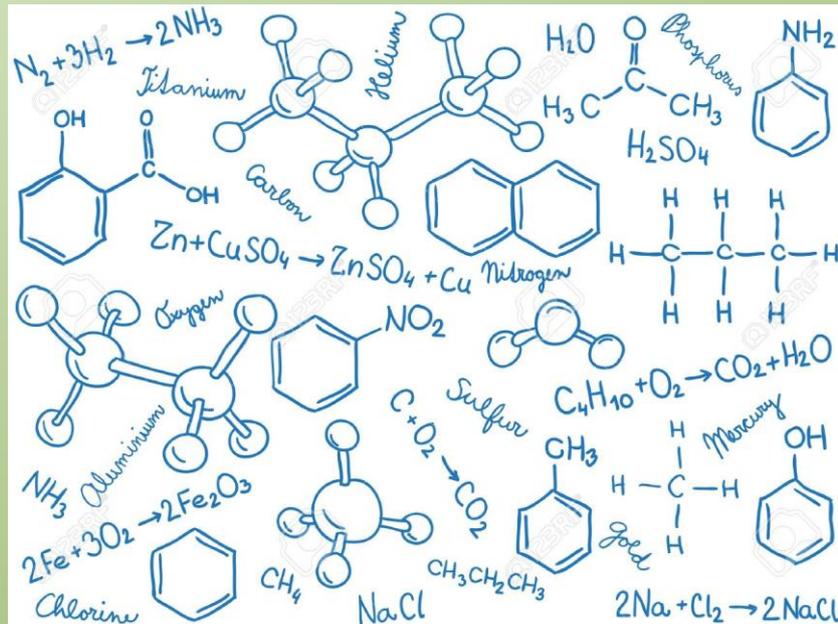
<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=147291>

Traxco (2010). *Remolacha azucarera*. Disponible en:

<https://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/la-remolacha-azucarera>

Unión de Productores de Bioenergía (2018). *Precio del Etanol- Noviembre*. Disponible en:

<http://www.udop.com.br/index.php?item=alcohol>



2. ANALISIS DE REACCIÓN QUÍMICA

2. ANÁLISIS DE LA REACCIÓN QUÍMICA

INTRODUCCIÓN

Para la producción de bioetanol a nivel industrial es necesario conocer los modelos cinéticos para determinar el crecimiento microbiano, la formación de producto y el consumo de sustrato. En este capítulo, se investiga la influencia de variables del proceso como la concentración inicial de azúcar, el pH, la temperatura y la concentración de levadura para evaluar la influencia de estas variables en el potencial de producción de bioetanol.

2.1. Obtención de bioetanol

Para la obtención de bioetanol a partir de remolacha azucarera, es necesaria la extracción de azúcares (jugo crudo de remolacha) que luego se fermenta. Para obtener el jugo, es menester conocer las características de nuestra materia prima.

La raíz de la remolacha tiene una armadura celulósica, que constituye del 4 al 5 % de la misma. El extracto seco de la raíz representa alrededor del 25 % del peso de ésta y lo componen el propio marco y otras materias tanto orgánicas como inorgánicas. El agua constituye el otro 75%.¹⁵

Los constituyentes minerales, potasio, sodio, magnesio, se encuentran combinados con aniones minerales, cloruros, sulfatos y aniones orgánicos. Los componentes orgánicos son en su mayoría azúcares, principalmente sacarosa, además de otro tipo de sustancias como materias pécticas, ácidos orgánicos, compuestos nitrogenados.

El azúcar contenido en la remolacha es la sacarosa, un disacárido constituido por dos moléculas de hexosa unidas mediante un puente de oxígeno. Su fórmula química responde a $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Los valores reportados informan un alto contenido de sacarosa, pero puede darse el caso que la remolacha contenga altos porcentajes de glucosa y fructosa en lugar de sacarosa. En estos casos puede suponerse que estas remolachas no experimentan ninguna falta de agua o nutrientes y, por lo tanto, las plantas producen más azúcares monoméricos en lugar de disacáridos¹⁶. El análisis de la materia prima antes de comenzar el proceso de extracción es fundamental para ajustar parámetros operativos.

¹⁵ Baquero Franco, J. (1987). *La industria azucarera de la remolacha*.

¹⁶ Brandling, J. E., et al (2012). *Ethanol production from tropical sugar beet juice*.

La densidad de las soluciones de azúcar se mide en grados Brix (determinada por el aerómetro Brix) y representa el peso en gramos de materia seca contenida en 100 gramos de solución.

2.1.1. Descripción del proceso para la obtención del jugo

Descarga, lavado y troceado de las remolachas

Las remolachas llegan a la fábrica donde son descargadas, lavadas y cortadas, reduciendo a las mismas en porciones, denominadas cosetas. Luego pasan, por medio de cintas transportadoras, al proceso de difusión.

Extracción del azúcar

La extracción se realiza por difusión mediante la acción de agua en contracorriente.

La remolacha está constituida por células provistas de una armadura celulósica que envuelve a una materia proteínica compleja (protoplasma) rodeada por una membrana (ectoplasma) impermeable a las sustancias disueltas. En el interior del protoplasma se encuentra una vacuola que contiene una solución de sacarosa.

La difusión cuenta con la dificultad de la impermeabilidad del ectoplasma, pero al aplicar calor, la célula sufre una importante transformación, en donde el protoplasma, rodeado por el ectoplasma, se contrae, situándose en el centro de la célula, en tanto que la vacuola se pone en contacto con la pared celular, permitiendo así la difusión de la sacarosa al exterior de la célula.

El fenómeno de difusión consiste en un movimiento lento y regular de los componentes solubles que se encuentran en el interior de las células hacia el exterior, donde la concentración de azúcar es menor. A través de las paredes celulares pasan, además de la sacarosa, otros componentes de tipo nitrogenado o salino, que no son deseables, ya que hacen que las soluciones extraídas sean impuras.

Por el extremo opuesto del difusor se descargan las cosetas ya agotadas, que se denominan pulpa.

2.1.2. Composición y características de jugo de remolacha azucarera.

El líquido azucarado procedente de la difusión constituye el llamado jugo y posee las siguientes características:

- Contiene partículas en suspensión.
- Es ácido, lo que puede provocar la descomposición de la sacarosa (inversión).
- Contiene una gran cantidad de no azúcares disueltos.
- Contiene sustancias coloidales extraídas de la remolacha.

La composición exacta de la remolacha a utilizar depende de la calidad de la misma, ya que la calidad es función de las condiciones climáticas y de los suelos de la zona de producción. Se considera que el porcentaje de azúcar en la cantidad de remolacha tratada es de un 15%. Este porcentaje es un promedio de los valores reportados por literatura.¹⁷

Tabla 11 - Composición de la Remolacha.

Remolacha	Azucarera
Azúcar	15%
Agua	75%
Otros	10%

Fuente: Baquero Franco, J. (1987).

Tabla 12 - Caracterización del jugo.

Jugo	Fracción másica
Azúcar	0,149
Agua	0,825
Otros	0,026

Fuente: Dodic, J. M. et al. (2012).

2.2. Fermentación

La fermentación alcohólica es un proceso biológico, en ausencia de oxígeno (anaeróbico), realizado por las levaduras y algunas clases de bacterias. Estos microorganismos transforman el azúcar principalmente en etanol y dióxido de carbono, y en moléculas de ATP (trifosfato de adenosina).

La fermentación alcohólica comienza después de la reacción de inversión de la sacarosa en glucosa. En el jugo, esta reacción ocurre de manera espontánea por

¹⁷ Baquero Franco, J. (1987). *La industria azucarera de la remolacha*.

encontrarse a un pH menor a 6. Este valor será cuantificado y en caso de no cumplirse dicho se le adicionara ácido sulfúrico.¹⁸

La glucosa presente en el jugo es captada por la enzima específica que contiene el microorganismo y es degradada en ácido pirúvico. Luego el piruvato (anión del ácido pirúvico) es descarboxilado, convirtiéndose en acetaldehído, el cual a su vez, es reducido a etanol a través de la otra enzima, utilizando como dador de electrones al NADH (nicotinamida adenina dinucleótido).

El proceso simplificado de la fermentación es:



Es decir: $C_6H_{12}O_6 + microorganismos \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + microorganismos$

Se aproxima el calor de reacción, a partir de los datos de entalpía estándar (25°C y 1 atm)¹⁹.

$$\Delta H^{\circ}f_{C_6H_{12}O_6} = -1274,4 \frac{KJ}{mol} \quad \Delta H^{\circ}f_{C_2H_5OH} = -277,7 \frac{KJ}{mol} \quad \Delta H^{\circ}f_{CO_2} = -393,5 \frac{KJ}{mol}$$

Mediante la Ley de Hess:

$$\Delta H^{\circ}_{reacción} = \sum n \Delta H^{\circ}_{formación} (productos) - \sum m \Delta H^{\circ}_{formación} (reactivos)$$

Donde n y m representan los coeficientes estequiométricos de reactivos y productos. El calor de reacción estándar resulta:

$$\Delta H^{\circ}_{reacción} = -68 \frac{kJ}{mol}$$

El valor obtenido es un valor aproximado, ya que no se contempla el metabolismo celular ni la formación de nuevas células.

La fermentación alcohólica es un proceso exotérmico, es decir, desprende energía en forma de calor. Es necesario controlar este aumento de temperatura, ya que si ésta asciende demasiado las levaduras morirán, deteniéndose el proceso fermentativo.

La energía libre de Gibbs tiene un valor de $\Delta G = -234.6 \text{ KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,²⁰ lo que nos indica que se trata de un proceso químico de tipo espontáneo, en presencia de microorganismos.

¹⁸ Gallego Milena (2007). *Influencia de la acides volátil en el progreso de fermentación de la planta de alcohol del ingenio Risaralda S.*

¹⁹ Chang, R. & Colledge, W. (2002). *Apéndice 3: Selección de datos termodinámicos a 1 atm y 25°C.* Química, 7ª edición, McGraw-Hill.

La fermentación es la etapa principal del proceso, no solo porque en ella se produce el etanol, sino porque se reproduce la masa fundamental de microorganismos y se generan los productos secundarios, los cuales deberán ser separados y tratados.

2.2.1. Microbiología de la fermentación

Muchos microorganismos han sido estudiados para la producción de etanol, pero la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es considerada la especie principal y más usada. Sin embargo, algunos investigadores han propuesto a la bacteria *Zymomonas mobilis* para sustituir a *S. cerevisiae* en la producción de etanol, debido a que esta especie posee características superiores.²¹ Entre ellas se puede nombrar un mayor rendimiento de conversión en etanol debido a su particular vía metabólica, produciendo menos biomasa, y obteniendo una velocidad de producción más alta.²²

En 1993, Doelle, H. W. y colaboradores caracterizaron a la bacteria como un organismo obligatoriamente fermentativo, que puede llegar a crecer bien bajo condiciones aeróbicas. Estos autores observaron fenómenos que aún no se han explicado de manera eficiente, tales como los que ocurren en el exterior de la célula y en la hidrólisis de sacarosa, el uso de la glucosa en el interior de la célula, procesos termodinámicos del metabolismo, cuál es el papel del CO₂ y el etanol en la inhibición y cuál de estos puede tener mayor efecto de inhibición.

En la tesis de Martínez Limón, J. (2010), se propone el uso de cultivos mixtos con células de *Zymomonas mobilis* y *Saccharomyces cerevisiae* libres e inmovilizadas en alginato de calcio. La dificultad de trabajar con ambas especies radica en el doble tratamiento que se le debe dar al medio fermentable, ya que primero se inocula con *Zymomonas mobilis* (pH 8.5) y luego con *Saccharomyces cerevisiae* (pH 5). En conclusión, las células sin ningún soporte a dado mejores resultados, aunque no los esperados por la combinación de ambas especies.

Varios autores han reportado el uso de *Zymomonas mobilis* a escala laboratorio, pero su explotación a nivel industrial es mínima, debido a que los mejores resultados obtenidos han sido utilizando cepas mutantes patentadas, las que resultan costosas para aplicaciones industriales.²³

²⁰ Méndez, A. (2011). *Fermentación alcohólica*.

²¹ Martínez Limón, J. (2010). *Tesis: Producción de bioetanol con células inmovilizadas*.

²² Siliceo Rodríguez, M. L. (2014). *Tesis: Análisis de la productividad industrial de bioetanol*.

²³ Park, S. C. & Baratti, J. (1991). *Batch Fermentation Kinetics of Sugar Beet Molasses by Zymomonas mobilis*.

2.2.2. Caracterización de levadura

La levadura utilizará en el proceso de fermentación es la *Saccharomyces cerevisiae*, levadura heterótrofa, que obtiene la energía a partir de la glucosa y tiene una elevada capacidad fermentativa. La misma se eligió teniendo en cuenta las características reportadas por Fajardo & Sarmiento (2007), entre las cuales destacan la fácil manipulación y recuperación, poca exigencia en cuanto a su cultivo, tolerancia a altas concentraciones de etanol y bajo costo.

La *Saccharomyces cerevisiae* metaboliza una molécula de glucosa a través de una reacción de glucólisis, conocida como la vía de Embden-Meyerhof, produciendo dos moléculas de piruvato. Se ha reportado que los rendimientos de etanol para *S. cerevisiae* son alrededor del 90- 93 % (Bai, Anderson, & Moo-Young, 2008).

Los factores a tener en cuenta para su crecimiento y desarrollo son:

Presión osmótica

La nutrición de la levadura es un proceso puramente osmótico, es importante evitar una mayor concentración de soluto en el medio externo, para que la célula no pierda agua debido a la diferencia de presión. El estrés osmótico puede causar una disminución en el volumen celular, afectando tanto la velocidad de fermentación como la viabilidad celular.

Temperatura

El incremento de la temperatura acelera la fermentación de los azúcares de la levadura. Esta aceleración es tres veces más significativa a valores cercanos de 30°C que a 20°C. A los 55°C la acción de la levadura termina. A baja temperatura (0°C) la levadura disminuye su actividad casi totalmente, entrando a un estado de latencia.

Luz

En general la luz es perjudicial para los microorganismos que carecen de clorofila, o cualquier otro pigmento que les permita usar la energía de las radiaciones en el proceso de fotosíntesis.

pH

El pH óptimo en el cual se desarrollan mejor los microorganismos, está entre 4 y 5. Las levaduras tienen la ventaja de soportar medios más ácidos que otros microorganismos, lo que es aprovechado en los procesos industriales para mantener el medio controlado de bacterias que puedan competir por el sustrato.

Etanol

El efecto del etanol en la célula es una combinación de inhibición del crecimiento y disminución de la viabilidad. Puede actuar como inhibidor de la fermentación a partir de un 8%.²⁴

2.2.3. Inhibidores de la fermentación

Los inhibidores son factores que perjudican la actividad vital de los microorganismos. Entre ellos se encuentran la alta concentración de ácidos volátiles (más de 2000 ppm en la fermentación mesofílica y de 3600 ppm para la termofílica), la excesiva concentración de amoníaco y nitrógeno, que destruyen las bacterias, todo tipo de productos químicos agrícolas quienes podrían destruir totalmente la digestión normal. También muchas sales como los iones metálicos son fuertes inhibidores. Además de los metales pesados que pueden perjudicar el crecimiento de las levaduras, hasta matarlas por completo.

En nuestro caso, el producto deseado se convierte en el mayor inhibidor a grandes concentraciones, por tal motivo, se opera extrayendo el etanol, de manera continua, para evitar la acumulación del mismo.

2.2.4. Condiciones de operación óptimas

Las levaduras necesitan determinadas condiciones de alimento, humedad y temperatura para poder vivir y desarrollarse, y así dar lugar a la fermentación:

- Sin humedad no pueden activarse, ya que la levadura necesita que su alimento esté disuelto en agua para poderlo asimilar.
- Su alimento base son los azúcares (lo que “más le gusta” es la glucosa, es el azúcar que puede utilizar), también necesita algo de nitrógeno (que toma de las proteínas) y algunos minerales.
- En cuanto a la temperatura, por debajo de 26°C no actúan (o con dificultad) y por encima de 38°C se debilitan demasiado. A 55°C mueren.

²⁴ Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.

2.3. Cinética química

El modelado cinético es un paso importante en el desarrollo de un proceso de fermentación, ya que los modelos ayudan en el control del proceso, lo que reduce sus costos y aumenta la calidad del producto. Una vez que se define los modelos, se los usa para describir el proceso de producción a diferentes condiciones de temperatura, pH, aireación, mezcla, etc.

Tomando de base el informe realizado por Dodic, J.M. et al (2012), en el cual se desarrolla la cinética para la producción de bioetanol a partir de remolacha azucarera, se determinaran los parámetros cinéticos.

El crecimiento de las células de levadura se expresa mediante el modelo de la ecuación logística, que describe el crecimiento en función de la concentración inicial de biomasa, el tiempo de fermentación, la velocidad de crecimiento específica y la concentración final de biomasa.

La cinética de formación de bioetanol, se representa a partir del modelo modificado de Gompertz, que proporciona el tiempo de demora, la producción de bioetanol, la tasa y concentración máxima, en función del avance de la reacción de fermentación.

2.3.1. Modelo cinético de fermentación

La cinética de crecimiento de la levadura se cuantificó usando la ecuación de Monod con las siguientes suposiciones:

- El biorreactor posee mezclado perfecto y por lo tanto, las condiciones son uniformes en el interior.
- Las células de levadura no murieron o no se volvieron inviables (la máxima producción de bioetanol se produce con anterioridad a la muerte celular).
- La velocidad de agitación de 150 rpm excedió la necesidad de fermentación para proporcionar una transferencia de masa adecuada y una disponibilidad uniforme del sustrato.
- No se incluyó un término que considera la inhibición del crecimiento por concentración de etanol, está por debajo del 15%, valor al cual comienza a ocurrir la inhibición de la levadura bajo estrés por etanol.

La ecuación logística se utiliza para modelar el crecimiento de células de levadura, solo describe el número de organismos, durante el proceso de fermentación. Esta ecuación se expresa de la siguiente manera.

$$\frac{dX}{dt} = \mu_m \cdot \left(1 - \frac{X}{X_m}\right) \cdot X \quad (1)$$

Donde X es la masa de células de levadura (g/l), X_m es la concentración máxima alcanzable de masa de células de levadura (g/l) y μ_m es la tasa máxima de crecimiento específico de células de levadura (h^{-1}). Usando la condición de frontera $X = X_0$ para $t_0 = 0$, se integró y se obtuvo la siguiente expresión:

$$X = \frac{X_0 \cdot \exp(\mu_m \cdot t)}{1 - (X_0/X_m) \cdot (1 - \exp(\mu_m \cdot t))} \quad (2)$$

Para el modelado de la producción de etanol, se utilizó el modelo modificado de Gompertz, que proporciona el tiempo de demora, la tasa máxima de producción de bioetanol y la concentración de producto máxima posible:

$$P = P_m \cdot \exp \left\{ - \exp \left[\frac{r_{p,m} \cdot \exp(1)}{P_m} \right] \cdot (t_L - t) + 1 \right\} \quad (3)$$

Donde P es la concentración de bioetanol (g/l), P_m es la concentración máxima potencial de bioetanol (g/l), $r_{p,m}$ es la tasa máxima de producción de bioetanol (g/l h) y t_L es la fase de latencia o tiempo desde el inicio de la fermentación hasta la producción exponencial de bioetanol (h).

Los parámetros cinéticos se estimaron ajustando los datos experimentales.

Tabla 13 - Parámetros cinéticos.

Parámetros Cinéticos		Jugo Crudo		Jugo Filtrado	
		Valor estimado	Desviación estándar	Valor estimado	Desviación estándar
Ecuación Lógica	$U_m(h^{-1})$	0.194	0.009	0.213	0.008
	$X_o(g/l)$	2.576	0.072	2.602	0.056
	$X_m(g/l)$	8.381	0.123	9.473	0.142
Ecuación de Gompertz	$t_l(h)$	1.04	0.288	2.21	0.157
	$r_{p,m} (g/lh)$	4.39	0.181	4.54	0.139
	$P_m (g/l)$	73.31	2.578	69.85	1.982

Fuente: Dodic, J.M. et al (2012).

Se encontró que la ecuación logística es un modelo cinético apropiado para describir con éxito el crecimiento de levaduras en este sistema particular.

La ecuación de Gompertz modificada es capaz de describir adecuadamente la producción de bioetanol durante la fermentación.

Al analizar los valores brindados por Dodic (2012), se obtiene que la tasa de producción de biomasa alcanza su máximo a las 10hs, desde el momento de inoculación.

La tasa de consumo de azúcares fermentables y la tasa de producción de bioetanol también alcanza su máximo a las 10hs.

Las impurezas presentes en el jugo crudo afectan los parámetros cinéticos predichos por los modelos, estas impurezas solo tiene un efecto sobre la cantidad de biomasa y es favorable porque la producción de bioetanol comienza antes.

Los modelos obtenidos se verificaron realizando una fermentación de etanol semi industrial.

2.3.2. Variables y parámetros

Es importante conocer como varían los parámetros cinéticos en función de las variables operativas, para ello se analiza el informe de Egharevba, F.et al (2014) sobre la fermentación de la caña de azúcar a partir de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en el cual presenta datos experimentales obtenidos al variar la temperatura, el pH, y la

concentración de levadura, y cómo estas variables afectan a la velocidad de fermentación.

La tasa de fermentación se mide a través de la velocidad de producción de CO₂, ya que a medida que se desarrolla la fermentación, se libera CO₂, llegando a su valor más alto cuando el crecimiento de levadura es máximo.

Determinación del efecto de la temperatura

Se varía la temperatura entre 30 - 42 °C, para distintos tiempos de fermentación y manteniendo constantes otros factores.

Tabla 14 - Efecto de la temperatura en la tasa de fermentación usando levadura 1,0% (p/v) y pH 5,0.

Volumen de CO ₂ producido (cm ³)							
Tiempo(min)	Temperatura (°C)						
	30	32	34	36	38	40	42
30	100	100	100	100	100	100	100
60	142	128	128	128	171	128	142
90	200	142	142	142	200	200	157
120	242	157	171	157	242	214	171
150	271	171	242	200	300	228	200
180	300	200	300	228	457	242	242
210	328	228	342	300	500	257	271
tasa (M/min)	0,70	1,30	1,80	2,00	1,50	0,90	0,90

Fuente: Egharevba, F.et al (2014).

En el intervalo de temperatura estudiado, la tasa máxima de producción de CO₂ se produce a los 36°C, al aumentar la temperatura esta tasa disminuye.

Sin embargo, la temperatura óptima que produce mayor cantidad dióxido de carbono y por lo tanto más etanol, es cercana a la temperatura a la cual comienzan a debilitarse las levaduras.

Por tal motivo, se decide optar por una temperatura de trabajo menor, además se tiene en cuenta que la reacción de fermentación es exotérmica, lo que provocara un aumento de la temperatura.

Dodic realiza sus experiencias de los parámetros cinéticos a 28°C, utiliza dicha temperatura por resultados de pruebas anteriores (Dodíc J. M. et al, 2010) en la cual analiza el efecto de la temperatura realizando la reacción de fermentación a 30°C y concluye que la temperatura óptima para realiza la fermentación a partir del jugo de remolacha azucarera es de 28°C. La variación en ±2°C no afectan el crecimiento de la levadura ni la producción de etanol.

Es importante que esta temperatura sea controlada y constante para utilizar adecuadamente los parámetros cinéticos e impedir la debilidad de las levaduras, y por consecuencia una menor producción de etanol.

Determinación del efecto del pH

El pH se varió con el agregado de una solución de ácido sulfúrico (H₂SO₄ 0,1 M) e hidróxido de sodio (NaOH 0,1M) dependiendo del valor de pH requerido y se midió mediante un pH-metro.

Tabla 15 - Efecto del pH en la tasa de fermentación a 30°C, levadura 1,0% (p/v)

Volumen de Co ₂ producido (cm ³)							
Tiempo(min)	pH						
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
30	442	271	228	200	200	271	200
60	471	400	400	257	214	328	300
90	600	442	500	300	400	385	342
120	642	528	557	328	428	442	357
150	828	557	571	342	528	500	400
180	928	714	600	428	585	542	500
210	985	928	657	500	671	571	628
tasa (M/min)	1,9	2,3	2,4	2,6	3,0	4,0	2,5

Fuente: Egharevba, F.et al (2014).

Se observa un aumento de la velocidad de fermentación entre 3,0 - 5,5, lo cual está en conformidad con el rango óptimo de pH de *Saccharoymces cerevisiae* de entre 4.5 - 5.5 (De Beeze, G.I. 2008). Fuera del rango de pH óptimo, las células de las enzimas son menos tolerantes al entorno de pH y, como es de esperar, menos activas y menos

eficientes en la conversión del sustrato. El control de pH será determinante para asegurarnos la mayor eficiencia posible.

Determinación del efecto de la concentración de levadura.

Se considera que en una concentración alta de levadura, el sustrato deja de estar disponible como alimento de calidad para todas, es decir, si se agrega mucha concentración de levadura, todas comerán pero no obtendrán la cantidad necesaria de azúcar para vivir y reproducirse de manera óptima. Esto sugiere que hay una cantidad fija o particular de sustrato que puede ser aprovechado por la levadura.

Por la caracterización de nuestro sustrato, Dodic propone utilizar diez gramos de levadura por litro de jugo crudo de remolacha. Al realizar la reacción de fermentación a escala industrial, el reciclo de las levaduras es una buena opción para disminuir costos y por consiguiente, aumentar beneficios. Se analiza que el reciclo del 30% de las levaduras es una buena opción.

2.3.3. Condiciones de operación

Se utiliza el modelo propuesto por Dodic, J.M. et al (2012), las condiciones experimentales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 16 - Condiciones de operación.

Parámetro	Valor
Temperatura	28°C
pH	5.0
Concentración de levadura	10 g/l
Azúcar en jugo	15,3 ° Brix

Fuente: Dodic, J.M. et al (2012).

Ecuación de Logística: modela el crecimiento de células de levaduras durante el proceso de fermentación.

$$X(t) = \frac{X_o \cdot e^{(\mu_m \cdot t)}}{1 - \frac{X_o}{X_m} \cdot [1 - e^{(\mu_m \cdot t)}]} \quad \rightarrow \text{Se reemplazan los valores obtenidos} \quad \rightarrow \quad X(t) = \frac{2.576 \cdot e^{(0.194 \cdot t)}}{1 - \frac{2.576}{8.381} \cdot [1 - e^{(0.194 \cdot t)}]}$$

Donde X es la concentración de Biomasa en g/l.

Modelo modificado de Gompertz: se utiliza para modelar la producción de etanol durante el proceso de fermentación

$$P(t) := P_m \cdot e^{-e^{-\left[\frac{r_{pm} \cdot e^{(1)}}{P_m} \cdot (t_L - t) + 1 \right]}} \rightarrow \text{Se reemplazan los valores obtenidos} \rightarrow P(t) := 73.31 \cdot e^{-e^{-\left[\frac{4.392 \cdot e^{(1)}}{73.31} \cdot (1.04 - t) + 1 \right]}}$$

Donde P es la concentración de etanol en g/l.

Finalmente, respetando los parámetros operativos propuestos por Dodic, se determina que el tiempo de reacción óptimo es de 10 horas alcanzando una conversión de 0,8 en la reacción de fermentación: azúcar+ levaduras → etanol +dióxido de carbono + levaduras.

Esta cantidad de horas se determina al visualizar que, a este tiempo, se alcanzan la máxima tasa de producción de bioetanol y la máxima tasa de consumo de azúcares fermentables. Al observar el gráfico del modelo modificado de Gompertz (tiempo vs concentración de etanol) es posible ver un punto de inflexión a las 10 horas, si se dejara que transcurra más tiempo en el reactor, la conversión obtenida no justifica el periodo extra.

Se aclara que para obtener la conversión se considera la reacción puramente química y no biológica, sin embargo las concentraciones de etanol obtenido son función de las condiciones en las que se encuentren las levaduras.

2.4. Conclusión

Dado que Argentina tiene un alto potencial de materias primas renovables, es necesario considerar e identificar qué proceso o combinación de procesos para la producción de bioetanol ofrece los mejores resultados desde el punto de vista tecnológico, económico y ecológico. Centrándonos únicamente en la producción de bioetanol, a partir de la remolacha azucarera, se realizó el análisis cinético y termodinámico del proceso.

A través del modelo cinético, se determina que la reacción de fermentación se llevara a cabo en un tiempo de 10 horas, permitiendo que la reacción química alcance una conversión de 0.8.

Si se dejara transcurrir más tiempo de reacción, se sigue produciendo etanol, pero la velocidad de producción llego a su máximo y luego se desacelera, sin producir cantidades que justifiquen dejarlo más tiempo y por consiguiente, se necesitara mayor volumen de reactor.

2.5. Bibliografía

Bai, F.W. et al. *Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks*. Biotechnol Adv 26 (2008) 89–105.

Baquero, J. (1987). *La industria azucarera de la remolacha*. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Dirección general de investigación y capacitación agrarias. Disponible en:
http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2281/hd_1987_08.pdf

Brandling, J. E., et al (2012). *Ethanol production from tropical sugar beet juice*. Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/128960>

Chang, R. & College, W. (2002). *Apéndice 3: Selección de datos termodinámicos a 1 atm y 25°C*. Química, 7ª edición, McGraw-Hill, pag: 962- 967.

De Beeze, G. I. *Alcoholic Fermentation*. Junior World Encyclopedia of Chemical Technology (2008); 6: 354-357.

Dodic, J. M. et al. *Kinetic modelling of batch ethanol production from sugar beet raw juice*. Applied Energy (2012) 99: 192–197.

Doelle, H. W. et al. *Zymomonas mobilis- Science and Industrial Application*. Critical Reviews in Biotechnology (1993);13: 57-98.

Efecto del sustrato en la liberación de CO₂ por Saccharomyces cerevisiae.

Disponible en:

http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria283_01_efecto_del_sustrato_en_la_liberacion_de_co2_por_s_.pdf

Fajardo Castillo, E. E., & Sarmiento Forero, S. C. Tesis: *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de Saccharomyces cerevisiae*. Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias, Bogotá, Colombia (2007).

Info Agro. *El cultivo de remolacha azucarera: parte i*.

Disponible en:

http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_remolacha_azucarera__parte_i.asp

Martínez Limón, J. (2010). Tesis: *Producción de bioetanol con células inmovilizadas*. Instituto Politécnico Nacional, México. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/15765/1/Tesis%20de%20Maestria%20Italicas.pdf>

Mu, Y. et al. *Kinetic modeling of batch hydrogen production process by mixed anaerobic cultures*. *Bioresour Technol* (2006) 97: 1302–1307.

Méndez, A. (2011). *Fermentación alcohólica*. Disponible en: <https://quimica.laguia2000.com/general/fermentacion-alcoholica>

Park, S. C. & Baratti, J. (1991). *Batch Fermentation Kinetics of Sugar Beet Molasses by Zymomonas mobilis*. *Biotechnology and bioengineering* (1991); 38: 304-313.

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. *Levadura Saccharomyces cerevisiae y la producción de alcohol*. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba (2016); 50: 20-28.

Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/2231/223148420004/>

Siliceo Rodríguez, M. L. (2014). *Análisis de la productividad industrial de bioetanol*. Universidad Veracruzana, Venezuela. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46727/SiliceoRodriguezMLuisa.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Sociedad Cooperativa General Agropecuaria. *Recepción y Tratamiento de Remolacha*. Disponible en: <http://www.cooperativaacor.com/es/extraccion/art/189/>

Van Ginkel, S. et al. *Biohydrogen production as a function of pH and substrate concentration*. *Environ Sci Technol* (2001) ;35: 4726–4730.

Vázquez, H. J. & Dacosta, O. *Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas*. *Investigación y Tecnología VIII* (2007); 4: 249-259.

Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432007000400004



3. ANÁLISIS DE PRE/POST TRATAMIENTO

3. ANÁLISIS DE PRE/POST TRATAMIENTOS

INTRODUCCIÓN

La producción del bioetanol es un proceso complejo y está influenciado por aspectos sociales, políticos y de índole tecnológico. Este producto debe cumplir con características específicas para su utilización en cortes de combustible, por lo cual se debe realizar un pre y post tratamiento a la entrada y salida del fermentador, respectivamente.

A los sustratos se les realiza pretratamientos para favorecer la liberación de azúcares fermentables.

En el post tratamiento, se busca separar los componentes, debido a la formación de una mezcla azeotrópica etanol-agua.

La separación de mezclas azeotrópicas, en fracciones de elevada pureza, constituye uno de los problemas técnicos y económicos más importantes del proceso, ya que durante la etapa de fermentación se obtienen grandes cantidades de caldo de fermentación con bajas concentraciones de alcohol (entre 5-12% en peso)²⁵ por lo que es necesario eliminar el exceso de agua para llegar a una pureza de etanol superior al 98,75% en peso²⁶.

3.1. Pretratamiento

Para lograr un rendimiento adecuado en la producción de bioetanol a partir de remolacha azucarera, es necesario obtener un jugo concentrado de azúcar (15° Brix aproximadamente) para su fermentación. Para ello, se somete a la materia prima a varias etapas de tratamiento.

3.1.1. Etapas de Pretratamiento

Recepción de remolacha

Las remolachas llegan a la planta donde son pesadas y almacenadas en una bodega.

²⁵ Quintero, J.A. et al. (2007). *Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos.*

²⁶ López Jiménez, J. A. & Lozada Salgado, H. (2005). *Obtención de etanol anhidro a partir de un proceso de destilación con adición de electrolitos.*

El almacenado de los tubérculos no puede exceder más de un día debido a que pierden agua y disminuye su concentración de azúcares, así que solo se almacena la cantidad adecuada y requerida para el proceso.

Lavado

Desde el almacén de materias primas, las remolachas son cargadas a una banda transportadora, pasando por una zaranda vibratoria (equipo removedor de sólidos que hace una separación basada en el tamaño físico de las partículas).

Luego, son llevadas a un equipo industrial de lavado continuo con agua a temperatura ambiente, donde se sumergen las remolachas, removiendo el excedente de tierra. Una vez lavadas, las remolachas son arrastradas por una cinta transportadora ascendente y se descargan en la trituradora.

Corte

La cortadora o trituradora industrial de vegetales reduce su tamaño en rodajas delgadas, de 2 a 3 cm de espesor (cosetas). El objetivo de esto es aumentar la superficie de contacto, ya que mientras más pequeño es el corte, más azúcar se puede extraer.

Extracción y difusión

Las cosetas se introducen en un tanque de acero inoxidable, donde se someten a la acción de una corriente de agua caliente, para llevar a cabo el proceso de extracción de azúcares por difusión.

El agua que se utiliza posee una temperatura entre 70 y 85°C. Se debe tener presente que si el agua para este proceso sobrepasa el intervalo de temperatura mencionado, se podría provocar la contracción de la superficie de la coseta. Esto se produce a causa de la coagulación de las proteínas, impidiendo que el azúcar se disuelva en agua.

La coseta se hace circular a contracorriente agua, que extrae la sacarosa convirtiéndose en jugo de extracción. Por el extremo opuesto del equipo se descarga la coseta ya agotada, que se denomina pulpa.

Prensado

La pulpa extraída de los difusores contiene una gran cantidad de agua que se reduce apreciablemente mediante un proceso de prensado. El agua procedente de este prensado se introduce de nuevo en el difusión para recuperar el azúcar y la temperatura que lleva la misma, mientras que la pulpa pasa al siguiente proceso de secado.

Luego de los procesos de tratamiento, se envía el jugo resultante a un tanque de almacenamiento, tanque madre, para su posterior bombeo al fermentador. Durante el tiempo que se encuentra en el tanque madre, se acondiciona ácido sulfúrico 0,1M, para llevar al jugo a un pH ácido (menor a 6) para favorecer la inversión de la sacarosa en glucosa. Además se le adicionan la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

3.2. Post Tratamiento

El etanol que se obtiene luego de la fermentación es inmiscible en nafta por su alto contenido de agua. Sólo el alcohol absoluto o mayor a 98,75% en peso, se mezcla con nafta; por esto, se requiere la separación del mismo.

Del fermentador sale una corriente de producto, que es llevada a un separador donde se obtendrá una corriente en fase líquida y fangos.

La fase líquida está compuesta por agua, etanol y azúcar, con una composición másica entre 0.05 y 0.12 de etanol²⁷. Los fangos serán utilizados para generar los subproductos.

3.2.1. Eliminación del CO₂

El tanque de fermentación tendrá una válvula de purga especial en la parte superior del tanque, para hacer más fácil la salida del dióxido de carbono evitando la entrada de oxígeno. El fermentador consta de un sistema de agitación, para procurar que la mezcla sea completa y que se elimine el dióxido de carbono, sin que este quede en la corriente de producto.

Además el tanque de fermentación contará con una membrana que impida que el dióxido generado arrastre el etanol producido.

²⁷ Quintero, J.A. et al. *Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos*. (2007)

El dióxido generado por la reacción de fermentación, no puede ser liberado al ambiente para no generar contaminación, este debe ser tratado. El mismo puede ser purificado y vendido como subproducto.

3.2.2. Métodos de Adsorción

Es importante lograr separar en la corriente de producto el etanol y el agua, pero esta separación no es sencilla ya que forma un azeótropo. Para ello se investigan posibles métodos de separación que se explican a continuación.

Tamices moleculares

Los tamices moleculares adsorben el agua de la corriente. Los mismos están fabricados a partir de aluminosilicatos de potasio. Como condición de operación, la cantidad de agua a remover por medio del tamiz debe ser baja. El proceso de separación por tamices moleculares puede hacerse en fase líquida o vapor. En la operación en la fase líquida se utiliza gas caliente para la regeneración del lecho de tamiz. Esto conduce a un deterioro acelerado por causa del choque térmico.

La regeneración (remoción del agua absorbida) se lleva a cabo haciendo pasar una corriente de gas caliente (N_2 o CO_2) a través del lecho de tamiz molecular. Éste gas debe ser químicamente inerte, de alta pureza, con una presión cercana a 200 psig y no debe contener oxígeno o aire.

La operación en fase vapor permite alargar la vida promedio del tamiz hasta por 10 años, ya que la regeneración se hace recirculando parte de los vapores de etanol anhidro sobrecalentado al lecho, con el fin de retirar la humedad acumulada.

Un sistema en fase vapor, utiliza típicamente dos lechos de tamiz molecular. En un primer lecho se lleva a cabo la deshidratación, haciendo pasar vapores de etanol azeotrópico a alta presión, desde la parte superior del lecho. En forma paralela, en un segundo tamiz se lleva a cabo la operación de regeneración a baja presión, para retirar el agua que ha sido adsorbido previamente; esto se hace recirculando entre 15 y 40% del etanol anhidro obtenido en el primer lecho. Cuando el ciclo deshidratación/regeneración se completa, el primer lecho pasa a la operación de regeneración mientras que el segundo se utiliza en la deshidratación.

Separación por membranas

La pervaporación es un proceso en el cual se remueven compuestos orgánicos volátiles de mezclas acuosas a través de una membrana. Se alimenta una mezcla líquida a un lado de la membrana y el producto permeado se remueve al otro lado como un vapor a baja presión.

La operación se inicia alimentando etanol del 94% peso, obtenido de una torre de destilación, al primer módulo de pervaporación a través de una bomba a una velocidad de flujo determinada. El sistema cuenta con nueve módulos que están agrupados en cuatro etapas, cada una de las cuales tiene un intercambiador de calor que lleva la solución de etanol hasta una temperatura de 60°C antes de entrar a los módulos. Las primeras dos etapas están constituidas por dos módulos cada una; allí se recircula una buena parte del etanol con el fin de evitar el enfriamiento de la solución de alimento, que provoca una baja eficiencia de permeado. La recirculación obliga a que las dos primeras etapas operen sus módulos en paralelo para poder recibir los elevados flujos que se generan. Las etapas tres y cuatro tienen módulos operando en serie, debido a que los flujos son más bajos y se aproximan al flujo de alimentación.

El sistema tiene además dos líneas de vacío (de 5 torr y 1 torr) para aumentar la eficiencia de la permeación. El agua se retira en forma gaseosa a través de un condensador que opera entre 5 y 7°C. La presión de vacío se regula por una bomba de succión de agua a 30 torr.

Destilación

Método costoso, pero muy utilizado en la industria. Los procesos de destilación convencionales requieren normalmente de tres etapas:

1. Destilación del etanol acuoso diluido hasta la composición azeotrópica:
2. Destilación azeotrópica o extractiva usando un tercer componente que rompa el azeótropo para obtener alcohol etílico puro;
3. Destilación para recuperar el solvente y poder recircularlo.

Mediante una única destilación simple es imposible solucionar el problema de azeotropía que tiene la mezcla etanol-agua, por lo cual, se proponen diferentes alternativas para eliminar o desplazar el azeótropo y de esta manera, producir etanol con más de 98,75% en peso de concentración.

Destilación salina

Esta clase de destilación se basa en el agregado de sales en la solución líquida que contiene los solventes (agua y etanol). Las sales más comúnmente utilizadas son: cloruro de sodio (NaCl), cloruro de potasio (KCl), yoduro de potasio (KI), cloruro de calcio (CaCl_2) y acetato de potasio ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2\text{K}$), las cuales, presentes en pequeñas concentraciones en la solución agua-etanol, pueden desplazar el azeótropo con relativa facilidad.

Estudios teóricos y experimentales han demostrado que la mejor etapa de alimentación de la sal a la columna de destilación salina es lo más cercano posible al tope de la misma, inclusive, algunos autores han reportado que el punto óptimo de alimentación es en el plato de reflujo de la columna, logrando con esto, que la sal arrastre el agua que sale con el etanol en condiciones azeotrópicas. La dificultad que surge al trabajar con electrolitos, son los modelos termodinámicos que se deben utilizar, ya que la presencia de los mismos influye sobre el coeficiente de actividad de los componentes en la solución. Además, modifican la presión de saturación y el coeficiente de fugacidad, útiles a la hora del cálculo del equilibrio de fases.

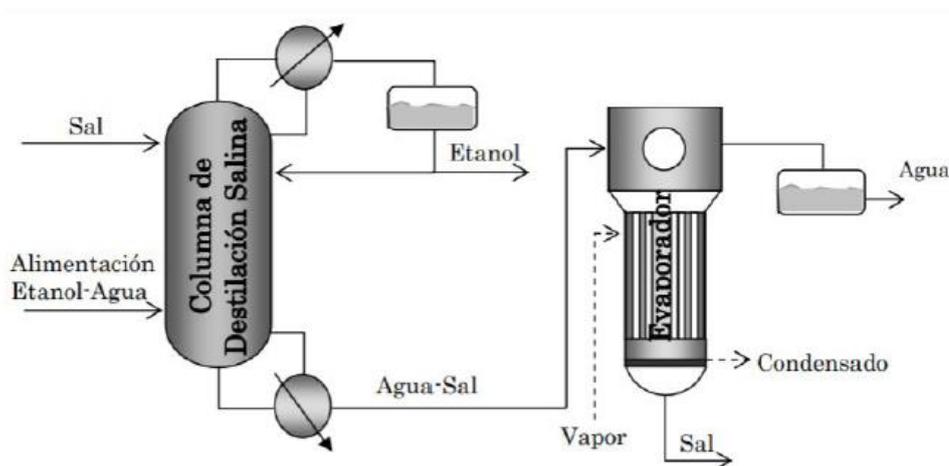


Figura 5 - Destilación salina.

Fuente: López Jiménez, J. A. & Lozada Salgado, H. (2005).

Las principales ventajas son: la disminución del número de equipos requeridos para la destilación, ya que con una sola columna se puede reconcentrar el alcohol proveniente de la fermentación; la operación requiere de pequeñas cantidades de agente salino; el producto obtenido está totalmente libre del electrolito, debido a la baja volatilidad de éste; se requieren bajos costos energéticos y de equipos. Pero el proceso también tiene sus desventajas: la recuperación de la sal sólida del agua, la cual está disuelta; corrosión en los equipos de recuperación de la sal para su posterior recirculación a la torre.

Destilación al vacío

El sistema consta de dos columnas consecutivas: por la columna 1 se alimenta la solución diluida para llevarla hasta una composición cercana a la azeotrópica y luego ésta solución se lleva a la columna 2, en donde se hace vacío para deshidratar el etanol y obtener una composición por encima del 99% en volumen. Debido a que el azeótropo desaparece a una presión por debajo de los 11,5 kPa (0.11 atm) surge la posibilidad de una destilación al vacío, pero no es económicamente factible, debido a que requiere una gran cantidad de etapas (por encima de 60) y un alto reflujo. Por esta razón, se requiere de elevados consumos energéticos y de columnas con diámetros excesivos.

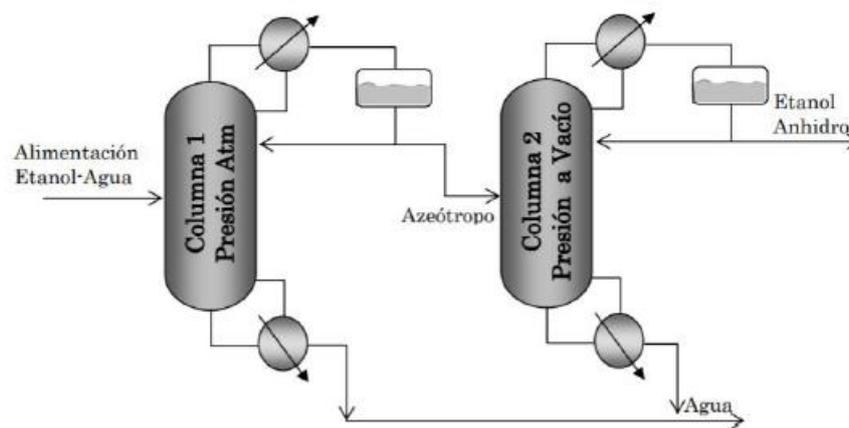


Figura 6- Destilación al vacío.

Fuente: Lopez Jimenez, J. A. & Lozada Salgado, H. (2005).

Destilación azeotrópica

En la destilación azeotrópica se añade un arrastrador con el fin de separar un componente que se combinará con el agente de separación, para formar un azeótropo de temperatura de ebullición mínima y que se recupera entonces como destilado, es decir, se presentará la formación de un nuevo azeótropo.

La deshidratación de etanol por destilación azeotrópica consta de tres columnas: la primera columna se utiliza para concentrar la solución alcohólica hasta un punto cercano al azeotrópico.

En la segunda columna, se alimenta en la parte superior un agente de separación (benceno, pentano, dietil éter, etc.) obteniéndose una mezcla ternaria azeotrópica que sale por arriba y se obtiene alcohol anhidro como producto en el fondo.

Los vapores que salen por arriba se condensan y se llevan a un separador (decantador), en donde se separan dos capas líquidas. La capa superior, rica en el

agente de separación, se devuelve como reflujo, y la capa inferior (fase acuosa) se alimenta a una tercera columna para retirar el solvente y devolverlo a la columna 2.

Este agente arrastrador se recircula en forma continua, y solamente es necesario añadir solvente para cubrir las pérdidas. El agente extractor, se emplea una vez tras otra, con una pérdida que no debe ser mayor de 0.5% del volumen del alcohol anhidro producido.

El agente de separación se selecciona con criterios económicos, toxicidad, eficiencia en la separación y conservación de energía. Entre los arrastradores que se utilizan comúnmente se encuentran el benceno, el tolueno y el ciclo hexano.

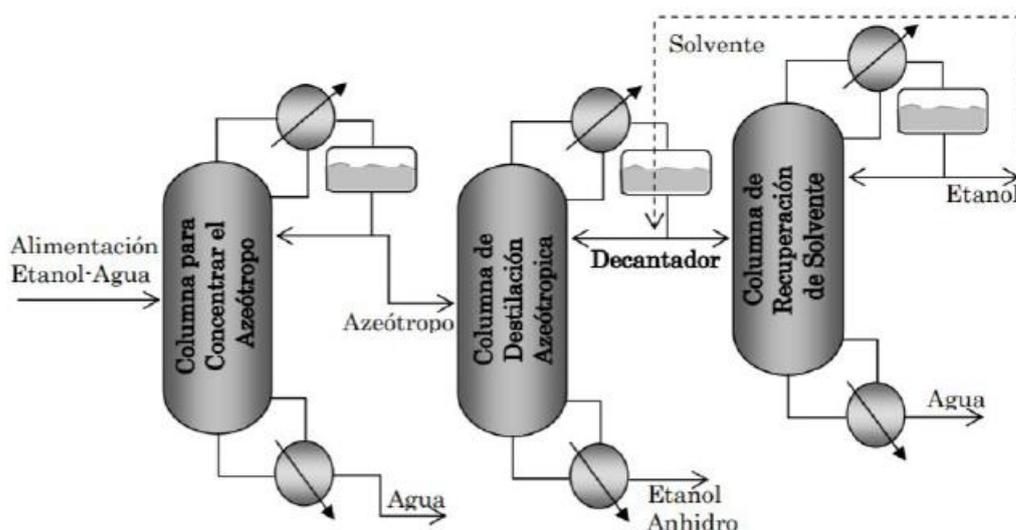


Figura 7- Destilación azeotrópica.

Fuente: Lopez Jimenez, J. A. & Lozada Salgado, H. (2007).

Destilación extractiva

En la destilación extractiva, se añade un solvente, generalmente cerca de la cabeza de la columna, con el fin de incrementar la volatilidad relativa entre los componentes a separar, sin la formación adicional de azeótropos. El solvente es generalmente una sustancia relativamente polar de elevada temperatura de ebullición y que se concentra en el fondo de la columna. Los solventes más utilizados en la destilación extractiva del etanol son los glicoles y el glicerol.

Al igual que la destilación azeotrópica, éste proceso alternativo de deshidratación de etanol, utiliza tres columnas: dos columnas de separación de etanol y un sistema de regeneración del solvente.

La columna 1 sirve para llevar el etanol diluido hasta una composición cercana a la azeotrópica, para luego ser alimentado en un plato intermedio de la columna 2, el solvente es alimentado en ésta columna en una de las etapas superiores para aumentar la volatilidad relativa del etanol. Como producto de tope de ésta columna se obtiene etanol anhidro y en el fondo se recolecta una mezcla de solvente-agua, la cual se alimenta a la columna 3 para recuperar el solvente por los fondos y devolverlo a la columna 2.

La recuperación del etanol por este método implica el consumo de entre 50 y 80% de la energía total requerida en el proceso de fabricación de etanol vía fermentativa²⁸.

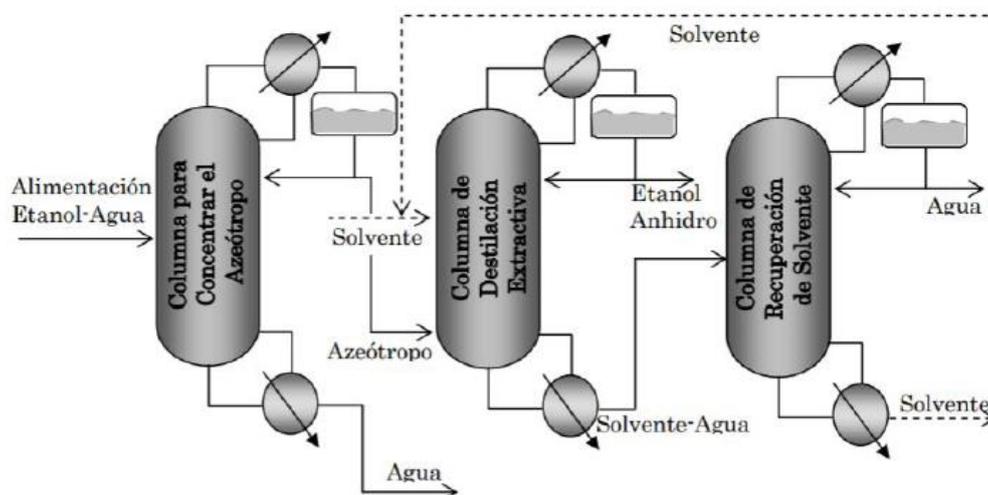


Figura 8 - Destilación extractiva.

Fuente: Lopez Jimenez, J. A. & Lozada Salgado, H. (2005).

3.2.3. Comparación y elección de los métodos de separación

Se comparan los métodos antes mencionados para elegir la mejor opción para realizar la separación etanol- agua.

No se usarán tamices moleculares ya que la cantidad de agua a remover debe ser baja, y en nuestro caso la cantidad de agua es elevada, entonces para poder utilizar los tamices se requerirá una acción previa para bajar dicho nivel de agua.

En cuanto a la separación por membranas su uso es muy costoso, tiene problemas de ensuciamiento y una vida útil corta, además la membrana retiene organismos que generan residuos contaminados que van a requerir un tratamiento complementario.

²⁸ Quintero, J.A. et al. (2007). *Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos.*

Comparando los distintos tipos de destilación, es cierto que la adición de una sustancia extraña a un proceso, como un arrastrador o disolvente, no es deseable. Puesto que nunca puede eliminarse completamente, dicha sustancia agrega una impureza inesperada a los productos.

Sin embargo, la destilación extractiva se considera más deseable que la destilación azeotrópica ya que se tiene una elección más amplia de componentes adicionados debido a que el proceso no depende de la formación de un azeótropo. Además, se deben volatilizar cantidades menores de disolvente.

La destilación extractiva, posee bajos costos de energía para su operación, inversión inicial y manejo.²⁹ Se considera entonces que la mejor opción para realizar la separación de la mezcla azeotrópica es la destilación extractiva, pero la eficiencia del proceso depende de la elección del solvente.

3.2.4. Elección del solvente

A continuación se analiza cuál es el mejor solvente a utilizar basándose en las cualidades que los mismos deben cumplir para lograr una exitosa separación y recuperación del etanol:

- Alta selectividad, o habilidad para alterar de tal modo el equilibrio vapor-líquido de la mezcla original que permita su fácil separación pero que utilice pequeñas cantidades de disolvente.
- Elevada capacidad para disolver a los componentes de la mezcla que van a separarse.
- Baja volatilidad, con el fin de prevenir la evaporación del disolvente con el producto principal y de mantener una concentración elevada en la fase líquida.
- Separabilidad. El disolvente debe poder separarse con facilidad de la mezcla en la cual se adicionó, es decir, no debe formar azeótropos.
- Se debe considerar también la seguridad del solvente, los efectos ambientales que podría generar.
- Se tienen en cuenta los costos, disponibilidad, toxicidad, carácter corrosivo, estabilidad química, punto de congelamiento y viscosidad.

²⁹ Gil, I. D., et al. (2012). *Control of an extractive distillation process to dehydrate ethanol using glycerol as entrainer.*

Los agentes de separación más utilizados para separar el azeótropo entre etanol y agua son los glicoles, como el etilenglicol, también están las aminas, fenoles hidrofóbicos, parafinas y tiofenos³⁰.

Los glicoles, además de eliminar el azeótropo, modifican el equilibrio líquido-vapor en la zona rica en etanol, lo que aumenta la eficiencia de la separación en la columna.

Industrialmente los glicoles más utilizados han sido el propilenglicol, el etilenglicol, el glicerol y mezclas de ellos.

El uso del propilenglicol, es efectivo pero requiere altas presiones, posee un punto de ebullición de 184°C, no es inflamable ni combustible.³¹

El uso del etilenglicol como solvente requiere de altas cantidades, normalmente 5:1, lo que incrementa el consumo energético. Esta sustancia se debe tratar con los cuidados necesarios que conlleva trabajar con un teratógeno, es decir, un agente ambiental que causa anomalías morfológicas cuando hay exposición entre la tercera y la novena semana de gestación, por otra parte, éste es un líquido combustible cuyo punto de inflamabilidad es 111°C y al incendiarse produce gases venenosos.³²

El glicerol (propan 1,2,3-triol o glicerina) es miscible en agua a todas las concentraciones y al tener una temperatura de ebullición elevada con respecto al agua y al etanol, no existirá formación de azeótropo ternario, su punto de ebullición se encuentra a 290°C, el punto de inflamación a 176°C y una temperatura de autoignición de 393°C³³. Se trata de un compuesto que no es tóxico ni irritante, es biodegradable y reciclable.

Luego de analizar los diferentes solventes, se decide utilizar el glicol, no solo por capacidad de extraer el etanol sino porque no afecta la calidad de vida de las personas ni el medio ambiente. Cabe aclarar que su temperatura será monitoreada para evitar llegar a su punto de ignición.

El caudal del solvente estará comprendido entre el 11%³⁴ - 25%³⁵ del caudal de alimentación.

³⁰ Gil, I. D., et al. (2012). *Control of an extractive distillation process to dehydrate ethanol using glycerol as entrainer*.

³¹ Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Ficha de seguridad: Propilenglicol*.

³² Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Ficha de seguridad: Etilen glicol*.

³³ Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Ficha de seguridad: Glicerol*.

³⁴ Quintero, J.A. et al. (2007). *Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos*.

³⁵ Ross Ruiz, F. A. & Mera Bardales, D. G. (2014). Tesis: *Simulación de la deshidratación de bioetanol azeotrópico de la planta piloto de alcohol de la FIQUNAP, mediante la plataforma de CHEMCAD V.6.2*.

3.3. Modelos termodinámicos

Las simulaciones de un proceso requieren disponer del valor de las propiedades fisicoquímicas y termodinámicas de las mezclas de compuestos que circulan, entre los distintos equipos de la planta. Para esto debemos hacer uso de técnicas de predicción que permitan estimar esos valores.

La adecuada selección de estas técnicas será crucial para considerar el comportamiento de los compuestos y sus mezclas. En particular el equilibrio líquido vapor, desde el punto de vista molecular para un cálculo preciso de los equipos y corrientes de la planta simulada.

El simulador utilizado para el diseño de los sistemas de separación es el UniSim Design R390®. Dado que el mismo requiere introducir un paquete termodinámico para iniciar la simulación, se deben poseer criterios y métodos generales para elegir el modelo adecuado según el sistema químico y las condiciones termodinámicas. Carlson ha propuesto una guía para la selección de los paquetes de propiedades según el tipo de compuestos y las condiciones operativas.

Un esquema simplificado del método de Carlson es el siguiente:

- 1.- Si los compuestos son no polares ir a 4.
- 2.- Si los compuestos son polares no electrolitos ir a 5.
- 3.- Con electrolitos, usar un paquete específico.
- 4.- No polares:
 - a) Si la totalidad de los componentes no son hipotéticos, usar PR, SRK, Lee-Kesler-Plocker. Si no:
 - b) Si la presión de la mezcla de componentes reales y pseudocomponentes es
 - Superior a 1 atm usar CHAO-SEADER, GRAYSON.
 - Menor a 1 atm usar IDEAL.
- 5.- Polares no electrolitos
 - a) Si la presión es inferior a 10 bar
 - I. Si se dispone de parámetros de interacción (en la base de datos o suministrados por el usuario).
 - i. Si se prevé que el equilibrio será líquido-líquido usar: NRTL o UNIQUAC.

ii. Si se prevé que el equilibrio será líquido-vapor usar: WILSON, NRTL o UNIQUAC.

II. No se dispone de parámetros de interacción

i. Si el equilibrio es líquido-líquido, usar UNIFAC LLE.

ii. Si el equilibrio no es líquido-líquido, usar UNIFAC.

b) Si la presión es superior a 10 bar

I. Si se dispone de parámetros de interacción usar métodos correlativos.

II. Si no se dispone de parámetros de interacción usar métodos predictivos, como PSRK, PR o RKS con MHV2.

Los modelos termodinámicos en fase líquida, también conocidos como modelos de coeficientes de actividad, dan una expresión para la energía libre de la mezcla líquida. Los mismos deben ir acompañados de una ecuación de estado para la fase vapor.

Como se trabajará principalmente con mezcla de líquidos polares ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ y H_2O) y pequeñas cantidades de azúcar no disuelta, se decidió utilizar la ecuación de estado correspondiente a la sección 5. a) del esquema simplificado anterior.

3.3.1. Desviación de la idealidad

El equilibrio termodinámico entre las fases vapor y líquida de un sistema multicomponente requiere tres condiciones:

- Equilibrio térmico, para lo cual la temperatura debe ser igual en ambas fases.
- Equilibrio mecánico, que implica igualdad de la presión en ambas fases.
- Equilibrio químico, que exige la igualdad de la fugacidad en la mezcla de cada componente en cada fase.

Para contemplar las desviaciones de la idealidad en la fase gaseosa, se introduce en el coeficiente de fugacidad y en la fase líquida el coeficiente de actividad. Los coeficientes de fugacidad se calculan a partir de ecuaciones de estado.

3.3.2. Ecuaciones de Estado

A continuación, las principales características y usos de las ecuaciones de estado del simulador UNISIM:

1) Soave-Redlich-Kwong (SRK) y variantes

La ecuación SRK original puede usarse para hidrocarburos y gases livianos a presión atmosférica o superior. Los valores obtenidos para distintas propiedades termodinámicas son razonablemente precisos para su uso ingenieril, por lo que goza de una amplia aceptación en el campo de la simulación de procesos.

2) Peng-Robinson (PR) y variantes

- Peng-Robinson Stryjek-Vera (PRSV): la ecuación de estado extiende el rango de aplicación de la ecuación original a sistemas altamente no ideales, dando resultados similares a los obtenidos con las ecuaciones de Wilson, NRTL o UNIQUAC.

Esta ecuación tiene un buen comportamiento a bajas presiones. Posee, además, un conjunto limitado de parámetros de interacción con compuestos no hidrocarbonados.

3) Ecuación Lee-Kesler-Plöcker

Esta ecuación deriva de ecuación de Lee-Kesler y es un método general exacto para mezclas y sustancias no polares.

3.3.3. Modelos de coeficientes de actividad

Los modelos de coeficiente de actividad son, comparados con las ecuaciones de estado, de una naturaleza más empírica, y por lo tanto, no pueden ser usadas con seguridad en generalizaciones o extrapolaciones a condiciones no probadas.

Los modelos sólo realizan los cálculos de la fase líquida, por lo que debe especificarse el método a usar para calcular la fase vapor.

Al seleccionarlos deben realizarse una serie de especificaciones, en el método de manejo de la fase vapor. Esta elección se restringe a las opciones siguientes:

a) Ideal, se aplica en casos donde se opera a presiones bajas o moderadas y donde, en la fase vapor, existe poca interacción molecular entre los compuestos. Es la opción por defecto.

b) RK puede aplicarse a todos los gases.

c) Virial, modela con buenos resultados las fugacidades de la fase vapor de sistemas con fuertes interacciones en dicha fase.

Los modelos de coeficientes de actividad utilizados para el análisis del equilibrio líquido-vapor (ELV) de mezclas etanol-agua son:

- Ecuación de Wilson: esta ecuación es más compleja y requiere más tiempo para los cálculos que las ecuaciones de Margules y de Van Laar, puede representar satisfactoriamente casi todas las soluciones líquidas no ideales, con mezclas de compuestos polares y no polares, excepto electrolitos y soluciones que presentan una limitada miscibilidad (ELL o ELLV).

- NRTL (Non-Random Two-Liquid model): el modelo es capaz de representar el comportamiento de los equilibrios LV, LL y LLV. Combina las ventajas de las ecuaciones de Wilson y Van Laar y es más preciso a otros modelos en sistemas agua/compuestos orgánicos.

Es consistente termodinámicamente y puede aplicarse a sistemas ternarios y de orden superior usando parámetros obtenidos por regresión de datos de equilibrio binario. A diferencia de Van Laar, puede usarse en sistemas diluidos y en mezclas de hidrocarburos y alcoholes.

- UNIQUAC (UNIVERSAL QUASI-Chemical): El modelo fue desarrollado después del NRTL, tiene las mismas características básicas pero requiere un menor volumen de datos de parámetros de interacción. Es capaz de predecir el equilibrio LV, LL y LLV. Se ha usado con éxito para predecir el equilibrio de sistemas altamente no ideales, por ejemplo, aquellos que contienen moléculas de diferentes tamaños y formas, como los polímeros.

Puede aplicarse a mezclas que contienen agua, hidrocarburos, hidrocarburos halogenados, alcoholes, nitrilos, aminas, ésteres, cetonas y aldehídos.

Los parámetros experimentales encontrados exhiben una escasa dependencia con la temperatura, lo cual favorece la extrapolación del método.

- UNIFAC: realiza los cálculos de ELV cuando se carece de datos experimentales, con buenas estimaciones en aplicaciones industrialmente importantes. No obstante, no es un reemplazo para los datos experimentales, y nunca debe tratarse como tal.

Es útil para realizar estudios preliminares pero, para un diseño riguroso, los resultados deben ser revisados a partir de datos experimentales.

3.3.4. Elección del modelo termodinámico

Teniendo en cuenta nuestros componentes, para el vapor se decide utilizar el modelo ideal ya que se trabaja con bajas presiones, para selección el coeficiente de actividad, se compararon los valores brindados por el simulador. El modelo de actividad NRTL (Es capaz de representar el comportamiento de los equilibrios LV, LL y LLV) y UNIQUAC (requiere una menor cantidad de datos de parámetros de interacción que NRTL. Es capaz de predecir el equilibrio LV, LL y LLV.)

Se realiza la simulación con ambos modelos para comparar los coeficientes de actividad predichos con datos experimentales. En ambos casos, se estimaron los coeficientes binarios desconocidos con UNIFAC.

Coeficientes de actividad con NRTL (ideal):

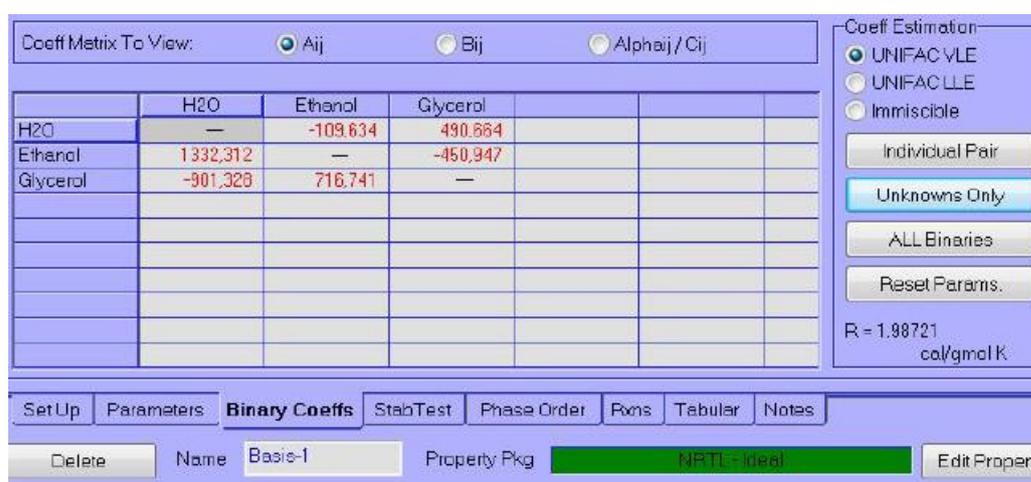


Figura 9 – Coeficientes Binarios NRTL.

Coeficientes de actividad con UNIQUAC (ideal):

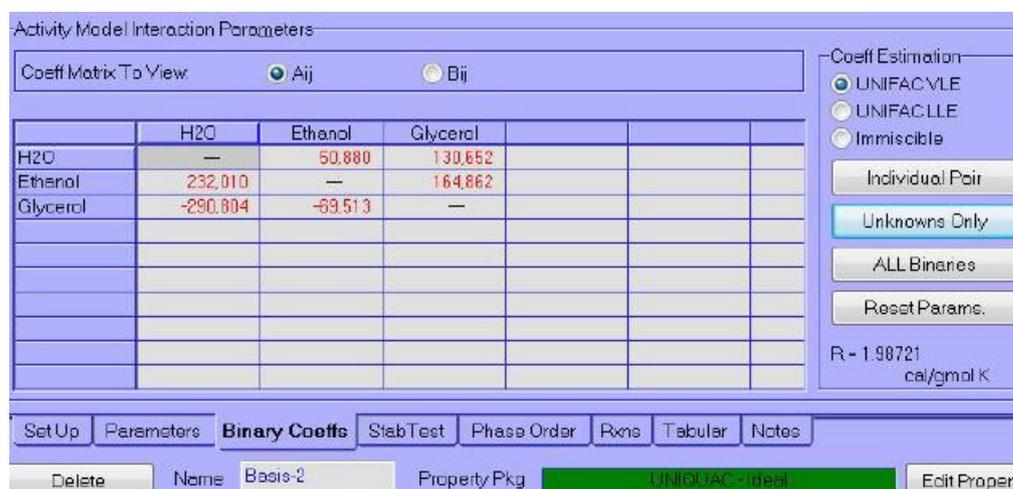


Figura 10 – Coeficientes Binarios UNIQUAC (ideal).

Las predicciones de los modelos de actividad son muy dispares. Consultando con bibliografía (Ravagnani, M.A.S.S. et al 2010, Gil, I. D. et al 2012, Segovia-Hernandez, J. G. et al 2014) el modelo más utilizado y que experimentalmente mejor ajusta los datos es el NRTL. Por tal motivo, se estudiarán los equilibrios de fases en el simulador UNISIM Thermo Workbench el modelo termodinámico NRTL.

3.4. Análisis de equilibrios y sistemas de separación

En el siguiente gráfico se visualiza el azeótropo formado por la mezcla etanol-agua.

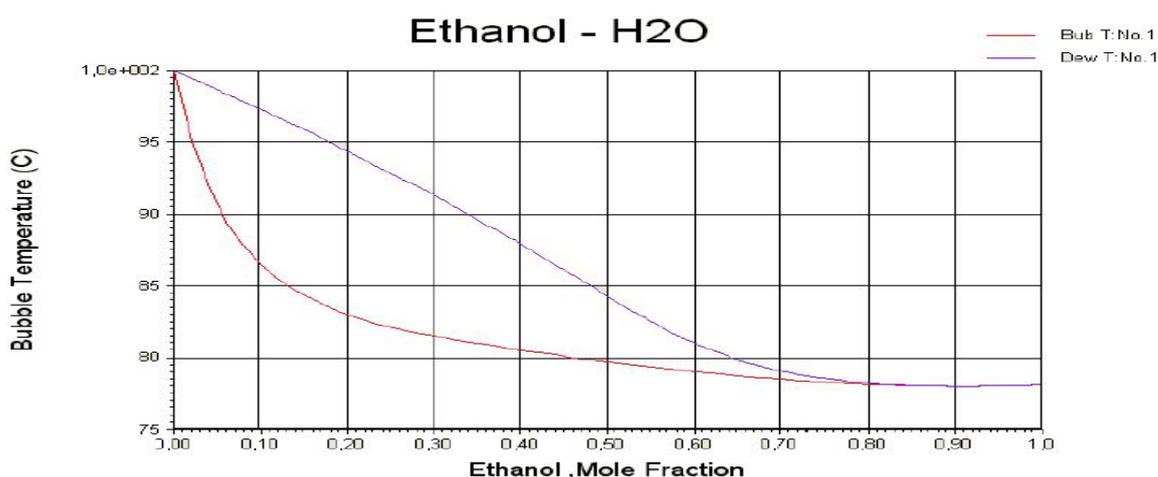


Figura 11 - Curva de equilibrio Txy Etanol-Agua a presión de 1 atmósfera.

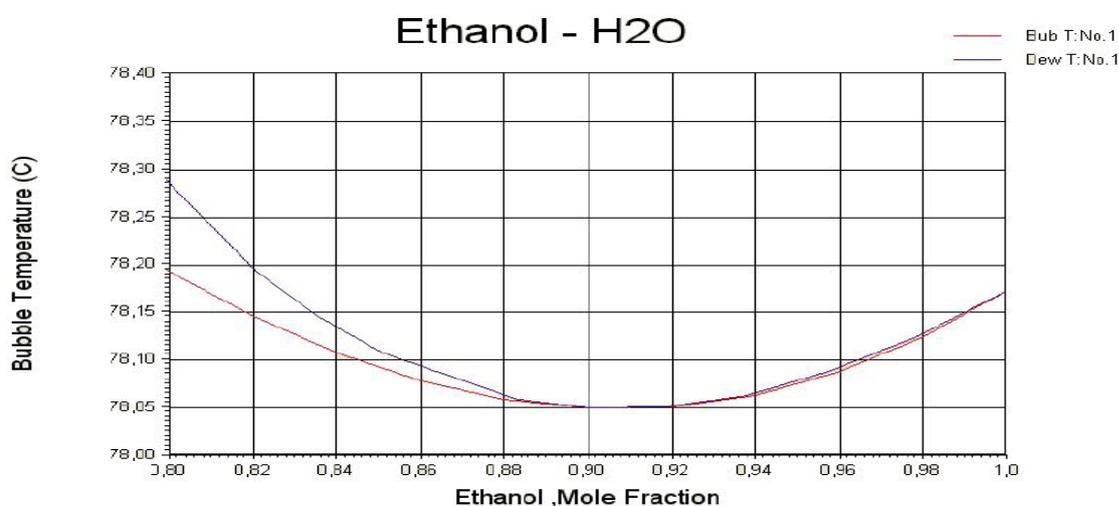


Figura 12 - Acercamiento al punto azeotrópico Etanol-Agua.

Las soluciones diluidas de etanol-agua pueden rectificarse continuamente para llegar a una concentración cercana a su punto azeotrópico (95,57% en peso)³⁶.

Para cumplir con la calidad de pureza de etanol necesaria, se someterá a la corriente líquida obtenida de la etapa de fermentación a un post tratamiento de destilación extractiva.

Con la simulación del proceso, se espera obtener el objetivo planteado de pureza del etanol.

3.5. Conclusión

De acuerdo con las normas internacionales de bioetanol, el contenido de agua máximo permitido en él es de 0.2 vol% (EN 15376, Europa), 0.4 vol% (ANP No. 36/2005, Brasil) o 1.0 vol% (ASTM D 4806, EE. UU.)³⁷.

En el post tratamiento, luego de la reacción de fermentación, es necesario lograr deshidratar el etanol para su posterior uso. Para ello se decide utilizar la destilación extractiva. El solvente seleccionado para llevarla a cabo es el glicol. El caudal del solvente está comprendido entre el 11% - 25% del caudal de alimentación.

Se realiza la selección del modelo termodinámico para efectuar la separación utilizando el simulador, para la interacción líquido- vapor, se decide utilizar el modelo ideal para vapor y el modelo NRTL para líquido.

³⁶ Quintero, J.A. et al. (2007). Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos.

³⁷ Kiss, A.A. & Ignat, R.M. (2012) *Innovative single step bioethanol dehydration in an extractive dividing-wall column*.

3.6. Bibliografía

Apunte de cátedra Transferencia de Masa. *Paquetes disponibles en UniSim Design R390* (2016.)

Baquero, J. (1987). *La industria del azúcar de remolacha*. Disponible en:
http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2281/hd_1987_08.pdf

Brow, C. A. A. Handbook of Sugar Analysis. John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, (1912) 649. Colina Irezabal, Ma. L. *Filtración por membrana*. Disponible en:
http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/filtracion_por_membrana.pdf

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Ficha de seguridad: Etilen glicol*. Disponible en:
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/201a300/nspn0270.pdf>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Ficha de seguridad: Glicerol*. Disponible en:
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/601a700/nspn0624.pdf>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). *Ficha de seguridad: Propilenglicol*. Disponible en:
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1527a1581/1573.pdf>

Gil, I. D., et al. (2012). *Control of an extractive distillation process to dehydrate ethanol using glycerol as entrainer*. Computers and Chemical Engineering 39: 129–142.

Kiss, A.A. & Ignat, R.M. (2012) *Innovative single step bioethanol dehydration in an extractive dividing-wall column*. Separation and Purification Technology (2012); 98: 290-297.

Lopez Jimenez, J. A. & Lozada Salgado, H. (2005). *Obtención de etanol anhidro a partir de un proceso de destilación con adición de electrolitos*. Universidad Nacional de Colombia, Caldas, Colombia.

Quintero, J.A. et al. (2007). *Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos*.

Ravagnani, M.A.S.S. et al. (2010). *Anhydrous ethanol production by extractive distillation: A solvent case study*. *Process Safety and Environmental Protection*. 88: 67–73.

Recepción y tratamiento de la remolacha. Disponible en:

<http://www.acor.es/Acor/Actividades/Remolacha/Az%FAcar/La%20extracci%F3n>

Ríos, L. & Marín, J. *Equilibrio de fases para sistemas etanol- agua en presencia de poliancoholes y sales*. *Revista DYNA* (2010), Volumen 78, Número 165, 150-159.

Robert E. Treybal, *Operaciones de Transferencia de Masa*, segunda edición, ed. McGraw-Hil.

Ross Ruiz, F. A. & Mera Bardales, D. G. (2014). Tesis: *Simulación de la deshidratación de bioetanol azeotrópico de la planta piloto de alcohol de la FIQUNAP, mediante la plataforma de CHEMCAD V.6.2*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, Peru.

Segovia-Hernandez, J. G. et al. (2014). *Process control analysis for intensified bioethanol separation systems*. *Chemical Engineering and Processing*, 75:119– 125.



4. BALANCES GLOBALES DE LA PLANTA

4. BALANCES GLOBALES DE LA PLANTA

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza el diseño preliminar del diagrama de flujo para la planta de producción de bioetanol, a partir de remolacha azucarera. Este estudio se toma como base para posteriores análisis de cada equipo en la planta y se realiza con el objetivo de definir el número de subplantas o reactores necesarios. Además, se determinan las corrientes de entrada, de salida, de reciclo, sistemas de separación y conexiones entre reactores.

Se plantean los balances de masa del sistema con el objetivo de calcular los caudales a utilizar. Los resultados de estos balances se utilizan luego como valores iniciales para un diseño más detallado y preciso de los equipos.

4.1. Capacidad de producción

Se planea el diseño de una planta de producción de bioetanol, a partir de remolacha azucarera. La producción elegida corresponde a 150.000 m³/año. Esta capacidad se define en función del estudio de mercado y considerando las propuestas políticas actuales de incrementar el porcentaje de bioetanol en los combustibles fósiles. También se tienen en cuenta factores como la disponibilidad de materia prima y el capital de inversión.

Para lograr dicha producción anual, es importante tener en cuenta la efectividad general del proceso. Para ello, se estudian tres aspectos principales que afectan la capacidad de producción.

El primero es la disponibilidad, entendiendo este factor como las horas de trabajo neto para operar, respecto de las horas disponibles, teniendo en cuenta las paradas de mantenimiento programadas, paradas de mantenimiento imprevistas y factores externos como por ejemplo cortes de energía eléctrica entre otros.

El segundo aspecto a tener en cuenta es el porcentaje de producto conforme (Right First Time), definido como la producción considerada dentro de especificaciones predefinidas, respecto de la totalidad producida. Este aspecto depende de la calidad de la materia prima, desvíos de procesos, fallas en equipos, entre otros.

El tercer aspecto es la performance, referida a la capacidad de producción respecto de la capacidad estándar. Los factores que la afectan son: disponibilidad de

materia prima, desvío de proceso, fallas en equipos, capacitación, limitaciones externas, entre otros.

Por lo tanto la efectividad global del proceso (EGP) se estima como:

EGP= (Disponibilidad). (Porcentaje de producción conforme). (Performance) ³⁸

$$\text{EGP} = 95\% \cdot 99\% \cdot 85\% = 80\%$$

Para lograr alcanzar la producción de 150.000 m³/año, se afecta dicha producción por el EGP.

Por lo tanto, los cálculos y balances que siguen a continuación están dados para una producción de 187.500 m³/año.

Debido a que la cosecha de remolacha no es continua durante el año, y la misma no se puede almacenar por más de un día porque se deshidrata, se propone trabajar la planta en los meses que se disponga de la materia prima en forma continua. La planta se encuentra ubicada en la provincia de San Juan, y su clima proporciona remolacha durante 10 meses del año.

Entonces, la planta se encuentra funcionando 300 días al año, las 24 horas del día. Para cumplir con la producción deseada de etanol, es necesario producir 26,042 m³/hora del mismo.

4.2. Estructura general del diagrama de flujo

Para diseñar la planta es necesario conocer las etapas y las respectivas corrientes del sistema. A partir de las mismas, es posible plantear los balances de masa y calcular los caudales preliminares que se utilizan como valores semilla para futuras simulaciones.

³⁸ Apunte de cátedra. *Diagrama de flujo y balances globales de la planta*. 2018.

Diagrama en bloques simplificado:



Figura 13 - Diagrama simplificado.

4.2.1. Diagrama de flujo mediante módulos simples

En la Figura 4.2, se expone un diagrama simplificado de la planta donde se muestran las corrientes de entrada y salida de cada equipo para la producción de bioetanol.

La materia prima ingresa a la planta por medio de camiones, en los cuales se realiza un muestreo para verificar que la remolacha cumpla con las especificaciones de porcentaje de azúcar requerida para la posterior producción de etanol.

Aprobada esta etapa, las remolachas sucias ingresan al proceso donde son lavadas y posteriormente cortadas en cosetas.

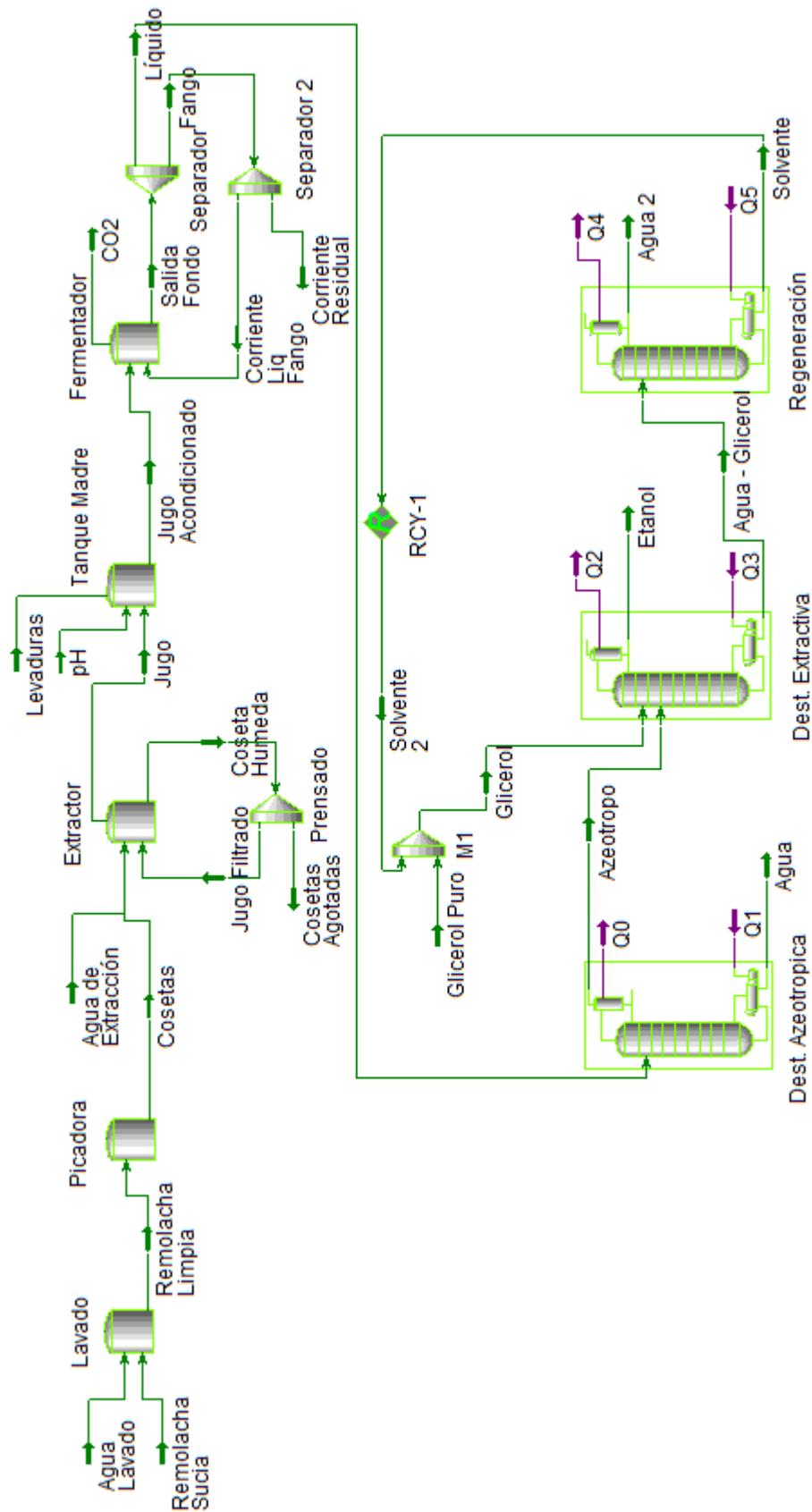


Figura 12 - Diagrama de Flujo.

A las cosetas se las somete a un proceso de extracción con agua caliente para sustraer el azúcar presente en ellas. El jugo obtenido se acondiciona en un tanque madre, modificando su pH y adicionando las levaduras necesarias para llevar a cabo el posterior proceso de fermentación.

Una vez que el jugo acondicionado llega al reactor, se produce la fermentación y se obtiene el etanol deseado. Este producto se encuentra en solución con agua, azúcar y sólidos. Además, se genera dióxido de carbono como producto del metabolismo de las levaduras.

En la corriente de salida del fermentador se separan los fangos con levaduras, para recircular una fracción de dicha corriente. El líquido resultante corresponde a la corriente de alimentación del proceso de destilación.

El tren de destilación está compuesto por tres equipos, los cuales operan en serie para obtener un bioetanol de alta pureza. En el primer destilador se obtiene la composición azeotrópica del etanol y un efluente de agua. Luego, la corriente con el azeótropo es sometida a un proceso de destilación extractiva mediante la incorporación de glicerol al sistema. Este solvente permite extraer el agua de la mezcla, favoreciendo la obtención de etanol.

Posteriormente, ingresa la mezcla de glicerol y agua a una columna de recuperación del solvente, permitiendo regenerar el glicerol y recircular el mismo al segundo destilador.

4.3. Balances de masa

Para determinar las corrientes que ingresan y egresan en cada parte del proceso, se realizan balances de masa, considerando que la planta se encuentra trabajando con la máxima capacidad operativa.

Balance de masa general

$$\{Flujo\ de\ entrada\} = \{Flujo\ que\ sale\} + \{Flujo\ generado\ por\ reacción\} + \{Flujo\ acumulado\}$$

El diseño se realiza en estado estacionario, por lo tanto no existe un término de acumulación.

El azúcar contenida en la remolacha se convierte en etanol por la acción de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que posee una cinética compleja. En capítulos anteriores, se modela su cinética a partir del crecimiento celular de las levaduras (ecuación logística) y para modelar la producción de bioetanol se utiliza el modelo modificado de Gompertz.

A continuación, se muestra cada uno de los equipos especificando los caudales de las corrientes de entrada y salida.

4.3.1. Primera Etapa: Preparación de la remolacha

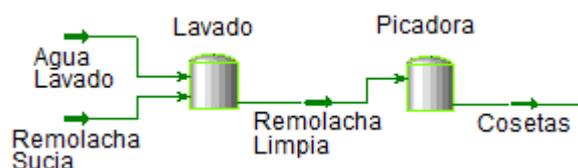


Figura 13 - Diagrama de flujo de la primera etapa.

Para determinar la cantidad de remolacha necesaria, para lograr la producción de etanol requerido, se parte de conocer el rendimiento del proceso³⁹.

$$Rendimiento = 5.600 \frac{\text{Litros de etanol}}{\text{Hectárea de remolacha}}$$

Además es necesario conocer la cantidad de remolacha por hectárea. En promedio hay 116 toneladas de remolacha en una hectárea⁴⁰.

Por lo tanto la cantidad de remolacha necesaria es de 3.883.928,57 Ton/año, es decir 539,43 Ton/hora. Considerado que solo se trabaja 10 meses al año.

En la primera parte del proceso, la remolacha es sometida a una etapa de lavado para remover la tierra y la suciedad superficial adherida a la cáscara. La remolacha contiene un 3% de tierra en su exterior⁴¹.

El lavado se lleva a cabo en lavadoras industriales, para obtener finalmente 523,25 toneladas de remolacha limpia por hora.

³⁹ Martínez Ruiz, L. A. (2010). *Remolacha azucarera, para etanol*.

⁴⁰ Diario digital La Opinión de Zamora. *La producción media de remolacha alcanza las 116 toneladas por hectárea*.

⁴¹ Baquero, J. (1987). *La industria azucarera de la remolacha*.

Luego, la remolacha lavada es transportada a una picadora industrial que las corta en cosetas. En esta parte del proceso, las remolachas solo sufren un cambio físico, por lo tanto la cantidad de cosetas es igual a la cantidad de remolacha limpia.

4.3.2. Segunda Etapa: Pretratamiento

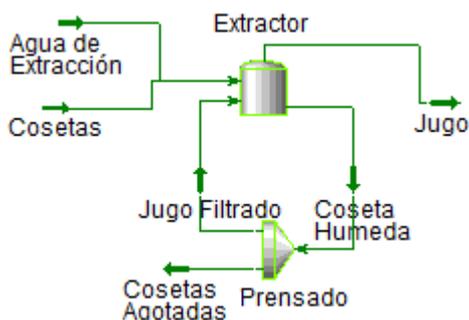


Figura 14 - Diagrama de flujo de la segunda etapa.

Las cosetas se ingresan al tanque de extracción, mientras que, en contracorriente, circula un flujo de agua con temperatura comprendido entre 70 y 85°C.⁴²

Para determinar la cantidad de agua de extracción necesaria se realizan los balances en dicha etapa. Para esto, se tiene en cuenta la composición de la remolacha azucarera, a partir de ella se calcula la cantidad de cada componente en la corriente de cosetas, que se muestra en la siguiente tabla, considerando que el total de la corriente de cosetas es de 523,25 Ton /hora.

Tabla 17 - Composición de la remolacha azucarera.

Remolacha Azucarera	Porcentaje	Tn / h
Azúcar	15%	78,48 Tn/h
Agua	75%	392,44 Th/h
Otros	10%	52,33 Tn/h

Fuente: Baquero, J. (1987).

En esta etapa del proceso, las corrientes de entrada son Cosetas y Agua de extracción y la de salida son Jugo y Cosetas agotadas.

Por datos de bibliografía se conocen las fracciones másicas de dichas corrientes.

⁴² Blog agroalimentado. *El concentrado de la remolacha azucarera como sustituto del jarabe de azúcar.*

Las cosetas agotadas están compuestas por 22,5% materia seca, constituido por 8,4% de azúcar y 95,2% de otros.

Tabla 18 - Composición de Cosetas Agotadas

Cosetas Agotadas	
Azúcar	0,0108
Agua	0,775
Otros	0,2142

Fuente: FEDNA- Pulpa de Remolacha.

Con el mismo criterio, se buscaron las composiciones masicas de la corriente Jugo.

Tabla 19 - Composición de Jugo.

Jugo	
Azúcar	0,149
Agua	0,825
Otros	0,026

Fuente: Dodic, J. M. et al. (2012).

La pulpa resultante del proceso de extracción contiene una gran cantidad de agua que se separa mediante un proceso de prensado y filtrado. El agua se introduce de nuevo para extraer el azúcar remanente y conservar la temperatura de trabajo.

Las cosetas desgastadas se someten a un posterior secado, hasta conseguir un producto con un 88-90% de contenido en materia seca⁴³ para su aprovechamiento como subproducto.

Para determinar los caudales másicos de las corrientes de entrada y salida se resuelve el siguiente balance:

$$\text{Balance Otros: } \text{Otros} = \text{Jugo.Otros}_{\text{jugo}} + \text{Cosetas}_{\text{agotadas}} \cdot \text{Otros}_{\text{cosetas}}$$

$$\text{Balance Azúcar: } \text{Azúcar} = \text{Jugo.Azúcar}_{\text{jugo}} + \text{Cosetas}_{\text{agotadas}} \cdot \text{Azúcar}_{\text{cosetas}}$$

Se obtiene el caudal másico de jugo y de Cosetas agotadas, y a partir de ellos, se determina la cantidad de agua de extracción necesaria. Los valores se presentan en la siguiente tabla:

⁴³ FEDNA- Pulpa de Remolacha.

Tabla 20 - Caudales de las corrientes.

Jugo	513,57 Ton/h
Cosetas Agotadas	181,94 Ton/h
Agua de extracción	172,27 Ton/h

Tabla 21 - Composición másica de la corriente que ingresa al fermentador

Jugo	
Azúcar	76522,74 kg/h
Agua	423699,73 kg/h
Otros	13352,76 kg/h

Tabla 22 - Composición de la corriente cosetas agotadas

Cosetas agotadas	
Azúcar	1964,98 kg/h
Agua	141005,81 kg/h
Otros	38972,19 kg/h

El jugo resultante del proceso de extracción se lleva a un tanque de almacenamiento o tanque madre, para su posterior bombeo al fermentador. Durante el tiempo que se encuentra en el tanque madre, para ajustar el pH a 5 (Dodíc, J. M. et al., 2012).

Se considera que la cantidad añadida no modifica el caudal de salida del tanque madre, por lo que el mismo resulta igual al de entrada. En esta etapa se incorpora la levadura necesaria para llevar a cabo la fermentación.

Para que la fermentación se lleve a cabo eficazmente, se utiliza 10 g de levadura por litro de jugo (Dodíc, J. M. et al., 2012).

4.3.3. Tercera Etapa: Fermentador

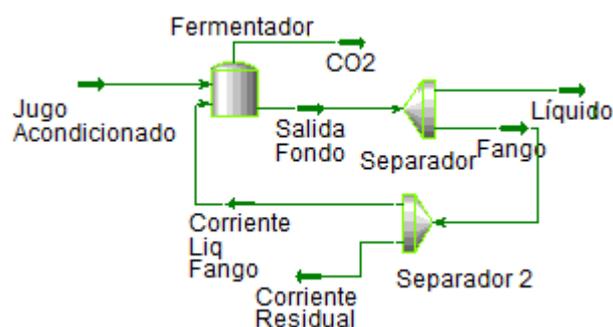


Figura 15 - Diagrama de Flujo del Fermentador.

El jugo acondicionado que ingresa al fermentador es de 513.573,43 kg/ h.

En la salida del mismo, como se representa en el diagrama, se obtiene dióxido de carbono y una corriente compuesta por agua, etanol, azúcar, fangos y levaduras. Se realiza una separación (separador 1) de los sólidos y los líquidos, y en el separador 2, se divide la corriente fangos para recircular parte de los sólidos al fermentador y la otra parte de los sólidos ya se destina a subproductos.

Una fracción del caudal de sólidos (caudal de fango), se recircula con el fin de aprovechar las levaduras que aún producen etanol. El resto del caudal se trata posteriormente para obtener subproducto.

También se obtiene una gran cantidad de CO₂ que se aprovecha como un subproducto comercializable, sometiendo a un previo proceso de purificación.

Para conocer los caudales de salida del fermentador, se utilizan los datos experimentales de Dodic, J. M. et al. (2012), donde se determina que la conversión alcanzada en esta reacción es de 0,8 en un tiempo de 10 hs.

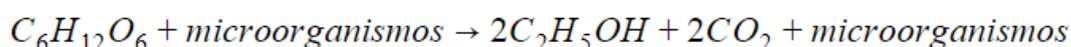
A continuación se detallan los cálculos para la obtención de los caudales.

Tabla 23 - Pesos moleculares.

PM glucosa	180 gr/mol
PM Agua	18 gr/mol
PM etanol	46 gr/mol

Se calcula la cantidad de moles de azúcar presentes en el Jugo, los mismos son 425.126,33 moles de azúcar/hora. Debido a que la conversión es de 0,8 los moles de azúcar que se utilizan para la reacción son 340.101,06 moles/hora. Los moles restantes se encuentran contenidos en la corriente de salida (85.025,27 moles/hora = 15.304,55 kg/hora).

Sabiendo que la reacción química es:



Por cada mol de glucosa, se forman dos moles de etanol y dos moles de dióxido de carbono. Obteniendo 680.202,13 moles de etanol e igual número de moles para el dióxido de carbono.

A continuación se detallan las corrientes de salida del fermentador

Tabla 24 - Caudales de salida del fermentador.

Gas	Dióxido de Carbono	29928,89	kg/ h
	Etanol	31289,30	kg/h
Corriente líquida	Agua	423699,73	kg/h
	Azúcar	15304,55	kg/h
	Otros	13352,96	kg/h

Luego se detalla la fracción másica de la corriente líquida:

Tabla 25 - Composición de la corriente líquida.

Componente	Fracción másica
Etanol	0,065
Agua	0,876
Azúcar	0,032
Otros	0,028

Se verifica que el valor de la fracción másica de etanol se encuentra comprendido entre los valores esperados detallados en capítulos previos. Se consideró la corriente sin el dióxido de carbono el cual se elimina por la parte superior.

Separador 1

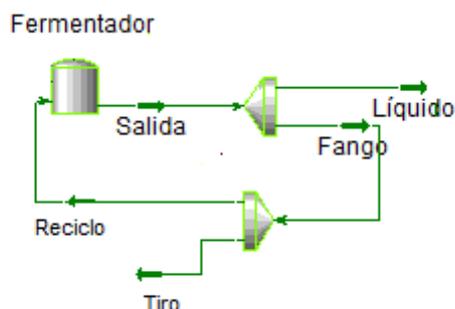


Figura 16 - Esquema de reciclo.

Se realizaron los balances para determinar las corrientes y composiciones fijando que la cantidad de sólidos transportables en del 17%, considerando que una bomba de impulsión de fluidos media puede transportar el 20% de sólidos. Se le impone el 17% para no sobrecargar la misma.

La separación centrífuga asegura que todos los sólidos irán a la corriente fangos. Los resultados obtenidos, se muestran a continuación.

Tabla 26 - Caudales de salida del fermentador

Corriente	Total [kg/h]	Compuesto	Fracción	Total [kg/h]
Salida	517309,46	Azúcar	0,031	15875,23
		Agua	0,869	449283,55
		Etanol	0,064	33075,02
		Otros	0,037	19075,66
Líquido	405099,71	Azúcar	0,034	13972,95
		Agua	0,899	364004,14
		Etanol	0,067	27122,62
Fango	112209,76	Azúcar	0,017	1902,29
		Agua	0,760	85279,42
		Etanol	0,053	5952,40
		Otros	0,17	19075,66

La corriente de Fango se divide en las corrientes Reciclo y Tiro. Por bibliografía consultada, se elige recircular el 30%⁴⁴ de la corriente Fango hacia el fermentador. Los restantes 70% constituyen la corriente Tiro. Las composiciones son las mismas que la corriente Fango y los datos de interés son:

Tabla 27 - Composición de la corriente líquida.

Corriente	Compuesto	Total [kg/h]
Reciclo	Etanol	1785,72
	Otros	5722,70
Tiro	Etanol	4166,68
	Agua	59695,59

⁴⁴ Mojović, L., et al. (2010). *Investigations of the Possibilities of Stillage Utilization From the Bioethanol Production on Corn.*

4.3.4. Cuarta Etapa: Purificación del etanol

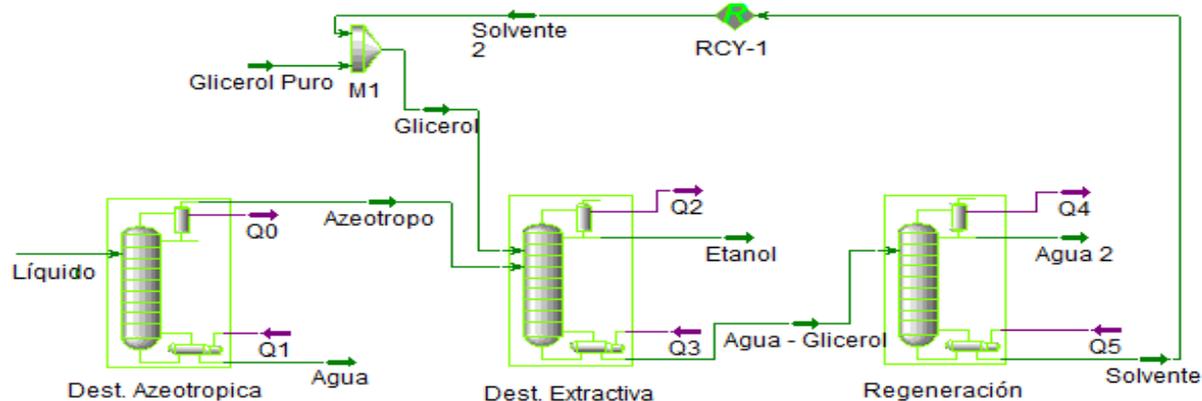


Figura 17 - Diagrama de Flujo del Proceso de Purificación.

En una primera aproximación, se considera que la corriente Líquido, que ingresa al tren de destilación, está constituida solo por etanol, agua y azúcar.

Se realizan los balances de masa de esta etapa, considerando los 3 equipos de destilación como una caja negra, en donde entra la corriente de alimentación y sale la corriente de etanol requerido con una fracción volumétrica mayor al 0.99⁴⁵ y de agua extraída de dicha corriente.

Se considera como un único bloque, ya que los valores de las corriente de salida de cada destilador van a depender de varios factores, dependiendo de un estudio detallado de su diseño, como por ejemplo el número de platos a utilizar, en cuál plato ingresa la alimentación, la relación de reflujo, entre otros.

En esta primera aproximación, no se tiene en cuenta las pérdidas de etanol, agua o solvente por las distintas corrientes de salida de cada destilador, es decir, que se trataran a las corrientes como puras.

Los caudales principales de entrada y salida son:

Tabla 28 - Entradas y salidas globales al tren de destilación.

Corriente	Total [kg/h]
Líquido	405099,71
Etanol	27122,62
Agua + Azúcar	377977,09

El solvente a utilizar es el glicerol en un rango entre el 11%⁴⁶ al 25%⁴⁷ del caudal del azeótropo.

⁴⁵ Lopez Jimenez, J. A. & Lozada Salgado, H. (2005). *Obtención de etanol anhidro a partir de un proceso de destilación con adición de electrolitos.*

⁴⁶ Quintero, J.A. et al. (2007). *Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos.*

4.4. Conclusión

En este capítulo, se obtuvieron los valores de las principales corrientes involucradas en el proceso, desde la llegada de la remolacha a la planta, hasta su salida como etanol anhidro.

Dichos valores permitirán en los próximos capítulos diseñar los equipos para lograr la producción esperada.

⁴⁷ Ross Ruiz, F. A. & Mera Bardales, D. G. (2014). Tesis: *Simulación de la deshidratación de bioetanol azeotrópico de la planta piloto de alcohol de la FIQUNAP, mediante la plataforma de CHEMCAD V.6.2.*

4.5. Bibliografía

Apunte otorgado por la cátedra de Trabajo Final, Ingeniería Química. *Diagrama de flujo y balances globales de la planta*. 2018.

Baquero, J. (1987). *La industria azucarera de la remolacha*. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Dirección general de investigación y capacitación agrarias.

Blog agroalimentado. *El concentrado de la remolacha azucarera como sustituto del jarabe de azúcar*.

Disponible en: http://www.agroalimentando.com/nota.php?id_nota=779

Blog de productores de máquinas para la industria agropecuaria. *Limpiar y despedrar la cosecha*. Disponible en:

<https://www.cebollaspapas.com/procesar/cortarvegetales/limpiar.php>

Dodic, J. M. et al. (2012). Kinetic modelling of batch ethanol production from sugar beet raw juice.

Diario digital La Opinión de Zamora. (2016). *La producción media de remolacha alcanza las 116 toneladas por hectárea*. España. Disponible en:

<https://www.laopiniondezamora.es/agroalimentacion/2016/01/22/produccion-media-remolacha-alcanza-116/899285.html>

Lopez Jimenez, J. A. & Lozada Salgado, H. (2005). *Obtención de etanol anhidro a partir de un proceso de destilación con adición de electrolitos*. Universidad Nacional de Colombia, Caldas, Colombia.

Márquez, L. (2011). *Remolacha azucarera: Calidad de la recolección y tendencias*. Lebrija, Sevilla, España. Disponible en:

<https://www.aimcra.com/.../Recolección%20remolacha%20-%20Lebrija%202011.pdf>

Martínez Ruiz, A. (2010). *Remolacha azucarera, para etanol*. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Remolacha-azucarera-para-etanol-20100628-0005.html>

Mojović, L., et al. (2010). *Investigations of the Possibilities of Stillage Utilization From the Bioethanol Production on Corn*. Journal on Processing and Energy in Agriculture 14; 114; pp. 54-57 Disponible en: <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1821-4487/2010/1821-44871001054M.pdf>

Quintero, J.A. et al. (2007). *Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos*.

Ross Ruiz, F. A. & Mera Bardales, D. G. (2014). Tesis: *Simulación de la deshidratación de bioetanol azeotrópico de la planta piloto de alcohol de la FIQUNAP, mediante la plataforma de CHEMCAD V.6.2*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, Peru.

http://www.fundacionfedna.org/subproductos_fibrosos_humedos/pulpa-de-remolacha



5. DISEÑO DEL SISTEMA DE REACTORES

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE REACTORES

INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se realiza el análisis del diseño de los reactores para cumplir con parámetros determinados en capítulos anteriores. Se dimensiona el reactor, se analizan los materiales constructivos y el sistema de agitación.

El factor principal en el proceso de fermentación es mantener las variables, la temperatura y la agitación ideal, para que las levaduras se desarrollen y consuman tasas elevadas de sustrato transformándolo en alcohol y sus subproductos. Por tal motivo, se realiza el balance de energía para que el fermentador a temperatura constante.

Se planifican sistemas de control para mantener las variables en su punto de operación.

5.1. Tipo de reactor

Los reactores químicos pueden tener una gran variedad de tamaños, formas y condiciones de operación.

En términos de su forma se pueden clasificar como reactores tipo tanque agitado (TA) o tipo tubular (TUB). En el reactor ideal tanque agitado se impone la hipótesis de mezclado perfecto, es decir que existe buena agitación y por lo tanto las propiedades del sistema, temperatura y composición, son uniformes.

En el reactor ideal tubular la hipótesis es que no existe mezclado entre los diferentes elementos de volumen en la dirección axial y si existe mezclado perfecto en la dirección radial: el fluido se mueve como un pistón paralelo al eje del reactor. Por lo tanto las propiedades serán uniformes en la dirección radial y variarán con la longitud del tubo, flujo pistón.

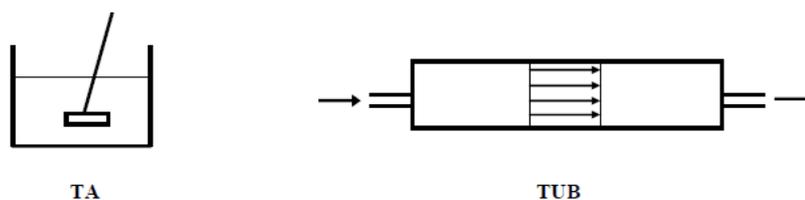


Figura 18 - Tipos de reactores.

También se los clasifica según la forma de operación en reactores batch (discontinuos o por lotes) y continuos. Un reactor discontinuo se define como un recipiente en el cual no entra ni sale materia durante la reacción. En cambio en el reactor continuo, se alimentan constantemente los reactantes y se retira ininterrumpidamente una corriente de producto. Ambas clasificaciones, por forma y modo de operación, son independientes. Por lo tanto se tiene reactores tipo tanque agitado discontinuo, TAD, y reactores tipo tanque agitado continuo, TAC.

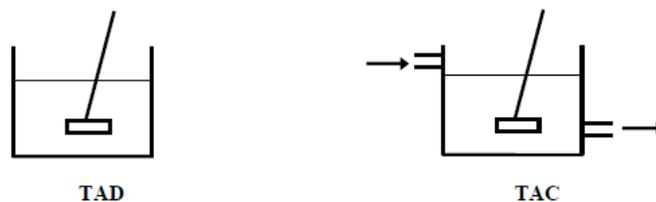


Figura 19 - Tanques agitados.

El uso de reactores continuos está relacionado con el concepto de operación en estado estacionario: nada cambia con el tiempo. En los reactores discontinuos el grado de reacción y las propiedades del sistema varían con el tiempo y por lo tanto operan en estado no estacionario. Los reactores semicontinuos operan siempre en estado transitorio o no estacionario.

Los reactores continuos operan en estado transitorio durante la puesta en marcha y una vez que han alcanzado el estado de flujo estacionario deben alcanzar el estado estacionario de reacción. Los períodos de tiempo de operación en estado transitorio de un TUB son despreciables, sin embargo, el grado de reacción varía con la posición, los elementos del fluido que más hayan avanzado dentro del tubo tendrán un mayor grado de reacción.

Cabe destacar que esta clasificación es ideal pues en la práctica podemos tener tanques agitados en los que no haya un buen mezclado, esto se traduce en zonas estancas cuyos elementos de fluido permanecen más tiempo en el reactor, y por lo tanto tienen mayor grado de reacción. También puede darse el caso de que se produzca un cortocircuito: existen elementos de volumen que están menos tiempo en el reactor y en consecuencia tienen menor grado de reacción.

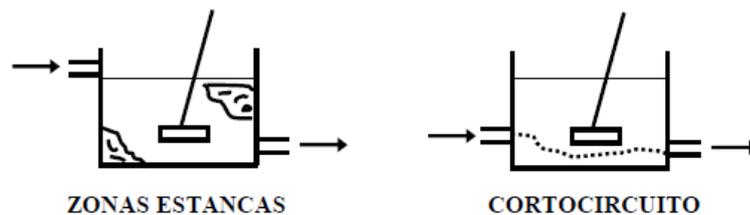


Figura 20 - Desviaciones de la idealidad.

Existen también reactores TUB en los que el flujo no es pistón dado que el perfil de velocidad no es plano. En los reactores TUB también pueden existir problemas de difusión axial, es decir mezclado longitudinal por la presencia de remolinos. Los problemas de flujo se traducen en que distintos elementos de fluido permanecen distintos tiempos en el reactor y por lo tanto alcanzan distintos grados de reacción.

Otra forma de clasificar a los reactores es según su forma de intercambio de energía: isotérmicos cuando operan a temperatura constante, adiabáticos sino intercambian energía con los alrededores y nina aquellos que no operan ni como isotérmicos ni como adiabáticos. Los reactores nina en general son reactores que se intentan trabajar como isotérmicos pero en los que el calor de reacción no lo permiten.

Para lograr la producción de etanol requerida es necesario el manejo de grandes caudales, por tal motivo el reactor debe ser continuo, evitando los tiempos muertos de carga y descarga de mismo.

Es importante que el reactor no tenga volúmenes muertos, zonas estancas o cortocircuitos, ya que esto le causaría problemas con las levaduras. Entonces se decide utilizar un tanque agitado continuo, TAC, con la hipótesis de mezclado perfecto. Se descarta el TUB porque no es posible su mezcla en dirección axial.

Este modelo ideal del TAC supone que la reacción alcanza la máxima conversión en el instante en que la alimentación entra al tanque. Es decir, que en cualquier punto de este equipo las concentraciones son iguales a las de la corriente de salida.

Al realizar los balances en el TAC solo se tendrá en cuenta el estado estacionario y no su puesta en marcha.

En cuenta a su intercambio de calor, el reactor será isotérmico, la temperatura en su interior es constante.

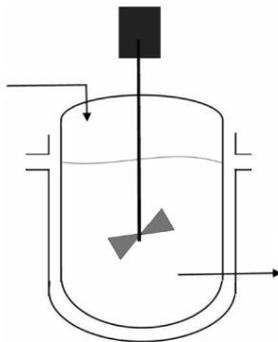


Figura 21 - Reactor tipo tanque agitado continuo.

Criterios importantes para el diseño de un fermentador

- El tanque debe diseñarse para que funcione asépticamente durante numerosos días.
- Se debe proporcionar un sistema adecuado de agitación para cubrir las necesidades metabólicas de los microorganismos.
- El consumo de energía debe ser tan bajo como sea posible.
- Debe tener un sistema para el control de temperatura, pH, entre otras.
- El fermentador debe tener un sistema para la toma de muestras, visor y boca de hombre.

5.2. Volumen necesario

Para hallar el volumen del fermentador, se tiene en cuenta el caudal de jugo necesario y el caudal que se recircula al mismo, para cumplir con el cantidad de etanol anhidro que se desea producir (caudales determinado en capítulos previos). También se debe tener en cuenta el tiempo necesario para que las levaduras lleven a cabo el proceso de fermentación.

Hasta el momento todos los caudales calculados son máxicos, para determinar el volumen del fermentador, es necesario su caudal volumétrico, para ello se busca la densidad del jugo de remolacha dentro del reactor, se tiene en cuenta la hipótesis de mezclado perfecto, las concentraciones son iguales a las de la corriente de salida.

La densidad depende de la temperatura y el porcentaje de azúcar presente $\rho=1039 \text{ kg/ m}^3$,⁴⁸ (densidad del jugo de remolacha).

⁴⁸ Alvarado, J. D. (1992). *Viscosidad y energía de activación en jugos filtrados*.

Para realizar el diseño del fermentador, se tiene en cuenta que debe contener la corriente Jugo y la corriente Reciclo. Entonces el caudal que se utiliza para el diseño del reactor es el de Jugo más Reciclo.

$$Q_{\text{salida}} = 517.309,46 \text{ kg/h} = 497,89 \text{ m}^3 / \text{hora}$$

$$\text{Tiempo de residencia} = 10 \text{ horas}$$

Se calcula el volumen del fermentador multiplicando el Q_{salida} y el tiempo de residencia, se obtiene un volumen de $4978,92 \text{ m}^3$

A este valor se le adiciona un 27% de volumen para cumplir con las normas API-ASME para el diseño de tanques. A su vez, este porcentaje aloja a los gases generados durante la fermentación. Se obtiene un volumen total de 6323.24 m^3 .

5.2.1. Dimensionamiento del reactor

Los reactores que comúnmente se encuentran en el mercado son tanques cilíndricos, los cuales proveen autosustento estructural y evitan la deformación debido a la presión generada en su interior.

Los tanques cúbicos u ovalados tienen a deformarse, por lo que son sustentados por rejas metálicas externas o utilizando amarres internos. Además, desde el punto de vista del costo de tanque, los tanques cilíndricos utilizan menos material por el mismo volumen que tanques fabricados de otras formas, es decir que la relación de superficie de las paredes al volumen del tanque, disminuye entre más se acerque la forma a un cilindro.

Por la dimensión del tanque y principalmente como medida de seguridad ante alguna contingencia, se propone la construcción de dos tanques de $3161,61 \text{ m}^3$. De esta manera, ante cualquier inconveniente en uno de los tanques, se tendrá el segundo en operación para continuar con la producción.

Para diseñar las longitudes del reactor se utilizan criterios de diseño para tanques industriales. Se diseña el mismo para que la altura del fluido sea aproximadamente igual al diámetro del tanque, esto le brinda sustento estructural.

El volumen ocupado por el líquido es $2489,46 \text{ m}^3$ en cada tanque, se calcula el diámetro del reactor

$$Volumen\ Líquido = \frac{\pi \cdot Diámetro^3}{4}$$

Se obtiene un diámetro de reactor de 14,69 m.

Luego, se calcula la altura del tanque, teniendo en cuenta el volumen del reactor sobredimensionado.

$$Volumen\ Reactor = \frac{\pi \cdot Diámetro^2 \cdot Altura}{4}$$

Se obtiene una altura de 18,66 m.

Para facilitar la construcción de los tanques, se opta realizar cada tanque con un diámetro de 14,7 m y una altura total de 18,7 m, dando un volumen total por tanque de 3173,7 m³ y una altura del líquido de 14,67 m.

5.3. Materiales constructivos

Se analizan diversos materiales para la construcción de los reactores de fermentación teniendo en cuenta los costos económicos, la disponibilidad de los materiales en la región y las normas de seguridad que se deben cumplir en instalaciones con peligro de explosión.

Hormigón Armado

Este material es apto para sustancias inflamables y es ampliamente utilizado en la industria del combustible. Para cumplir con las normas The American Petroleum Insitutes (API 650), el reactor debe contar con recubrimiento interno y externo para evitar la contaminación de los fluidos contenidos en él, o que estos contaminen el exterior. Además se utilizan como protección anticorrosivas necesarias al trabajar con pH ácido.

El material que separa el sustrato del contacto directo con el hormigón, debe adherirse a este sin aumentar la rugosidad de su superficie para no interferir en los perfiles de velocidades del fluido interno y debe ser compatible con las condiciones de operación y el tipo de fluido que contiene el tanque. El recubrimiento puede ser de acrílico, resina epóxica, poliuretanos o polisiloxanos.

Para el recubrimiento externo, se suele usar espuma de poliuretano por su baja conductividad térmica, lo que posibilita obtener altos niveles de aislamiento sin la

necesidad de recurrir con grandes espesores. Además, es un buen aislante acústico, el cual genera una barrera que disminuye el ruido proveniente del sistema de agitación.

Este material presenta una gran resistencia frente a los efectos del paso del tiempo y tiene una vida útil superior a 50 años.

Si bien el poliuretano es un material orgánico combustible, existen algunas variedades con protección ante el fuego, que se clasifican según la Norma UNE-EN 13501.

Para la aplicación de la espuma de poliuretano se debe cumplir con las normas UNE 92120-2:98 (Productos de Aislamiento Térmico para Construcción), UNE 92310:2003 (Criterios de Medición y Cuantificación para Trabajos de Aislamiento Térmico en Instalaciones Industriales y en Edificación) y RP 20.06 (Reglamento particular de la Marca N de AENOR para la Aplicación de Espuma Rígida de Poliuretano in situ).

Conjuntamente al poliuretano, se usa un revestimiento de chapa galvanizado para proporcionar una mayor vida útil a la espuma de poliuretano y una mayor protección contra fuego al reactor.

Acero

La utilización de acero inoxidable se presenta comercialmente como la principal opción constructiva de reactores de fermentación. Aunque el acero inoxidable es mucho más resistente a la corrosión que el acero al carbono o sus aleaciones, en algunas circunstancias se puede corroer.

Debido a que el medio óptimo para el desarrollo de las levaduras debe ser a un pH ácido, el acero debe poseer una gran tolerancia a la acidez. Por tal motivo, la aleación del acero a usarse para el fermentador, debe contener diversos componentes para aumentar sus propiedades anticorrosivas.

El agregado de cromo en la aleación (mínimo de un 10,5%), favorece la formación de la capa pasiva autoregenerante característica los aceros inoxidables, protegiéndolo de agentes agresivos.

Existen numerosos tipos de aceros, entre ellos se encuentran la serie AISI 400 conocidos como aceros inoxidables ferríticos, a los cuales se les adicionan molibdeno, titanio y niobio; la serie AISI 300 conocidos como los austeníticos con agregado de níquel y los de la serie AISI 200 donde el níquel es sustituido por manganeso o cobre.

Los aceros aptos para el fermentador pueden ser los 304 y 316. El AISI 304 incorpora níquel, el cual otorga una mayor resistencia frente a ciertos agentes en determinadas condiciones de temperatura y pH. El AISI 316 posee el mismo rango de aplicación que el AISI 304, pero por la incorporación de molibdeno en su estructura, su resistencia a la corrosión es superior. Además, el bajo contenido en carbono de la aleación otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas.

Por los motivos expuestos, se opta por utilizar acero inoxidable 316L para la construcción de los reactores, cañerías y tanques que estén en contacto con el caldo de fermentación.

5.4. Sistemas de agitación

La agitación tiene la función de remover y homogeneizar el sistema conformado por el sustrato, las levaduras y los productos de fermentación. Además, evita la formación de costras dentro del digestor y elimina los espacios “muertos” sin actividad biológica. La potencia necesaria debe producir un mezclado perfecto tal que se mantenga las condiciones de temperatura, pH y distribución de levadura óptima en el fermentador, pero al mismo tiempo, no debe ser excesiva porque podría ocasionar la muerte celular y por consiguiente, disminuir la cantidad de etanol producido.

El sistema de agitación constará de:

Motor impulsor

Suministra la potencia al eje transmisor de potencia. Debe ser de corriente alterna (a.c), preferiblemente de inducción. Dado que un biorreactor debe operar de forma continua durante todo el proceso de cultivo, se requiere un motor capaz de resistir largos periodos de operación continua y trabajo duro.

Acople y sello mecánico

Consta de un acople que ajusta y fija al motor al eje transmisor de potencia. El sello mecánico tiene como función evitar la contaminación, mantener hermético el sistema y servir de amortiguador de fricción. Se escoge el uso de sellos flexibles ya que amortiguan mejor las vibraciones mecánicas; la desventaja es que esa flexibilidad obliga a cambiarlos más frecuente, ya que el desgaste es mayor.

Eje transmisor de la potencia

Es una barra cilíndrica de acero inoxidable 316L con recubrimiento plástico. El diámetro del mismo está estandarizado entre $\frac{3}{4}$ " o $\frac{1}{2}$ ", para mayor facilidad de ajuste a los estándares de motores a.c. El eje transmite la potencia del motor al impulsor, a través de las hojas de agitación.

Control de velocidad del motor

Los motores de inducción de corriente alterna (a.c) tienen velocidades nominales de rotación de 1800 rpm o 3600 rpm. Estas velocidades son muy altas para los sistemas biológicos causando la destrucción de los microorganismos en el cultivo. La velocidad de rotación del motor debe entonces reducirse para que no cause daño celular.

Usualmente se acopla a la salida de eje del rotor una caja de reducción de $\frac{1}{3}$ o $\frac{1}{6}$ para bajar la velocidad de rotación. Adicionalmente se coloca un control de velocidad para un control más fino y preciso de la velocidad de rotación.

Impulsores

Los impulsores pueden estar formados por hojas o aspas de agitación, conectadas al eje transmisor de potencia y tener una distribución de flujo axial o radial.

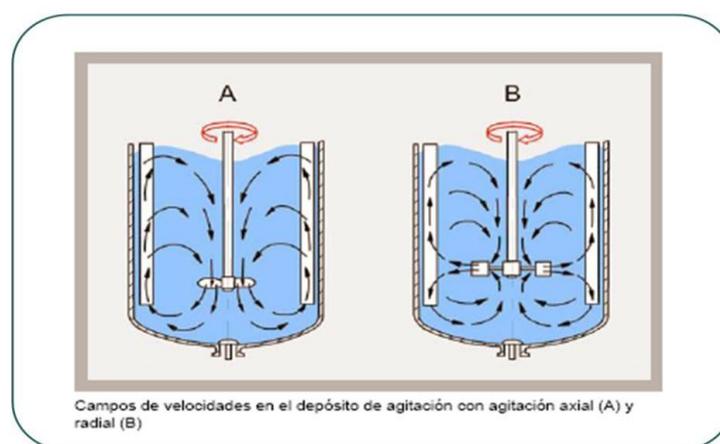


Figura 22 - A) Agitación axial. (B) Agitación radial.
Fuente: Apuntes de cátedra de la Universidad nacional autónoma de México.

Los agitadores de palas planas impulsan el líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. La anchura de la pala es de un sexto a un décimo de su longitud, la cual

generalmente comprende entre el 50 y el 80% del diámetro del tanque. Indicadas para operaciones con mezclado suave (entre 20 y 150 rpm), suelen deformarse con el uso constante.

Una hélice es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos de baja viscosidad. Son eficaces en tanques muy grandes, generalmente poseen tres aspas y se usa para homogeneizar, suspender y favorecer el intercambio de calor. Por la gran potencia y turbulencia que provocan, no se recomiendan para cultivos de células sensibles.

Los impulsores de turbina se componen generalmente de numerosas palas cortas, las que giran a medias (100 a 300 rpm) y altas velocidades (300 a 1000 rpm). Las placas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales y su diámetro varía entre 30 y el 50% del diámetro del tanque.

Las turbinas son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades. En líquidos de baja viscosidad generan fuertes corrientes que se distribuyen por todo el reactor, destruyendo bolsas de fluido estancado. Cerca del impulsor se produce una zona de corrientes rápidas y buena turbulencia.

5.4.1. Selección del sistema de agitación

Se selecciona un impulsor de turbina Rushton, de hojas planas y disco de 6 palas, ya que este tipo de impulsor es ampliamente utilizado para fluidos con cultivos biológicos de baja viscosidad. Para la selección del motor, este debe cumplir con las condiciones propias de un elemento mecánico expuesto a la intemperie y de uso continuo. La velocidad de trabajo es de 80 rpm, la cual mantiene suspendidos los sólidos presentes en el caldo de fermentación, sin dañar a las levaduras y asegura una mezcla homogénea.

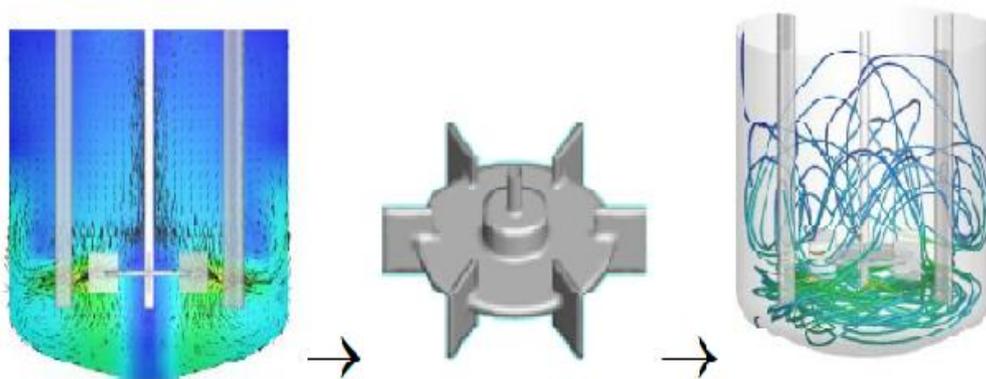


Figura 23 - Perfil y vector de velocidad, geometría y líneas de trayectoria para un impulsor de tipo Turbina de Rushton de seis paletas.

Fuente: Uribe Ramírez, A R. et al. (2012).

5.4.2. Diseño del sistema de agitación

Para realizar el diseño del sistema de agitación se utilizan las semejanzas geométricas estandarizadas que relacionan las medidas del tanque con el tipo de impulsor.

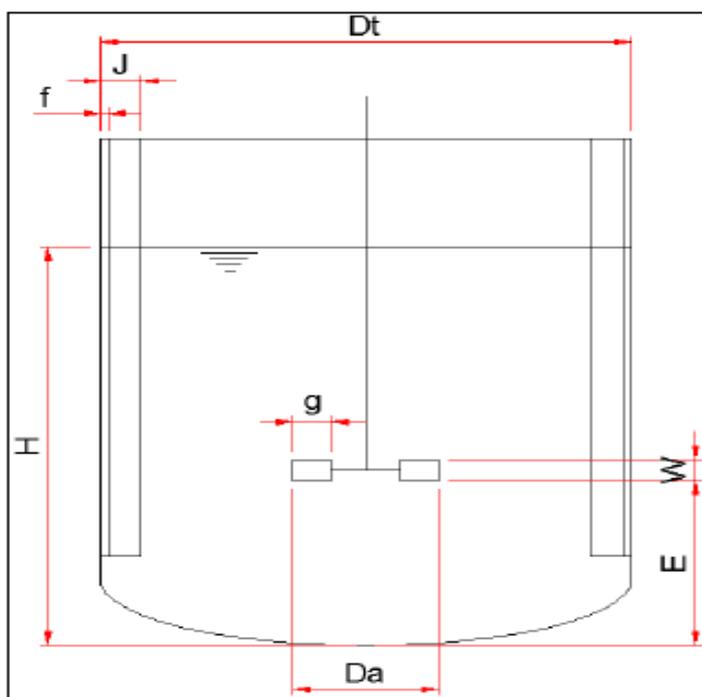


Figura 24 - Tanque de agitación

Tabla 29 - Semejanzas geométricas para turbina Rushton

Semejanza geométrica			
H / Dt =1	E / Dt=0,33	W / Da=0,2	F / Dt=0.02
Da / Dt=0,33	g / Da=0.25	J / Dt=0.1	

Referencia: diámetro del tanque (Dt), diámetro de las palas (Da), alto de las palas (W), ancho de las palas (g), altura del fluido (H), ancho y cantidad de las placa deflectoras (J), distancia entre deflector y pared del reactor (F) y distancia desde el fondo del tanque hasta el impulsor (E).

Fuente: Castillo Uribe, V. (2013).

Para seleccionar el sistema de agitación óptimo, se elige aquel que consuma menos potencia y no genere espacios muertos, se calcula la potencia entregada al fluido por uno, dos y cuatro agitadores para el reactor.

5.4.3. Potencia del sistema de agitación

Luego de determinar las dimensiones del sistema de agitación, se calcula la potencia necesaria. Esta será la que se debe entregar al fluido para lograr su completo mezclado.

La potencia requerida (W) se calcula como:

$$-W = Po \cdot \rho \cdot N^3 \cdot Di^5$$

Tabla 30 – Referencias.

Po	Número de Po	
P	Densidad del fluido	kg/m ³
N	Velocidad de giro del agitador	rps
Di	Diámetro del impulsor	m

El número de Po, es función de los números adimensionales de Reynolds (Re) y Froude (Fr). El módulo de Reynolds es la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas.

$$Re = \frac{N \cdot \rho \cdot Di^2}{\mu}$$

Tabla 31 – Referencias.

μ	Viscosidad	kg/ m. s
P	Densidad del fluido	kg/m ³
N	Velocidad de giro del agitador	rps
Di	Diámetro del impulsor	m

El módulo de Froude es una relación entre fuerzas de inercia y fuerzas gravitatorias:

$$Fr = \frac{N^2 \cdot Di}{g}$$

Tabla 32 - Referencias

N	Velocidad de giro del agitador	rps
Di	Diámetro del impulsor	m
G	Fuerza de gravedad	m/s ²

En ausencia de baffles, el número de Froude está afectado por un coeficiente “n”:

$$n = \frac{a - \log (Re)}{b}$$

Tanto a y b son constantes que dependen de la configuración geométrica del equipo y se encuentran en bibliografía.

Para calcular los números adimensionales, los valores utilizados son los siguientes

Tabla 33 – Caracterización de las dimensiones de diseño.

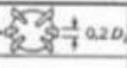
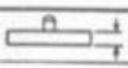
Diámetro del tanque	14,7	m
Altura del tanque	18,7	m
Altura de liquido	14,67	m
Densidad de la solución	1039	Kg / m3

Viscosidad del producto	0,00107	Pa*s
Revoluciones	1,33	rps

Fuente: Alvarado, J. D. (1992).

Una vez seleccionado el tipo de impulsor y las dimensiones del mismo, se calculan los parámetros geométricos para ingresar en la tabla, que se muestra a continuación, a partir de la misma, se obtiene un número de curva.

Luego con el número de curva y el número de Reynolds, se ingresa al gráfico, se obtienen la ordenada ϕ . A partir de ella se conoce el número de Po, que permite calcular la potencia necesaria.

Tipo de rodete	$\frac{D_r}{D_t}$	$\frac{Z_1}{D_t}$	$\frac{Z_2}{D_t}$	Hojas cort.		N.º	Ref.	Tipo de rodete	$\frac{D_r}{D_t}$	$\frac{Z_1}{D_t}$	$\frac{Z_2}{D_t}$	Hojas cort.		N.º	Ref.
				N.º	w/D _t							N.º	w/D _t		
Turbina de 6 palas planas  $0,25 D_t$ \rightarrow $\frac{1}{3}$ $0,2 D_t$	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,17	1	7	Dos paletas  $\frac{1}{3}$ $0,25 D_t$	4,35	4,3	0,29	3	0,11	8	3
Igual que en el n.º 1	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	2	7	Cuatro paletas. Ver n.º 8	3	3	0,5	0		16	2
Igual que en el n.º 1	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,04	4	7	Dos paletas. Ver n.º 8	3	3,2	0,33	0		20	4
Igual que en el n.º 1; $a = 1, b = 40$	3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		14*	7	Dos paletas. Ver n.º 8	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	10	7
Turbina de 6 palas curvadas  Tam. de palas como en n.º 1	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	3	7	Dos paletas. Ver n.º 8 Ancho de paleta = $0,13 D_t$	1,1	0,5	0,19	0		29	10
Turbina 6 palas forma flecha  Tam. de pala como en n.º 1	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	5	7	Dos paletas. Ver n.º 8 Ancho de paleta = $0,17 D_t$	1,1	0,4	0,10	0		29	10
Turbina radial con anillo deflector 				0		7	9	Hélice de 3 palas  Paso de la hélice = $2 D_t$	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	15	7
Turbina cerrada, de 6 palas. Anillo deflector de 20 hojas	2,4	0,74	0,9	0		11	6	Igual que el n.º 15; $a = 1,7, b = 18$	3,3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		21*	7
Semejante, mas no idéntica a la n.º 11	3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		12	7	Igual que el n.º 15, pero con paso = $1,33 D_t$	16			3	0,06	18	5
Igual que la 12, pero sin anillo deflector.	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	13	7	Igual que el n.º 15, pero con paso = $1,09 D_t$	9,6			3	0,06	23	5
Turbina axial de 8 palas con ángulo de 45°. Ver. n.º 17 	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	9	7	Igual que el n.º 15, pero con paso = $1,05 D_t, a = 2,3, b = 18$	2,7	2,7-3,9	0,75-1,3	0		27*	7
Turbina axial 4 palas con ángulo de 60°  $0,25 D_t$	3	3	0,50	0		17	2	Igual que el n.º 15, pero con paso = $1,04 D_t, a = 0, b = 18$	4,5	2,7-3,9	0,75-1,3	0		25*	7
Turbina axial de 4 palas con ángulo de 45°. Ver n.º 17.	5,2	5,2	0,87	0		19	2	Igual que el n.º 15, pero con paso = D_t	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	24	7
Igual que la n.º 19	2,4-3,0	2,4-3,0	0,4-0,5	0		22	2	Igual que el n.º 15, pero con paso = $D_t; a = 2,1, b = 18$	3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		26*	7
Disco con 16 paletas  $0,1 D_t$ $\frac{1}{3}$ $0,35 D_t$	2,5	2,5	0,75	4	0,25	6	1	Igual que el n.º 15, pero con paso = D_t	3,8	3,5	1,0	0		28	8

D_r = diámetro del rodete; D_t = diámetro del depósito; n = n.º de revoluciones por segundo; w = ancho de las hojas del cortacorrientes; Z_1 = altura a que está el rodete sobre el fondo del depósito; Z_2 = altura del nivel del líquido en el depósito.

Figura 25 - Tabla de rodetes.

Fuente: Foust.

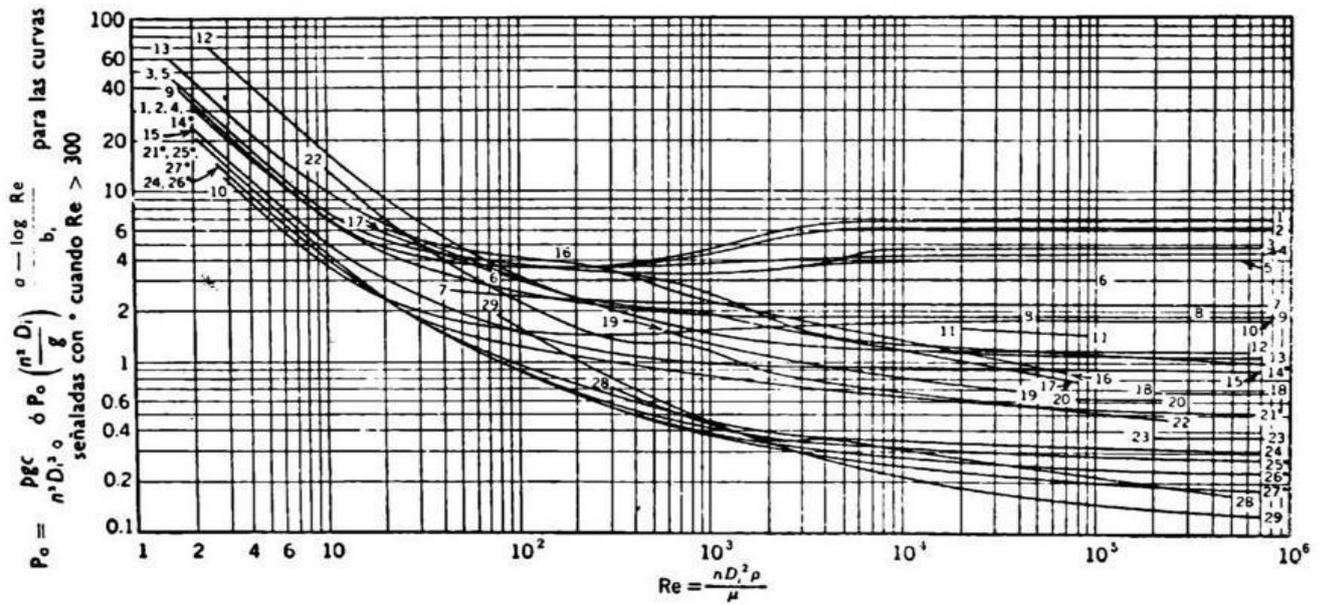


Figura 26 - Gráfico de curvas experimentales para distintos tipos de impulsores.

Fuente: Brown.

Si el sistema contiene baffles, el valor de la ordenada es igual al número de Po . Si el sistema no contiene baffles, el número de Po depende del número de Froude:

$$Po = \phi \cdot Fr^n$$

Si el sistema reactor-agitador no es semejante desde el punto de vista geométrico al sistema representado por las curvas, se lo debe ajustar a través de un factor de corrección.

$$F = \sqrt{\frac{\left[\left(\frac{Dt}{Di}\right) \cdot \left(\frac{Zt}{Di}\right) \cdot \left(\frac{Zi}{Di}\right)\right]_{sistema}}{\left[\left(\frac{Dt}{Di}\right) \cdot \left(\frac{Zt}{Di}\right) \cdot \left(\frac{Zi}{Di}\right)\right]_{correlación}}}$$

$$Po_{corregido} = Po_{gráfico} \cdot F$$

A continuación, se muestran los valores obtenidos, se realizaron varios diseños (uno, dos y cuatro agitadores por tanque) para comparar sus valores y obtener el óptimo. Cabe aclarar que en el caso de un agitador el uso de baffles es necesario para evitar la formación de vórtice, se calculó al solo efecto de realizar la comparación.

Para el diseño de más de un agitador, se divide el diámetro del tanque por la cantidad de agitadores y se procede a calcular las dimensiones de los impulsores mediante las ecuaciones de semejanza geométrica presentadas.

Recordando las dimensiones de cada reactor:

Diámetro del fermentador: 14,7 m

Altura total del fermentador: 18,7 m

Altura del líquido: 14,67 m

Tabla 34 - Semejanzas geométricas: Diversos agitadores, potencia necesaria.

	1 Agitador		2 Agitadores		4 Agitadores	
	Calculado	Comercial	Calculado	Comercial	Calculado	Comercial
Da [m]	4,85	5	2,43	2,5	1,21	1,3
E [m]	4,85	5	2,43	2,5	1,21	1,3
W [m]	0,97	1	0,49	0,5	0,24	0,25
g [m]	1,21	1,2	0,6	0,6	0,3	0,3
J [m]	1,47	1,5	0,74	0,75	0,37	0,4
F [m]	0,29	0,3	0,15	0,15	0,07	0,08
Reynolds	3,24.10 ⁷		8,09.10 ⁶		2,19.10 ⁶	
Baffles	4	Sin	4	Sin	4	Sin
Froude m	--	0,90 -0,16	--	0,454 -0,148	--	
Ordenada	6	0,9	6	0,9	6	0,9
Po gráfico	6	0,89	6	0,8	6	0,74

Po corregido	6	0,89	7,82	1,044	10,64	1,32
Potencia neta [HP]	$6,19 \cdot 10^4$	$8,76 \cdot 10^3$	$2,52 \cdot 10^3$	322,91	130,35	15,47
Potencia bruta [HP]* **	$1,19 \cdot 10^5$	$1,69 \cdot 10^4$	4865,9	622,75	215,5	29,84
Potencia bruta por tanque HP	$1,19 \cdot 10^5$	$1,69 \cdot 10^4$	9731,9	1245,5	1006,3	119,35

*Comercial: Se fijan los valores por disponibilidad comercial o por factibilidad constructiva.

** En el caso de sin baffles se utilizó la curva 14 donde $a=1$ y $b=40$.

*** Se calcula teniendo en cuenta la eficiencia del motor de 0,7 y las pérdidas por fricción del 35%, valores extraídos de Castillo Uribe, V. (2013).

Se comparan los valores obtenidos y se decide colocar 4 agitadores por reactor. No se van a poner baffles ya que contando con 4 agitados, programados para que giren en sentido opuesto, se producen choques entre las corrientes y no se generaran vórtices.

El consumo de potencia total, considerando los dos tanques de fermentación es de 238,7 HP.

5.5. Balance de energía en el reactor

Además de la determinación de las dimensiones del tanque de agitación, es preciso llevar a cabo el diseño del serpentín para mantener la temperatura dentro del reactor a 28°C.

Los reactores serán de acero inoxidable 316L en su totalidad (incluido el techo del reactor) y estarán expuestos a distintos mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

Para realizar el balance de calor, se tienen en cuenta que el jugo de fermentación ingresa al reactor a 28°C, el mismo se mantiene constante por la hipótesis de mezclado perfecto, por lo que se desprecia la resistencia a la transferencia de calor del jugo de fermentación, siendo su temperatura uniforme e igual a 28 ° C.

Se diseña para el caso extremo de intercambio de calor, es decir, cuando sea necesario remover la máxima cantidad de calor, el cual será para un día de verano (temperatura máxima de 35°C) en la localidad de Pocito, San Juan.

El balance general de energía está dado por la siguiente expresión:

$$Q \text{ reacción} + Q \text{ agitación} + Q \text{ convección} + Q \text{ conducción} + Q \text{ radiación} + Q \text{ serpentín} = 0$$

Para calcular los calores involucrados, es necesario conocer los parámetros del aire, se hallaron para una temperatura de 35°C. La velocidad del viento máxima en Pocito es de $v=10$ m/s.⁴⁹

Tabla 35 - Propiedades del aire a 35°C.

Densidad, ρ	1.145	kg /m ³
Conductividad térmica, K	0.02625	W/ m K
Viscosidad, u	$1.655 \cdot 10^{-5}$	N.s/m ²
Número de Prandtl	0.7268	

Fuente: Çengel, Y. A. & Cimbala, J. M. (2006).

Calor por radiación

Todos los cuerpos, cualquiera sea su temperatura, emiten energía en forma continua desde su superficie. Esta energía se denomina energía radiante y es transportada por ondas electromagnéticas

Constantes utilizadas para el cálculo:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \text{ (Constante de Stefan-Boltzmann)}$$

$$\epsilon = 0.28 \text{ (emisividad para el acero inoxidable 316L).}$$

Calor por conducción

Se utiliza acero inoxidable 316L para la construcción del tanque, cuya conductividad térmica es $K = 16$ W/m²K.

El espesor de la pared del reactor se calcula siguiendo las Normas API620 (Espesor=0.006 m).

Calor por convección

Para hallar el coeficiente convectivo h, se recurre a correlaciones para el techo del reactor y para las paredes del mismo.

⁴⁹ Weatherspark (2017). Datos de temperaturas en Pocito. Max:34°C y Min 3°C.

Techo del reactor

Tabla 36 - Correlación para convección forzada, flujo externo, placa plana, flujo paralelo.

Correlación Chilton-Colburn.	Condiciones de aplicación	
$Nu = \frac{h \cdot D}{k} = 0.0296 \cdot Re^{0.4} \cdot Pr^{0.33}$	0.6 < Pr < 60	Re < 10 ⁸

Fuente: Cao, E. (2004)

En base a las propiedades halladas, se cumple con las condiciones de aplicación y se obtiene el valor de h.

$$h = 19,18 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Paredes del reactor

Tabla 37 - Correlación para convección forzada, flujo externo conducto circular, flujo perpendicular.

Correlación Zhukauskas	Condiciones de aplicación	
$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n$	0.7 < Pr < 500 n=0.37 (Pr ≤ 10) n=0.36 (Pr ≥ 10)	1 < Re < 2.10 ⁶

Fuente: Cao, E. (2004)

Tabla 38 - Parámetros de la correlación de Zhukauskas.

Re	C	M
1- 40	0.75	0.4
40- 1000	0.51	0.5
1000-2.10 ⁵	0.26	0.6
2.10 ⁵ - 10 ⁶	0.076	0.7

Fuente: Cao, E. (2004)

En base a las propiedades halladas, se cumple con las condiciones de aplicación y se obtiene el valor de h.

$$h = 3,67 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5.5.1. Calor en el piso del reactor

A fines prácticos, se diseñan los cimientos del reactor con material aislante, por lo que se considera nula la pérdida de calor por el mismo. Una alternativa será una estructura de hormigón armado 2% acero ($k=2.5 \text{ W/mK}$), relleno de poliuretano ($k=0.026 \text{ W/mK}$).

5.5.2. Calor en la techo del reactor

En la superficie externa del techo, el calor por conducción es igual al calor por convección y radiación del aire.

$$Q \text{ conducción} = Q \text{ convección} + Q \text{ radiación}$$

$$\frac{(T_{\text{sup}} - T_0)}{\frac{\text{Espesor}_{\text{aceroAleación}}}{k_{\text{aceroAleación}}} + \frac{\text{Espesor}_{\text{gas}}}{k_{\text{gas}}}} = (T_{\text{inf}} - T_{\text{sup}}) \cdot h_{\text{vientoVerano}} + \epsilon \cdot r \cdot \sigma \cdot (T_{\text{inf}}^4 - T_{\text{sup}}^4)$$

Donde T_0 es la temperatura del líquido dentro del reactor (constante), T_{inf} es la temperatura ambiente, $h_{\text{vientoVerano}}$ es el coeficiente de convección para la tapa, $\text{Espesor}_{\text{aceroAleación}}$ es el espesor de acero en el tanque, $k_{\text{aceroAleación}}$ es la conductividad térmica del acero, $\text{Espesor}_{\text{gas}}$ es el espesor de la capa de CO_2 (4,03 m) y k_{gas} es la conductividad térmica del CO_2 (0,0165 W/m °C).

De la resolución del balance, se obtiene:

$$T_{\text{sup}} = 308 \text{ K}$$

El calor es:

$$Q_{\text{techo}} = q_{\text{techo}} \cdot \text{Área techo} = 4,88 \text{ W}$$

La transferencia de calor por la superficie externa del techo del fermentador resulta baja debido a la gran cantidad de gas de baja conductividad.

5.5.3. Calor en la pared del reactor

En la superficie externa de las paredes del reactor el calor por conducción es igual al calor por convección y radiación del ambiente.

$$Q \text{ conducción} = Q \text{ convección} + Q \text{ radiación}$$

Se calcula el calor lateral hasta la altura del líquido ($H_{\text{líquido}}=14,67$ m):

$$\frac{(T_{\text{sup}} - T_0)}{\frac{\text{Espesor}_{\text{aceroAleacion}}}{k_{\text{aceroAleacion}}}} = (T_{\text{inf}} - T_{\text{sup}}) \cdot h_{\text{vientoVerano}} + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{inf}}^4 - T_{\text{sup}}^4)$$

De la resolución del balance, se obtiene:

$$T_{\text{sup}}=301,01 \text{ K}$$

Por lo tanto, el calor es:

$$Q_{\text{lateral}} = q_{\text{lateral}} \cdot \text{Área lateral} = 25867,7 \text{ W}$$

5.5.4. Calor de agitación

El cálculo del calor total de agitación se realiza mediante la suma de las potencias individuales de cada agitador. Entonces, al valor de potencia calculado anteriormente, se lo multiplica por la cantidad de agitadores

El calor que el sistema mecánico le transmite al fluido es:

$$Q_{\text{Agitación}} = 89002,36 \text{ W}$$

5.5.5. Calor de reacción

Para calcular el calor de reacción, es necesario conocer la entalpía de formación de la reacción. Esta fue calculado previamente, y su valor es $\Delta H^{\text{of}} = -68$ kJ/mol.

Se expresa esta entalpía por mol de etanol formado:

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\text{of}} = -34 \frac{\text{kJ}}{\text{mol etanol}}$$

Luego, se calcula el calor de reacción, multiplicando el calor de formación por los moles de etanol formado en cada reactor.

$$Q_{\text{reacción}} = 3212065,59 \text{ W}$$

5.5.6. Calor de serpentín

Se calcula el calor necesario para refrigerar el sistema, con el objetivo de mantener la temperatura constante a 28°C.

Para ello se resuelve en balance de calor planteando anteriormente, despejando el calor que debe extraer el serpentín.

$$Q_{\text{serpentín}} = -3326940,55 \text{ W}$$

5.6. Dimensionamiento del serpentín y requerimientos de agua

Para calcular el área requerida de intercambio, se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{serpentín}} = U_s \cdot A_s \cdot \Delta T_{\text{mln}}$$

U_s es el coeficiente de intercambio global, cuyo valor es 1200 W/m²K (valor promedio para intercambiadores cuando el fluido interno como el externo es agua), A_s es el área de intercambio del serpentín y ΔT_{mln} es la diferencia media logarítmica, definida como:

$$\Delta T_{\text{mln}} = \frac{(T_{\text{int}_2} - T_{\text{w}_2}) - (T_{\text{int}_1} - T_{\text{w}_1})}{\ln \frac{(T_{\text{int}_2} - T_{\text{w}_2})}{(T_{\text{int}_1} - T_{\text{w}_1})}} = 3,37$$

Donde T_{int_2} y T_{int_1} son las temperaturas del jugo de fermentación dentro del reactor, T_{w_1} y T_{w_2} las temperaturas del agua de refrigeración de entrada a 20°C y de salida a 27°C, respectivamente.

Se obtiene un valor de área de serpentín de:

$$A_s = 823,50 \text{ m}^2$$

El C_p es 4,186 kJ/kg K y se calcula el agua necesaria.

$$W_{\text{Agua}} = \frac{Q_{\text{serpentín}}}{C_{p\text{Agua}} \cdot \Delta T_{\text{Agua}}} = 113,54 \text{ kg/s}$$

Con el área requerida de intercambio, el caudal a circular del fluido y la velocidad sugerida de flujo en el serpentín igual a 2,3 m/s, se calcula el diámetro de la tubería

necesaria. Esta velocidad se seleccionó como el promedio de las velocidades sugeridas para agua en tuberías muy largas.⁵⁰

$$D \text{ serpentín} = 0,25 \text{ m}$$

El diámetro comercialmente más cercano son las tuberías de 10 pulgadas, con un diámetro interior de 0,254 m y uno externo de 0,273. Se calcula con estos valores la longitud necesaria de cañería, la velocidad a la que circulará el agua.

Para determinar el número de vueltas necesarias de serpentín, el diámetro del mismo se ubica a un 90% del diámetro del tanque, es decir, 13,23 m).

$$\text{Velocidad del agua} = 2,25 \text{ m/s}$$

$$\text{Longitud} = 959,93 \text{ m}$$

A este valor se le adicionando 8 metros de tuberías recta, 4 metros desde el techo hasta donde comienza la altura del caldo de fermentación y luego otros 4 metros para la salida de dicha zona hasta la parte superior del tanque.

$$\text{Número de vueltas} = 23$$

Para verificar que la incorporación del serpentín no desplaza un volumen tal que pueda llegar a rebalsar el reactor, se calcula el volumen total ocupado por el equipo:

$$\text{Volumen Serpentin} = 56,23 \text{ m}^3$$

Con este volumen, la altura del líquido llega a 15 m, es decir 0,33 m más que el calculado para el caldo de fermentación, por lo que esta variación no se considera significativa para realizar una corrección.

Una vez fijada las dimensiones del serpentín, se procede a calcular el caudal de agua necesario para el día más frío de la región (3°C). Los parámetros que están afectados por el cambio de temperatura son:

⁵⁰ Sotelo Ávila, G. *Velocidad Recomendada*.

Tabla 39 – Parámetros.

Propiedad	Valor
K viento	0,02401 w/m K
Densidad viento	1,269 kg/m ³
Viscosidad del viento	1,745.10-5 kg/m s
Pr	0,7350

Procediendo de igual forma se obtiene:

Tabla 40 – Resultados.

H viento techo	18,25 W/m ² K
H viento lateral	3,81 W/m ² K
Q serpentín	-3213151,5 W
Caudal de agua	109,66 kg/s

Resolviendo los balances se calor, se determinó el caudal de agua de enfriamiento necesaria por reactor. Se calculó para el día más cálido y el más frío del año en la ciudad de San Juan, en ambos casos es necesario extraer calor. El diseño del serpentín se realizó para el día más caluroso que es cuando se necesita mayor caudal. Por sistemas de control, se determinar la cantidad de agua necesaria para realizar la operación para mantener la temperatura en su interior constante e igual a 28°C.

Los calores más importantes involucrados en el proceso son el calor de reacción y el calor de agitación, por tal motivo el uso de un aislante exterior para evitar que la temperatura del fermentador no se incremente los días calurosos no es relevante, ya que el calor aportado por el exterior no es significativo con respecto a los anteriores mencionados.

A continuación se muestra un esquema, vista superior del reactor de fermentación, para visualizar los cuatro agitadores involucrados con su respectivo sentido de giro y la ubicación del serpentín. Para lograr la producción de bioetanol deseada se utilizan dos reactores.

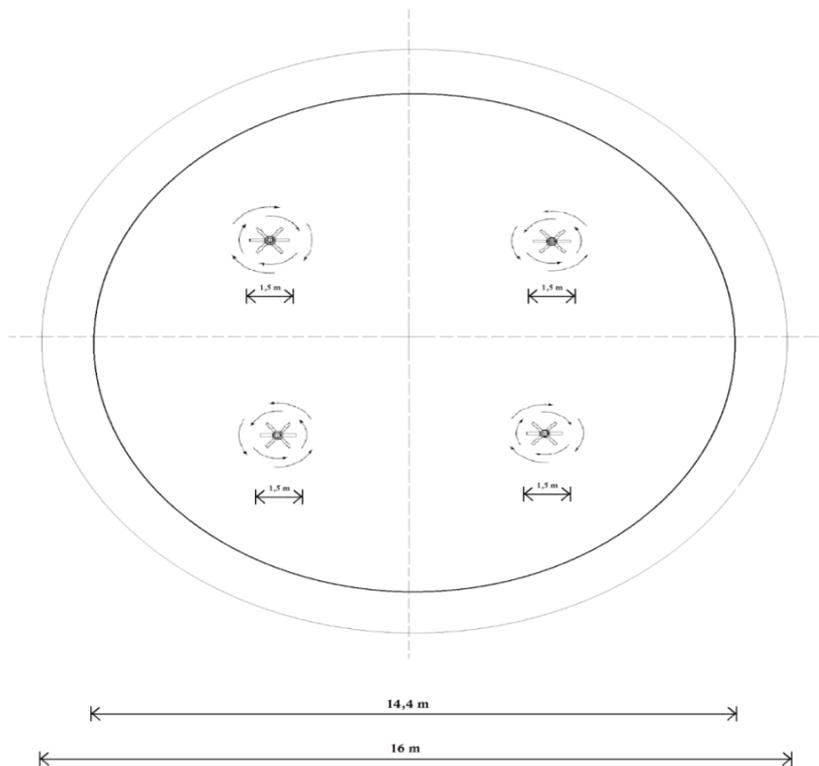


Figura 27 - Diagrama del reactor de fermentación.

5.7. Sistemas de control

Para el correcto funcionamiento del fermentador, se necesario controlar y monitorear los parámetros para que se encuentren en los rangos óptimos.

Los parámetros a controlar en el reactor de fermentación son:

Tabla 41 - Variables de control y variables manipulables.

Variable Control	Variable Manipulable
Temperatura	Caudal de agua de refrigeración
Espuma	Corriente de Antiespumante
pH	Caudal de ácido o de base
CO ₂	Apertura de válvula
Nivel de líquido	Caudal de entrada y salida

Los equipos necesarios para llevar a cabo los controles de las distintas variables se concentran en la zona llamada “Puerto de Entrada”, sobre el cual se instalan, ajustan o fijan, los dispositivos necesarios sobre la tapa del tanque, por ejemplo, los sensores de temperatura y pH o probetas medidoras y el sello mecánico del eje del agitador.

Temperatura

El propósito de este control es mantener constante la temperatura del caldo de fermentación a 28°C. Como se ha mencionado en el capítulo dos, la temperatura máxima de operación debe ser inferior a los 36°C.

El sistema de control de temperatura consta de:

- Panel de control: donde se setea la temperatura deseada y el rango óptimo. El panel recibe la información del sensor y envía información a la válvula que regula el caudal de agua de refrigeración.
- Válvula: controla el caudal del agua de refrigeración.
- Sensor de temperatura: Pt 100.
- Depósito de agua.
- Bomba.

Se diseña un circuito cerrado en el cual el sensor envía una señal eléctrica a un control de temperatura, el cual actúa abriendo o cerrando la válvula del caudal de agua de refrigeración.

La temperatura mínima, máxima y el rango de tolerancia se setea en un panel de control. Por ejemplo, si la temperatura sensada alcanza la temperatura mínima seteada, la válvula se cierra dejando pasar menor porcentaje de caudal. El flujo de agua de salida del serpentín vuelve al depósito para su posterior intercambio de calor (ya sea por medio de otra corriente o por una torre de enfriamiento).

Espuma

La formación de la misma puede deberse a la presencia de bacterias muertas, sus productos metabólicos y a los extractos insolubles de las materias primas. La espuma es indeseable ya que puede causar una reducción del rendimiento de la fermentación, así como perturbaciones en su funcionamiento.

Un sistema de control de espuma consta de:

- Panel de controlador de antiespuma: comanda la válvula que dispensa el antiespumante y recibe la señal de medición del sensor de espuma.
- Válvula: recibe la señal eléctrica del control y en proporción a la misma abre o cierra dejando pasar el porcentaje de antiespumante adecuado.

Se ubica el sensor de espuma dentro del reactor, conectado a la parte superior. El sensor va a medir y enviar información al panel de control. El panel de control compara esa medición con el valor previamente seteado y si el valor medido supera el valor deseado, el controlador envía información a la electroválvula ubicada a la salida del depósito de antiespumante. La válvula permitirá el paso de un caudal de antiespumante proporcional a la diferencia entre el valor deseado y el medido del nivel de espuma.

pH

En el tanque madre se acondiciona el jugo para su ingreso al fermentador. El sensor de pH estará colocado en el fermentador y en el tanque madre (control por cascada) y enviará la señal de regulación a las válvulas presentes en el tanque madre. El pH óptimo del reactor está ubicado en el rango entre 4 y 5.

El sistema de control de pH consta de:

- Válvula solenoide 1: Posibilita el paso de hidróxido de sodio 0.1 Molar.
- Filtro microporo en línea.
- Manguera flexible resistente a la base.
- Válvula solenoide 2: Posibilita el paso de ácido sulfúrico 0.1 Molar.
- Filtro microporo en línea.
- Manguera flexible resistente al ácido.
- Sensor de pH: pH industrial que mide la acidez e informa al panel de control.
- Panel de control: recibe información del sensor de pH y, en base a la misma, envía información a las electroválvulas.

Se colocan dos depósitos, uno de ácido y otro con base. Se coloca un pHmetro en el fermentador, el cual sensa la acidez del medio y envía información al panel de control, PLC (controlador lógico programable), seteado previamente en el rango de pH óptimo de trabajo. Si el pH medido es inferior al pH seteado el panel envía una señal a la válvula 1 que permite el paso del caudal de la base, accionando la bomba para suministrar el caudal regulador necesario. Si el pH medido es superior, esta información es recibida por el PLC, el cual enviará una orden a la válvula 2 para habilitar la bomba y dejar pasar el correspondiente caudal de ácido.

CO₂

Se dispone en la parte superior del fermentador de un conducto que permite la evacuación hacia la torre de lavado del CO₂ generado durante la etapa de fermentación.

El sistema de control consta de:

- Panel del controlador.
- Válvula: recibe la señal eléctrica del control y en proporción a la misma abre o cierra dejando pasar el CO₂ acumulado en la parte superior del reactor.
- Sensor: la concentración de CO₂ se determina usando un sensor con auto calibración no dispersivo de infrarrojos.

Conocer la concentración de CO₂ en el sistema nos permite monitorizar continuamente el metabolismo de las levaduras y analizar parámetros de crecimiento celular. El analizador de gas se conecta directamente al controlador, lo que permite observar, grabar y exportar datos para su posterior análisis.

Nivel de líquido

Se propone un sistema de control a rango partido para llevar a cabo el seguimiento del nivel de líquido en el reactor. Se operará con dos válvulas que regularan la variable nivel de líquido, cerrando el caudal de entrada (en el caso que se sobrepase un nivel máximo) o cerrando el caudal de salida (para el caso que se llegue a un nivel mínimo de líquido).

El sistema de control consta de:

- Panel del controlador de nivel: Para la programación de estos lazos en el controlador se configurará una sola función proporcional, integral y derivativo (PID), y a cada válvula se le asignará un rango de la salida de dicha función PID.
- Válvula 1: recibe la señal eléctrica del control y en proporción a la misma abre o cierra dejando pasar el caudal de entrada del jugo.
- Válvula 2: recibe la señal eléctrica del control y en proporción a la misma abre o cierra dejando pasar el caudal de salida del caldo de fermentación.
- Sensor: mide el nivel de líquido en el medio de fermentación.

Además de los controles automáticos, se sugiere examinar diariamente el sustrato en cuanto a la concentración de azúcar, inhibidores de reacción y concentración de levaduras para detectar cualquier tipo de anomalía en el proceso y poder corregirlo a tiempo.

5.8. Conclusiones

Se estudiaron los materiales más utilizados en la industria por sus características, disponibilidad y costo. Por la naturaleza del fluido utilizado para la fermentación, se eligió el acero inoxidable 316L para la construcción de los dos reactores de aproximadamente 3000 m³, ya que dicho material presenta la mejor resistencia a la corrosión por el pH ácido y otorga inocuidad frente a la presencia de levaduras.

El sistema de agitación constará de 4 agitadores por tanque. El impulsor es una turbina Rushton.

Se realizó el balance de calor, para realizar un sistema de enfriamiento para mantener la temperatura del reactor a 28°C. El mayor calor producido dentro del fermentador se debe a la reacción, por lo que es importante disipar el mismo para mantener la temperatura deseada.

La construcción del serpentín se hará en acero inoxidable, al igual que el reactor. Se dimensiono el mismo para que el intercambio de calor el día más caluroso sea el correcto.

5.9. Bibliografía

Alvarado, J. D. (1992). *Viscosidad y energía de activación en jugos filtrados*. Revista española de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 33 (1) pp: 87-93. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/ViscJugosFiltrados_1853.pdf

API620: *Diseño y construcción de grandes tanques de almacenamiento soldados de baja presión*.

Apunte de cátedra de la Facultad de Ingeniería de la UBA. *Propiedades térmicas de algunos gases y vapores*. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/6731/Tablas/Tabla10.pdf>

Apuntes de cátedra de la Universidad nacional autónoma de México. (2017). *Agitación y mezcla de fluidos*. Disponible en: http://www.cuautitlan.unam.mx/institucional/recursos_ensenanza/assets/material-didactico_agitacion-y-mezcla-de-fluidos.pdf

Apuntes de cátedra sistema de control (2018). *Velocidades medias orientativas para flujo de fluidos por cañerías*. Departamento de Mecánica, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Info%20CAP%205/TB05-Tubos-de-acero-al-carbono-de-calidad-comercial.jpg>

Apunte de cátedra de la Facultad de Ingeniería de la UBA. *Propiedades térmicas de algunas aleaciones*. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/6731/Tablas/Tabla5.pdf>

Armatec. *Long shaft agitator*. (2018). Disponible en: <https://www.armatec-fts.com/en/products/agitators/long-shaft-agitator/>

Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido. *Ventajas del poliuretano como aislante térmico*. Disponible en: <https://aislaconpoliuretano.com/ventajas-poliuretano-aislante-termico.htm>

Cao, E. (2004). *Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos*.

Castillo Uribe, V. (2003). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. Universidad del Bío-Bío. Chile.

Çengel, Y. A. & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*, Tabla A-9, 1ª edición, McGraw-Hill.

Cetotec - Control antiespuma. Disponible en: <https://www.cetotec.com/es/tecnologia-de-vinagre/fermentadores-de-vinagre-componentes/sistema-anti-espuma/>

Enériz, J. M. *CTE y la espuma rígida la espuma rígida de poliuretano proyectado como solución de aislamiento eficiente*. Asociación de la industria de Poliuretano Rígido, Madrid, España. Disponible en:

Disponible en:

http://www.aparejadoresmadrid.es/archivos/jornadaes/39/la_espuma_r%C3%ADgida_del_poliuretano_en_el_cte.pdf

Goodfellow. (2018). *Acero inoxidable. Información sobre el material*. Disponible en:

<http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-316.html>

Inpralatina. (2007). *Recubrimientos para tanques de almacenamiento*. Disponible en:

<http://www.inpralatina.com/20071210250/articulos/consultorio-del-pinturero/recubrimientos-para-tanques-de-almacenamiento.html>

Johnson Acero. (2018). *Asistencia: Preguntas frecuentes*.

Disponible en: <http://www.johnsonacero.com/preguntas-frecuentes/>

Martínez Gómez, A., et al. (2011). *Caracterización reológica de soluciones azucaradas para el proceso de evaporación-cristalización*. Vol. 24, No. 1, pp. 61-71.

Marx, S. et al (2012). *Ethanol production from tropical sugar beet juice*. African Journal of Biotechnology Vol. 11(54), pp. 11709-11720.

McCabe, W. L. et al (1991). *Apéndice 14: Propiedades del agua líquida*. Operaciones unitarias en Ingeniería Química. Cuarta Edición, página 1084.

Recio Cortés, F. J. (2010). Tesis: *Corrosión de aceros inoxidables y galvanizados de alta resistencia, como alternativa a los aceros convencionales de pretensado*. Instituto Eduardo Torroja, Madrid, España.

Rivera Castillo, M. F. & Suarez Rea, D. P. (2010). Tesis: *Diseño y construcción de un biorreactor batch aerobio para cultivo de bacterias biodegradadoras de petróleo*. Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Pag: 38-40.

Rodríguez Cordero, T. (2014). Tesis: *Recubrimiento para la protección de un tanque fermentador de la Industria Alcohólica*. Universidad Tecnológica de La Habana, La Habana, Cuba.

Salvador Martínez García, Juan Andrés Gualda Gil. *Electrónica de potencia: componentes, topologías y equipos*. pag: 242 Tabla 7-4: valores de emisividad termica de algunos metales.

Silva, O. J. (2017). *Recomendaciones para la construcción de tanques según la NSR-10*. Disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/recomendaciones-la-construccion-tanques-segun-la-nsr-10/>

SRC. *Tablas Emisividad para infrarrojos*. Disponible en: https://srsl.com/catalogoPDFs/AreaTecnica/TABLAS_EMISIVIDAD_SENSORES_INFRARROJOS.PDF

Stelzer. *Agitadores comerciales*.

Disponible en: <http://www.stelzer.eu/en/agitators/shs-shk-compact-series/>

Sotelo Ávila, G. *Velocidad Recomendada*. Hidráulica General de http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/confinado/velocidad_recomendada.html

Trallero & Schlee. *Fermentadores*. (2012). Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Capitulo%204%20Fermentadores.pdf>

Uribe Ramírez, A R. et al. (2012). *Agitación y mezclado*. Universidad de guanajuato. Pag: 22-28.

Weatherspark (2017). Datos de temperaturas en Pocito. Max:34°C y Min 3°C. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/27329/Clima-promedio-en-Pocito-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>



6. DISEÑO DE SISTEMA DE SEPARACIÓN

6. DISEÑO DE SISTEMAS DE SEPARACIÓN

INTRODUCCIÓN

Como se menciona en capítulos previos, es necesario obtener etanol de alta pureza (mayor al 99% en volumen) para poder utilizarlo en cortes de combustibles. Para cumplir con dicha especificación, es necesario deshidratar el etanol producido luego del proceso de fermentación.

La corriente de salida del fermentador (corriente libre de sólidos), compuesta por agua, etanol y azúcar, pasa a través de un tren de destilación para lograr el objetivo planteado.

En este capítulo se plantean distintos sistemas de separación, se realizan simulaciones de los mismo en el software de procesos UNISIM Desing® versión 390.1 y se elige el sistema de separación óptimo. Luego, se realizan mejoras al sistema elegido hasta obtener el tren de destilación que, además de cumplir con las especificaciones requeridas, sea el más eficiente.

6.1. Composición deseada

Las especificaciones de calidad que debe cumplir el bioetanol se encuentran determinadas por la Ley 26.093, decreto N° 109/07, artículo 3°, inciso C: “[...]La pureza de etanol deberá ser mayor al 99% en volumen, con el método ASTM D-5501 e IRAM 1465.”⁵¹

Se ingresa al simulador el porcentaje en volumen y luego él mismo arroja los valores en fracciones másicas de cada componente, siendo el del etanol 0,987.

6.2. Diseño del sistema de separación

Se diseñan los sistemas de separación utilizando el programa de simulación, seleccionando el paquete de fluidos NRTL ideal (elegido en capítulos anteriores).

Por otro lado, se debe tratar los subproductos que se obtienen a lo largo de todo el proceso, siendo el principal el dióxido de carbono.

El dióxido de carbono es uno de los gases más abundantes en la atmósfera, es el principal gas de efecto invernadero en la actualidad, producido como efluente de diversos

⁵¹ Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. Resolución 1295/2008.

procesos industriales. Se trata de un gas no polar y de alta solubilidad en agua, debido a su carácter ácido.

El objetivo es llevar a cabo la recuperación de la mayor cantidad de CO₂ generado durante el proceso de fermentación, para disminuir las emisiones de este gas a la atmósfera.

6.2.1. Separación de CO₂

Para lograr su recuperación, el tanque de fermentación dispone en su parte superior de un conducto que permite la evacuación hacia la torre de lavado del CO₂. A continuación, se plantea la secuencia de operaciones.

Lavado

En esta etapa se elimina cualquier impureza que pudiera contener la corriente de CO₂ procedente del tanque de fermentación. En este caso, la corriente procedente del fermentador contiene un 1% en peso de etanol arrastrado⁵². Para conseguir eliminar el etanol de esta la corriente, se procede a realizar un lavado de la corriente a presión atmosférica con agua a temperatura ambiente, de forma que por una de las corrientes se obtiene una corriente compuesta por etanol y agua y otra conformada por el CO₂ y algo de agua, en torno al 5%.

Compresión

El CO₂ húmedo requiere ser comprimido para posteriormente ser secado y almacenado en estado líquido en el correspondiente tanque. Tras la compresión, la temperatura de salida del compresor se eleva. Por esto, se incorpora un intercambiador de calor que disminuye la temperatura de la corriente de salida de forma que las siguientes etapas puedan desarrollarse a temperatura cercana a la ambiente.

Secado

El CO₂ húmedo se introduce en el interior de una columna rellena con sílica gel con el objeto de que la corriente de CO₂ a la salida tenga un contenido despreciable de humedad.

⁵² Gómez García, F. (2015). *Ingeniería de procesos de planta de fabricación de etanol con una capacidad de 20.000tn/año*.

Almacenamiento

Una vez que la corriente de CO₂ se encuentra limpia y seca, se procede a su almacenamiento. Estos son fabricados en acero al carbón, de acuerdo a las normas ASME con aislamiento de poliuretano. El gas es mantenido a presiones a los 305 psig. con una bobina de presurización que le permite ser almacenado por un periodo de tiempo indefinido, sin tener que ser venteado a la atmósfera⁵³.

6.2.2. Purificación Etanol

Para llevar a cabo la deshidratación del etanol, obtenido luego del proceso de fermentación, se plantea un sistema de separación seleccionado en capítulos anteriores.

Para realizar la separación, se operan tres destiladores en serie. La primera columna es la azeotrópica, la cual separa la mayor cantidad de agua en la corriente de fondo y una mezcla de composición azeotrópica con etanol, como destilado en la corriente de tope.

El destilado de la columna azeotrópica y el solvente elegido para la separación se alimentan a la segunda columna, columna extractiva. El solvente es extraído por el fondo. El etanol, con la pureza deseada, se obtiene como destilado.

La mezcla de solvente-agua obtenida en la segunda columna se transfiere a la tercera columna, diseñada para la recuperación de solvente. El solvente se recupera como corriente de fondo y se recicla a la columna extractiva.

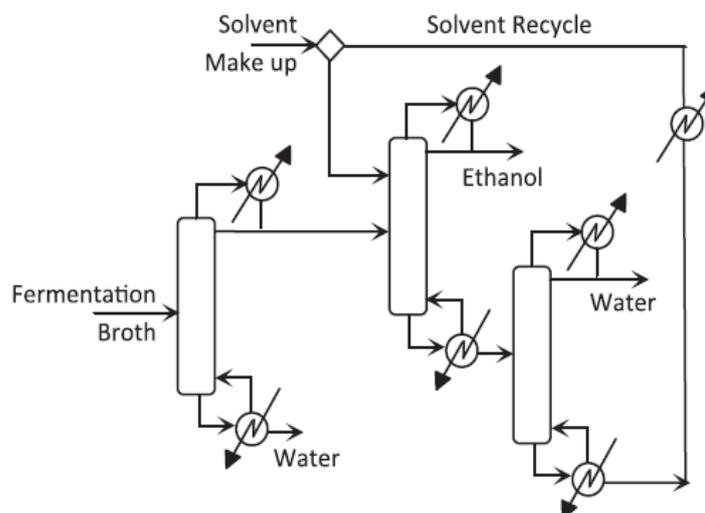


Figura 28 - Configuración de destilación extractiva clásica.

Fuente: Errico, M. and Rong, B.-G. (2012).

⁵³ Hernández Ramírez, R. (2007). *Análisis de las tecnologías de reducción efectiva de las emisiones de CO₂ en plantas de producción de potencia.*

Debe señalarse que el orden de separación que se muestra en esta figura no es el único posible.

Por medio de un condensador parcial en la tercera columna, la corriente compuesta por etanol-agua, se recicla a la primera columna para aumentar la obtención de etanol anhidro. Esta configuración puede reducir los requisitos de calentamiento y enfriamiento en más de un 20%⁵⁴.

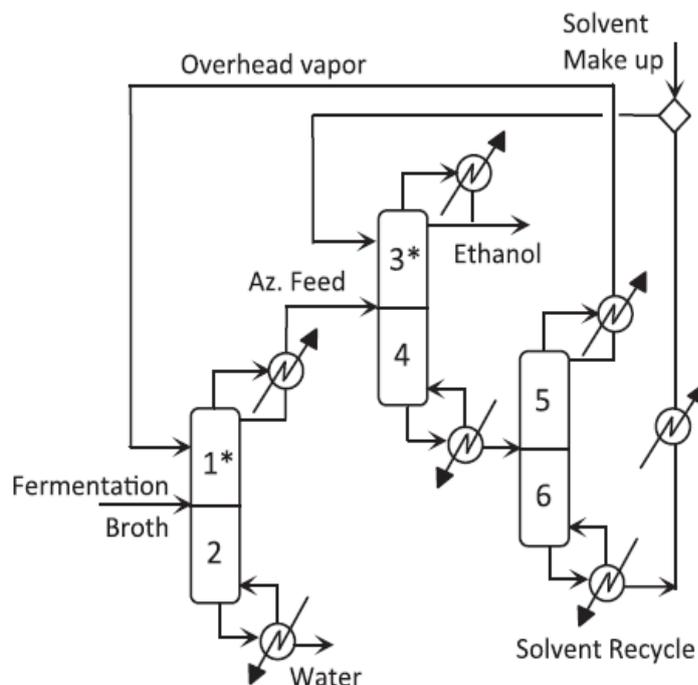


Figura 29 - Configuración extractiva.
Fuente: Errico, M. and Rong, B.-G. (2012).

A continuación, se describe el caudal de ingreso al sistema de separación, con su correspondiente composición. Además, se detallan las composiciones requeridas en cada columna.

⁵⁴ Taylor, M. & Wankat, P.C. (2005). *Increasing the energy efficiency of extractive distillation*.

Tabla 42 - Composiciones requeridas.

Caldo de fermentación	Composición másica	
405.099,71 kg/h	W etanol	0,067
	W agua	0,899
	W azúcar	0,034

Primer destilador	Composición requerida en tope	W etanol > 0,90
	Composición requerida en el fondo	W etanol menor posible

Segundo destilador	Composición requerida en tope	W etanol > 0,987
	Composición requerida en el fondo	W etano menor posible (trazas)

Tercer destilador	Composición requerida en tope	W solvente menor posible (trazas)
	Composición requerida en el fondo	W de solvente lo mayor posible

6.3. Simulación

En la columna de destilación, la mezcla de alimentación se introduce aproximadamente en el centro de una cascada vertical de etapas. El vapor que se eleva en la sección superior del plato de alimentación (sección enriquecedora) se lava con el líquido para eliminar o absorber el componente menos volátil. El líquido de lavado se obtiene condensando el vapor que sale por la parte superior, enriquecido con el componente más volátil. El líquido devuelto a la parte superior de la torre se llama reflujo y el material que se elimina permanentemente es el destilado, que puede ser un vapor o un líquido, enriquecido con el componente más volátil.

En la sección de enriquecimiento el condensador elimina todo el calor latente del vapor principal, pero no enfría más el líquido resultante, por lo tanto, los productos de reflujo y destilado son líquidos en el punto de burbuja.

En la sección por debajo del plato de alimentación (sección de agotamiento) el líquido se desorbe del componente volátil mediante vapor que se produce en el fondo por la evaporación parcial del líquido en el rehervidor. El líquido eliminado, enriquecido con componente menos volátil, es el residuo. Dentro de la torre los líquidos y los vapores siempre están en sus puntos de burbuja y de rocío, de manera que las temperaturas más elevadas se encuentran en el fondo y las menores en la parte superior.

El calor del rehervidor se obtiene mediante un balance completo de entalpía en todo el equipo.

Las purezas obtenidas para los dos productos separados dependen de las relaciones líquido/gas utilizadas, del número de platos ideales suministrados por las dos secciones de la torre, la relación entre éstos y el plato por donde se decide introducir la mezcla de alimentación, ya que las cantidades de las corrientes de líquido y vapor cambian abruptamente en este plato. La introducción de la mezcla de alimentación gobierna el cambio de la zona de enriquecimiento a la de agotamiento.

Los platos ideales están numerados desde la parte superior hacia abajo. El producto destilado puede ser líquido, vapor o una mezcla, sin embargo, el reflujo debe ser líquido. La relación molar entre el reflujo y el destilado separado es la relación de reflujo, llamada relación de reflujo externo.

Para comenzar el diseño, se realiza cada destilador individualmente, es decir, sin contemplar los reciclos.

Para seleccionar las características que hacen que cada columna sea la óptima, se busca que además de cumplir con los requerimientos, sean del menor tamaño posible, se obtenga la mayor cantidad de etanol y que los calores en el reboiler y el condensador sean bajos.

6.3.1. Experiencia sin reciclos

Primera columna

Se alimenta el destilador, con la corriente líquida que se produce en el fermentador y se busca llegar por medio de la destilación a una composición cercana a la azeotrópica.

Para obtener la columna óptima se realizan varias corridas en el simulador, cambiando los valores de las siguientes variables: números de platos, plato de alimentación, relación de reflujo externa.

Se modifica una variable a la vez y se analizan los resultados. Se evalúan las composiciones de las corrientes de salida, el calor en el condensador y reboiler.

Analizando los resultados, se selecciona la columna con las siguientes características

Tabla 43 - Caracterización de la columna de destilación azeotrópica.

Presión de trabajo	1 atmósfera				
Nº de platos	24				
Plato de alimentación	20				
Relación de reflujo	3,5				
Relación destilado-alimentación	0,07				
Corriente Tope (Azeótropo)	27.642,27 kg/h	Etanol	25.983,16 kg/h	W_{etanol}	0,9400
		Agua	1.659,11 kg/h	W_{agua}	0,0600
		Azúcar	0	$W_{\text{azúcar}}$	0
Corriente Fondo (Agua)	377.457,43 kg/h	Etanol	1.158,52 kg/h	W_{etanol}	0,0031
		Agua	362.525,53 kg/h	W_{agua}	0,9604
		Azúcar	13.773,39 kg/h	$W_{\text{azúcar}}$	0,0365
Calor Condensador	$1,15 \cdot 10^8$ kJ/h	Temperatura	78,13 °C		
Calor Reboiler	$1,62 \cdot 10^8$ kJ/h	Temperatura	99,60 °C		

Segunda columna

Se procede de manera análoga a la anterior. Para esta simulación se impone la fracción másica de etanol requerida y se variaron los parámetros como cantidad de platos, número de plato a alimentar (solvente y corriente azeótropo) y la relación de reflujo externa. Se analizan los resultados y se selecciona la columna con las siguientes características:

Tabla 44 - Caracterización destilación extractiva.

Presión en la columna	1 atmósfera				
Nº de platos	20				
Plato de alimentación	Corriente Solvente	4			
	Corriente Azeótropo	16			
Relación de reflujo externa	0,9				
Relación solvente alimentación	- 0,5				
Corriente Tope (Etanol)	25.130,94 kg/h	Etanol	24.879,67kg/h	W_{etanol}	0,9900
		Agua	251,27 kg/h	W_{agua}	0,0100
		Glicerol	0	W_{glicerol}	0
Corriente Fondo (Solvente-Agua)	16.332,47 kg/h	Etanol	1103,49 kg/h	W_{etanol}	0,0680
		Agua	1407,84 kg/h	W_{agua}	0,0860
		Glicerol	13.821,14 kg/h	W_{glicerol}	0,8460
Calor Condensador	4,06.10 ⁷ kJ/h		Temperatura	78,13 °C	
Calor Reboiler	3,86.10 ⁷ kJ/h		Temperatura	120,7°C	

Se puede observar, que al diseñar la segunda torre de destilación, es posible alcanzar el objetivo propuesto de producción y calidad de etanol.

El caudal de solvente utilizado es proporcional a la corriente de alimentación de dicha columna, cuya relación con la alimentación está comprendida entre 0,4 y 0.6.⁵⁵

Las experiencias con menor cantidad de solvente produjeron mayor cantidad de calor consumido tanto en reboiler como en el condensador.

Disminuir la cantidad de platos provoca un arrastre de glicerol en la corriente de tope, lo cual perjudica la pureza del etanol.

6.3.2. Experiencia con reciclados

Reciclo de solvente regenerado

La destilación extractiva, la segunda columna, permite obtener una corriente de fondo que contiene el glicerol y agua. En la tercera columna, se lleva a cabo la separación de solvente, para reutilizarlo en la segunda columna. Esto implica abaratar los costos.

Dado que el glicerol se degrada térmicamente a los 250°C, se trabaja a una temperatura de reboiler que no sobrepase los 240°C para obtener un margen en el control de la temperatura.

Al igual que las columnas anteriores, se realizan varias experiencias y la versión óptima del equipo se muestra en la siguiente tabla:

⁵⁵ Ross Ruiz, F. A. & Mera Bardales, D. G. (2014). *Tesis: Simulación de la deshidratación de bioetanol azeotrópico de la planta piloto de alcohol de la FIQUNAP, mediante la plataforma de CHEMCAD V.6.2.*

Tabla 45 - Caracterización de la columna de extractiva y de regeneración.

	Extractiva		Regenerativa	
Presión de trabajo	1 atm		0,4 atm	
Nº de platos	20		10	
Plato de alimentación	Corriente Solvente regenerado	4	Corriente Solvente - Agua	3
	Corriente Azeótropo	16		
Relación de reflujo interna	1,4		0,8	
Corriente Tope	25.757,67kg/h	$W_{\text{etanol}} = 0,9900$	1.884,69 kg/h	$W_{\text{etanol}} = 0,2563$
		$W_{\text{agua}} = 0,0100$		$W_{\text{agua}} = 0,7436$
		$W_{\text{glicerol}} = 0$		$W_{\text{glicerol}} = 0$
Corriente Fondo	15.737,45 kg/h	$W_{\text{etanol}} = 0,0307$	13.852,76 kg/h	$W_{\text{etanol}} = 0$
		$W_{\text{agua}} = 0,0911$		$W_{\text{agua}} = 0,0023$
		$W_{\text{glicerol}} = 0,8782$		$W_{\text{glicerol}} = 0,9977$
Calor Condensador	$5,24 \cdot 10^7$ kJ/h	78,13°C	$6,75 \cdot 10^6$ kJ/h	62,63°C
Calor Reboiler	$4,83 \cdot 10^7$ kJ/h	130,6°C	$1,07 \cdot 10^7$ kJ/h	240 °C

Reciclo de corriente residual de agua-etanol y solvente regenerado

Se analizó hacer un nuevo reciclo, como se explicó anteriormente, conectando la corriente de salida del tercer destilador hacia la primera columna. Los resultados no serán los esperados por Taylor, M. & Wankat, P.C. (2005) debido a que el caudal de salida de la tercera torre no es suficiente para observar estas diferencias en el calor intercambiado.

6.13. Conclusión

Luego de realizar las distintas simulaciones para las tres columnas y diferentes conexiones, se determina que el proceso de separación óptimo para obtener etanol es el siguiente:

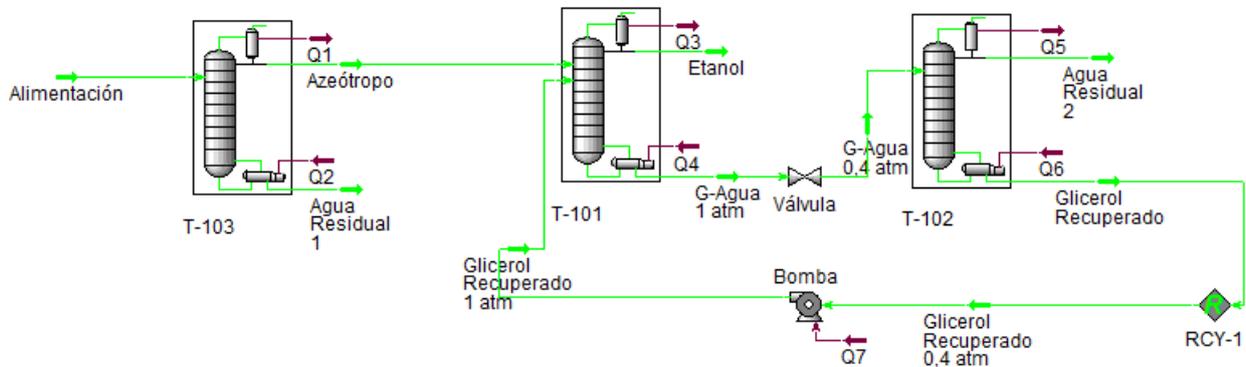


Figura 30 - Configuración del sistema de destilación.

El solvente a utilizar posee una vida útil entre 12 y 24 meses⁵⁶, lo que posibilita su renovación durante la parada de planta anual. Se deben tener en cuenta las posibles pérdidas del solvente, este será monitoreado con un sistema de control, que mantenga el caudal de glicerina óptimo durante la operación.

Se producen 25.500 kg/h de etanol, es decir, 232111 m³/año. Esta producción es mayor a los objetivos planteados en el trabajo. Luego de verificar que este aumento no corresponda a un error en la utilización del simulador, en el cual se formaría etanol en el tren de destilación, se llega a la conclusión que el valor en el que se basaron los cálculos para extrapolar la cantidad de remolacha necesaria y el etanol que se produce de la misma, no era el óptimo.

Los calores de reboiler y condensador en cada destilador resultan elevados, comparando con datos bibliográficos, se operan estas torres en el mismo orden de magnitud.⁵⁷

⁵⁶ Pamp-alimentos.

⁵⁷ Ravagnania, M.A.S.S. (2010). *Anhydrous ethanol production by extractive distillation: A solvent case study*.

6.14. Bibliografía

Alibaba. (2018). *Proveedor de destiladores*. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/good-quality-best-price-industrial-distillation-rectification-column-60188494611.html?spm=a2700.8699010.normalList.2.6b673f53BQHb3S>

Apunte de cátedra. *Diseño del Sistema de Separación*. (2018).

Errico, M. and Rong, B.-G. (2012). *Synthesis of new separation processes for bioethanol production by extractive distillation*. Separation and Purification Technology 96: 58–67.

Kiss, A. A., et al. (2012). *Innovative single step bioethanol dehydration in an extractive dividing-wall column*. Separation and Purification Technology 98: 290–297

Gil, I. D., et al. (2014). *Simulation of ethanol extractive distillation with mixed glycols as separating agent*. Braz. J. Chem. Eng. vol.31 no.1 São Paulo.

Gomez Garcia, F. *Ingeniería de procesos de planta de fabricación de etanol con una capacidad de 20.000tn/año*. Escuela técnica superior de Ingeniería Sevilla, España. (2015).

Hernández Ramírez, R. *Análisis de las tecnologías de reducción efectiva de las emisiones de CO₂ en plantas de producción de potencia*. Universidad de Sevilla, Sevilla, España (2007).

Martínez Ruiz, A. (2010). *Remolacha azucarera, para etanol*. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Remolacha-azucarera-para-etanol-20100628-0005.html>

Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. *Resolución 1295/2008*. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/145000-149999/147291/norma.htm>

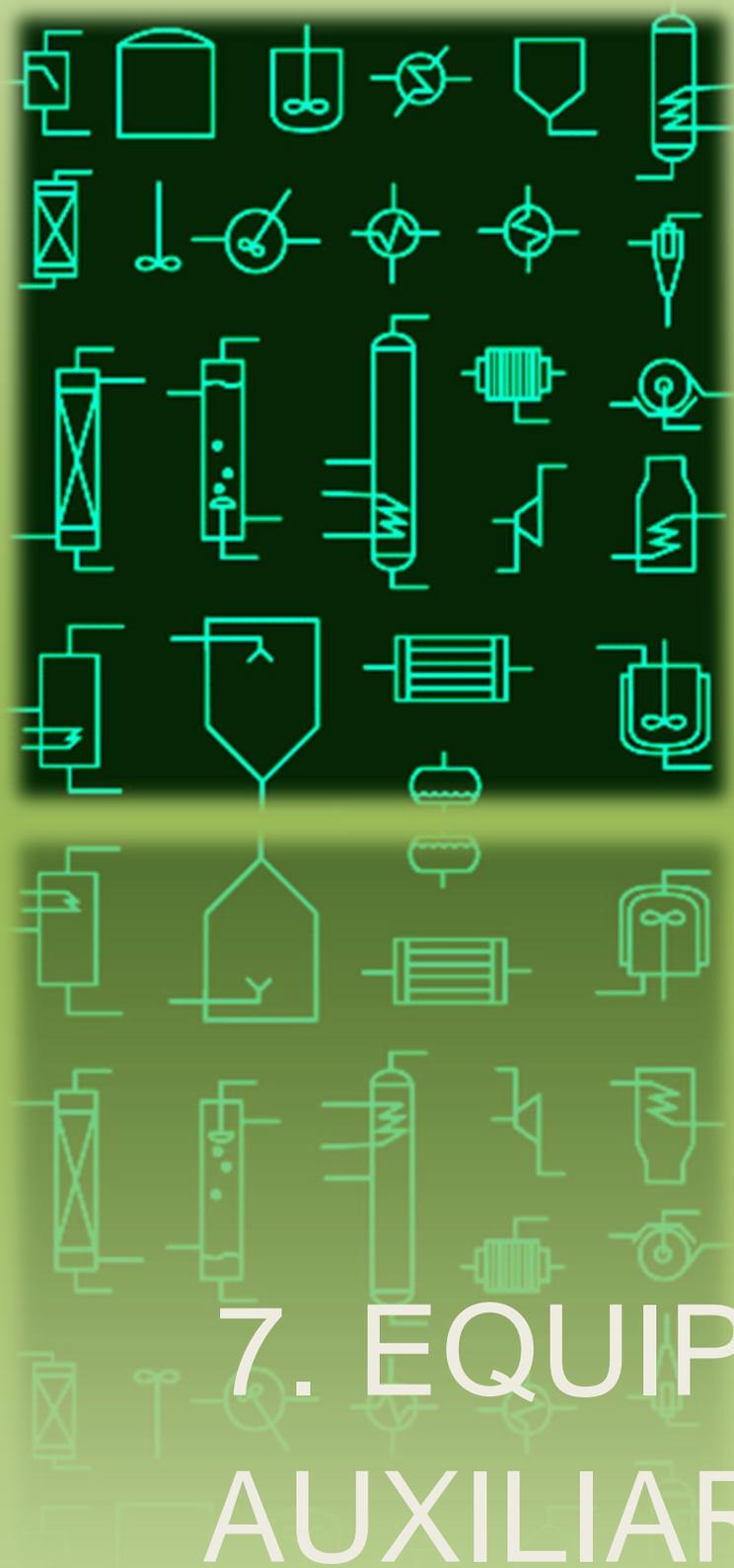
Palm-alimentos. Disponible en: <http://alimentospamp.com/wp-content/uploads/2015/07/Glicerina-cruda-y-Refinada.pdf>

Ravagnania, M.A.S.S. (2010). *Anhydrous ethanol production by extractive distillation: A solvent case study*. Process Safety and Environmental Protection 8, 8: 67–73

Ross Ruiz, F. A. & Mera Bardales, D. G. (2014) *Tesis: Simulación de la deshidratación de bioetanol azeotrópico de la planta piloto de alcohol de la FIQUNAP, mediante la plataforma de CHEMCAD V.6.2*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, Peru.

Taylor, M. & Wankat, P.C. *Increasing the energy efficiency of extractive distillation*. Separation Science and Technology 39 (2005) 1–17.

Uyazán, A.M. et al. *Producción de alcohol carburante por destilación azeotrópica homogénea con glicerina*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Disponible en: http://www.ciiq.org/varios/peru_2005/Trabajos/II/2/2.2.16.pdf



7. EQUIPOS AUXILIARES

7. EQUIPOS AUXILIARES

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se seleccionarán los equipos auxiliares para cada etapa del proceso de producción de bioetanol a partir de remolacha azucarera. A continuación, se muestra el diagrama de flujo simplificado de la planta.



Figura 31- Diagrama de flujo.

Se divide la planta en 8 etapas, en cada una de ellas se selecciona los equipos, accesorios y cañerías, determinados por su función y por las características de la materia a procesar. Dichos elementos también serán utilizados para conectar cada etapa y transportar el sustrato hasta su conversión final en etanol.

7.1. Recepción de la remolacha

Las remolachas deben ser cosechadas y transportadas en el mismo día, para evitar su deshidratación y la disminución de su concentración de azúcar.



Figura 32- Máquina cosechadora de remolacha azucarera.
Fuente: Institute of Agriculture and Natural Resources.

Los camiones cargados con materia prima provienen de campos cercanos, los mismos serán pesados por medio de una báscula industrial y antes de autorizar la descargar de la remolacha, se debe tomar muestras de la misma para verificar que la remolacha cumpla con las especificaciones de porcentaje de azúcar y humedad requerida para la posterior producción de etanol.

La toma de muestra es una operación compleja y delicada que debe estar a cargo de personal responsable y entrenado para esta tarea.



Figura 33 - Báscula magris para pesar camiones.
Fuente: Maquinarias Barrola (2018).

Para lograr la producción de etanol deseada se necesita 539,43 tn/h de remolacha azucarera. Según la normativa vigente, los camiones con 18,50 metros reglamentarios pueden transportar 55 toneladas, manteniendo la distribución de peso por eje⁵⁸. Es decir, que se descargan 10 camiones por hora.

⁵⁸ Clarin rural. (2018). *Camiones: se amplió el límite de toneladas para el transporte de cargas.*

Debido a la gran cantidad de materia prima que se necesita, la planta contará con un playón estacionamiento de camiones y un sistema de logística adecuado para reducir los tiempos muertos de esta operación discontinua. Para que esto sea más dinámico, se decide colocar 5 básculas.

Una vez que el resultado de la muestra de cada camión es exitosa, se procede a su descarga, donde se vuelca su contenido a una tolva.



Figura 34 - Camión descargando a tolva.
Fuente: Agroinformacion

La tolva es un dispositivo de gran tamaño de forma cónica y con paredes inclinadas, destinado al depósito y canalización de materiales. La carga se efectúa por la parte superior y la descarga se realiza por una compuerta inferior. Son muy utilizadas en agricultura y en instalaciones industriales.



Figura 35 - Camión descargando a tolva.
Fuente: Amalia García-Vellido Santías. (2017)

La capacidad de las tolvas comerciales van desde 35 a 1440 toneladas⁵⁹. La compañía SIOUX STEEL brinda tolvas con las siguientes características: para productos

⁵⁹ SIOUX STEEL. (2018).

fluidos pesados, columnas de soporte en acero estructural de vigas “I” protegidas con pintura electrostática, los paneles del cono se fijan a las láminas de la pared por medio de un ángulo estructural de compresión con pintura electrostática.

Se diseña un conjunto de tolvas que permitirán alojar la materia prima por 8 horas. Es decir, serán 10 tolvas con una capacidad de 431,5 toneladas cada una. Esto facilitará la fluidez del proceso, permitiendo descargar distintos camiones en simultáneo.

Tabla 46 - Características de la Tolva.

Modelo	Tolva
Capacidad	446 Ton
Volumen	581 m ³
Altura	16,08 m
Diámetro	8,23 m

Fuente: SIOUX STEEL. (2018).

Cada tolva está conectada a una cinta transportadora la cual lleva las remolachas a la siguiente etapa. La línea de cintas transportadoras es una solución eficiente para el transporte en pequeñas, medianas y largas distancias, preservando la integridad del producto transportado. Construidas en diferentes anchos y largos, se ajustan a las más diversas aplicaciones de transporte.



Figura 36 - Cinta transportadora.

Fuente: Agretec (2018).

Las cintas transportadoras Serie CTR están accionadas por un reductor pendular a engranajes, acoplado a motor eléctrico de 7,5 CV a 15 CV de potencia (1400 RPM, 50 Hz). La estructura de la cinta está construida con perfiles estructurales y chapa de acero

conformada, especialmente construidas para servicio medio y pesado. Las mismas pueden ser fijas o con movimiento radial (manual o motorizado) para mayor acopio de material.

Tabla 47 - Características de la cinta transportadora.

Modelo	Cinta transportadora
Capacidad	hasta 250 Ton/h
Dimensiones	0,6 m x 8 m
Banda de goma	Lisa, 2 telas, 8mm
Potencia	7,4 - 14,8 HP (5,5 - 11 kW)

Fuente: Agretec (2018).

7.2. Lavado y picado

Las etapas dos y tres se realizan juntas, es decir, se limpia y se pica la remolacha en un mismo equipo. Se retira la tierra y suciedad superficial adherida a la cáscara (el 3% de su peso)⁶⁰ y se reduce su tamaño en bastones delgados, de 2 a 3 cm de espesor (cosetas).

Para llevar a cabo dicho proceso se utiliza la máquina Cross Elephant Beet Washer, la cual es una combinación de limpieza y corte que entrega una muestra limpia y de calidad de remolacha.

La remolacha sucia se carga en la tolva en la parte delantera de la máquina donde un efecto de ciclón elimina las piedras y cualquier partícula grande de suciedad.

La remolacha pasa luego al ciclo de lavado, el cual cuenta con un sistema de reciclaje que elimina la suciedad del agua para garantizar que se utilizan cantidades mínimas para cada trabajo. Desde el área de limpieza, la remolacha lavada es transportada por el elevador hasta el punto de descarga donde la opción es descargar en un remolque para su posterior transporte o directamente a una pila. También hay una opción al final del elevador de descarga para activar una unidad de corte, la cual consiste en un tambor rotatorio.

Se logra obtener producciones de alrededor de 100 toneladas por hora solo para lavar, o de 80 toneladas cuando se corta.

⁶⁰ Baquero, J. (1987). *La industria azucarera de la remolacha*. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación.



Figura 37- Cross Elephant Beet Washer.

Fuente: Crossagrieng (2018).

Tabla 48 - Características de Cross Elephant Beet Washer.

Modelo	Elephant
Salida de lavado y picado	80 Ton/ hora
Litros de agua requeridos	14.592 litros/día
Requisitos de energía	120 HP (88,26 kW)
Motor	Estándar
Longitud total	16 m
Ancho	2,6 m
Peso	17,500 kg

Fuente: Crossagrieng (2018).

A continuación se muestra las cosetas obtenidas del Cross Elephant Beet Washer.



Figura 38 - Cosetas.

Fuente: Crossagrieng (2018).

Teniendo en cuenta la capacidad del equipo y la cantidad de toneladas de cosetas requeridas para el proceso, es necesario disponer de 7 máquinas, obteniendo así 523,25 toneladas de cosetas por hora.

Las cosetas de todos los equipos caen en una cinta transportadora, la cual recolecta toda la remolacha y la lleva hasta la siguiente etapa.

Se requiere que el flujo del producto se separe en múltiples líneas para un procesamiento eficiente. Las bandas transportadoras de distribución controlan el flujo del producto hacia el equipamiento de salida con las puertas y los desviadores, para medir el producto según su cantidad óptima.

Tabla 49 - Características de la cinta transportadora de distribución.

Modelo	Cinta transportadora
Modelo	Iso-Flo
Longitud	hasta 30 m
Capacidad	135 Ton/h
Potencia	8HP (6 kW)
Motor	Trifásico
Características a destacar	Terminaciones de superficie higiénica resistente a la formación de bacterias Acción de autolimpieza continua, evita acumulación.

Fuente: Key Technology (2018).

7.3. Extracción

Las cosetas se introducen en un tanque de acero inoxidable, para llevar a cabo el proceso de extracción de azúcares por difusión. El agua que se utiliza posee una temperatura entre 70 y 85°C e ingresa en el tanque a contracorriente.

Para llevar a cabo dicho proceso, se utiliza un difusor horizontal, en él se obtiene, por un lado jugo de difusión (agua con gran contenido en sacarosa y otras sustancias) y, por otro lado, la pulpa de remolacha agotada (sin sacarosa) que, una vez seca, se emplea para alimentación animal.



Figura 39 - Difusor industrial.
Fuente: Perryvidex.

Tabla 50 - Características del difusor horizontal.

Modelo	Difusor horizontal
Capacidad	4500 Ton/ día
Requisitos de energía	120 HP (88,26 kW)
Motor	Estándar
Longitud total	32,17 m
Ancho	6,05 m
Altura	9,2 m

Fuente:Perryvidex

Para poder procesar las 523,25 toneladas de cosetas por hora se dispondrán de 3 difusores horizontales.

7.3.1. Pulpa extraída

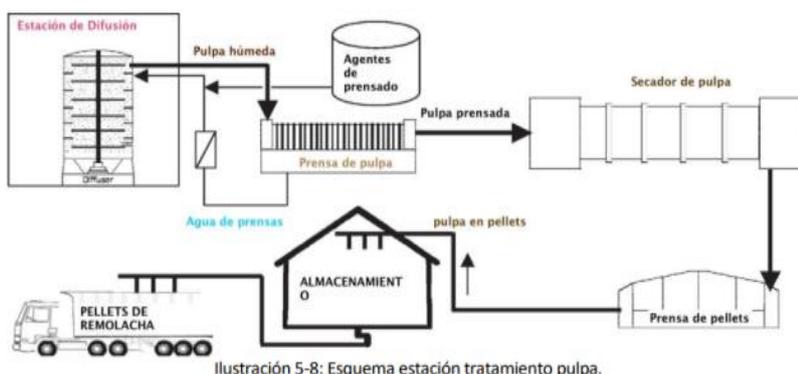


Ilustración 5-8: Esquema estación tratamiento pulpa.

Figura 40- Esquema de extracción de la pulpa y su tratamiento.

Es necesario realizar un tratamiento a la pulpa extraída para poder obtener un subproducto de mayor valor comercial (pienso de ganado) y recuperar el agua contenida en la pulpa, la cual aún posee azúcar.

7.3.2. Prensado

La pulpa extraída de los difusores contiene una gran cantidad de agua que se reduce apreciablemente mediante un proceso de prensado. El agua procedente de este prensado se filtra, se introduce de nuevo en la difusión para recuperar el azúcar y la energía térmica que posee la misma, mientras que la pulpa pasa al siguiente proceso de secado.



Figura 41 - Prensa.
Fuente: Alibaba (2018).

Tabla 51 - Características de la prensa.

Modelo	Prensa
Modelo	MS 64-SW
Capacidad	750 Ton/día
Requisitos de energía	122,37 HP (90 kW)
Dimensión (largo*ancho*altura)	7m * 2 m *2 m
Peso	20600 kg

Fuente: Alibaba (2018).

Para llevar a cabo el proceso es necesario utilizar seis prensas, con ellas se podrá obtener las 181 Ton /h de coquetas agotadas calculadas en capítulos anteriores.

7.3.3. Secado

La pulpa prensada es transportada a la siguiente etapa, en la cual se le retira parte de su humedad, para producir la pulpa seca, denominada pellets. Las fábricas de remolacha generalmente utilizan secadores de tambor, los más populares en la industria porque pueden usar varios combustibles (carbón, petróleo o el gas natural). Este equipo trabaja a aproximadamente 2 rpm para evitar que la pulpa se pegue a la pared del tambor. Los secadores producen aire caliente-seco (700 a 900°C) para quitar el agua de la pulpa.



Figura 42 - Equipo de secado de pulpa.
Fuente: Amalia García-Vellido Santías. (2017).

Por las condiciones climáticas de Pocito, Provincia de San Juan, se plantea implementar el secado solar de la pulpa y de esta manera reducir las emisiones de CO₂, las cuales se estimaban en unas 12.500-13.000 toneladas al año⁶¹. Por otra parte, se consigue un importante ahorro de costos en infraestructuras de secado, mantenimiento de las mismas y, sobre todo, minimización del gasto energético al disminuir el uso de combustibles fósiles. Además, los resultados obtenidos han constatado que el secado natural no sobrecalienta la pulpa tanto como los secaderos, evitando la pérdida de calidad y cualidades del producto final.

Se opta por realizar un secado solar tipo túnel para proteger al producto contra la lluvia, el polvo y los insectos o animales indeseables. Sobre el túnel se coloca una estructura recubierta con material plástico resistente a la radiación solares, formando una cobertura que protege los materiales a secar.

Cuando los túneles se construyen de gran tamaño en cuanto a longitud, se emplean ventiladores, cuya energía proviene de paneles solares fotovoltaicos. Este modelo, es muy recomendado por la rapidez y calidad de los productos deshidratados, la

⁶¹ Amalia García-Vellido Santías. (2017). *Tesis: Proyecto de Instalaciones Necesarias en una Planta Azucarera.*

economía y flexibilidad de su construcción con diversos materiales y la facilidad de su manipulación.



Figura 43 - Secadores solares tipo túnel.

Fuente: Innovakits SAS (2015).

La pulpa seca es tratada en máquinas peletizadoras para obtener unos gránulos de pulpa denominados pellets, que se almacenan para su venta posterior.



Figura 44 - Pellet.

Fuente: Alibaba (2018).

Tabla 52 - Características de la peletizadora.

Modelo	Peletizadora
Modelo	MS 64-SW
Capacidad	35 Ton/h
Requisitos de energía	122,37 HP (90 kW)
Dimensión (largo*ancho*altura)	5*4*3 m
Humedad ideal	Pellets de biomasa 15-20%,
Diámetro de Pellets	6mm, 8mm

Fuente: Alibaba (2018)

Para satisfacer los requerimientos de la planta, se necesitan 17 máquinas, obteniendo así 162,46tn / hora de pulpa en forma de pellets.

Una vez que se obtienen los pellets, los mismos se transportan hacia su almacenamiento, este transporte es neumático. El modelo de carga de silo WX52, permite transportar pellets a larga distancia, con funcionamiento automático, adaptable a cualquier instalación.



Figura 45 - ASPIRADOR WX52
Fuente: Sistema de aspiraciones DENA. (2015).

Tabla 53 - Características del Aspirador.

Modelo	Prensa
Modelo	Aspirar WX52
Capacidad	500 kg /hora
Potencia eléctrica nominal	2 HP (1,5 kW)
Motor	Trifásico
Depresión máxima	250 Mbar
Peso	95 kg
Tubos entrada/ salida	60 mm

Fuente: Sistema de aspiraciones DENA. (2015).

7.3.4. Almacenamiento de pellets

Los pellet necesitan muy pocos requisitos para su conservación, no caducan y deben guardarse en un lugar seco para evitar que el material se moje y se estropee. Pueden almacenarse en silos flexibles de tela, en silos rígidos exteriores, silos rígidos enterrados.

Se elige para su almacenamiento los silos rígidos de exterior:



Figura 46 - Silo.
Fuente: Agroads (2018).

Tabla 54 - Características del silo.

Modelo	Silo
Modelo	Flexilo Maxi
Capacidad	1000 Ton
Altura	7,5 m
Diámetro	5,2 m

Fuente: Agroads (2018).

La producción diaria de pellets es de 3899,2 tn / día. Se dispondrán de 8 silos para poder almacenar la producción de dos días. En caso que este material no sea vendido, se utilizaran como alimentación a la caldera por su alto contenido calórico.

7.4. Tanque Madre

El tanque madre es una cuba de fermentación microbiana, la cual es inoculada directamente con una masa precisa de levaduras. Se opta por trabajar en dos tanques en paralelo, con un tiempo de residencia de una hora, dando como resultado un volumen de 250 m³, para cada reactor. El diámetro será tres veces la altura del mismo, obteniendo un diámetro de 9,8 m y una altura de 3,3 m.

El reactor es de acero inoxidable 316L, para evitar una posible corrosión por el uso de reguladores de pH en el sistema, el cual está controlado con hidróxido de sodio y ácido sulfúrico⁶², para obtener un valor constante de pH=5.

La función de este reactor es crear las condiciones óptimas para el desarrollo de la levadura y así aumentar el crecimiento de ésta. Una vez conseguido esto, alimentará a los otros dos reactores, haciendo posible el proceso de producción de alcohol.

Las condiciones a las cuales se opera en este tanque son tales que beneficien la generación y crecimiento de las levaduras. La introducción de aire mejora las condiciones de vida en el medio de cultivo, haciendo posible la existencia de microorganismos diversos a los de interés metabólico. Por lo tanto, los tanques madres se airearán de forma continua para beneficiar la proliferación de células.

El aire desplaza al dióxido de carbono y lo hace salir del reactor de forma más rápida, esto es beneficioso ya que evita el efecto inhibitor del mismo. Además, el aire también sirve como agitador de la mezcla. Por ello, los tanques madres tendrán una apertura superior a la atmósfera para hacer más fácil la salida del dióxido de carbono.

Este tanque será de mezcla completa, es decir que su concentración en el interior es igual a la de salida.

7.4.1. Almacenamiento

Tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio

Tanque doble pared antiderrame de 4.400 litros, para hidróxido de sodio 0.1 M. Por contener hidróxido es importante que se encuentre en lugares cerrados y sellados. Medidas: 322,4 x 185 x 171,4 cm.

⁶² Martínez Amell, D. M. (2008). *Simulación y diseño de una planta productora de bioetanol a partir de mango "Hilaza"*.



Figura 47 - Tanque de almacenamiento
Fuente: Duraplas SRL.

Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico concentrado se almacena en tanques de acero al carbono o acero inoxidable 304L. Se pueden usar tanques cilíndricos verticales u horizontales. La experiencia industrial ha demostrado que un almacenamiento confiable y seguro depende de tener: un espesor mínimo de pared de 3/16", una salida en el fondo (con dos válvulas acero inoxidable), un tubo de venteo sobre el centro del tanque.

El personal que manipule los productos químicos debe conocer las hojas de seguridad correspondiente.

7.4.2. Sistema de aireación

El aire será suministrado sólo al tanque madre ya que los fermentadores trabajan en condiciones anaerobias. Se prevé que el sistema implementado beneficie la homogeneización de la mezcla y el contacto levadura-sustrato por estar los microorganismos en forma libre, es decir, no inmovilizados bajo ningún método, haciendo que los problemas de transferencia de oxígeno se minimicen hasta el punto de poder despreciarlos⁶³.

Según estas condiciones, a la hora de elegir el tipo de difusor de aire, se tomará el más económico, ya que para este caso no existen problemas de transferencia de masa. Existen varios tipos de inyectores, tubulares, de anillo, en cruz, dispositivos de conducción abierta y difusores cerámicos porosos.

El difusor de tipo anillo cubre la máxima área del reactor asegurando así una adecuada dispersión del oxígeno. La desventaja es que tiende a obstruirse.

⁶³ Abuámer Flores, Y. *Diseño de una planta para la producción de bioetanol*.

El de cruz es más económico y para asegurar una buena transferencia de oxígeno se utiliza en sistemas agitados.

El tubular es el más usado para microorganismos miceliales ya que son poco propensos a la obstrucción. Se elige este sistema, con colocación fija de tuberías de acero inoxidable en el fondo del reactor.



Figura 48 - Sistema de aireación tubular.
Fuente:REHAU (2018).

Las soplantes de rotor de tornillo ofrecen una eficiencia superior a la de otras soplantes de desplazamiento positivo gracias al uso de la compresión interna. Un par de tornillos engranados reducen progresivamente el volumen de aire a medida que este se mueve a lo largo del elemento del tornillo.

Las soplantes de tornillo KAESER consumen un 35 % menos de energía que las soplantes convencionales de émbolo rotativo, generan bajos niveles de ruido y cuentan con una refrigeración óptima del bloque soplante, el motor y el aire de aspiración.



Figura 49 - Sistema de aireación.
Fuente: Kaeser (2017).

Tabla 55 - Características del sistema de aireación.

Modelo	FBS 660M
Presión dif máx	1100 mbar
Flujo volumétrico máx	66 m ³ / min
Potencia nominal máx del motor	150 HP (110 kW)
Conexion de tubería	200 DN
Medidas con armario eléctrico	2,3*1,6*1,7 m
Peso	2200 kg

Fuente:Kaeser (2017).

7.5. Fermentador

Se construyen dos tanques acero inoxidable 316L de 3161 m³ cada uno, de forma cilíndrica y con un diámetro de 14,7 m y una altura de 18,7 m. Los reactores contarán con aislación térmica no inflamable en el exterior de su base.

El sistema de agitación, con 4 impulsores donde cada uno tiene 1 turbina Rushton, posee una potencia total neta será de 119,3 HP para cada reactor.

7.5.1. Centrífuga

Para realizar una optimización al proceso de fermentación, se recircula parte de la levadura. Para ello, se emplea una centrífuga capaz de separar la totalidad de los sólidos, para que la corriente líquida circulante avance hasta el proceso de destilación y la masa sólida humedad restante reingrese en un 30%⁶⁴ al fermentador, siendo el restante 70% reutilizado como pienso de ganado o como biomasa para la caldera.



Figura 50 - Centrífuga industrial CS 30-4 2PH / 3PH.

Fuente: Vortecnica (2018).

⁶⁴ Mojović, L., et al. (2010). *Investigations of the Possibilities of Stillage Utilization From the Bioethanol Production on Corn.*

Tabla 56 - Características de la centrifugadora.

Modelo	CS 30-4 2PH / 3PH
Capacidad	160 m ³ /h
Requisitos de energía	340 HP (205 kW)
Dimensión (largo*ancho*altura)	6.6 x 1.9 x 1.9 m
Peso	13,600 kg
Sistema de lubricación automática	Sí

Fuente: Vortecnica (2018)

Para la cantidad de líquido a centrifugar, es necesario disponer de 4 máquinas centrifugas. Asociadas dos a cada fermentador.

7.5.2. Serpentin

Se determina que el área de serpentín necesaria para el intercambio es de 823,59 m² y el caudal de agua durante el verano y el invierno oscila entre 113 y 109 kg/s, respectivamente.

El serpentín consiste en una cañería de acero 316L que se encuentra alejada de la pared del reactor y recorre en forma descendente el área interna, en contacto directo con el líquido. El conducto ingresa por la parte superior del reactor y desciende hasta la base, en donde vuelve a subir para su posterior salida por el techo del reactor.

**Figura 51** - Serpentin soldado al techo del reactor.

Fuente: Comquima (2018).

7.6. Tren de destilación

Una columna de destilación es una estructura cerrada en la cual se realiza la separación física de un fluido en dos o más fracciones. Esta separación se logra sometiendo el fluido a condiciones de presión y temperatura apropiadas a lo largo de la columna.

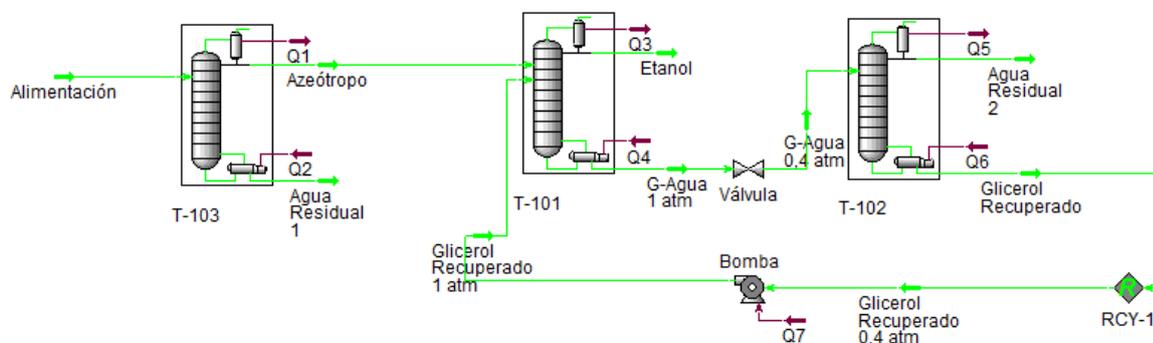


Figura 52 - Tren de destilación.

Para suministrar el calor necesario a los reevaporadores y consumir el calor entregado por los condensadores, se opta por el uso de vapor y agua como corriente auxiliar, respectivamente.

Por literatura, se hallan diámetros de destiladores que rondan desde los 0,5 a 4m⁶⁵. Según proveedores encargados del diseño y venta de torres de destilación de etanol, es factible construir destiladores de una longitud máxima de 70 m y un diámetro de torre máximo de 15 m.⁶⁶

Si bien los calores de reboiler y condensador en cada destilador resultan elevados, comparando con datos bibliográficos, se operan estas torres en el mismo orden de magnitud.⁶⁷

7.7. Almacenamiento de etanol

El etanol se almacena para su posterior traslado y comercialización. Por ser un líquido inflamable el tanque contenedor debe cumplir requisitos de seguridad y se deben implementar una serie de planes de contingencias por cualquier tipo de fuga o derrame.

⁶⁵ Kiss, A. A. (2012). *Innovative single step bioethanol dehydration in an extractive dividing-wall column*.

⁶⁶ Alibaba. (2018). *Proveedor de destiladores*.

⁶⁷ Ravagnania, M.A.S.S. (2010). *Anhydrous ethanol production by extractive distillation: A solvent case study*.

Los vapores del etanol pueden arder por cualquier fuente de ignición (calor, llama, chispas, descargas estáticas) y resultan potencialmente peligrosos por la formación de mezclas explosivas con el aire a concentraciones bajas. Los vapores son ligeramente más pesados que el aire y pueden viajar una distancia considerable hasta una fuente de ignición y retornar incendiado hasta el derrame o el contenedor abierto. Pueden acumularse en espacios confinados, resultando peligrosamente tóxicos e inflamables. Los contenedores cerrados pueden romperse violentamente cuando se exponen al fuego o al calentamiento excesivo por un periodo de tiempo suficiente. Durante un incendio puede producir gases tóxicos e irritantes.⁶⁸

7.7.1. Normas de seguridad

Para el cumplimiento de las normas, el tanque se colocará lejos de los equipos que conforman las demás etapas de la planta, protegido de la luz directa del sol y retirado de áreas de circulación de personal.

El tanque cumplirá la norma API650, seleccionando los componentes necesarios para el debido control del fluido almacenado y además la selección del sistema de pintura y protección catódica para su conservación con el medio ambiente en el que estará expuesto.⁶⁹ Los muros y los techos de la bodega de almacenamiento serán incombustibles. El tanque debe ser de material metálico porque el plástico acumula cargas estáticas aumentando el riesgo de incendio. El tanque y las tuberías de conducción estarán conectados a tierra para eliminar las cargas estáticas. El tanque puede ser de color blanco o plateado (porque se acumula menos calor) y debe señalizarse de modo que se identifique claramente.

Además, se construirán alrededor del tanque muros de contención que retengan un 110% del volumen total del tanque, para contener los posibles derrames. El suelo y los muros de contención serán impermeables.

Se contarán con dispositivos de control y emergencia en el tanque tales como venteaderos de presión, válvulas de alivio y supresores de llama en el orificio respirador del tanque.

También se contarán con los siguientes elementos de seguridad:

- Los equipos mecánicos y eléctricos tales como bombas, sistemas de ventilación y de iluminación no deben ser generadores de chispas.

⁶⁸ Cisterna, ARP Sura.(2011). *Almacenamiento seguro de alcohol*.

⁶⁹ García, N. & Martínez, E. (2006). *Diseño de Tanque para Almacenamiento de Etanol Anhidro, Capacidad 5000 Barriles, con Membrana Flotante y Domo Geodésico*.

- Explosímetro para vigilar permanentemente la concentración de vapores explosivos en la atmósfera.
- Equipo de emergencia y material absorbente especial e inerte en cantidad suficiente para una posible fuga de etanol.
- El área de almacenamiento debe ser identificada claramente, libre de obstrucciones y accesible solamente a personal capacitado y autorizado.
- Debe disponerse de extintores tipo satélite para zonas abiertas. Los extintores deben ser de tipo de fuego B o multipropósito (el agente de extinción puede ser polvo químico seco, dióxido de carbono o espuma de polímero). También puede usarse agua como medio de extinción ya que el etanol es soluble en ella.
- Se debe disponerse de tomas de agua con sus correspondientes mangueras para ser usadas en forma de rocío para enfriar el contenedor y el personal expuesto al fuego en caso de incendio.
- Sistemas de alarma para detección de incendio, activadas manual o automáticamente.
- Instalación de duchas y lavaojos en el área de manipulación o trasvase.

7.7.2. Señalización del tanque

El perímetro de la zona de almacenamiento debe estar señalizado con avisos de precaución para: advertir sobre el almacenamiento de etanol, prohibir fumar o generar chispas o llamas, restringir el paso a toda persona no autorizada e indicar las salidas de evacuación. Las señales que se colocan sobre el tanque son de un material y pintura especiales a fin de que sean resistentes al fuego o al deterioro durante al menos una hora ya que en caso de emergencia estas deben mantenerse intactas durante el mayor tiempo posible con el fin de que los organismos de socorro o personal de apoyo puedan identificar el material.



Figura 53 - Pictograma designado según las Naciones Unidas.
Fuente: ARP Sura. (2011).

La localización de los elementos y equipos de protección contra fuego como extintores, hidrantes y tubería de agua para incendios, debe ser de conocimiento general. Los equipos de primeros auxilios, como botiquines, duchas, lavaojos y equipos de protección personal trajes de protección contra el fuego y equipos de respiración autónoma y respiradores con filtros para vapores orgánicos, deben estar señalizados con color verde esmeralda.

Los planes de contingencia y evacuación deben ser bien diseñados, revisados y actualizados periódicamente con el objetivo de controlar posibles derrames de etanol, protegiendo la salud de las personas, la seguridad de las instalaciones de la empresa y el medio ambiente.

Se incluyen en las medidas de seguridad las tareas preventivas de verificar el estado de los tanques, los sistemas eléctricos, ventilación, señalización, acceso restringido, instalaciones del almacén.



Figura 54 - Tanque de almacenamiento de etanol Usina São Francisco.
Fuente: Alamy (2018).

Con una producción de 32,03 m³/h, se planifica un almacenamiento máximo de 7 días, para que luego los camiones cisternas retiren el producto.

El parque de almacenamiento de alcohol consta de seis tanques de alcohol deshidratado, de 1000 m³ cada uno y un tanque de desnaturalizante de 500 m³, construido en acero negro, bajo norma UL142. El consumo de desnaturalizante (benzoato de denatonio) será del orden de 10 mg/litro de etanol anhidro, por tanto el consumo será de 11,3 toneladas diarias.⁷⁰

El diseño de los tanques están bajo norma API 650. Los mismos están contruidos en acero inoxidable y contarán con dos capas de aislamiento, primera capa de pintura tipo epóxido fenólico holding primer 75 micras y la segunda capa de pintura tipo epóxido fenólico 320 micras.⁷¹

Los accesorios de instrumentación son los siguientes:

- Interruptores de nivel: Para prevenir rebosamiento de producto.
- Medidor de nivel tipo radar: Para determinar volumen de producto almacenado.
- Transmisor de presión: Utilizado en combinación con radar y sensor de temperatura para análisis del nivel de líquido almacenado en el tanque.
- Sensor de temperatura: Utilizado en combinación con radar y medidor de presión para análisis del nivel de líquido almacenado en el tanque.

7.8. Accesorios y cañerías

7.8.1. Cañerías

Se entiende por cañería a todo el sistema formado por los caños, uniones, todas las conexiones para el cambio de dirección de la cañería y la eventual aislación exterior de esta última. A nivel Nacional para la calificación de las cañerías se utiliza la norma IRAM 2407.

Las cañerías se clasifican en:

Cañerías destinadas a conducir productos de servicio

⁷⁰ Ministerio de agroindustria, Instituto Nacional de Vitivinicultura. *Resolución 32/2016*.

⁷¹ Álvarez, J. A., et al. *Proyecto de viabilidad de una planta de bioetanol con un sistema de cogeneración*.

Dichas cañerías se identifican pintándolas en toda su longitud con los colores fundamentales establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 57 - Colores Fundamentales.

Producto	Color fundamental
Elementos para la lucha contra el fuego (sistemas de rociado, bocas de incendio, agua de incendio, ignífugos, etc.)	Rojo
Vapor de agua	Naranja
Combustibles (líquidos y gases)	Amarillo
Aire comprimido	Azul
Electricidad	Negro
Vacío	Castaño
Agua fría	Verde
Agua caliente	Verde con franjas naranja

Fuente: Wagner, G. (2017).

Cañerías destinadas a conducir materias primas, productos en proceso y productos terminados.

Las cañerías destinadas a conducir productos terminados o en proceso de fabricación que sean inofensivos para la seguridad personal se identifican de color gris, cualquiera sea el producto que conduzcan.

Las cañerías destinadas a conducir materias primas, productos terminados o en proceso de fabricación que sean peligrosos para la seguridad personal, se identifican pintándolos de color gris con franjas de color naranja.

Las instalaciones de vapor de agua podemos a su vez dividir las en dos tipos:

- Instalaciones de alta presión: (mayor a 2 kg/cm²): Se realizan con tubos sin costura debido a las prestaciones mecánicas en cuanto a resistencia que estos poseen y las uniones de estos con accesorios es mediante soldadura.
- Instalaciones de baja presión: (menores a 2kg/cm²).

Tabla 58 - Cañerías de los fluidos de proceso y servicio.

Producto	Material	Color
Agua de extracción (salida del difusor)	PVC	Gris
Agua de extracción (salida del intercambiador)	PVC	Gris
Levaduras	Acero inoxidable 316L	Gris
NaOH	PVC	Gris con franjas naranja.
H ₂ SO ₄	Acero inoxidable 316L	Gris con franjas naranja
Jugo acondicionado (salida de tanque madre)	Acero inoxidable 316L	Gris con franjas naranja
CO ₂	Acero Sch. 40	Gris con franjas naranja
Caldo de fermentación (salida del fermentador)	Acero inoxidable 316L	Gris con franjas naranja
Todas las corrientes del tren de destilación	Acero inoxidable 316L	Gris
Vapor de agua	Cobre, sin costura	Naranja
Agua fría	PVC	Verde
Agua caliente	Cobre	Verde con franjas naranja

Según la legislación vigente, se considera que la superficie de la tubería no puede superar los 50°C y tampoco puede ser inferior a 5°C. Por lo tanto todas las tuberías que superen estos rangos deberán tener aislamiento térmico.⁷²

7.8.2. Válvulas

Las válvulas elegidas para la línea de proceso, serán las de tipo diafragma de acero ya que se utilizan para el corte y estrangulación de líquidos que transportan una gran cantidad de sólidos en suspensión.

En las válvulas de diafragma se aísla el fluido de las partes del mecanismo de operación. Esto las hace idóneas en servicios corrosivos o viscosos, ya que evita cualquier contaminación hacia o del exterior. La estanqueidad se consigue mediante una membrana flexible, generalmente de elastómero, pudiendo ser reforzada con algún metal.

⁷² Vam Industry. Tuberías, válvulas y accesorios.

Las aplicaciones de este tipo de válvula son principalmente para presiones bajas y pastas aguadas que a la mayoría de los demás equipos los corroerían y obstruirían. Son de rápida apertura.

Hay dos tipos de válvulas de diafragma:

- Weir (paso restringido): Las válvulas de diafragma tipo Weir se pueden usar en servicios de apertura y cierre y regulación.
- Straightway (paso directo) también llamadas Straight-Thru. Estas válvulas de diafragma de solo se usan en servicios de apertura y cierre.

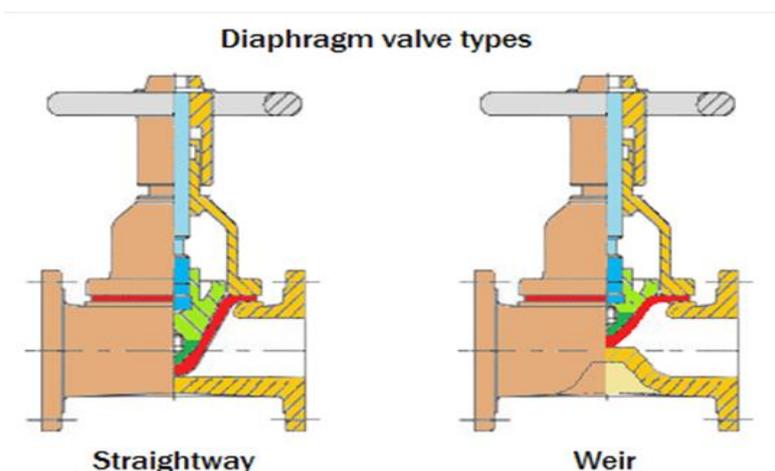


Figura 55 - Tipos de válvulas diafragma.
Fuente: Valvias, 2017.

Tabla 59 - Características y rangos generales de las válvulas diafragma.

Rango de diámetros	0.5" - 14"
Conexión a tubería	Butt-weld soldada, Clamp, Brida, Roscada, Socket.
Rango de temperaturas	-10°C hasta 170°C (Dependiendo del material)
Rango de presiones	1 bar (14,5 psi) - 13.8 bar (200 psi) (Dependiendo del material)
Limitaciones de velocidad del fluido	15-20 ft/s fluidos limpios y 8-10 ft/s para fangos

Fuente: Valvias, 2017.

Válvula reductora de presión

La corriente de fondo del segundo destilador debe ingresar al tercero con una presión máxima de 0,4 atm. Para lograr la disminución de 0,6 atm se coloca en la línea de corriente de glicerol y agua una válvula

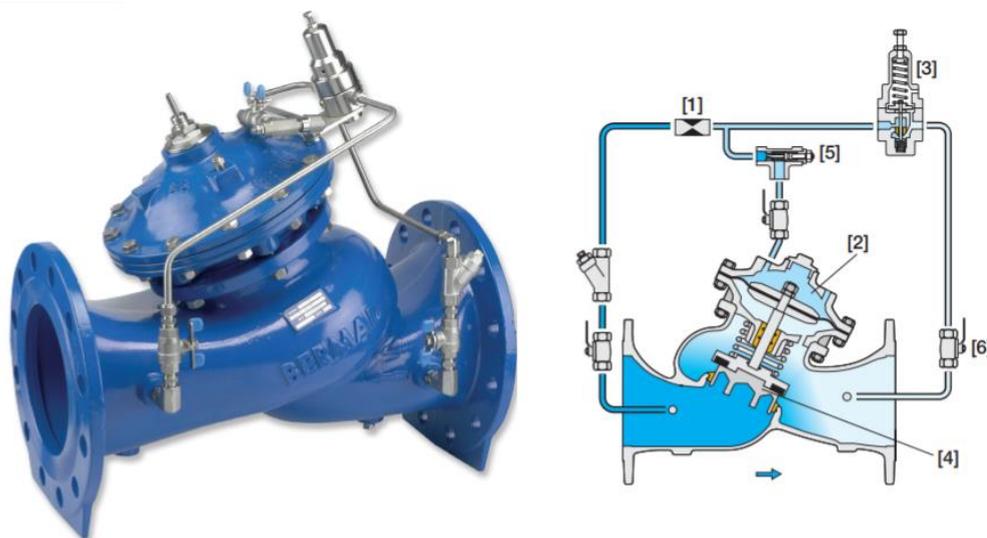


Figura 56 - Válvula reguladora de presión Modelo 720.

Referencia: [1] restricción que permite el flujo constante de la entrada de [2] la válvula a la cámara superior de control. [3] El piloto percibe la presión aguas abajo. [4] El tapón V-Port aumenta la proporción entre el caudal y la carrera de la válvula, con lo cual se obtiene una regulación más suave, estable y precisa. [5] La válvula de aguja de control de caudal unidireccional estabiliza la reacción de la válvula en condiciones difíciles de regulación, restringiendo la salida del flujo de la cámara de control. [6] Llave aguas abajo que permite el cierre manual.

Fuente: Bermad (2018).

7.8.3. Bombas

Las bombas a utilizar serán del tipo centrífugas, aptas para líquidos con sólidos en suspensión. Se utilizará con un motor eléctrico asíncrono blindado con protección mecánica IP55, antiexplosivo ya que el área de la producción de bioetanol es inflamable.

Para llevar a cabo la recirculación del glicerol desde el tercer destilador hasta el segundo, se busca en catálogos una bomba que opere con el caudal, la altura desarrollada y la temperatura de trabajo.



Figura 57 - Bomba Modelo ICP.
Fuente: Goulds Pumps (2018)

El Modelo ICP, es una bomba de procesos químicos diseñada para trabajo pesado a temperaturas altas. El ICP cumple con las normas ISO y presenta la cámara de sellado Cyclone para prolongar la vida útil del sello. El diseño de la carcasa de la línea central es de ventilación automática. El cárter de aceite de gran capacidad proporciona un enfriamiento máximo de los cojinetes.

Su aplicación es variada, desde corrientes de agua caliente, aceites térmicos, urea, hasta fluidos de mayor viscosidad como solventes orgánicos. Disponible en acero al carbono o acero inoxidable 316L.

Tabla 60 - Características de la bomba.

	Valores requeridos	Valores comerciales
Hdes	5m	150 m
Caudal	19 m ³ /h	450 m ³ /h
Potencia	0,6 kW	12 kW
Temperatura máxima	240°C	280°C

Fuente: Goulds Pumps (2018)

7.8.4. Columna de intercambio iónico

Las aguas naturales contienen iones de calcio y de magnesio que forman sales no muy solubles, estos cationes, así como el estroncio y el bario que son menos comunes y aún menos solubles, se llaman iones de dureza. Cuando se evapora el agua, estos cationes pueden precipitar.

El agua dura produce incrustaciones en tuberías y calderas. Las resinas intercambiadoras de cationes fuertemente ácidas, intercambian cationes de calcio y magnesio por sodio. Cuando la resina se agota, esta debe ser regenerada con cloruro de sodio (NaCl, sal común).

Este tratamiento de agua se realiza para prolongar la vida útil de los equipos de la planta, como lo son los intercambiadores, la caldera y las torres de enfriamiento. Cuando se determine la cantidad de agua fresca a agregar en estas etapas, se elegirá la columna de intercambio comercial que se adecue a nuestras necesidades.

7.9. Conclusión

En este capítulo se analizaron los equipos a utilizar en la planta y su capacidad de producción, obteniendo así la cantidad necesaria de los mismos. Para la selección de los equipos se tuvo en cuenta, no solo su capacidad sino también su consumo energético, sus dimensiones y en lo posible que sean de industria nacional. En capítulos siguientes, se analiza el costo de los mismos.

7.10. Bibliografía

Abuámer Flores, Y. *Diseño de una planta para la producción de bioetanol*. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20046/fichero/Proyecto.pdf>

ABS Silos (2016). *Catálogo de Silos Flexibles*. Disponible en: <https://www.abs-silos.de/es/silos-para-pellets-de-madera/2016-01-08-11-30-47/descargas/send/80-silos-para-pellets-de-madera/409-informacion-flexilo-maxi.html>

Agreteq (2018). *Cintas transportadoras*. Disponible en: <http://www.agreteq.com/es/Productos-2/Cintas-Transportadoras-Serie-CTR-P-19>

Agroads (2018). *Silos de acero*. Colonia Menonita. Disponible en: <https://www.agroads.com.ar/detalle.asp?clasi=196333>

Alibaba (2018). *Peletizadora*. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/2015-china-sugar-beet-pulp-pellet-mill-pellet-machine-60218356654.html?spm=a2700.8699010.normalList.29.12725ee8KjUwPy>

Alibaba. (2018). *Proveedor de destiladores*. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/good-quality-best-price-industrial-distillation-rectification-column-60188494611.html?spm=a2700.8699010.normalList.2.6b673f53BQHb3S>

Alibaba (2018). *Prensa*. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/stord-beet-pulp-press-second-hand-in-hungary-50032210199.html?spm=a2700.8699010.normalList.57.5dc77677Y0Mdds>

Álvarez, J. A., et al. *Proyecto de viabilidad de una planta de bioetanol con un sistema de cogeneración*. Disponible en: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48401/componente48399.pdf

Amalia García-Vellido Santías. (2017). *Tesis: Proyecto de Instalaciones Necesarias en una Planta Azucarera*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla, España. Disponible en:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91520/fichero/%C3%BAltima+versi%C3%B3n+tfg.pdf>

Apunte de cátedra Laboratorio de Operaciones Unitarias. Accesorios y cañerías. (2017).

Baquero, J. (1987). *La industria azucarera de la remolacha*. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Dirección general de investigación y capacitación agrarias.

Bermad (2018). Valvulas reguladoras de presión: Modelo 720. Disponible en:
https://www.bermad.com/wp-content/uploads/2016/06/ww-720_spanish.pdf

Carlroth.(2018). *Ficha de seguridad de Etanol*. Disponible en:
https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/9/SDB_9065_ES_ES.pdf

Caterpillar. *Grupos generadores G3500*. Disponible en:
<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/LSBE0027-02>

CISTEMA – ARP SURA. (2011) Almacenamiento seguro de alcohol.

Clarín rural. (2018). Camiones: se amplió el límite de toneladas para el transporte de cargas. Disponible en: https://www.clarin.com/rural/camiones-amplio-limite-toneladas-transporte-cargas_0_SJF9LRkSf.html

Comquima (2018). *Serpentín soldado al techo del reactor*. Disponible en:
<http://comquima.com/equipamiento-industrial/reactores/?products-per-page=all>

Energía-solar (2016). Silos de exterior. Disponible en: [https://www.enerxia-solar.com/archivosBlog.ashx?returnString=True¬id=9149&nom=Cat%C3%A1logo%20silos%20textiles%20y%20accesorios%20\(2016\).pdf](https://www.enerxia-solar.com/archivosBlog.ashx?returnString=True¬id=9149&nom=Cat%C3%A1logo%20silos%20textiles%20y%20accesorios%20(2016).pdf)

García, N. & Martínez, E. (2006). *Diseño de Tanque para Almacenamiento de Etanol Anhidro, Capacidad 5000 Barriles, con Membrana Flotante y Domo Geodésico*. Revista Tecnológica ESPOL

Goulds Pumps (2018). *Bomba modelo ICP*. Disponible en: https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Products/IC/Goulds_IC_pump_bulletin.pdf?ext=.pdf

Hernández Nodarse, M. T. (2007) *Tendencias actuales en la producción de bioetanol*. Disponible en: http://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING01.pdf

Innovakit (2015). *Secadores solares para cafés especiales*. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Ls0NSk2dwO0>

Institute of Agriculture and Natural Resources. Nebraska, EEUU. Disponible en: <https://cropwatch.unl.edu/sugar-beet-harvest-panhandle-2015>

Kaeser (2017). *Sistema de aireación*. Disponible en: <http://www.kaeser.es/Images/P-970-SP-tcm11-532364.pdf>

Key Technology (2018). *Bandas transportadoras de distribución*. Disponible en: <http://www.key-technology.com.mx/products/distribution-conveyors>

Kiss, A. A., et al. (2012). *Innovative single step bioethanol dehydration in an extractive dividing-wall column*. Separation and Purification Technology 98: 290–297

design with the pinch method. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Ambiental, Universidad de Valladolid, España.

Martinez Amell, D. M. (2008). *Simulación y diseño de una planta productora de bioetanol a partir de mango "Hilaza"*. Universidad de Sucre, Sucre, Bolivia. Disponible en: <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/282/2/620.0042M385.pdf>

Maquinarias Barrola. (2018). *Basculas magris para pesar camiones*. Disponible en: <http://www.maquinariasibarrola.com.ar/detalle-balanza-camiones-basculas-magris-para-pesar-camiones-1041>

Ministerio de agroindustria, Instituto Nacional de Vitivinicultura. *Resolución 32/2016*. Boletín Oficial de la Republica Argentina. Disponible en: <https://www.boletinoficial.gob.ar/#!DetalleNorma/152636/20161024>

Perryvidex. *Equipo difusor*. Disponible en: <https://www.perryvidex.com/product/vertical-4500-tpd-bma-as61935/+&cd=5&hl=es&ct=clnk&gl=ar>

Procemaq. Cepilladora de papas. SP 500 Disponible en: <http://www.procemaq.com/producto.php?id=37>

Ravagnania, M.A.S.S. (2010). *Anhydrous ethanol production by extractive distillation: A solvent case study*. Process Safety and Environmental Protection 8, 8: 67–73

REHAU (2018). *Sistemas de aireación raubioxon*. Disponible en: <https://www.rehau.com/cl-es/construccion/gestion-eficiente-del-agua/tecnica-para-depuradoras/sistemas-de-aireacion-raubioxon>

SIOUX STEEL. (2018). Disponible en: http://www.siouxsteel.com/images/uploads/product-images/HopperBinBrochure_SPANISH.pdf

Sistema de aspiraciones DENA. (2015). Disponible en:

<http://www.sistemasdeaspiracionesdena.es/tld/www.sistemasdeaspiracionesdena.es/files/istino%20pellet%202015%20esp-low.pdf>

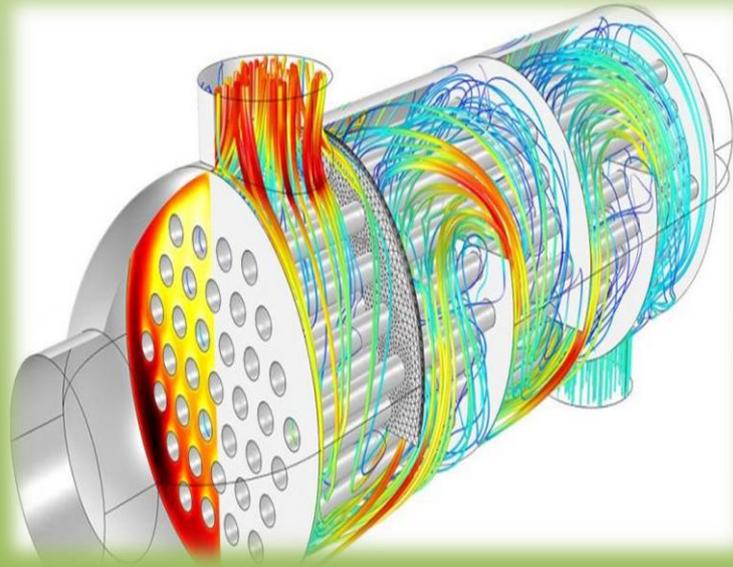
Vam Industry. Tuberías, válvulas y accesorios. Disponible en:

https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v04.pdf

Válvulas Diafragma. *Especificaciones*. Disponible en: <http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-diafragma.php>

Vortecnica (2018). *Centrífugas industrial*. Disponible en: <http://www.vortecnica.com.ar/>

Weatherspark (2017). *Datos de temperaturas en Pocito. Max:34°C y Min 3°C*. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/27329/Clima-promedio-en-Pocito-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>



8. INTEGRACION ENERGETICA

8. INTEGRACION ENERGÉTICA

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se analiza las opciones más eficientes de intercambiar calor entre las distintas corrientes de la planta. Se utiliza el método Pich para visualizar el cruce entre las corrientes a enfriar y calentar.

Para realizar el intercambio de calor es necesario dimensionalizar el área de intercambio requerida.

Se calcularán los caudales necesarios de las corrientes de servicios y las mismas se calentaran en una caldera y se enfriaran en torres de enfriamiento. Estos serán circuitos cerrados para evitar el derroche de las corrientes de servicio.

8.1. Análisis de corrientes

Para optimizar los procesos de intercambio de calor de la planta, se plantea un sistema de integración energética entre las corrientes de procesos, maximizando la recuperación de calor y la minimización de corrientes auxiliares.

Las corrientes a intercambiar calor se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 61 - Caracterización de las corrientes de proceso

Corriente	Tipo de corriente	W (kg / seg)	T inicial (°C)	T final (°C)	Cp (J/ m ² *s*K)
Jugo	C ₁	142,66	80	28	3817
Liquido	F ₃	112,64	28	70	4081
Bioetanol	C ₆	7,15	78,17	25	2556
Agua 2	C ₅	0.52	62,63	36	4012
Agua 1 (parcial)	C ₄	47,85	99,7	80	4130
Agua 1 (restante)	C ₄	57	99,7	36	4130

Nota: Los valores de Cp se obtuvieron del simulador UnisingDesing® R390.1

Jugo: proviene de la etapa de extracción, es necesario que su temperatura disminuya para ingresar al fermentador.

Liquido: corriente de salida del fermentador que ingresa al tren de destilación, para optimizar el calor requerido, se precalienta la corriente antes de que ingrese al mismo.

Etanol: caudal de etanol obtenido en la segunda columna de destilación, debe enfriarse para poder almacenarse según establecido por la norma.⁷³

Agua 2: corriente de agua y etanol (nivel trazas) que se obtiene del tope de la tercera columna de destilación y debe enfriarse para poder volcarse a cloaca, su temperatura debe ser menor de 45°C para su vuelco, según especificaciones del Decreto 2.107/2006 (modificador a la Ley 5324).

Agua1: Corriente de agua, azúcar y etanol, sale del destilador 1 por el fondo, 377.457,43 kg/h. La cantidad de etanol presente en la corriente equivale a 0,31% y el porcentaje de azúcar es 3,65%.

Esta corriente se divide en dos partes no iguales. La primera, es la cantidad necesaria para realizar la etapa de extracción ingresando al equipo de difusión a 80°C. La cantidad de etanol y azúcar presentes no afectarán al proceso. El caudal másico requerido para la etapa de extracción es igual a 172.266,93 kg/h.

La otra parte del caudal, posee mucho calor a intercambiar, para poder volcarla a cloaca cumpliendo con la normativa vigente, esta debe tener una temperatura menor a 45°C. En época invernal esta corriente puede ser utilizada para calefaccionar el edificio de la planta.

Este caudal es de 205.190,5 kg / hora, por lo que volcarla a cloaca no será una opción por el gran desperdicio.

Sistema de ramblas, es una alternativa ecológica pero que requiere una extensión de terreno considerable. La ventaja de éste es que el agua se puede reutilizar para cultivo y después devolverse al ambiente en óptimas condiciones. El agua residual es tratada primeramente a través de un filtro y posteriormente almacenada en una piscina con plantas acuáticas. Posteriormente filtrada por medio de gravas y arenas hacia una zona con cultivos hidropónicos. Finalmente el agua de los cultivos es enviada a una zona de árboles y arbustos para que estos le den una limpieza final. Este sistema está sujeto a la disponibilidad de terreno donde se ubique la planta.

Tabla 62 - Caracterización de las corrientes de servicio.

Agua de enfriamiento	T inicial (° C)	T final (° C)
Serpentín	27	20
Agua de enfriamiento	40	20,5

⁷³ Carlroth.(2018). *Ficha de seguridad de Etanol.*

8.2. Método Pinch

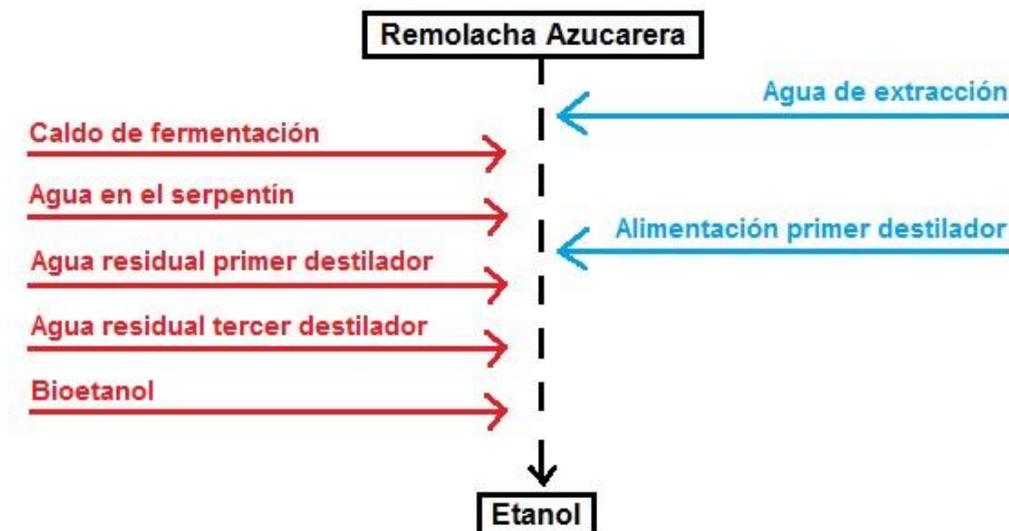


Figura 58 – Diagrama de corrientes.

Se observa en la figura, que las corrientes que requieren aumentar su temperatura son: agua de extracción y la corriente de alimentación al primer destilador.

Para llevar a cabo el análisis energético, se trabaja con el Método Pinch, el cual consiste en proponer una red de transferencia de calor óptima entre las diferentes corrientes del proceso. El objetivo de esta red es aprovechar al máximo todas las posibilidades de calentamiento y enfriamiento entre las propias corrientes, disminuyendo así la necesidad de utilizar fuentes externas⁷⁴.

Con este análisis se puede predecir, antes del diseño, los requerimientos mínimos de energía externa, área y número de unidades para un proceso dado. Posteriormente, se diseña una red de intercambiadores que cumpla con estos objetivos.

Para realizar dicho procedimiento, se utilizar el programa HINT, software gratuito, para el diseño de redes de intercambio de calor basado en el Método Pinch, el cual evalúa la entrada de calor mínima necesaria para cada proceso y la cantidad de calor que se puede recuperar teóricamente. Este software permite, mediante curvas compuestas, determinar del punto Pinch óptimo, que se encuentra a través de criterios económicos o energéticos.

Las corrientes calientes denominadas “C_i” serán aquellas que se deben enfriar y las corrientes frías “F_i” aquellas que se deban calentar.

⁷⁴ Hernandez, A.B. et al. (2007) *Tecnología pinch: una introducción a la integración energética*.

8.2.1. Elección del valor inicial de ΔT_{MIN}

La diferencia de temperatura entre las corrientes es la fuerza impulsora para la transferencia de calor. Las temperaturas de ambas corrientes en cualquier punto del equipo de intercambiado de calor, deben poseer una diferencia, lo que se denomina ΔT

Este valor de ΔT_{MIN} tiene una influencia importante a la hora de diseñar la red de intercambiadores de calor de nuestro proceso. La diferencia mínima de temperaturas entre las curvas caliente y fría, se observa normalmente en un sólo punto, denominado punto *Pinch*. Es la región más próxima entre las dos corrientes.

El valor del Pinch es un grado de libertad del diseñador, que debe considerar que a menor valor de Pinch se tendrá mayor recuperación energética y mayor inversión de capital en intercambiadores de calor; y viceversa. Se seleccionó un ΔT_{MIN} igual a 10°C .

8.3. Balance energético

Se ingresó la información de las corrientes al programa HINT, y se obtuvo el siguiente gráfico:

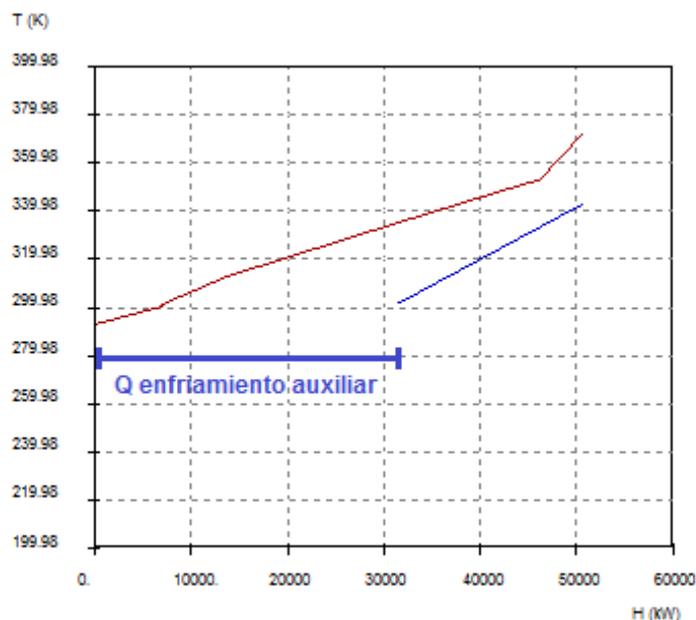


Gráfico 2 - Curvas compuestas.

Se observa que el intercambio de calor dependerá en gran medida de la implementación de corrientes auxiliares para lograr el enfriamiento.

Solo es posible realizar la integración energética en la parte que se observan las dos curvas.

Luego, se realizó la gran curva compuesta, quien representa las exigencias de calefacción y refrigeración del proceso en cada temperatura.

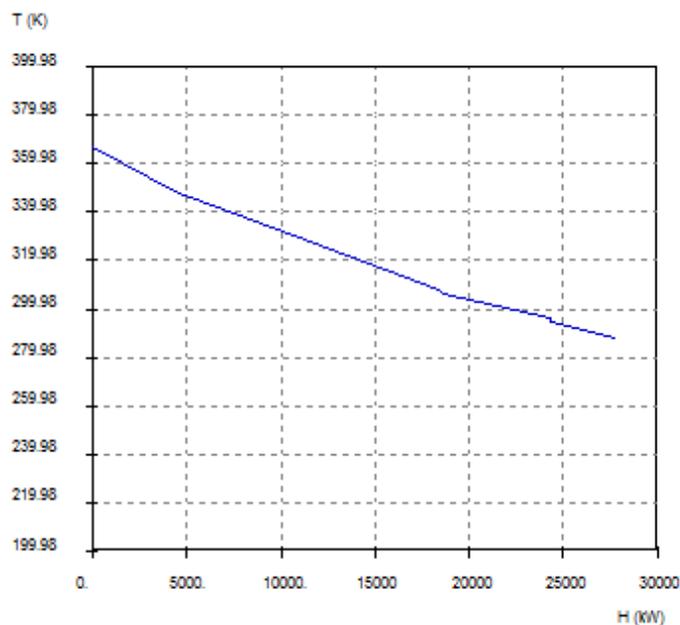


Gráfico 3 - Gran curva compuesta.

Se observa que no es necesario un gasto energético auxiliar para calefaccionar las corrientes frías. El sistema no posee un punto Pinch sino un punto umbral, el proceso no logra un óptimo intercambio de calor.

Se observa que por debajo del punto umbral no hay corrientes frías, por lo que no se cumple la condición:

$$mC_pHOT \geq mC_pCOLD$$

Por lo tanto, se deben utilizar corrientes auxiliares para lograr enfriar las corrientes.

Para una mejor visualización de las corrientes por encima y por debajo del punto umbral, se utilizó el siguiente diagrama:

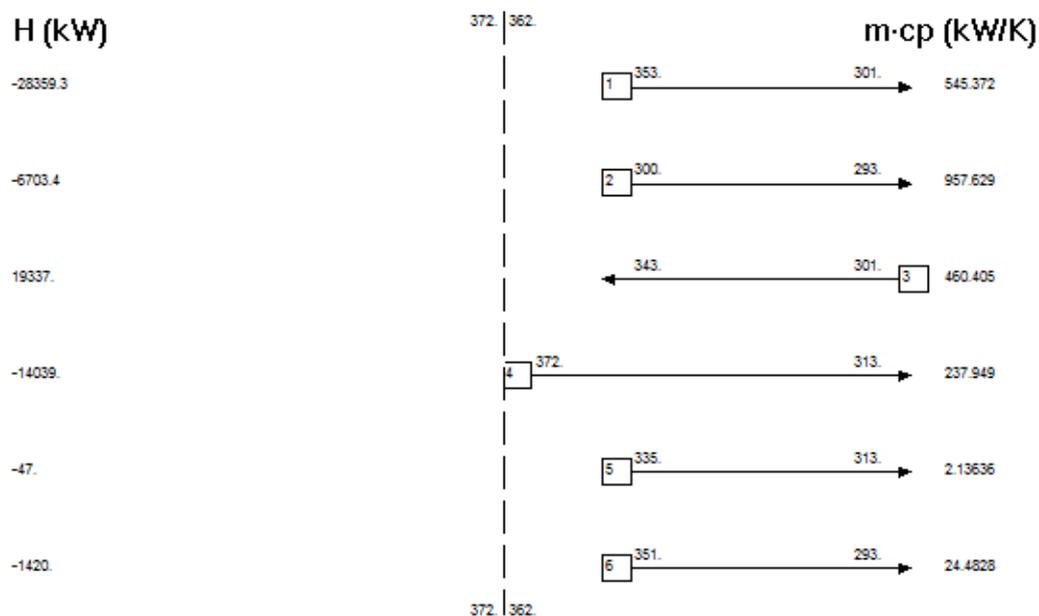


Gráfico 4 - Diagrama de corrientes de proceso.

En el diagrama de las corrientes del proceso, se observa el punto umbral, línea punteada. Todas las corrientes están ubicadas a la derecha, en cada recuadro se puede observar el número de la corriente y el sentido de la flecha indica si estas deben recibir o entregar calor.

Analizados los gráficos anteriores, se diseña una serie de arreglos de intercambiadores de calor, optimizando el proceso desde el punto de vista energético, ambiental y económico.

8.4. Diseño de intercambiadores.

A continuación se detalla el procedimiento para determinar el área de intercambio y la cantidad de agua de enfriamiento necesaria.

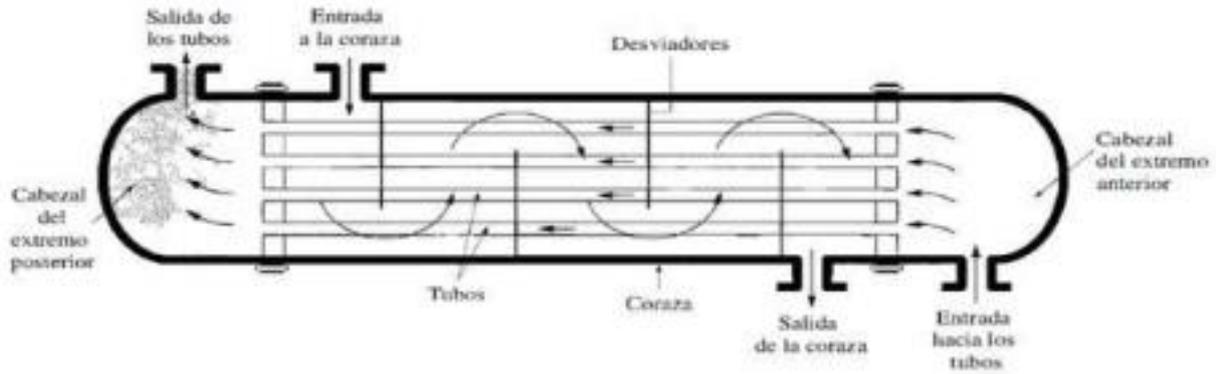


Figura 59 - Intercambiador de calor.

En la figura anterior se puede observar cómo se desplaza el fluido dentro de un intercambiador de calor de tubo y coraza, en contracorriente.

El fluido que posea mayor grado de corrosión o de ensuciamiento se pasara por los tubos, facilitando la limpieza y prolongando la vida útil de equipo.

Para determinar el área de intercambio necesaria, se utilizaron las siguientes ecuaciones.

$$Q = W \cdot Cp \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$W_{Fi} \cdot Cp_{Fi} \cdot (t_2 - t_1) = W_{Ci} \cdot Cp_{Ci} \cdot (T_1 - T_2) \quad (2)$$

$$Q = U \cdot A \cdot Ft \cdot \Delta T_{mln} \quad (3)$$

$$\Delta T_{mln} = \frac{(T_2 - t_1) - (T_1 - t_2)}{\ln \frac{(T_2 - t_1)}{(T_1 - t_2)}} \quad (4)$$

Intercambiador 1

Intercambio de calor entre la corriente Jugo y Liquido.

Se procede calculando la temperatura T2 a la salida del intercambiador, igualando los calores de cada corriente.

$$W_{F3} \cdot Cp_{F3} \cdot (t_2 - t_1) = W_{C1} \cdot Cp_{C1} \cdot (T_1 - T_2)$$

$$T_2 = 44,54^\circ C$$

Luego, para determinar el área necesaria para el intercambio, se utiliza la ecuación 3.

Donde es posible despejar el área de intercambio, siendo Q, es el calor puesto en juego y se calcula con la ecuación 1.

El coeficiente de transferencia de calor, U, se obtiene del Cao, el mismo es función del tipo de fluido. Todos los cálculos se realizaron con el valor medio del rango dado.

El factor Ft, se determina mediante el uso de gráficos, para un intercambiador de dos pasos por coraza y 4 o más por tubos, con las condiciones de temperatura del intercambiador, es igual a 1.

La diferencia de temperatura media logarítmica se lo calcula a contracorriente, ecuación 4.

Luego es posible obtener el área de intercambio, para el equipo antes mencionado. El área es $A = 1237,7 m^2$

En la siguiente tabla se resume las corrientes utilizadas en los intercambiadores, el tipo de intercambiador, los coeficientes usados y el área de intercambio para cada equipo.

Tabla 63 - Corrientes de procesos y servicios.

Nº	Fluido frío	Caudal [kg/ s]	Cp J/kg K	t1[K]	t2 [K]	Fluido caliente	Caudal [kg/s]	Cp J/kg K	T1 [K]	T2 [K]	U [J/m ² °Cs]	Ft	Área [m ²]
1	F ₃	112,64	4081	301	343	C ₁	142,66	3817	353	317,54	1200	1	1237,7
2	Agua fría 1	110,37	4186	293,5	313	C ₁	142,66	3817	317,54	301	1200	1	1272,5
3	Agua fría 2	11,91	4186	293,5	313	C ₆	7,15	2556	351,17	298	500	1	123,49
4	Agua fría 3	0,63	4186	293,5	313	C ₅	0,52	4012	335,63	311	1200	1	2,16
5	Agua fría 4	47,7	4186	293,5	313	C ₄	47,85	4130	372,7	353	1200	1	54,44

Nota: Para la adquisición de los intercambiadores de calor de tubo y coraza, se compraran aquellos cuya área comercial se aproxime a estos valores.

8.4.1. Condensadores

A partir de la simulación de la etapa de destilación, se obtiene el calor en cada condensador. Este calor se debe remover para que el condensador cumpla su función, para esto se utiliza agua de enfriamiento, con una temperatura de entrada de 20,5°C y temperatura de salida de 40°C.

Se procede de manera análoga a los intercambiadores y se determina el caudal de agua de enfriamiento necesario y el área de intercambio.

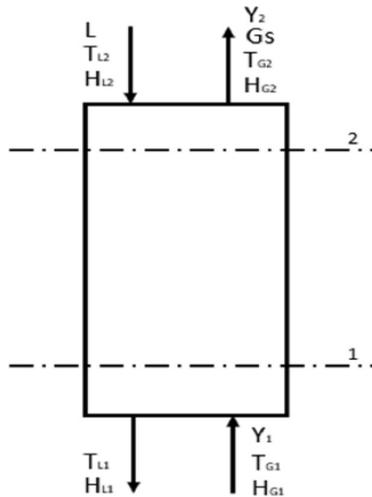
Tabla 64 - Características de los condensadores.

Condensador	Fluido	Calor [W]	T fluido en condensador [K]	W_{agua} [kg/s]	U [W/m ² K]	Área [m ²]
Primer Destilador	Azeótropo	$3,19 \cdot 10^7$	351,13	391,39	825	820,3
Segundo Destilador	Etanol	$1,45 \cdot 10^7$	351,13	178,2	825	373,5
Tercer Destilador	Agua 2	$1,88 \cdot 10^6$	335,63	22,98	1200	50

8.4.2. Torre de enfriamiento

Las operaciones de humidificación, se producen cuando un gas se pone en contacto con un líquido. El enfriamiento sucede por la transferencia de calor sensible.

El agua, entibiada por el paso a través de intercambiadores de calor, condensadores y similares, se enfría por contacto con el aire atmosférico para ser utilizada nuevamente. El calor latente del agua es tan grande que una cantidad pequeña de evaporación produce grandes efectos de enfriamiento.



$$L \cdot C_p \cdot (T_{L1} - T_{L2}) = G \cdot (H_{G1} - H_{G2})$$

Figura 60 - Torre de enfriamiento

Este balance de entalpía puede representarse graficando la entalpía del gas contra la temperatura del líquido, como se muestra en la figura.

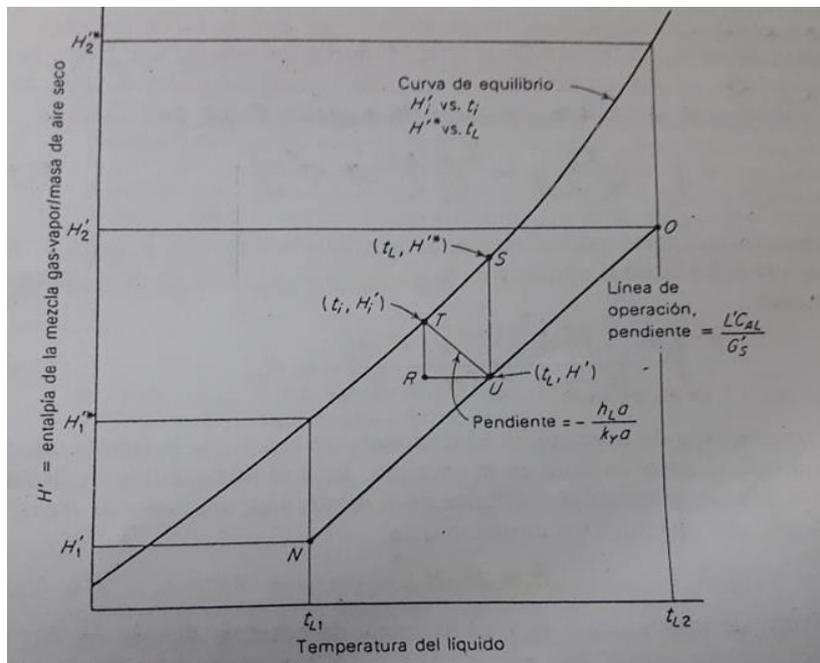


Gráfico 5 - Recta de operación.

Fuente: Treybal

La línea ON sobre la gráfica representa la ecuación, a esta línea la llamaos recta de operación.

Si la línea de operación en cualquier momento toca a la curva de equilibrio, produce una fuerza motriz igual a cero y, en consecuencia, una superficie interfacial infinita, o altura infinita. Entonces esta condición representa la relación limitante de L/Gs.

La temperatura de bulbo húmedo del aire entrante debe estar por debajo de T_{L1} , pero su temperatura de bulbo seco no lo estará necesariamente, por esta razón es posible enfriar agua hasta un valor de T_{L1} menor que la temperatura de bulbo seco del aire entrante t_{G1} .

En el diseño de torres de enfriamiento, la aproximación mediante la temperatura de bulbo húmedo debe estar entre 2,5 y 5°C con t_{w1} colocada en la temperatura de bulbo húmedo al 5% (la temperatura de bulbo húmedo que solo el 5% de las veces excede el promedio durante el verano).

La compensación de agua fresca en los sistemas de recirculación de agua debe agregarse para reemplazar el agua perdida por arrastre, por evaporación y eliminación. Las pérdidas por arrastre se pueden calcular entre el 0.1 al 0.3 % de la rapidez de recirculación para torres de tiro inducido

$$W_{reposición} = 1,1 \cdot G (Y_2 - Y_1)$$

La planta contará con dos de torres de enfriamiento que operan a distinta temperatura.

La primera se diseñara para realizar un circuito cerrado del agua entre 27 a 20°C, su recorrido será torre de enfriamiento- serpentín (fermentador)- torre de enfriamiento.

La segunda torre, será para enfriar el agua de las corrientes de servicio, necesarias para enfriar los intercambiadores y los condensadores de los destiladores.

Se diseñarán para el caso más desfavorable, la temperatura de bulbo húmedo se calcula a partir de la temperatura de bulbo seco, 35°C y la humedad relativa de 20%⁷⁵, dando un valor de 18°C.

Para determinar la cantidad de aire necesaria, se resuelve el balance de energía de la torre.

La entalpia del aire a la entrada H_{g1} , se obtiene a partir de un diagrama psicrométrico, entrando al mismo con la temperatura del aire (bulbo seco) y su porcentaje de humedad relativa.

Luego se calcula la caudal de aire mínimo, para esto, se busca en el diagrama psicrométrico el H_{G2}^* , valor en equilibrio con T_{L2} .

⁷⁵ Weatherspark (2017). Clima de Pocito, San Juan.

Con todos los valores del balance se puede obtener el G_{min} , luego se calcula la pendiente de la recta de operación, esta se multiplica por 1.2 y se obtiene el caudal de aire necesario para enfriar el agua.

Torre de enfriamiento 1

Tabla 65 - Torre de enfriamiento 1.

Parámetro	Valor
Cantidad de agua a enfriar	408742.952 kg/h
T_{l2}	300 K
T_{l1}	293 K
H_{g1}	50 kJ/Kg de aire seco
H_{g2^*}	98 kJ/Kg de aire seco
G_{min}	249699.366Kg/ h
Pendiente mínima	6.857
G necesario	299639.239 kg/hora
H_{g2}	90 kJ/Kg de aire seco
Agua de Reposición	10547.301kg/ hora

Torre de enfriamiento 2

Tabla 66 - Torre de enfriamiento 2.

Parámetro	Valor
Cantidad de agua a enfriar	2747454.917 kg/h
T_{l2}	313 K
T_{l1}	293,5 K
H_{g1}	50 kJ/Kg de aire seco
H_{g2^*}	170 kJ/Kg de aire seco
G_{min}	1870226.906 Kg/ h
Pendiente mínima	6.154
G necesario	2244272.287 kg/hora
H_{g2}	150 kJ/Kg de aire seco
Agua de Reposición	78998.384 kg/ hora

Para trabajar con los grandes caudales de gas, se utilizarán torres de enfriamiento tiro forzado, se deberá conocer los datos brindando por el fabricante para determinar la

cantidad de unidades que se necesitan de cada torre y la potencia eléctrica consumida por cada una.

Analizando los cuadros anteriores, se obtiene la cantidad de agua de reposición que es necesaria agregar al sistema, la misma es de 89.562,6 kg / hora, esta debe ser pre- tratada para evitar incrustaciones del equipo. Por tal motivo es necesario utilizar una torre de intercambio iónico que cumpla con dicha especificación.

8.4.3. Caldera

La caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase a vapor saturado.

Las calderas acuotubulares son aquellas en las que el fluido de trabajo se desplaza por tubos durante su calentamiento. Son las más utilizadas en las centrales termoeléctricas, ya que permiten altas presiones a su salida y tienen gran capacidad de generación.

Las pirotubulares el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente atravesado por tubos, por los cuales circulan gases a alta temperatura, producto de un proceso de combustión. El agua se evapora al contacto con los tubos calientes, debido a la circulación de los gases de escape.

Los combustibles utilizados en las calderas son el carbón, el petróleo, el gas natural y la biomasa proporcionada por la propia industria. La elección depende del precio del combustible, disponibilidad de los recursos y políticas ambientales con respecto a las emisiones.

La capacidad de producción de calor depende de varios factores como el grado de combustión del combustible, extensión de la superficie de calefacción, circulación del vapor o del agua y la de los gases de combustión.

Analizando la planta en su totalidad, se observa que las temperaturas mayores a obtenerse están dadas en los reboiler del destilador. Siendo la mayor temperatura, la del reboiler de la columna 3.

$$T_{reboiler} = 240 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Se procede a utilizar vapor saturado a una temperatura 10°C superior a la temperatura a alcanzar en el reboiler.

$$T_{\text{vapor saturado}} = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

De tablas de vapor se obtiene que a dicha temperatura las entalpías y la presión.

Tabla 67 - Propiedades

Temperatura vapor saturado	250°C
Presión vapor saturado	3977,6kPa
Entalpia $H_{\text{vap sat}}$	2800 kJ/kg
Entalpia $H_{\text{liq sat}}$	1085,8 kJ/kg

Luego: $Q_{\text{reboiler}} = W_{\text{vapor}} \cdot (H_{\text{vap,sat}} - H_{\text{liq,sat}})$

El calor necesario se obtiene del simulador Unising Desing® R390.1, se despeja y se obtiene el caudal de vapor necesario.

Además de este reboiler, se deben calentar con vapor los otros dos. El calor necesario de cada uno también se obtiene del simulador.

Se utiliza el vapor saturado en las mismas condiciones de presión y por lo tanto de temperatura.

Una vez obtenida la cantidad de vapor necesaria, se dimensiona el área de intercambio necesaria.

Tabla 68 - Características de los reboiler.

Reboiler	Fluido	Calor [kJ/s]	T reboiler [°C]	W vapor [kg/s]	T np [°C]	U [W/m²K]	Área [m²]
Primer Destilador	Agua Residual 1	45000,9	99,74	26,25	99,14	900	249,07
Segundo Destilador	G-Agua	13416.1	130,60	7.826	85,16	900	79.347
Tercer Destilador	Glicerol Recuperado	2971.3	240	1.733	147,5	900	62.298
Total de vapor a producir				128921.917 kg / hora			

Desde el domo de la caldera, se distribuirá el vapor a los tres reboilers, Cada cañería tendrá un indicador y controlador de presión y temperatura.

Para desarrollar la planta de producción de bioetanol, es necesario contar con una caldera que entregue la cantidad de vapor necesario en condiciones de presión y temperatura deseadas. Es importante conocer la eficiencia de estas máquinas para su correcta elección.

Eficiencia de combustión

Es la indicación de la capacidad del quemador para quemar combustible. Los dos parámetros que determinan la eficiencia del quemador son las cantidades de combustible no quemadas en los gases de escape y los excesos de oxígeno en el escape. A medida que aumenta la cantidad de exceso de aire, la cantidad de combustible no quemado en el escape disminuye. Esto resulta en la reducción de las pérdidas de combustible sin quemar, pero elevando las pérdidas de entalpía. Por lo tanto, es muy importante mantener un equilibrio entre las pérdidas de entalpía y las pérdidas quemadas. La eficiencia de combustión también varía con el combustible que se está quemando. Esta es mayor para combustibles líquidos y gaseosos que para combustibles sólidos.

Eficiencia térmica

Se ve influida de manera directa por el rendimiento del intercambiador de calor de la caldera que transfiere la energía térmica de la chimenea al lado del agua. Hay que tener en cuenta que la eficiencia térmica se ve gravemente afectada por la formación de sarro en los tubos de la caldera.

Otros factores

En ellos se incluyen pérdidas de encendido-apagado, pérdidas de radiación, por convección, y pérdidas de soplado, entre otras.

A continuación se detallan las características necesarias de la caldera

Tabla 69 Característica de la caldera

Tipo	Acuotubular
Temperatura de vapor	250°
Capacidad	128,8 ton de vapor / hora
Presión	40 Mpa
Calor a intercambiar	220997950.82 kJ / hora

Se estima que la eficiencia de la caldera es de alrededor del 70%, es decir, que el calor entregado debe ser 75.455.014,637 kcal/ hora. A partir de este valor, se calcula el calor neto para la transferencia de calor y se analiza el uso de distintos combustibles para su alimentación

Las calderas pueden ser alimentadas por combustibles líquidos o sólidos. Para determinar la cantidad de combustible a utilizar se necesita conocer el poder calorífico, se utilizó el promedio de estos, datos aportados por Ministerio de Energía -Presidencia de la Nación.

Tabla 70 Combustibles

Combustible	Poder calorífico inferior	Poder calorífico superior	Caudal
Gas Natural	8300 Kcal / m3	9300 Kcal / m3	8574.43 m3 / hora
Gas oíl	8619 Kcal / litro	9211 Kcal / litro	8463.827 litros / hora
Biomasa *	4063 Kcal/ kg	4591 Kcal/ kg	17438.182 kg / hora

*La biomasa debe contener menos del 15 % de humedad.

Fuente: <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/45C7C274-B3F4-4C91-B8B9-23259B8F5B39/0/201501Combustiblesdebiomasa.pdf>

Se observa que la calera de la planta de producción de bioetanol, se puede abastecer con la biomasa generada en la misma planta, la cantidad de pellets que se producen son 162.466,8 kg / hora, esta producción de biomasa nos permite alimenta la caldera cumpliendo con los requisitos, y además queda excedente (145.028,6 kg/ hora) que será comercializado como alimento de ganado.

8.5. Conclusión

En este capítulo se planteó resolver la integración energética de la planta, para ellos se utilizó el método Pinch, este fue útil para determinar que corrientes se podían cruzar para obtener el intercambio de calor más óptimo.

La corriente de servicio, el agua, es necesaria para llevar a cabo los intercambios de calor. Las corrientes de servicio de agua fría se enfriaran en las torres de enfriamiento.

El vapor necesario para los reboileres se obtendrán a partir de la caldera, quien es alimentada a partir de la biomasa generada en la misma planta.

8.6. Bibliografía

- Amalia García-Vellido Santías. (2017). *Tesis: Proyecto de Instalaciones Necesarias en una Planta Azucarera*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla, España. Disponible en:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91520/fichero/%C3%BA%20ultima+versi%C3%B3n+tfg.pdf>
- Apunte de cátedra Laboratorio de Operaciones Unitarias. Accesorios y cañerías. (2017).
- Apuntes de Cátedra Transferencia de Cantidad de Movimiento (2014).
- Baquero, J. (1987). *La industria azucarera de la remolacha*. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Dirección general de investigación y capacitación agrarias.
- Hernandez, A.B. et al. (2007) *Tecnología pinch: una introducción a la integración energética*. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Cuba. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/283076891_Tecnologia_pinch_una_introduccion_a_la_integracion_energetica
- Hernández Nodarse, M. T. (2007) *Tendencias actuales en la producción de bioetanol*. Disponible en:
http://fgsalazar.net/LANDIVAR/INGPRIMERO/boletin08/URL_08_ING01.pdf
- Kern, D. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*.
- Martin, A & Mato, F. A. (2007). *Hint: An educational software for heat exchanger network design with the pinch method*. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Ambiental, Universidad de Valladolid, España.
- Online Pinch Analysis Tool. Disponible en: http://www.uic-che.org/pinch/stream_input.php
- Weatherspark (2017). *Datos de temperaturas en Pocito*. Max:34°C y Min 3°C. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/27329/Clima-promedio-en-Pocito-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>



9. HIGIENE, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

9. HIGIENE, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

INTRODUCCIÓN

Toda actividad humana trae aparejada un grado de contaminación. Es de nuestra incumbencia disminuir, en el mejor de los casos eliminar, las fuentes de contaminación propias de la actividad industrial. Así mismo, en el ambiente laboral se origina un microambiente, susceptible de contaminación (química, física, sonora, visual), el cual puede provocar en los operarios accidentes o padecimiento de enfermedades.

Para prevenir dichos riesgos, es necesario aplicar criterios de Seguridad e Higiene en el trabajo. La seguridad industrial se encarga de la prevención de los accidentes en el ámbito del trabajo, mientras que la higiene industrial posee una serie de técnicas de reconocimiento, evaluación y control de los agentes ambientales (condiciones en el ambiente de trabajo que puede ser contaminación o cualquier enfermedad laboral) y las tensiones que se originan, las cuales pueden causar enfermedad.

9.1. Impactos específicos de la industria

A continuación, se realizará una descripción de las cuestiones relativas al medio ambiente, la salud y la seguridad asociadas a la planta de bioetanol, así como recomendaciones para su manejo.

9.1.1. Medio ambiente

La instalación y desarrollo de la planta de bioetanol se debe adecuar a la reglamentación ambiental que rige a nivel municipal, provincial y nacional.

Municipal

Ordenanza N°5161: Modificación del Plan Estratégico Local, delimitando la zona industrial y sus servicios particulares.

Provincial

Constitución Provincial, artículo 58: Derecho a un ambiente humano de vida salubre y ecológicamente equilibrado y el deber de conservarlo.

Constitución Provincial, artículo 117: Uso y aprovechamiento de todas las aguas del dominio público existente en su territorio para la agricultura y otros fines especiales.

Ley N° 8.076: Transporte automotor de carga y mercancías peligrosas dentro de la provincia de San Juan.

Ley N° 7.715: Adhesión de la Prov. de San Juan a la Ley Nacional N° 26.093, que instituye el Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentable de Biocombustibles.

Ley N° 6.730: uso y empadronamiento de los servicios de provisión de agua potable y desagües cloacales e industriales.

Ley N° 6.665: Adhesión de la Prov. de San Juan a la Ley Nacional N° 24.051 de Residuos Peligrosos.

Ley N° 6.634: Ley General del Ambiente.

Ley N° 6.571: Evaluación de Impacto Ambiental, su modificatoria Ley N° 6.800.

Ley N° 5.824: Preservación de los recursos naturales, suelo, agua y aire.

Ley N° 4.526: Código de aguas de la Prov. de San Juan.

Nacional

Constitución Nacional, artículo 41: Derecho a un ambiente sano.

Ley N° 27.191: Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía.

Ley N° 26.334: Régimen de promoción de la producción de bioetanol.

Ley N° 26.093: Régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentables de biocombustibles.

Ley N° 25.688: Régimen de gestión ambiental de aguas.

Ley N° 25.675: Ley general del ambiente.

Ley N° 25.612: Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicio.

Ley N° 24.557: Riesgo del trabajo.

Ley N° 24.051: Residuos peligrosos.

Ley N° 22.428: Conservación de suelos.

Ley N° 20.284: Preservación de la calidad del aire.

Ley N° 19.587: Seguridad e higiene.

Decreto N°543/16: Porcentaje obligatorio de bioetanol y su abastecimiento. Establece un aumento de 10 % (establecido por medio de la Resolución N° 44 en el año 2014), a un 12%, en volumen, el porcentaje obligatorio de bioetanol en su mezcla con las naftas de uso automotor a comercializarse en todo el Territorio Nacional en el marco de las Leyes N° 26.093 y 26.334.

Las principales entidades u organismos gubernamentales que actúan, son la autoridad de aplicación son el Departamento de Hidráulica, la Subsecretaría de Medio Ambiente y Subsecretaría de Política Ambiental, de la Provincia de San Juan y Obras Sanitarias Sociedad del Estado (OSSE), de la Municipalidad de Pocito.

9.1.2. Consumo de energía

El consumo energético específico de una planta de bioetanol depende del sistema de servicios auxiliares y el diseño del proceso, es posible implementar una serie de controles o etapas operativas para optimizar el proceso. Instalar contadores de energía eléctrica para medir y controlar el consumo en toda la planta, garantizar el efectivo aislamiento de las tuberías de vapor, agua caliente y refrigeración, depósitos, válvulas y bridas, caldera. Desarrollar un balance de agua caliente para toda la industria, para la recuperación de calor de los procesos de producción o de los sistemas de servicios auxiliares para procesar, optimizar el funcionamiento del sistema de refrigeración y de los grandes motores eléctricos. Implementar prácticas de consumo responsable de energía eléctrica en los sectores de uso diario del personal.

9.1.3. Consumo de agua

La provincia de San Juan regula su uso industrial a través de evaluaciones anuales del Departamento de Hidráulica. Para obtener el derecho de utilización de aguas se debe presentar los planos de las instalaciones, el certificado de la autoridad competente autorizando la implantación del establecimiento, un croquis explicativo de las instalaciones de toma y descarga del caudal de agua solicitado y descripción del sistema de purificación o rehabilitación del agua para tratamientos de desagües y sobrantes.

Las medidas para reducir el consumo de agua son: Instalar contadores de agua para medir y controlar el consumo en toda la planta. Identificar corrientes de agua para su reuso, e instalar válvulas automáticas para interrumpir el suministro de agua cuando se produce una parada en la línea.

9.1.4. Aguas residuales

El vertido está regulado por el código de aguas. Debe cumplirse con las normas de procedimiento para el control de descargas de efluentes industriales a los cuerpos receptores, cuya autoridad de aplicación es la Sociedad "Obras Sanitarias Sociedad del Estado – San Juan", (O.S.S.E).

Para el vuelco final de las aguas residuales, se deberán cumplir los valores límites caracterizados según los diferentes sumideros (cloaca, cursos de agua superficiales, conductos pluviales, absorción por el suelo).

Por ley, está prohibida la descarga a ríos, arroyos, vertientes, lagos y cauces de agua que contengan sustancias tóxicas, malolientes, inflamables, explosivas, corrosivas o que puedan producir gases inflamables.

Tabla 71 - Parámetros de calidad de las descargas límites admisibles.

Parámetro	Unidad	Límites para descarga a Colectora Cloacal	Límites para descarga Absorción suelo
Color	Unidad de color	18	18
Conductividad	μSm/cm	2500	2500
DBO*	ml/l	100-200	100-200
DQO*	ml/l	250-500	250-500
Ph		6,5-10	6,5-9
Sólidos Sedimentables	ml/l	1	5
Sólidos Suspendidos Totales	ml/l	40	50
Temperatura	°C	45	45
Antimonio	mg/l	0,02	0,02
Arsénico	mg/l	0,1	0,1
Bario	mg/l	2	2
Berilio	mg/l	0,1	0,1
Boro	mg/l	1	1
Cadmio	mg/l	0,01	0,01
Cianuro	mg/l	0,2	0,2
Cloro libre	mg/l	1	1
Cloruros	mg/l	400	400
Cobalto	mg/l	0,05	0,05
Cobre	mg/l	1	2
Cromo Total	mg/l	0,5	0,5
Detergentes	mg/l	1	1
Fosfatos	mg/l	0,7	5
Flúor	mg/l	5	5
Hidrocarburos Totales**	mg/l	0,5	ausente
Hierro total	mg/l	2	2
Manganeso	mg/l	2	2
Magnesio	mg/l	100	100
Mercurio	mg/l	0,004	0,004

Níquel	mg/l	0,5	200,5
Nitratos	mg/l	20	20
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	10	10
Nitrógeno Total	mg/l	30	30
Plomo	mg/l	0,5	0,5
Selenio	mg/l	0,02	0,02
Sodio	mg/l	250	250
Sulfato	mg/l	400	400
Sulfuro	mg/l	1	1
Litio	mg/l	2,5	2,5
Paladio	mg/l	5	5
Zinc	mg/l	2	2
Compuestos Organoclorados	µg/l	0,5	0,5
Compuestos Organofosforados	µg/l	20	20

* La Autoridad de Aplicación fijará el valor en función de las características del efluente producido y del cuerpo receptor.

** La Autoridad de Aplicación se reserva el derecho de exigir mayor especificidad de estos compuestos.

Fuente: Decreto 2.107, modificación a la Ley 5324. (2006).

9.1.5. Residuos y subproductos sólidos

Los principales residuos sólidos de producción son la pulpa resultante del proceso de extracción y las levaduras muertas. Las primeras se prensan y secan para su posterior peletización y venta a la industria ganadera. Los sólidos removidos del tanque de fermentación son centrifugados, una parte es recirculados por su contenido de levadura, mientras que la fracción eliminada se seca y es vendida para alimento de ganado por su contenido en sacarosa, minerales, proteína, aminoácidos esenciales y vitaminas del complejo B.

Los residuos de la fermentación se comercializan, se venden para suplementos de rumiantes, resultando un producto competitivo frente a la soja extruida, harina de pescado y las tortas proteicas, por su disponibilidad, la mejor relación nutricional entre energía y proteína, y su precio.⁷⁶

⁷⁶ Morales Vallecilla, F. (2015). *Experiencias en el uso de residuos de la industria de cerveza en Colombia y Ecuador*.

9.1.6. Emisiones de olores y polvo al aire

Un buen sistema de aislamiento, evita la percepción de los olores procedentes tanto del reactor, como del sistema de purificación.

La glicerina resulta nociva si se inhala en forma de nieblas, vapores o aerosoles. La misma está confinada en tuberías y dentro de los destiladores, los cuales están al aire libre, la intoxicación por medio de este solvente resulta poco frecuente.

El etanol y el dióxido de carbono son sustancias que, además de ser inflamables, resultan irritantes y asfixiantes.

De la Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el trabajo, ley de carácter nacional, se obtienen los valores de concentración máxima permitida de cada sustancia, siendo CMP la concentración máxima permisible ponderada en el tiempo (jornada laboral de 8 horas/día y una semana laboral de 40 horas, exposición día tras día, sin efectos adversos) y CMP-CPT la concentración máxima permisible para cortos periodos de tiempo (exposición media ponderada en un tiempo de 15 minutos, que no debe sobrepasarse en ningún momento de la jornada laboral).

Tabla 72 - Valores Aceptados de exposición a las sustancias químicas.

Sustancia	NºCAS	CMP	CMP-CPT	Notificaciones	Efectos críticos
Glicerol, nieblas	56-81-5	10 mg/m ³	-	-	Irritación
Etanol	64-17-5	1000 ppm	-	A4*	Irritación
Dióxido de carbono	124-38-9	5000 ppm	30000 ppm	-	Asfixia

*A4: No clasificable como carcinógenos. Potencialmente carcinógenos pero no se puede evaluar de forma concluyente por ausencia de datos.

Fuente: Ley Higiene y Seguridad en el trabajo (1972).

En el proceso de lavado y picado de las cosetas se puede originar material particulado, que puede afectar las mucosas de los operadores y su sistema respiratorio. Los límites del polvo de tierra, por Ley nacional, son de 4 mg/ m³. Los mismos entran en la clasificación de fibras respirables.

9.2. Seguridad e Higiene

Los riesgos en la construcción y operación de este tipo de planta, son similares a los que se producen en la mayoría de las instalaciones industriales y específicamente, en las instalaciones de refinamiento de combustible. Los peligros asociados con las operaciones llevadas a cabo en la planta se describen a continuación.

9.2.1. Riesgo de explosiones

Es posible evaluar la planta por zonas de riesgo de explosión. Este tipo de identificación permite la aislación y mayor control de las zonas con mayor peligro. Según normas norteamericanas y europeas las zonas se clasifican en:



Figura 61 – Clasificación de riesgos.

Fuente: Bradfer, J. F., 2002.

En la planta se individualizan las zonas según equipo, operación que se lleva a cabo y sustancia con la cual se trabaja:

Zona 0: El interior del fermentador, los destiladores de separación azeotrópica y extractiva, el tanque de almacenamiento de etanol, incluyendo las cañerías que lo transportan.

Zona 1: Lugar donde, en funcionamiento normal, hay presencia de etanol o dióxido de carbono. La misma se determina en un radio de 3 metros alrededor del punto emisor, de un alivio de gas, un drenaje o una válvula.

Zona 2: Zona con frecuencia menor de riesgos, o también se extiende a 3 metros más allá de una Zona 1, excepto condiciones particulares.

Zona sin riesgo: Zona de descarga de la materia prima y oficinas administrativas.

Se utilizan mayormente dos codificaciones internacionales para clasificar los riesgos y selección de equipos seguros para su prevención. Estas son, la norma europea según International Electrotechnical Commission / European Committee of Electrotechnical Standards (IEC/CENELEC), norma IEC 60079-0 y norma norteamericana National Electric Code (NEC), norma NFPA 704.

Las posibles fuentes de explosión asociada al bioetanol no se limitan sólo a equipos energizados, y la propagación de la llama no se confina sólo a un espacio delimitado alrededor del origen. Las fuentes de propagación de las llamas, o deflagración, pueden ser otras además de las eléctricas: un cigarrillo, una chispa provocada ocasionalmente por la caída de una herramienta, etc.

Además, se debe considerar la región interna de las tuberías y analizar hasta dónde podría llegar una llama para seleccionar y equipar el sistema de elementos o accesorios de seguridad.

Las medidas de seguridad son:

- Instalar sistemas de puesta a tierra, sistemas detección y prevención de chispas y sistemas de extinción.
- Utilizar motores, luces, interruptores y conexiones resistentes a las explosiones en zonas de alto riesgo.
- Instalar válvulas de alivio y cortallamas a la línea de la cañería de dióxido de carbono.
- Controlar todos los materiales volátiles;

Prevención y protección contra incendio

El fuego es una reacción de oxidación que combina tres elementos, un combustible, un oxidante y una energía de activación de la reacción.

Tipos de combustibles: Según las normas nacionales los combustibles se clasifican en cuatro tipos

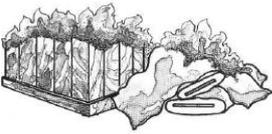
Tipo A	Tipo B
Maderas, Tejidos, Fibras, Papel, Cartón 	Nafta, Gas Oil, Fuel Oil, Aceites, Disolventes, Gases combustibles 
Fuego sobre elementos y/o máquinas con tensión eléctrica 	Metales combustibles: Bario, Litio, Potasio, Sodio, Magnesio

Figura 62 Tipos de combustibles

Procesos de evacuación:

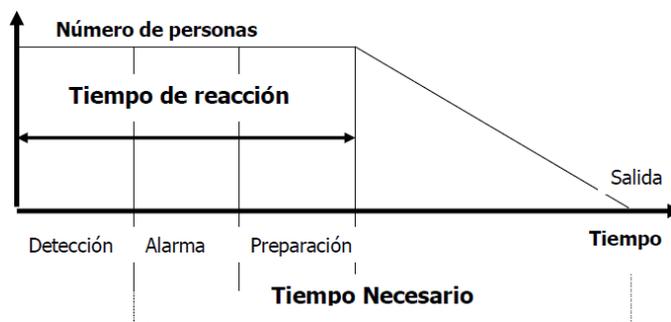


Figura 63 Tiempo necesario

El tiempo requerido por los ocupantes para ser avisados del siniestro, prepararse y desplazarse hasta un lugar seguro. El tiempo necesario depende fundamentalmente de: Las características del edificio, la cantidad y estado de las personas a evacuar, medios de alerta disponibles, organización para emergencias existentes y del entrenamiento de los ocupantes.

Estrategias de Protección

Medidas de Prevención

Evitar la gestación de incendios: en este sentido es necesario actuar sobre las fuentes de ignición y los materiales combustibles de forma de no permitir el contacto de uno con otro en forma accidental y así anular el riesgo. Fuentes de ignición: Llama abierta, instalaciones y componentes bajo tensión, chispas electrostáticas, fricción entre cuerpos, material incandescente, superficies calientes, material del fumador

Medidas de Mitigación

Si tomamos medidas que minimicen el impacto del incendio antes de que este se geste o durante el desarrollo del mismo estaremos realizando medidas de mitigación, estamos tratando que el impacto sea lo menos dañino posible, no evitándolo. Este concepto junto al de prevención han sido discutidos ampliamente, aun hoy no se ha llegado a un acuerdo en cuanto a que se considera prevención y a que mitigación.

Protecciones Pasivas

El objetivo de este tipo de medidas es impedir la propagación de los incendios y comprende en general las condiciones que deben cumplir los edificios. Emplazamiento del edificio o instalación concepción del diseño y la estructura de la edificación, garantizar la evacuación de las personas. limitar el desarrollo del incendio, garantizar la integridad estructural de la edificación.

Actuación Humana

Organización de la emergencia, capacitación de las personas involucradas y/o de la comunidad, entrenamiento de acuerdo al plan realizado, elementos de Protección Personal para los equipos de intervención, elementos de actuación de acuerdo al plan realizado.

Métodos de extinción

El fuego es una combustión de aporte, una forma de eliminarlo es retirando el aporte de combustible.

Eliminar o reducir la cantidad de oxidante. Interponer una barrera física entre el combustible (vapores desprendidos) y el comburente o reducir el porcentaje de oxígeno.

Reducir la temperatura del combustible o llama. Impedir que se alcance la energía de activación de la reacción o se disminuye y/o elimina la formación de vapores combustibles.

Aplicar productos que modifiquen la química de la reacción. Desactivando los radicales libres intermedios o interponiendo moléculas del agente entre las especies reactivas.

Agentes extintores del fuego.

Producto cuya acción, al ser proyectado sobre un fuego, provoca la extinción del mismo. Es importante conocer la efectividad del agente extintor, a fin de poder comparar entre los diversos tipos.

Para ello se han desarrollado diversos estándares a fin de poder medir la capacidad de un agente extintor para extinguir fuegos de una clase determinada, bajo ciertas condiciones, (confinamiento, situación del combustible, etc.), a esta capacidad del agente se la denomina Potencial Extintor.

La clasificación es del tipo alfa numérica, como ejemplo 2A o 10 B. La clasificación numérica refleja la cantidad relativa del incendio que puede ser extinguido por un determinado agente, la carga del mismo el extintor.

Para los fuegos clase A hay tres tipos de incendios que deben ser extinguidos para recibir una clasificación numérica A, incendio en encofrado, en panel de madera y de viruta de madera. Los ensayos deben ser realizados por personal capacitado y entrenado a tal fin.

Para los fuegos clase B la clasificación numérica refleja la cantidad relativa del control de un incendio de un líquido inflamable, en un tanque cuadrado, que puede ser extinguido por un determinado tamaño de extintor. La clasificación toma el 40 % del área que un operador experto puede extinguir.

No existe prueba específica de incendio para fuegos de la Clase C, el agente extintor se prueba únicamente para verificar la no conductividad de la electricidad, si cumple se le asigna clasificación C, para el caso que el extintor este clasificado como A y/o B se realizara el ensayo respectivo.

9.2.2. Exposición a sustancias químicas

Fugas

Pueden ocurrir fugas de las sustancias utilizadas para cualquier parte del proceso, pero la más peligrosa es en las cañerías que contienen dióxido de carbono. Su inflamabilidad y explosividad al combinarse con el oxígeno contenido en el aire, es el mayor riesgo a controlar.

Asfixia

En el proceso de fermentación se origina CO_2 , el cual posee un importante efecto asfixiante. El peligro de asfixia o toxicidad puede resolverse mediante detectores de gas y procedimientos para acercarse a las zonas de riesgo (detector portátil, equipo autónomo de respiración).

El sector de producción está expuesto al ambiente, por lo tanto se deberá controlar las posibles emisiones al mismo.

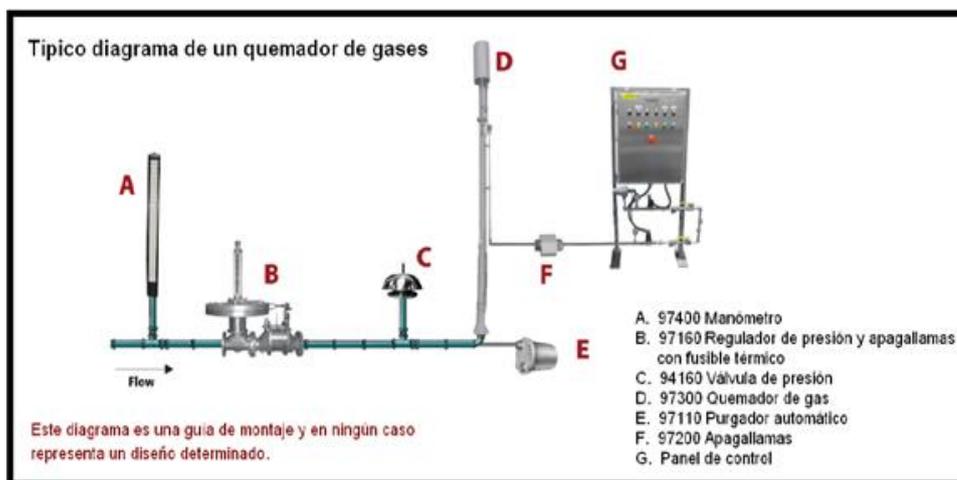


Figura 64 - Quemadores de gas y accesorios.

Fuente: Marlia Ingenieros S.A., 2017.

9.2.3. Riesgos físicos

Estos incluyen el riesgo de caídas al mismo nivel a causa de superficies resbaladizas, el uso de maquinaria y herramientas y posibles choques con vehículos de transporte interno utilizados para la descarga de la remolacha y la carga del etanol almacenado.

La picadora constituye un peligro potencial y puede atrapar dedos, cabello y ropa. Las lesiones oculares constituyen un riesgo específico, particularmente durante las operaciones de lavado y picado.

Se debe acondicionar tanto el área de la planta como el área de transición del personal y los camiones de carga y descarga para prevenir resbalones y caídas, además de incorporar seguridad en la maquinaria y el uso de un equipo de protección personal (EPP) adecuado.

9.2.4. Exposición al ruido y a las vibraciones

Los trabajadores pueden estar expuestos al ruido provocado durante el transporte del sustrato, el funcionamiento de la lavadora-picadora, el agitador dentro del reactor, los motores de las bombas distribuidas por todo el proceso.

Entre los efectos que sufren los trabajadores expuestos al ruido y a las vibraciones se encuentran la pérdida de la capacidad auditiva, malestar, estrés, nerviosismo, trastornos del aparato digestivo, efectos cardiovasculares, disminución del rendimiento laboral, incremento de accidentes y cambios en el comportamiento social.

Las medidas de seguridad incluyen la aislación de las fuentes de contaminación sonora, el uso de material absorbedor de vibraciones, equipo de seguridad personal acorde al nivel de ruido producido y disminución de tiempos de exposición mediante rotación de personal.

9.3. Sistema de Gestión OHSAS 18001

La norma OHSAS 18001 establece los requisitos mínimos para la implementación de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST) posibilitando el control de riesgos por parte de la empresa, mejorando así el desempeño de los empleados y las operaciones de la industria.⁷⁷ La adopción de una norma como la OHSAS 18001 permite cumplir con la legislación vigente en el país, lo que implica la eliminación o reducción considerable de multas y sanciones administrativas derivadas de su incumplimiento.

Los principales beneficios de la implementación de la norma OHSAS 18001 son: Crear las mejores condiciones de trabajo posibles en toda la organización, identificar los riesgos y establecer controles para gestionarlos, reducir el número de accidentes laborales y bajas por enfermedad para disminuir los costos y tiempos de inactividad ligados a ellos, comprometer y motivar al personal con unas condiciones laborales mejores y más seguras, aumentar la productividad, mejorando la imagen interna (entre los propios trabajadores y proveedores) y externa (clientes potenciales, reales y la sociedad en su conjunto).

El estándar OHSAS 18001 fue desarrollado por las principales certificadoras del mundo a partir de los criterios establecidos por la British Standard BS 8800. Con el objeto

⁷⁷ Sistema de gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo OHSAS 18001.

de ser compatible con las normas sobre sistemas de gestión ISO 9001 e ISO 14001, la OHSAS 18001 comparte sus principios comunes.

Tabla 73 - Estructura del sistema de gestión según el estándar OHSAS 18001.

Política	Establece un sentido general de orientación y los principios de las acciones a tomar. Contempla las responsabilidades y la evaluación requerida por el proceso. Demuestra el compromiso de la dirección para la mejora continua de la salud y seguridad en el trabajo.
Planificación	Determina los riesgos significativos de la empresa utilizando procesos de identificación de peligros, evaluación de riesgos y planificación de las acciones para controlar o reducir los efectos de éstos.
Implementación y funcionamiento	Fija los recursos, funciones y responsabilidades, documentación y acciones a llevar a cabo en todos los aspectos del SGSST (competencia, formación y toma de conciencia, control operacional, situaciones de emergencia, consulta y participación).
Verificación y acción correctiva	Identifica los parámetros para dar cumplimiento a la política establecida de SST. Dichos parámetros son: el éxito de los objetivos, la implementación y efectividad de los controles de riesgo, y la efectividad de los procesos de capacitación, entrenamiento y comunicación.
Revisión por la dirección	La dirección de la empresa asume un compromiso con el sistema para cumplir con los objetivos propuestos y conseguir la mejora continua.

Fuente: Dalmau Balcells, G.

9.3.1. Política

La política de Seguridad y Salud en el Trabajo en el campo de los riesgos laborales, es la forma en la que se definen los principios que regulan la gestión de las organizaciones y constituyen la filosofía institucional en la materia. Esta política es el documento director de la gestión de seguridad y salud laboral de la organización, a través del cual se establecen compromisos de trabajo. Los puntos clave a establecer en este documento son: Objetivos generales de la organización. dimensionar los riesgos para la SST de la empresa, incluir el compromiso de prevención de los daños y el deterioro de la salud, y de la mejora continua, cumplir con los requisitos legales, servir como marco de referencia para establecer y revisar los objetivos de SST y documentar y actualizar periódicamente, con el fin de garantizar que sigue siendo apropiada.

La política debe ser conocida por todos los miembros de la organización y estar disponible para las partes externas interesadas. Internamente, se realizan charlas y

capacitaciones de personal, mientras que se elige la creación de una página web para brindar información sobre los objetivos de la empresa a terceros.

9.3.2. Planificación

La evaluación de riesgos es la base para una buena gestión de seguridad y salud en el trabajo. Su implementación en el análisis y relevamiento de las tareas y procesos de una organización, permiten planificar las acciones preventivas a llevar adelante y evitar que los empleados sufran accidentes o contraigan enfermedades laborales.

Es un proceso dirigido a estimar la magnitud de aquellos riesgos que no pudieron ser erradicados, obteniendo la información necesaria para que el empresario esté en condiciones de tomar una decisión apropiada sobre la necesidad de adoptar medidas de control y, en tal caso, sobre el tipo de medidas que deben adoptarse (Viadas, A. ,2016).

Para llegar a cabo la evaluación de riesgos, se usa del método general, ya que permite establecer de una manera sencilla y dinámica el nivel de riesgo analizando la gravedad del daño y la probabilidad de que este ocurra.

Tabla 74 - Gravedad del daño.

Gravedad	Consecuencias
Ligeramente dañino (LD)	Daños superficiales: cortes y magulladuras pequeñas, irritación de los ojos por polvo. Molestias e irritación: dolor de cabeza, discomfort.
Dañino (D)	Quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores, etc. Sordera, dermatitis, asma, trastornos músculo-esqueléticos, enfermedad que conduce a una incapacidad menor.
Extremadamente dañino (ED)	Amputaciones, fracturas mayores, envenenamientos, lesiones múltiples, lesiones fatales. Cáncer, otras enfermedades que acorten severamente la vida, enfermedades agudas.

Fuente: Vicente Iglesias, P. (2012).

Tabla 75 - Probabilidad del riesgo.

Probabilidad que ocurra el riesgo	
Baja (B)	El daño ocurrirá raras veces.
Media (M)	El daño ocurrirá algunas veces.
Alta (A)	El daño ocurrirá siempre o casi siempre.

Fuente: Vicente Iglesias, P. (2012).

Con los factores ya expuestos, se obtiene la estimación del nivel de riesgo:

Tabla 76 - Método General de evaluación de riesgos

		Gravedad		
		LD	D	ED
Probabilidades	B	T	TO	MO
	M	TO	MO	I
	A	MO	I	IN

Fuente: Vicente Iglesias, P. (2012).

Dichos niveles forman la base para decidir la acción preventiva que debe realizarse, estableciendo prioridades de acción, siendo éstas las siguientes:

Tabla 77 - Intervención de los riesgos.

Riesgo	Acción
Trivial (T)	No se requiere acción específica.
Tolerable (TO)	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
Moderado (MO)	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
Importante (I)	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando al riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
Intolerable (IN)	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

Fuente: Vicente Iglesias, P. (2012).

Luego del análisis de los posibles riesgos, se presenta la siguiente tabla que reúne las principales acciones operativas, divididas por equipos y accesorios:

Tabla 78 - Intervención de los riesgos.

Equipos	Riesgos	P	G	R	Causas	Medidas y/o controles preventivos
Tolva de recepción	Caída al mismo nivel	A	LD	MO	Zona resbaladiza	Señalización de la zona. Uso de zapatos de seguridad antideslizantes. Implementación de alarma en el momento de inicio de descarga.
Lavadora y picadora	Atrapamiento de dedos, cabello y ropa.	M	ED	I	El operador puede quedar atrapado en el triturador.	Resguardos fijos por medio de jaulas o red que separen físicamente a los operarios.
	Lesiones oculares.	M	D	MO	Proyección de tierra, agua o coquetas	Utilización de gafas protectoras.
	Ruido y vibraciones.	M	D	MO	Naturaleza del equipo	Uso de casco antivibratil con protección auditiva
	Contacto eléctrico.	B	D	TO	Mal aislamiento del equipo.	Revisar de manera periódica la instalación eléctrica del equipo y comprobar su buen funcionamiento. Seguir el manual de usuario, proporcionado por el fabricante.
	Golpes/Cortes por objetos o herramientas	B	LD	T	Golpes y/o cortes durante la manipulación y/o mantenimiento de los equipos.	Usar guantes para golpes mecánicos.
	Caída al mismo nivel	A	LD	MO	Posibilidad de resbalar con sustrato salpicado en el suelo. Cable de conexión del equipo expuesto en el suelo.	Mantener la zona limpia y ordenada. Usar un medio de protección del suelo (plástico, papel) que ocupa la zona de alimentación. Ocultar cableado del equipo.
	Riesgo por salpicaduras	B	LD	T	Fallos en las juntas o uniones de la bomba	Revisión visual de todas las juntas de la bomba, para asegurarse de que no haya pérdidas. Mantenimiento adecuado según lo estipulado en el manual de usuario. Disponer de protección individual: gafas, guantes y mono.
Cinta transportadora de sólidos	Atrapamiento de dedos, cabello y ropa	M	ED	I	El operador puede quedar atrapado en la cinta	Separación física entre los operarios y el equipo
	Incremento del ruido	M	LD	TO	Aumento de la carga de la cinta Falta de lubricación Desajuste de piezas	Control del peso de la carga. Mantenimiento periódico. Personal con protección auditiva.
Difusión	Riesgo de quemadura	B	D	TO	Fallo del programa de control de la temperatura.	Mantenimiento adecuado de las resistencias eléctricas del tanque,

						según lo dispuesto en el correspondiente manual del usuario. Comprobación de buen funcionamiento, antes de empezar a operar.
	Contacto eléctrico directo	B	D	TO	Posible contacto con alguna parte en mal estado de la instalación eléctrica de la bomba.	Revisar de manera periódica la instalación eléctrica del equipo y comprobar su buen funcionamiento. Seguir el manual de usuario, proporcionado por el fabricante
	Riesgo por salpicaduras	B	LD	T	Fallos en las juntas o uniones de la bomba o en la recogida directa de muestra	Revisión visual de todas las juntas de la bomba, para asegurarse de que no haya pérdidas, antes de cada operación. Mantenimiento adecuado según lo estipulado en el manual de usuario.
Tanque Madre	Exposición a contaminantes biológicos	B	D	TO	Contacto con las levaduras presentes en la corriente y en la recolección muestras.	Uso de guantes, gafas y ropa adecuada, para evitar el contacto. Aseo del personal después de la exposición.
	Incremento del olor	B	D	TO	Fugas por averías en la cañería del caldo de fermentación o en la estructura del reactor	Mantenimiento y control de todas las líneas de conexión. Análisis estructural anual del reactor.
	Contacto eléctrico directo	B	D	TO	Posible contacto con alguna parte en mal estado de la instalación eléctrica de la bomba.	Revisar de manera periódica la instalación eléctrica del equipo y comprobar su buen funcionamiento. Seguir el manual de usuario, proporcionado por el fabricante
	Riesgo por salpicaduras	B	LD	T	Fallos en las juntas o uniones de la bomba o en la recogida directa de muestra	Revisión visual de todas las juntas de la bomba, para asegurarse de que no haya pérdidas, antes de cada operación. Mantenimiento adecuado según lo estipulado en el manual de usuario.
	Exposición a contaminantes biológicos	A	D	I	Contacto con el caldo de fermentación durante la extracción de muestras	Uso de guantes, máscaras y ropa de trabajo adecuada, para evitar el contacto.
Fermentador	Riesgo de explosión	B	ED	MO	Incendio provocado en cercanías del reactor.	Sistema de confinamiento de la propagación de llama. Instalación de iluminación a prueba de explosiones.

	Fugas por fisuras en el reactor	B	ED	MO	Aumento de la presión interior por obstrucción en la cañería de descarga del CO ₂	Mantenimiento periódico de los sistemas de control. Implementación de válvulas de alivio.
	Incremento del olor	B	ED	MO	Fugas por averías en la cañería del caldo de fermentación o en la estructura del reactor	Mantenimiento y control de todas las líneas de conexión. Análisis estructural anual del reactor.
	Incremento del ruido	M	D	MO	Aumenta las rpm del agitador por desperfecto mecánico.	Control del motor y de la caja de reducción de velocidad del agitador. Uso de protección auditiva en cercanías de la zona de reactores.
	Contacto eléctrico directo	B	D	TO	Posible contacto con alguna parte en mal estado de la instalación eléctrica del agitador o de la bomba.	Revisar de manera periódica la instalación eléctrica del equipo y comprobar su buen funcionamiento. Seguir el manual de usuario, proporcionado por el fabricante
	Riesgo por salpicaduras	B	LD	T	Fallos en las juntas o uniones de la bomba o en la recogida directa de muestra	Revisión visual de todas las juntas de la bomba, para asegurarse de que no haya pérdidas, antes de cada operación. Mantenimiento adecuado según lo estipulado en el manual de usuario. Disponer de protección individual: gafas, guantes y mono.
	Riesgo de quemadura	B	D	TO	Fallo del programa de control de la temperatura.	Mantenimiento adecuado de las resistencias eléctricas del tanque, según lo dispuesto en el correspondiente manual del usuario. Comprobación de buen funcionamiento, antes de empezar a operar.
	Riesgo de explosión	B	ED	MO	Incendio provocado en cercanías del tren de destilación.	Sistema de confinamiento de la propagación de llama. Instalación de iluminación a prueba de explosiones.
	Fugas	B	ED	MO	Agrietamiento de la cañería. Fisuras en el equipo. Degradación del solvente por aumento de la temperatura.	Mantenimiento de toda la línea de cañería. Control de temperatura.
	Fisuras por	B	ED	MO	Cañerías	Control de cañerías mediante

Destiladores	elevación de presión				obstruidas. Elevación de la temperatura de los reboiler	indicadores de presión, alarmas y presostatos de presión máxima. Indicadores de temperatura en condensador y reboiler.
	Riesgo por salpicaduras	B	LD	T	Fallos en las juntas o uniones de la bomba o en la recogida directa de muestra	Revisión visual de todas las juntas de la bomba, para asegurarse de que no haya pérdidas, antes de cada operación. Mantenimiento adecuado según lo estipulado en el manual de usuario. Disponer de protección individual: gafas, guantes y mono.
	Riesgo de quemadura	B	D	TO	Fallo del programa de control de la temperatura	Mantenimiento adecuado de las resistencias eléctricas, según lo dispuesto en el correspondiente manual del usuario.
	Riesgo de explosión	B	ED	MO	Incendio provocado en cercanías de los tanques de almacenamiento.	Sistema de confinamiento de la propagación de llama. Instalación de iluminación a prueba de explosiones.
Tanque de almacenamiento de bioetanol	Fugas	B	ED	MO	Agrietamiento de la cañería y de la estructura del tanque	Mantenimiento de toda la línea que transporta el etanol. Control de presión.
	Riesgo por salpicaduras	B	LD	T	Fallos en las juntas o uniones de la bomba o en la recogida directa de muestra	Revisión visual de todas las juntas de la bomba, para asegurarse de que no haya pérdidas, antes de cada operación Mantenimiento adecuado según lo estipulado en el manual de usuario. Disponer de protección individual: gafas, guantes y mono.
	Ruido y vibraciones.	M	D	MO	Naturaleza del equipo	Uso de casco antivibrátil con protección auditiva
Centrífuga	Exposición a contaminantes biológicos	A	D	I	Contacto con el caldo de fermentación	Información al servicio médico para consulta de necesidad de vacuna adecuada. Uso de guantes, gafas y ropa de trabajo adecuada, para evitar el contacto.
	Riesgo de explosión	B	ED	MO	Incendio provocado en cercanías del equipo.	Sistema de confinamiento de la propagación de llama. Instalación de iluminación a prueba de explosiones.
	Atrapamiento de dedos, cabello y ropa.	M	ED	I	El operador puede quedar atrapado en el equipo.	Resguardos fijos por medio de jaulas o red que separen físicamente a los operario.
Prensa	Lesiones oculares.	M	D	MO	Proyección del sólido de	Utilización de gafas protectoras.

					fermentación.	
	Atrapamiento de dedos, cabello y ropa.	M	ED	I	El operador puede quedar atrapado en el equipo.	Resguardos fijos por medio de jaulas o red que separen físicamente al operario.
Peletizadora	Lesiones oculares.	M	D	MO	Proyección de virutas del sólido.	Utilización de gafas protectoras.
	Incendio	B	ED	MO	Escapes de etanol o dióxido de carbono.	Mantenimiento y control del sistema de cañerías. Evitar fuentes de ignición en la zona de trabajo. Sistema de confinamiento de la propagación de llama. Instalación de iluminación a prueba de explosiones
Cañerías	Fisuras y fugas	B	ED	MO	Obstrucción de caneria. Daño estructural de la válvula	Sistema de control de presión. Mantenimiento de la válvula.
Válvula de vacío	Riesgo de explosión por averías estructurales	B	ED	MO	Aumento de la presión y/ o de la temperatura de trabajo por obstrucción de cañerías	Sistema de control de presión y temperatura, válvulas de alivio, alarmas e indicadores de máxima presión y temperatura admisible.
Caldera	Alta presión	M	ED	I	Riesgo de explosión, averías estructurales.	Sistema de control de presión, válvulas de alivio, alarmas e indicadores de máxima precisión admisible.
	Baja presión	M	ED	I	Deficit en el requerimiento calorífico de los procesos, disminución de la temperatura	Sistema de control de presión, válvulas de alivio, alarmas e indicadores de máxima precisión admisible.
	Alta temperatura	M	ED	I	Daños estructurales, riesgo de explosión	Control de temperatura, indicadores y alarmas de máxima temperatura admisible
	Baja temperatura	M	ED	I	Déficit en el requerimiento calorífico de los procesos, disminución de la presión	Control de temperatura, indicadores y alarmas de máxima temperatura admisible
	Disminución del caudal de agua	A	D	MO	Aumento de la temperatura de salida, disminución de caudal de vapor, déficit en el requerimiento calorífico	Control de caudal de agua de ingreso, alarma y control de temperatura máxima admisible
	Aumento del caudal de agua	A	D	MO	Disminución de la temperatura de salida, déficit en el requerimiento calorífico	Control de caudal de agua de ingreso, alarma y control de temperatura máxima admisible
Bomba	Alta presión	M	LD	T	Daños mecánicos	Implementación de válvulas d alivio en tuberías de descarga,

						alarma para presión máxima de descarga, presostato de corte de máxima presión, abrir purga de aire de la bomba (válvula de venteo)
	Baja presión	M	LD	T	Cavitación, daños mecánicos, ruidos, vibraciones	Implementación de manómetro en la admisión de la bomba, alarma ante presión mínima, presostatos de corte ante presión mínima
	Alta temperatura	M	D	MO	Daños mecánicos, vaporización del líquido circulante, ruido, vibraciones	Controles periódicos de niveles de lubricantes, verificación del estado del lubricante(humedad o impurezas) y ajuste de las partes móviles, termostato de corte por temperatura máxima, control de la presión de descarga.
	Alto ruido	A	LD	MO	Daños mecánicos, molestias del personal, alteración en la comunicación oral, aumento de carga cognitiva con incremento de la probabilidad de cometer errores	Controles periódicos de nivel de lubricante, verificación del estado del lubricante y ajuste de las partes móviles
	Caudal nulo	M	LD	TO	Aumento del consumo de corriente (girar sin resistencia trabaja por sobre la nominal), cambio del ruido normal de operación	Implementación de caudalímetro para control
Compresor	Alta presión	M	LD	TO	Aumento de las rpm del motor	Presostatos de alta, válvula de alivio de presión, alarmas indicadores de alta presión

Fuente: Vicente Iglesias, P. (2012).

Los operarios estarán expuestos mayormente a los riesgos de la planta. Además de una correcta coordinación de sus turnos para un asegurar el descanso y análisis médicos regulares, se los capacitará para actuar en casos de emergencia y se los instará al uso de equipos de protección. Según Uribe López, et al., 2004 los equipos de protección personal son los siguientes:

A todos los operarios se les dará un overol de dril con el logotipo de la empresa, al igual que botas con punta de acero, una camiseta y todos los guantes impermeables y resistentes.

Los operarios de recepción de la materia prima tendrán equipo de protección para los ojos: unas monogafas con lente en policarbonato (no rectificado) y un armazón suave en PVC.

Los operarios del sector de lavado y picado contarán con equipo de protección visual, respiratoria y auditiva (orejeras con copa auditiva con nivel de protección de ruido de 21 dB y un nivel de atenuación del ruido de 10). Adicionalmente, contará con unos guantes de carnaza para la operación de la máquina.

Los operarios que se acerquen a la zona de reactores, destiladores y tanques tendrán el equipo básico antes mencionado, más un equipo de protección respiratoria con un cartucho que recoge los vapores.

La planta contará con un número variado de botiquines ubicados alrededor de la empresa en zonas estratégicas, para la curación y prevención de accidentes leves de trabajo.

Señales en la planta

Para la señalización de la planta, se seguirán las pautas establecidas en el apunte de cátedra de Seguridad, higiene y saneamiento ambiental, colores y señales de seguridad, las cuales reúnen a las normas IRAM 10005.

La señalización estará presente en todas las secciones de la planta y se utilizarán los siguientes tipos de señales: Señalización de ubicación de las áreas dentro de la organización, señalización acerca de la protección preventiva, vías de acceso, peligros y precauciones alrededor de la planta. Señales de precaución de piso, delimitando en amarilla las zonas de paso común de las zonas de prohibición de paso. Señales de prohibidos dentro de la planta y señales de salidas y rutas de emergencia.



Figura 65 – Señales estandarizadas presente en la planta.
Fuente: Uribe López, et al. (2004).

Cuidado de maquinaria

En cuanto al cuidado y protección de la maquinaria, la misma tendrá un mantenimiento preventivo programado según las especificaciones de cada equipo. En parada de planta general se realizara el mantenimiento de los equipos, sin dejar de lado el control diario.

9.3.3. Implementación

Se define el alcance y los objetivos del proyecto, los cuales deben ser llevados adelante por la dirección de la empresa. En esta, es posible involucrar e integrar a todos los departamentos y profesionales de la organización. En este sentido, es necesario elegir a los responsables de la seguridad de la empresa, asignándoles funciones específicas.

En el requisito sobre “Recursos, funciones, responsabilidad y autoridad”⁷⁸, la norma OHSAS 18001 especifica que la organización deberá nombrar a uno o varios miembros de la alta dirección con el fin de gestionar el correcto funcionamiento del sistema.

Para llegar a cabo la implementación se selecciona un comité de implantación, formado por varios profesionales de diferentes especialidades (dirección, seguridad e higiene, administración, producción, mantenimiento), para facilitar la integración entre todos los departamentos de la planta. El objetivo es el seguimiento del proyecto comprobando la interacción de los procedimientos entre las distintas áreas de la empresa y la idoneidad de su aplicación.

El comité debe elaborar un manual de gestión en donde se establezcan las distribuciones de las funciones y responsabilidades de todos los trabajadores de la organización. Entre las funciones y responsabilidades de relevancia se destacan: La dirección general y sus representantes en materia de prevención, los mandos directos en todos los niveles de la organización, los operadores de proceso y mano de obra general, los gestores de la SST de los contratistas, los encargados de la formación en SST, os profesionales especializados en seguridad e higiene laboral, os responsables de los equipos, os representantes de SST de los empleados, y los integrantes de los equipos de emergencia.

En el manual también se especifican las actividades formativas (cursos, seminarios o charlas) sobre la prevención de riesgos y salud laboral que se dictan entre

⁷⁸ Norma OHSAS 18001.

los empleados (por ejemplo, uso adecuado de los equipos de protección personal). Estas actividades deben servir para la toma de conciencia de la prevención y la salud laboral.

9.3.4. Verificación

Se debe asegurar que se dispone de un procedimiento con un enfoque sistemático para poder medir y seguir cómo se está llevando a cabo la SST. Con ello, se conocerá si se está cumpliendo con los parámetros establecidos en el estándar, tales como la política y objetivos en materia de SST, los requisitos legales o la implantación y efectividad de los controles de riesgos, entre otros.

Se planifica qué medir, el lugar y el momento en los que se va a proceder a realizar dicha medición, los métodos a utilizar y los requisitos de competencia para aquellas personas que las efectuarán. Con objeto de implantar dichos requisitos, se contará con la ejecución de controles proactivos y reactivos, inspecciones y equipos de medición.

Con respecto a los controles proactivos, se muestran algunos ejemplos de los mismos: observaciones del trabajo e inspecciones de seguridad, evaluación de la eficacia de la formación en SST, utilización eficaz de los resultados de las auditorías internas y externas, revisión por la dirección, realización de las revisiones médicas y control periódico de las instalaciones.

En cuanto a los controles reactivos, se pueden destacar: seguimiento del deterioro de la salud., incidentes y sus análisis, así como el tiempo perdido en estos o en el deterioro de la salud de los trabajadores, acciones requeridas de acuerdo a las evaluaciones de los reguladores o que siguen a la recepción de comentarios de las partes interesadas.

Con respecto a las inspecciones, se deberán planificar de forma periódica, pudiendo ser de dos tipos: reglamentarias y de mantenimiento de las instalaciones y equipos que disponga la organización, o inspecciones de las condiciones de trabajo.

Para llevar a cabo acciones correctivas en el caso de que ocurran incidentes, las mismas deben realizarse por personal capacitado, quienes identifican y documentan los peligros, la evaluación de los riesgos, la formación e información de los trabajadores, las respuestas ante emergencias, la medición y seguimiento del desarrollo de SST o la revisión por la dirección.

Con el fin de garantizar la eficacia del sistema de gestión de la SST se deberá disponer de uno o varios procedimientos para la identificación de las no conformidades (incumplimiento de un requisito) que pueden generarse, debiendo aplicar las acciones

correctivas oportunas en caso de resultar necesario o tomar acciones preventivas, para evitar que los problemas se materialicen.

Las no conformidades que se pueden hallar en la planta pueden ser: Los fallos ocurridos durante el establecimiento o la consecución de los objetivos en SST, la existencia de documentación inapropiada o no actualizada, el error en la definición de responsabilidades en SST o los producidos durante la comunicación interna o externa, en la identificación y evaluación de los requisitos legales, las desviaciones producidas en la aplicación de los procedimientos de SST.

La identificación de las no conformidades es llevada a cabo tanto por los operarios como por los jefes de cada departamento, ya que constituyen las responsabilidades individuales de cada uno de los miembros de la organización.

Luego de la identificación, se procede a trabajar sobre la acción correctiva, para eliminar la causa de una no conformidad real u otra situación indeseable y así impedir que vuelva a producirse, o sobre la acción preventiva la cual es efectuada para eliminar una posible fuente que pueda desarrollar otra no conformidad u situación potencial indeseable.

Una vez reportadas las acciones correctivas o preventivas en su caso, se debe realizar un seguimiento para garantizar que la deficiencia encontrada ha desaparecido. Dicha acción será registrada de forma documental.

Auditoría Interna

Un requisito adicional de la verificación es la auditoría interna, la cual resulta de carácter obligatorio. En ella se establecen las personas que se encuentran capacitadas para poder llevar a cabo las actividades relacionadas con el plan de prevención, pudiendo tratarse tanto de personal propio como externo. También se definen qué actitudes y aptitudes deberán tener. La periodicidad de estas auditorías son anuales y las principales conclusiones tienen que plasmarse en un informe.

Auditoría externa

A través de una auditoría externa llevada a cabo por una entidad independiente a la organización (autoridades de aplicación provinciales o nacionales), es posible conseguir un certificado, previa verificación de la correcta implantación del estándar OHSAS 18001. Una vez certificado el sistema de gestión, cada año se lleva a cabo una auditoría externa de seguimiento o mantenimiento y cada tres años se realizan auditorías específicas para la renovación de la certificación.

9.3.5. Revisión

Recae sobre la dirección revisar de forma periódica el grado de implantación del sistema de gestión y la adecuación del mismo con la política y los objetivos establecidos. En la planificación de las revisiones deberán tenerse en consideración, los temas a tratar, el personal necesario a participar, la información a llevar en la revisión o la forma con la que se va a registrar la revisión. Algunos de los elementos de entrada que pueden usarse para la revisión son: Los informes de emergencias (reales o simulados) o de valoración del grado de integración del SGSST en la organización, las estadísticas de incidentes, los resultados de las inspecciones técnicas reglamentarias, las acciones correctivas ejecutadas en el sistema desde la última revisión, el grado de cumplimiento de los objetivos en SST y los resultados de las auditorías internas y evaluaciones del cumplimiento de los requisitos legales aplicables y otros requisitos que la organización suscriba.

9.4. Evaluación de impacto ambiental

La Ley 6.800 impone la realización de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). El procedimiento de EIA está integrado por las siguientes etapas:

- La presentación de la manifestación general de Impacto Ambiental y, cuando se estime necesario, de la manifestación específica de Impacto Ambiental.
- La Audiencia Pública de los interesados o afectados.
- El Dictamen Técnico.
- La Declaración de Impacto Ambiental (D.I.A).

Las últimas dos etapas se deben cumplir en forma simultánea para reducir los tiempos burocráticos de la habilitación industrial.

En cumplimiento del Pacto Federal Ambiental de la Ley 25.675, se debe realizar una categorización del establecimiento industrial, basándose en el Nivel de Complejidad Ambiental (NCA). El cálculo del NCA, está compuesta por:

$$NCA = Ru + ER + Ri + Di + Lo$$

Ru: Rubro

De acuerdo con la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) y según se establece en el ANEXO I de la ley anteriormente citada, "Listado de rubros comprendidos", se dividen en tres grupos:

Grupo 1 = valor 1

Grupo 2 = valor 5

Grupo 3 = valor 10

ER: Efluentes y Residuos

La calidad y cantidad de los mismos que genere el establecimiento se clasifican en:

Tabla 79 - Caracterización de los residuos generados por la industria.

Tipo	Valor	Característica
0	0	Gaseosos: componentes naturales del aire (incluido vapor de agua); gases de combustión de gas natural
		Líquidos: agua sin aditivos; lavado de planta de establecimientos de Rubros del Grupo 1 a temperatura ambiente
		Sólidos y Semisólidos: asimilables a domiciliarios.
1	1	Gaseosos: gases de combustión de hidrocarburos líquidos
		Líquidos: agua de proceso con aditivos y agua de lavado que no contengan residuos peligrosos o que no pudiesen generar residuos peligrosos. Provenientes de plantas de tratamiento en condiciones óptimas de funcionamiento;
		Sólidos y Semisólidos: resultantes del tratamiento de efluentes líquidos del tipo 0 y/o 1. Otros que no contengan residuos peligrosos o de establecimientos que no pudiesen generar residuos peligrosos; que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación menor a 10 kg de masa de residuos peligrosos por mes (promedio anual)
2	3	Gaseosos: Idem Tipo 0 ó 1;
		Líquidos: Idem Tipo 0 ó 1;
		Sólidos y Semisólidos: que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación mayor o igual a 10 kg pero menor que 100 kg de masa de residuos peligrosos por mes (promedio anual).
3	4	Gaseosos: Idem Tipo 0 ó 1;
		Líquidos: con residuos peligrosos, o que pudiesen generar residuos peligrosos. Que posean o deban poseer más de un tratamiento
		Sólidos y Semisólidos: que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación mayor o igual a 100 kg pero menor a 500 kg de masa de residuos peligrosos por mes (promedio anual).
4	6	Gaseosos: Todos los no comprendidos en los tipos 0 y 1;

	<p>Líquidos: con residuos peligrosos, o que pudiesen generar residuos peligrosos. Que posean o deban poseer más de un tratamiento;</p>
	<p>Sólidos o Semisólidos: que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación mayor o igual a 500kg de masa de residuos peligrosos por mes (promedio anual).</p>

En aquellos casos en que los efluentes y residuos generados en el establecimiento correspondan a una combinación de más de un tipo, se le asignará el tipo de mayor valor numérico.

Ri: Riesgo

Se tendrán en cuenta los riesgos específicos de la actividad, que puedan afectar a la población o al medio ambiente circundante, asignando 1 punto por cada uno. Estos son:

Riesgo por aparatos sometidos a presión;

Riesgo acústico;

Riesgo por sustancias químicas;

Riesgo de explosión;

Riesgo de incendio.

Di: Dimensionamiento

La dimensión del establecimiento tendrá en cuenta la dotación de personal, la potencia instalada y la superficie:

- Cantidad de personal: hasta 15 personas = valor 0; entre 16 y 50 personas = valor 1; entre 51 y 150 personas = valor 2; entre 151 y 500 personas = valor 3; más de 500 personas = valor 4.
- Potencia instalada (en HP): Hasta 25: adopta el valor 0; De 26 a 100: adopta el valor 1; De 101 a 500: adopta el valor 2; Mayor de 500: adopta el valor 3.
- Relación entre Superficie cubierta y Superficie total: Hasta 0,2: adopta el valor 0; De 0,21 hasta 0,5 adopta el valor 1; De 0,51 a 0,81 adopta el valor 2; De 0,81 a 1,0 adopta el valor 3.
-

Lo: Localización

Se tendrá en cuenta la zonificación municipal y la infraestructura de servicios que posee.

- Zona: Parque industrial = valor 0; Industrial Exclusiva y Rural = valor 1; el resto de las zonas = valor 2.
- Infraestructura de servicios: Agua, Cloaca, Luz, Gas. Por la carencia de cada uno de ellos se asigna 0,5.

De acuerdo con los valores del NCA que arrojen las combinaciones de variables establecidas, las industrias y actividades de servicio se clasifican en:

Primera Categoría (hasta 11 puntos inclusive);

Segunda Categoría (12 a 25 puntos inclusive);

Tercera Categoría (mayor de 25).

Por normativas nacionales y provinciales vigentes, los establecimientos peligrosos que elaboran y/o manipulan sustancias inflamables, corrosivas, de alta reactividad química, infecciosas, teratogénicas, mutagénicas, carcinógenas y/o radioactivas, y/o generen residuos especiales de acuerdo con lo establecido por la Ley N° 11.720, que pudieran constituir un riesgo para la población u ocasionar daños graves al medio ambiente, serán considerados de tercera categoría independientemente del Nivel de Complejidad Ambiental calculado.



Figura 66 – Medidas de control de riesgo.

Fuente: Viadas, A. (2016).

La Evaluación de riesgos, junto con la Evaluación de Impacto Ambiental, deberá ser revisada con periodicidad debido a las características de nuestra industria. Muchos de los riesgos mencionados en este capítulo son intrínsecos de la actividad, por lo cual su eliminación no resulta viable, pero se los puede mitigar con las medidas de seguridad e higiene adecuadas. Las medidas de control serán renovadas cada vez que surja un inconveniente o exista la posibilidad de implementar una mejora en el sistema.

9.5. Sustancias peligrosas

A lo largo del circuito productivo, se utilizan y se generan sustancias químicas que pueden resultar peligrosas para la operación y/o para los equipos y tuberías por las cuales circulan. Por este motivo resulta importante identificar las sustancias que pueden resultar nocivas de una u otra forma, de manera tal de determinar su correcta manipulación. Por este motivo resulta necesario estudiar las fichas de seguridad de dichas sustancias.

Las fichas de seguridad constituyen un sistema básico y complementaria del etiquetado, que recogen aspectos preventivos y/o de emergencia a tener en cuenta. El responsable de la comercialización de un producto químico debe facilitar el destinatario profesional de la fichas de seguridad.

Se anexan las hojas de seguridad necesarias.

9.6. Disposiciones generales

Características constructivas de los establecimientos.

Todo establecimiento dispondrá de servicios sanitarios adecuados, en cantidad proporcionada la número de personas.

El local comedor deberá ubicarse lo más aislado posible del resto del establecimiento, preferiblemente en un edificio independiente.

Todo establecimiento deberá contar con provisión y reserva de agua para uso humano, se debe eliminar toda posible fuente de contaminación y polución de las aguas que se utilicen.

En todos los establecimientos, la ventilación contribuirá a mantener condiciones ambientales que no perjudiquen la salud del trabajador. Se deberá ventilar preferentemente de forma natural y la ventilación mínima de los locales se determina en función del número de operarios en la sala y la actividad que desarrolle.

Los trabajadores de la planta pueden estar expuestos a una dosis de ruido alta. Con dosis de ruido se hace referencia a la cantidad de energía sonora que un trabajador puede recibir durante la jornada laboral y que está determinada no solo por el nivel sonoro continuó equivalente a el ruido al que se está expuesto, sino también por la duración de dicha exposición, Es por ello que el potencial de daño a la audición de un ruido depende tanto de su nivel como de su duración.

La intensidad mínima de iluminación, medida sobre el plano de trabajo, ya sea este horizontal, vertical u oblicuo, se encuentra establecida por la Norma IRAM- AADL J 20-06.

9.7. Conclusión

Con el fin de eliminar o minimizar el impacto medio ambiental, se proponen políticas ambientales, tendientes a prevenir la contaminación mediante la evaluación de riesgos potenciales, acatar las leyes y regulaciones ambientales vigentes, adoptar tecnologías ambientales, asegurando el desarrollo sustentable del producto, para los casos que no se pueda prevenir el daño ambiental, siempre que sea posible, identificar el causante, basarse en los resultados de historiales de impactos e investigaciones de otras plantas del rubro, desarrollar y promover mejoras ambientales continuas mediante la implementación de planes voluntarios, estableciendo metas y objetivos progresivos, crear espacios de diálogo con los vecinos de las zonas de influencia de la planta y con ambientalistas, con el objetivo de mantener comunicación transparente y constructiva.

9.8. Bibliografía

Agroindustria. (2018). *Legislación ambiental de la República Argentina y de la Provincia de San Juan*. Subsecretaría de Medio Ambiente de la Provincia de San Juan. Disponible en: https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/d_gestion_ambiental/legislacion/provincial/_archivos/000005-Legislaci%C3%B3n%20Ambiental%20General/000018-San%20Juan/000001-legislacion_sanjuan.pdf

Boletín oficial de ordenanzas. (2017). Municipalidad de Pocito, San Juan. Disponible en: https://contenido.sanjuan.gob.ar/index.php?option=com_k2&view...id...

Dalmou Balcells, G. *Manual práctico para la implementación del estándar OHSAS 18001*. Disponible en: <https://prevencion.fremap.es/Buenas%20prcticas/LIB.019%20%20Manual%20implantacion%20OHSAS%2018001.pdf>

Marco Legal de Provincia de San Juan. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=2849>

Marlia Ingenieros S.A. (2017)

Disponible en: <http://www.marlia-ing.com/Productos/biogas/pagina.htm>

Merrick & Company (1998). *Wastewater Treatment Options for the Biomass-To-Ethanol Process*. National Renewable Energy Laboratory. Disponible en: http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/wastewater_treat_nrel98.pdf

Morales Vallecilla, F. (2015). *Experiencias en el uso de residuos de la industria de cerveza en Colombia y Ecuador*. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/experiencias-uso-residuos-industria-t31927.htm>

Norma OHSAS 18001. Disponible en: <https://www.isotools.org/pdfs-pro/ebook-ohsas-18001-gestion-seguridad-salud-ocupacional.pdf>

Sistema de gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo OHSAS 18001. Disponible en:
<https://www.bsigroup.com/es-ES/Seguridad-y-Salud-en-el-Trabajo-OHSAS-18001/>

Uribe Lopez, J. P. (2004). *Plan de negocios para la creación de una planta de procesamiento de residuos sólidos urbanos para la producción de compost*. Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Viadas, A. (2016). *Apuntes de la cátedra de Seguridad, Higiene y Saneamiento Ambiental*. UNMDP.

Vicente Iglesias, P. (2012). *Colaboración con el responsable de Prevención de Riesgos Laborales del centro en la gestión del Sistema de Prevención de Riesgos de la Fundación CARTIF*. Universidad de Valladolid, Valladolid, España.



10 .ANALISIS ECONÓMICO

10. ANALISIS ECONÓMICO

INTRODUCCIÓN

El aumento del precio del petróleo, sus impactos ambientales y la incertidumbre de su abastecimiento para el futuro, han incrementado la búsqueda de fuentes de energía renovable. Entre las opciones más exploradas en los últimos años están los biocombustibles, los cuales se dividen en biodiesel, bioetanol y biogás, entre otros.

El bioetanol es un biocombustible que puede sustituir a las naftas de manera parcial o total, ya que se adapta al actual sistema de transporte, razón por la cual su uso se ha implementado en varios países. La regulación legal en Argentina permitiría una mezcla de 12% de etanol con naftas, en la cual el etanol no se vería agravado con el impuesto específico de este combustible.

Actualmente, la producción mundial de etanol proviene principalmente de maíz y caña de azúcar, lo que implica el aumento del precio de estos alimentos.

En este capítulo se desarrollará el estudio económico de una planta de Bioetanol, evaluando la rentabilidad del proyecto, considerando los costos de producción e inversión. El objetivo es estudiar la viabilidad de la producción de bioetanol y co-productos en Pocito, San Juan, utilizando remolacha azucarera como materia prima.

10.1. Proyecto de inversión

Un proyecto de inversión es una propuesta del uso de capital para la producción de un bien o la prestación de un servicio, y consta de antecedentes que permiten evaluar las ventajas y desventajas de asignar recursos a esa iniciativa.

Los proyectos nacen, se evalúan y eventualmente se realizan, siempre y cuando se obtenga de ellos el máximo beneficio por unidad de capital empleado en él.

Como primer paso, se realiza un estudio de mercado en el cual se analiza la oferta y demanda existente en el sector de biocombustibles. A partir de los resultados relevados, se toma la decisión de participar en la actividad, ya que de cumplirse la regulación del corte de combustible, producción actual de bioetanol no cubrirá la demanda nacional.

10.1.1. Justificación de la inversión

La producción global de biocombustibles está creciendo sostenidamente y continuará haciéndolo. Los biocombustibles ofrecen mayor seguridad energética, menores emisiones de gases invernadero y de material particulado, desarrollo rural, mejor desempeño de los vehículos y una reducción en la demanda de petróleo. Al ser combustibles renovables y de combustión limpia, tienen un rol significativo en las políticas de cambio climático, las cuales se busca poner en práctica de manera más riguroso a nivel mundial con el objetivo de cumplir los protocolos medioambientales. Otro aspecto importante es que pueden comercializarse más fácil que otras alternativas de biocombustibles, porque pueden almacenarse y distribuirse usando infraestructura existente. Por tales motivos, se observa que en los últimos siete años las empresas de biocombustibles se han capitalizado y expandido en varios países, apoyadas en su mayoría por una serie de políticas locales, las que impulsan la búsqueda de autonomía energética, la creación de valor agregado y empleo en el ámbito rural.

El parque industrial ubicado en el departamento Pocito, provincia de San Juan, busca que más compañías se sumen al lugar, para esto las empresas cuentan con la ventaja de no pagar durante el período de 10 años impuestos inmobiliarios, incluyendo sellos y podrán tomar créditos especiales de la nación a tasas preferenciales. A todo esto se suman líneas de financiación provinciales a tasas muy competitivas para la construcción como así también la adquisición de capital de trabajo.⁷⁹

El predio cuenta con los servicios de agua potable, gas natural para uso industrial y energía eléctrica. Además, en el portal de entrada existen las oficinas administrativas, sala común de reuniones y un salón de usos múltiples para ser utilizados por los industriales que lo necesiten.

10.2. Costos de Inversión (CapEx)

Siendo el estudio de mercado la base para determinar la capacidad de la planta a instalar, lo que se relaciona directamente con la inversión, es decir, con la cantidad de dinero necesaria para poner un proyecto en operación, se analizan los costos de inversión para llevar a cabo la actividad de interés.

La Inversión Total (I_T) es la cantidad de dinero necesaria para poner un proyecto en operación, la misma se calcula como la suma de la Inversión Fija Total (I_{FT}) y la Inversión en Capital de Trabajo (I_w), estas se estiman por medio de datos precisos de

⁷⁹ Diario El País. (2017). *Parque Industrial Pocito, San Juan*.

costos, a través de coeficientes aportados por bibliografía y a partir del método de estimación por factores.

10.2.1. Inversión fija total

La Inversión Fija Total es la cantidad de dinero que se necesita para construir una planta con sus servicios auxiliares y dejarla en condiciones de comenzar a producir. Tiene en cuenta el valor del terreno y la inversión fija.

$$\text{Inversión Fija Total} = \text{Inversión Fija} + \text{Terreno}$$

10.2.1.1. Terreno

Se instala la planta de bioetanol en el parque industrial Pocito, ubicado en la provincia de San Juan. Esta ubicación fue elegida por la cercanía a la zona de cosecha de remolacha azucarera, además está a metros de la Ruta 40 y se considera estratégica la cercanía con la ruta nacional para optimizar la recepción de la materia prima y la distribución del bioetanol.

El Parque Industrial, cuyo terreno tiene forma de rectángulo, está subdividido en lotes con calles internas, siendo el precio de venta del metro cuadrado igual a 90 US\$.⁸⁰

Para determinar cuántos metros cuadrados se requieran para instalar la planta, se emplea el método de Guerchet. Éste método calcula la superficie total necesaria como la suma de tres superficies parciales, la superficie estática, la superficie de gravitación y la superficie de evolución o movimientos.

La superficie estática (S_s), es la superficie correspondiente a los muebles, máquinas e instalaciones.

La superficie de gravitación (S_g), es la superficie utilizada alrededor de los puestos de trabajo por el obrero y por el material acopiado para las operaciones en curso. Ésta superficie se obtiene para cada elemento multiplicando la superficie estática por el número de lados a partir de los cuales el mueble o la máquina deben ser utilizados.

$$S_g = S_s \cdot N$$

La superficie de evolución (S_e) es la superficie que hay que reservar entre los puestos de trabajo para los desplazamientos del personal y para la manutención.

⁸⁰ SOM (2018). *Terreno - Fracciones industriales en Pocito*.

$$S_E = (S_S + S_G) \cdot K$$

Donde K es un coeficiente que varía entre 2 a 3.⁸¹ Para calcular el área, se tomará un valor de 2,5.

Las áreas de cada equipo se muestran en la tabla 85. Se obtuvo un área de 99.634,3 m², por lo tanto para llevar a cabo la construcción de la planta se necesitan 9,9 hectáreas, dando una inversión de terreno de **US\$ 8.967.087**



Figura 67 - Vista superior del Parque Industrial Pocito.
Fuente: Googles Maps (2018).

10.2.1.2. Inversión fija

Esta se divide en componentes directos e indirectos. Cada uno de estos rubros debe estimarse por separado y su magnitud variará según la naturaleza del proyecto.

⁸¹ Ingeniería Industrial Online (2018). *Método de distribución y redistribución en planta.*

Tabla 80 - Componentes de la inversión fija.

Componentes directos	
Gastos de estudio e investigaciones	Antes de decidir o apoyar la construcción del proyecto se deben efectuar los estudios económicos correspondientes, incluyendo viajes previos, encuestas de mercado, investigaciones.
Equipos principales	Es necesario especificar la capacidad, el tipo, el modelo, y el material de construcción del equipo y si el presupuesto de los mismos contemplan la instalación y gastos de envío.
Instalación de equipos	El costo de instalación es función de la complejidad del equipo y del tipo de planta donde se lo instala, variando desde el 20% al 55% del precio de compra del equipo.
Compra e instalación de cañerías	Los gastos en cañerías varían ampliamente dependiendo del tipo de proceso y las condiciones.
Instrumentación y control	Incluye la compra, instalación y calibración de todos los equipos auxiliares e instrumentos para control y registro de las distintas variables del proceso en cada una de sus etapas.
Instalación eléctrica	Consiste en mano de obra y materiales necesarios para suministrar potencia e iluminación al proceso, mientras que los costos para la iluminación de los edificios de servicios están incluidos, normalmente, en los costos de los servicios auxiliares.
Construcción	Incluye los gastos de mano de obra, materiales y suministros involucrados en la construcción de todos los edificios conectados con la planta. Se incluyen los servicios para los edificios de plomería, instalación eléctrica.
Servicios auxiliares	Incluye todas las estructuras, equipos y servicios que no entran directamente en el proceso, tales como vapor, agua, electricidad, aire comprimido y combustibles.

Terreno y mejora del terreno	Está relacionado con la ubicación, dependiendo si la zona es rural o industrializada. El valor del terreno no decrece con el tiempo, por ello no se incluye en la inversión fija cuando se estima el costo anual de la depreciación.
Gastos de puesta en marcha	Comprende el periodo de tiempo entre la finalización nominal de las obras y la producción en régimen normal, el cual puede durar desde unas semanas hasta varios meses. En ese lapso se incurre en una serie de gastos, los cuales pueden ser divididos en gastos de construcción y costos de operación durante la puesta en marcha.
Intereses durante la construcción	El capital requerido para la materialización del proyecto es propio.
Componentes Indirectos	
Ingeniería y supervisión	Estos gastos corresponden no sólo al pago de los servicios técnicos y administrativos necesarios para dirigir y administrar el proyecto durante la construcción, sino también incluyen todo el trabajo de ingeniería general, confección de planos y las actividades necesarias para preparar los planos finales de construcción y especificaciones para licitar o contratar diversas tareas o equipos.
Gastos de construcción	Son aquellos costos necesarios para que la construcción de la planta se realice sin dificultad. Normalmente incluye ingeniería de campo, abastecimientos, equipos de construcción, servicios temporarios.
Honorarios del contratista	Varían para diferentes situaciones y pueden ser nulos cuando es la misma empresa la que se encarga de la construcción y montaje del proyecto.
Contingencias	Este factor compensa los acontecimientos imprevistos.

Fuente: Apunte teórico, cátedra de Ingeniería Económica. (2017). UNMDP.

Método de estimación por factores

Es un método mediante el cual puede extrapolarse la inversión fija de un sistema completo a partir del precio de los equipos principales del proceso con instalación (Chilton, 1949) y determinar una estimación de la inversión fija con un error del 10-15% del valor real.

Tabla 81 - Factores experimentales como fracción de la inversión de equipos.

Costos Directos		f _D	Valor	Justificación
Tuberías de procesos	Procesos de sólidos	0,07 - 0,10	0,20	En la mayoría de las cañerías se procesan líquidos con sólidos en suspensión.
	Procesos mixtos	0,10 - 0,30		
	Procesos de fluidos	0,30 - 0,60		
Instrumentación	Control poco automatizado	0,02 - 0,05	0,075	Se tienen distintos tipos de controladores en la mayoría de los equipos, tales como, control por relación, indicadores de pH temperatura, presión.
	Control parcialmente automatizado	0,05 - 0,10		
	Control complejo, centralizado	0,10 - 0,15		
Edificios de fabricación	Construcción abierta	0,05 - 0,20	0,4	Parte de los procesos se lleva a cabo al aire libre, mientras que el procesamiento de la materia prima se hace bajo techo.
	Construcción semiabierta	0,20 - 0,60		
	Construcción cerrada	0,60 - 1,00		
Plantas de servicios	Escasa adición a las existentes	0,00 - 0,05	0,15	El parque industrial cuenta con los servicios de luz, agua y gas natural.
	Adición considerable a las existentes	0,05 - 0,25		
	Plantas de servicios totalmente nuevas	0,25 - 1,00		
Conexiones entre unidades	Entre las unidades de servicios	0,00 - 0,05	0,20	Las zonas de procesos de la planta se encuentran separadas por razones de seguridad.
	Entre unidades de proceso separadas	0,05 - 0,15		

	Entre unidades de proceso dispersas	0,15 - 0,25		
--	--	-------------	--	--

Tabla 82 - Factores experimentales como fracción de la inversión directa.

Costos Indirectos		Rango	Valor	Justificación
Ingeniería y construcción	Ingeniería inmediata	0,20 - 0,35	0,425	Los procesos son complejos y especializados.
	Ingeniería compleja	0,35 - 0,50		
Factores de tamaño	Unidad comercial grande	0,00 - 0,05	0,025	Por el tamaño y producción de la planta es una unidad comercial grande.
	Unidad comercial pequeña	0,05 - 0,15		
	Unidad experimental	0,15 - 0,35		
Contingencias	De la compañía	0,10 - 0,20	0,25	Se atribuye las contingencias a causa de variaciones imprevistas.
	Varias imprevistas	0,20 - 0,30		
	Procesos exploratorios	0,30 - 0,50		

Equipos

A continuación se detalla el costo de inversión de cada uno de los equipos. En los casos en donde no se cuenta con el precio del equipo actualizado, se recurre al uso de los índices de costos.

Un índice de costos es un número adimensional que muestra la relación entre el precio de un bien en un tiempo dado y el precio del mismo bien en un tiempo llamado "base". Si se conoce el precio pasado en una fecha determinada, el precio presente se puede calcular utilizando el índice a tiempo presente (1593.7 para el año 2017)⁸²:

$$Valor\ a\ tiempo\ presente = Valor\ a\ tiempo\ base \cdot \frac{Indice\ a\ tiempo\ presente}{Indice\ a\ tiempo\ base}$$

⁸² Marshall & Swift. (2017). Inventory Index Factors for 2017.

Así mismo, si no se encuentra el equipo con la capacidad requerida, se afectará el valor a través del factor costo-capacidad, siendo el mismo igual a 0,67.⁸³

$$\text{Valor equipo requerido} = \text{Valor del equipo conocido} \cdot \left(\frac{\text{Capacidad requerida}}{\text{Capacidad conocida}} \right)^{0,67}$$

Para poder determinar la inversión de la planta, se busca los precios y capacidades de los equipos en sus respectivos catálogos. En algunos casos se utilizan los software online Matches (2014) y McGraw Hill Higher Education (MHHE) de estimación de costos y el libro Chemical Process Equipment (Walas, S. M., 1990).

Se priorizaron los equipos de fabricación nacional, para contribuir a la conservación y creación de empleos, fortalecer nuestra moneda y evitar que se siga devaluando frente al dólar. Además, se ahorran los impuestos a la importación. También se tiene en cuenta que de necesitar servicios técnicos y repuestos, estos se obtienen en menor tiempo que si fueran importados.

Se adquieren equipos extranjeros, sólo cuando no se encontraron en nuestro país o la capacidad del equipo de producción nacional estaba por debajo de los requisitos del proceso. Los gastos de aduanas y fletes terrestres se compensan por un menor número de máquinas que realizar varios trabajos en conjunto, por ejemplo, si se usarán máquinas nacionales en la etapa de lavado y picado, se deberían comprar 27 equipos para lavar y otros 20 para picar.

Se aseguró que los equipos extranjeros cuenten con oficinas técnicas en el país.

Tabla 83 - Lista de equipos y precios.

Equipo	Capacidad necesaria	Capacidad del equipo	Nº de unidades	Área requerida m ²	Área total m ²	Precio unitario [US\$]	Precio total [US\$]	Referencia
Báscula	Pesar 10 camiones por hora	Tiempo por camión: 20min	5	100	500	6.621	33.105	Balanza Electronicas Hook (2018). Ind Nac.
Tolva	4315,2 Ton/h	446 Ton	10	53,19	531,9	1470	14.700	Construcción local.
Cinta transportadora	539,4 Ton/h	250 Ton/h	10	4,8	48	2.110	21.100	Agretek S.A (2018.) Ind Nac.
Lavadora y picadora	539,4 Ton/h	80 Ton/h	7	41,6	291,2	210.000	1.470.000	Crossagrieng (2018). Irlanda.
Banda transportadora	523,5Tn/h	135 Ton/h	4	30	120	8.000	32.000	Key Technolog (2018).

⁸³ Apunte teórico, cátedra de Ingeniería Económica. (2017). UNMDP.

DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

Capítulo 10. Análisis económico

Difusor horizontal	523,5Tn/h	187,5 Ton/h	3	193,02	579,06	800.000	2.400.000	BMA (2018). Alemania. Servicio post venta en Tucuman, Arg.
Prensa	162,4Tn/h	31,25 Ton/h	6	14	84	20.000	120.000	Refil (2018). Ind Nac.
Secador solar	162,4Tn/h	25Tn/h	8	200	1600	7.418	59.344	Nahiel (2018). Ind Nac.
Peletizadora	162,4Tn/h	35 Ton/h	5	20	100	21.500	107.500	IPeCo (2018). Ind Nac.
Aspiradora	162,4Tn/h	35 Ton/h	5	12,56	62,8	81000	405.000	DENA (2015). Distribuidor Nac
Silos de acero	7795 Ton (en 2 días)	100 0Tn	8	21,23	169,84	2.843	22.744	Silos Menonitas. Agroads (2018). Ind Nac.
Tanque Madre	497 m ³	250 m ³	2	75,42	150,84	9.620	19.240	Affinity (2018). Ind Nac
Tanque NaOH		4,5 m ³	10	6	60	1.247	12.470	Duraplas SRL (2018). Ind Nac.
Tanque H ₂ SO ₄		4,5 m ³	10	6	60	2.500	25.000	Affinity (2018). Ind Nac
Aireación	3000 m ³ /h	3960 m ³ /h	1	0	0	5.270	5.270	Kaeser (2018)
Reactor de fermentación	6323 m ³	3200 m ³	2	169,7	339,4	750.000	1.500.000	Henan Realtop Machinery Co., Ltd. (2018). China.
Agitadores	29,84 HP	30HP	8	0	0	7.972	63.776	Crismet (2018). Ind Nac.
Centrífuga	497 m ³	160 m ³ /h	4	12,54	50,16	75.500	302.000	Vortecnica (2018). Distribuidor y Post-venta Nacional.
Destilador (las 3 torres)	497 m ³	497 m ³	3	38,48	115,44	1500000	4.500.000	Feicheng Junta Machiner y Co., Ltd. (2018). China.
Válvula reductora de presión	1 - 0,4 atm	1 - 0,4 atm	1		0	24642	24.642	Cosmoplas (2017).Distribuidora Nac.
Bomba Glicerol	450m ³ /h	450m ³ /h	1	1	1	9800	9.800	Goulds Pumps. Cosmoplas (2017). Distribuidora Nac.
Tanque para etanol	7990	1000m ³	8	176,6	1412,8	200.454	1.603.632	Affinity (2018). Ind Nac
Tanque desnaturalizante	3000 m ³	500 m ³	6	176,7	1060,2	11.199	67.194	Tia Inox SA (2018). Ind Nac.

intercambiadores		1	50	50	25.315	25.315	Argenfrio SAIC (2018). Industria Nacional. Distribuidor Oficial. Chemical Process Equipment (1990) Estimación de costos.	
		1	50	50	48.840	48.840		
		1	50	50	52.850	52.850		
		1	50	50	35.646	35.646		
Controlador e indicador de temperatura	Para fluidos y temp. máximas varias	20	0	0	300	6.000	Wika (2018) Ind y Distr. Nac.	
Controlador e indicador de presión	Para líquidos y gases	6	0	0	200	1.200	MHHE	
Controlador e indicador de nivel		Para fluidos varios	5	0	0	1.290	6.450	Estimación de costos
Transmisor de flujo		Para fluidos varios	5	0	0	1.000	5.000	
Controlador e indicador de pH		Para fluidos varios	5	0	0	650	3.250	Prominent (2018). Distr. Nac.

La Inversión en equipos sin instalar es igual a **US\$ 13.530.624**. Los equipos que se deban importar se detallan en términos de FOB (Free on board), cláusula de comercio internacional que se utiliza para operaciones de compraventa en las que el transporte de la mercancía se realiza por barco. A estos equipos, se les añade un porcentaje de su costo en base a costos de nacionalización y flete, dichos costos varían del 20 al 30% del total de equipos importados. Se considera el 30%.

Por lo tanto, afectando sólo a los equipos extranjeros, el total de la inversión en equipos sin instalar es de **US\$ 14.464.237,06**.

Para determinar el costo de instalación de los equipos, se consideran de ingeniería compleja, debido al diseño, condiciones de operación y control riguroso, por lo tanto el costo de instalación será tomado como el 30% del costo de los equipos.

El valor de la inversión de equipos e instalación (**I_E**) es de **US\$ 18.803.508,17**.

Luego, se obtiene el valor de la inversión fija (I_F), mediante los factores elegidos en las Tablas 83 y 84.

$$I_F = I_E \cdot \left(1 + \sum f_D\right) \cdot \left(1 + \sum f_i\right)$$

Tabla 84 - Resumen Inversión fija.

Factor de Inversión directa	1,025
Factor de Inversión indirecta	0,7
Inversión fija	US\$ 64.731.076,88

Se obtiene que la Inversión Fija Total es:

$$I_{FT} = I_F + \text{Terreno}$$

$$I_{ft} = \text{US\$ } 73.698.163,88$$

10.2.2. Capital de trabajo

El capital de trabajo (I_w) es la disponibilidad de capital necesario para, que una vez que la planta esté en régimen de operación, pueda hacerlo de acuerdo a lo previsto en los estudios técnico-económicos. Este capital está compuesto por: inventarios de materias primas, productos en curso de elaboración, stock de repuesto, caja o efectivo de pagos de materias primas, salarios, servicios, entre otros. Se calcula como el 10% de la Inversión Fija Total.

$$I_W = 10\% \cdot I_{FT}$$

$$I_w = \text{US\$ } 7.369.816,388$$

10.2.3. Inversión total

Finalmente, la Inversión Total de la planta de bioetanol es:

$$I_T = I_W + I_{FT}$$

$$I_t = \text{US\$ } 81.067.980,27$$

Se compara el valor obtenido con otros estudios de viabilidad económica. Una planta de producción de bioetanol a partir de maíz, con una producción de 75.000 m³/año, necesita una inversión total inicial de US\$160 millones.⁸⁴ Una planta a partir de caña de azúcar, con una producción de 85.500 m³/año necesita una inversión total de US\$ 69.442.995.⁸⁵

10.3. Costos de operación (OpEx)

Los costos de producción o costos de operación son los gastos involucrados en mantener un proyecto. Estos se dividen en dos categorías: costos variables, que son proporcionales a la producción y los costos fijos que son independientes de la producción.

10.3.1. Costos variables

Los costos variables se calculan por m³ de etanol producido, siendo la producción de etanol 32,23 m³/hora, dando un total 232.056 m³/año.

Materia Prima

Este rubro está integrado por los gastos en las materias primas principales y subsidiarias que intervienen directa o indirectamente en el proceso. Para poder estimar este costo, es necesario conocer las cantidades de materias primas requeridas y los precios de las mismas.

⁸⁴ Finlay, D. A. S. (2010). *Estudio exploratorio para la producción de bioetanol y co-productos de biorefinería, a partir de rastrojos de maíz.*

⁸⁵ Velásquez-Riascos, Y., & López, J. E. (2016). *Estudio de prefactibilidad para el diseño de una planta de etanol a partir de residuos de cosecha de caña de azúcar.*

Tabla 85 - Materias primas y sus costos.

Materia Prima	Cantidad	Precio	Fuente
Remolacha azucarera	3.883.928 Ton/año	29,27 US\$/Ton	www.lavanguardia.com
Levaduras Saccharomyces Cerevisiae	29.308 Ton/año	450 US\$/Ton	www.alibaba.com

En el proceso de acondicionamiento del jugo se utilizan soluciones de hidróxido de sodio y ácido sulfúrico para regular el pH. En la destilación extractiva se requiere glicerol como solvente, el cual recorre un circuito cerrado. Tanto este solvente, como las soluciones reguladoras son insumos del proceso y se consideran como costos fijos, ya que los mismos son de reposición anual.

Materia prima= US\$ 113.712.345

Mano de obra

Incluye los sueldos de los empleados cuyos esfuerzos están directamente asociados al producto elaborado. Al costo básico de la hora-hombre que se estima de acuerdo a los convenios laborales vigentes deberán adicionarse las cargas sociales que están a cargo del empleador, siendo los más importantes: aguinaldo, vacaciones, ropa de trabajo, salario familiar, seguro.

Para estimar la cantidad de mano de obra expresada en horas-hombre por día se utiliza el método de Henry Wessel que relaciona las etapas en el proceso y la producción.

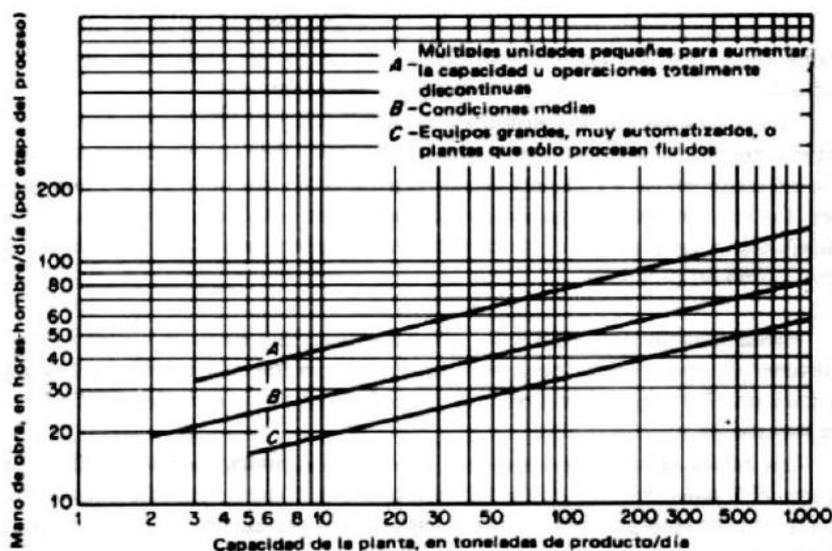


Gráfico 6 - Método Henry- Wessel.

Fuente: Apuntes de la cátedra Ingeniería Económica.

El eje de las abscisas representa la capacidad de la planta expresada en toneladas / día y el eje de las ordenadas los requerimientos de mano de obra por día y por etapa. La línea superior del gráfico (A) se aplica para procesos discontinuos, mientras que la inferior (C) es utilizada para procesos continuos altamente automatizados. La del medio (B) trata de representar las condiciones intermedias.

Por las características de nuestra planta, se utiliza la recta C. La capacidad de la planta es de 612 Tn/día, considerando solo la producción de etanol y no la de subproductos. En la planta se pueden diferenciar 8 etapas, 1) recepción; 2) lavado y picado; 3) extracción; 4) fermentación; 5) tren de destilación; 6) almacenamiento del etanol; 7) Caldera ; 8) torre de enfriamiento.

Utilizando el gráfico, da un resultado de 50 hora-hombre/día (por etapa de proceso), es decir 400 hora-hombre/día.

La planta tiene un régimen de producción de 24 hs, 300 días al año. Los operarios trabajan 8 horas por día con un franco semanal. Por lo tanto, se necesitan 4 turnos con el fin que se encuentren 3 turnos en operación y uno para cubrir francos. Para cumplir con lo establecido por Wessel, cada turno contará con 17 empleados, en total 68 operarios rotativos.

El salario promedio es de 30.000 \$/mes por operario (810,81 US\$/mes), estipulados por la Federación Argentina de Petróleo, Gas y Biocombustibles. Además, deberán adicionarse las cargas sociales que están a cargo del empleador. Esto se estima como el 50% del sueldo. Y se considerarán un mes adicional, que contempla el aguinaldo.

Se obtiene:

$$\text{Costo de mano de obra (con carga soiales)} = \text{US\$ } 1.075.120,8$$

Supervisión

Comprende los salarios del personal responsable de la supervisión directa de las distintas operaciones. La cantidad de trabajo de este tipo está estrechamente vinculada con la cantidad total de mano de obra, la complejidad de la operación y los niveles de calidad de los productos.

El costo de supervisión puede considerarse como el 10-20 % del costo de la mano de obra. Como se considera que los operarios a cargo de la supervisión tendrán una capacitación y formación especial, se toma el 20%:

$$\text{Costos de supervicion} = \text{US\$ } 215.024,16$$

Mantenimiento

Incluye los costos de materiales y mano de obra, empleados en rutinas o reparaciones accidentales y, en algunos casos, la revisión de equipos y edificios.

Debido a que la planta debe ser verificada en cuanto a sus condiciones de operación con frecuencia, se considerará a los costos de mantenimientos como el 10% de la Inversión Fija, lo que supondría que el costo de mantenimiento es un costo fijo, pero en realidad es un costo semi-variable.

$$\text{Costo de mantenimiento} = \text{US\$ } 6.473.107,688$$

Suministros

Incluye los materiales usados por la planta industrial excluyendo las materia prima. Estos pueden ser los aceites lubricantes para las bombas, material de vidrio, guantes, reactivos, material para limpieza. Se estima como un 1% de la Inversión Fija.

$$\text{Costos de suministros} = \text{US\$ } 64731,07688$$

Laboratorio

Incluye el gasto de los ensayos de laboratorio para el control de las operaciones y el control de la calidad del etanol, siendo este riguroso para cumplir con las normas. Se estiman entre el 2- 20 % del costo de las mano de obra con cargas sociales, eligiendo los costos de laboratorio como el 20% del costo de mano de obra.

$$\text{Costo de laboratorio} = \text{US\$ } 215024,16$$

Servicios

Contempla los servicios que se requieren para realizar la producción del bien. Para la estimación del costo de producción es necesario determinar para cada servicio requerido, el consumo y el precio.

Tabla 86 - Precio de los servicios.

Servicio	Consumo	Consumo	Precio	Costo [US\$/año]	Referencia
Agua	644.851 m ³ /año	Cargo Fijo	88,82 US\$/año	7.320.351	OSSE San Juan, Agua de Catamarca*
		Exceso mayor a 50 m ³ al mes	8,88 US\$/m ³ año		
		Tasa de Fiscalización	2%		
		Tasa Municipal	6%		
		IVA	21%		
Electricidad	22317840 Kw / año	Cargo Fijo	506,04 US\$/año	1.562.754,8	Energía San Juan
		En horas de punta	0,07 US\$/kW		

No se cuenta con el costo de gas natural, ya que la caldera funciona con biomasa.

$$\text{Costos de servicios} = \text{US$/año } 8.883.106,7$$

Regalías y patentes

Debido a la naturaleza de la planta y de los productos generados, no se considera costo de regalías y patentes.

Costos variables totales

Sumando todas las categorías anteriores, se obtiene el costo variable total, a partir del cual se puede obtener el costo variable unitario dividiendo el número anterior por la producción anual de etanol.

$$\text{Costo variable total} = \text{US$/año } 131.221.039,47$$

$$\text{Costo variable de producción} = \text{US$/m}^3 \text{ } 565,34$$

10.3.2. Costos fijos

Para su cálculo, se tiene en cuenta, para aquellos costos que dependen de los ingresos anuales por ventas, solo la venta por el etanol producido. El subproducto de pulpa de remolacha generado de las cosetas agotadas se venden como pienso para ganado por su alto contenido en proteínas y minerales.⁸⁶ El dinero que ingrese por dicho producto solo se tiene en cuenta en la sección Cuadro de Usos y Fuentes, como ingreso por ventas. El valor de la tonelada de pellet es de US\$ 124, tomando la cotización del pellet de alfalfa por ser el de mayor producción y venta en Argentina.⁸⁷

Depreciación

Los bienes adquiridos van perdiendo valor a medida que crece su antigüedad. Se contabiliza la depreciación de los equipos distribuyendo su costo de compra durante la vida del bien en los registros contables, y de esta manera no se computa el precio de compra completo de un nuevo bien como un gasto registrado por única vez. Para calcular este costo, se elige el método de la línea recta, dado que es el método utilizado por el gobierno argentino para los impuestos.

La depreciación en línea recta supone una depreciación constante, una alícuota periódica de depreciación invariable. Se toma una vida útil de 15 años, considerando el alto costo de inversión que se tiene y que se trata de una planta cuyo objetivo es el reemplazo de un porcentaje de la energía utilizada por energía renovable.

$$\text{Costo anual de depreciación} = (I_f - L)/n$$

Donde n es a vida útil de equipos e instalaciones en años (n=15) y L es el valor de reventa o residual al final de la vida útil de un bien, considero nulo al final de este período.

$$\text{Costo de depreciación} = \text{US\$/año } 4.315.405,13$$

Impuestos

Corresponden a impuestos fijos a la propiedad. El monto anual de este rubro se puede estimar como el 1,5 % de la Inversión Fija.

$$\text{Costos de impuestos} = \text{US\$/año } 970.966,153$$

⁸⁶ Piensos Santa Cruz. (2013). *Pulpa de remolacha en pellet*.

⁸⁷ Todo Alfalfa. (2018). *Pellet de alfalfa a granel*.

Seguros

Se incluyen seguros sobre la propiedad (incendio, robo parcial o total), para el personal y para las mercaderías (pérdidas parciales, totales), jornales caídos, entre otros. El monto anual de este rubro se puede estimar entre el 0,5 al 1% de la Inversión Fija.

Se opta utilizar el 1% de la inversión fija, ya que la planta cuenta con varias zonas inflamables.

Costos de seguro= 647.310,769 US\$/año

Financiación

La provincia de San Juan cuenta con un plan de financiamiento para nuevas empresas, pero no se especifican valores para este tipo de industrias. Por lo tanto la inversión es con capital propio, por lo que no se tendrán en cuenta costos de interés por compensación del uso de capital prestado durante una hipotética financiación del proyecto.

Venta y distribución

Este componente del costo de producción incluye los salarios y gastos generales de oficinas de ventas, los salarios, comisiones y gastos de viaje para empleados del departamento ventas, los gastos de embarque y transporte, los gastos extras asociados a las ventas, los servicios técnicos de venta y la participación en ferias, entre otros.

Debido a que la planta no contará con gastos de embarque o distribución ya que los clientes serán los encargados de recoger el producto en camiones cisterna, se considera a estos gastos como el 1% ingresos anuales por ventas.

Se calcula el valor de venta como un promedio entre los valores de bioetanol producido a partir de caña de azúcar y de maíz en el mes de mayo en el país⁸⁸, siendo el precio igual a 545 US\$/m³.

Costo de venta= 1.264.705,2 US\$/año

⁸⁸ Ministerio de Energía. (2018). *Reporte de precios Bioetanol*.

Dirección y administración

Incluye todos los gastos de la administración de la empresa, como los salarios del personal administrativo y los gastos generales tanto de insumos como de servicios (telefonía, internet, limpieza de oficinas, seguridad, servicio de medicina laboral). Además, contempla los gastos de dirección de la empresa, como el salario de la conducción superior (presidente de la compañía, gerentes), el pago a servicios de asesoramiento legal, contable y de auditoría.

Este costo se puede estimar como un porcentaje 20 a 40% del costo de mano de obra directa, considerando una del producción del 100%. Se supone contar con gastos de moderados a altos, los cuales corresponderá a un 35% de los costos de mano de obra.

Costos de dirección y administración = 376.292,28 US\$/año

Investigación y desarrollo

Estos costos incluyen gastos por actividades de investigación y desarrollo orientadas a la innovación de los productos y procesos, los mismos incluyen salarios del personal de investigación, gastos fijos y de operación de toda la maquinaria y equipos utilizados, el costo de materiales y suministros, gastos generales directos y costos varios. Se considera a estos costos como un 1% de los ingresos por ventas ya que se presume que los gastos de investigación no serán importantes al no tener necesidad de mejorar el proceso.

Costo de investigación y desarrollo= 1.264.705,2 US\$/año

Costos fijos totales

Sumando todas las categorías anteriores se obtiene el costo fijo total, a partir del cual se puede obtener el costo fijo unitario dividiendo el número anterior por la producción anual en m³.

Costo Fijo Total= 8.839.384,73 US\$/año

Costo fijo unitario = 38,09 US\$/m³

10.3.3. Costos totales

Los costos de operación totales se obtienen sumando los costos fijos y los costos variables. A continuación, se muestran los costos de operación totales y unitarios, junto con la distribución de costos fijos y variables.

Costo de operación Total= 140.060.424 US\$/año

Costo total unitario= 603,4 US\$/m³

10.4. Rentabilidad

Para estimar la rentabilidad, debe conocerse el flujo de caja (FC), el cual es un informe financiero que presenta en detalle los flujos de ingresos y egresos de dinero que tiene una empresa en un período dado.

A partir de los cálculos de los flujos de caja, puede estimarse la rentabilidad de acuerdo a distintos métodos. En este trabajo se realizarán estimaciones a partir del cálculo del tiempo de repago (nR), la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente (VP).

El tiempo de repago (nR) es un criterio estático de valoración de inversiones, permite seleccionar un determinado proyecto sobre la base de cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja.

La tasa interna de retorno (TIR) de una inversión es la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica el supuesto de una oportunidad para "reinvertir". Se conceptualizan como la tasa de descuento con la que el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad. Este valor se compara con una tasa mínima o tasa de corte, la cual se considera igual a la tasa de rentabilidad libre de riesgo. Si la tasa de rendimiento del proyecto, expresada por la TIR, supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

$$VPN = 0 = \left[\sum_{j=1}^N \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} \right] - I_T$$

Donde, N es la vida útil del proyecto, j es el año (variable), FCj el flujo de caja anual, y I_t es la Inversión Total. En el último periodo, el flujo de caja debe contener la inversión en capital de trabajo y el terreno.

El valor presente (VP), permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros o en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Dicha tasa de actualización (k) o de descuento (d) es el resultado del producto entre el coste medio ponderado de capital y la tasa de inflación del periodo. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado.

10.4.1. Cuadro de Usos y Fuentes

A continuación, se confecciona el cuadro de usos y fuentes en cual facilita la visualización de la información financiera del proyecto.

Tabla 87 Usos y fuentes

Porcentaje de Operación	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Año	1	2	3	4	5	6
Fuente						
Inversión Total	\$ 81.067.980,3	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Crédito	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Ventas Netas	\$ 126.470.520	\$ 126.470.520	\$ 126.470.520	\$ 126.470.520	\$ 126.470.520	\$ 126.470.520
TOTAL (A)	\$ 207.538.500	\$ 126.470.520	\$ 126.470.520	\$ 126.470.520	\$ 126.470.520	\$ 126.470.520
Usos						
Inversión Fija	\$ 73.698.163,8	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Capital de Trabajo	\$ 64.731.076,88	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Costos de Producción	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00
TOTAL (B)	\$ 278.489.665	\$ 140.060.424	\$ 140.060.424	\$ 140.060.424	\$ 140.060.424	\$ 140.060.424
SALDO (A) - (B)	-\$ 70.951.164,4	-\$ 13.589.904,0	-\$ 13.589.904,0	-\$ 13.589.904,0	-\$ 13.589.904,0	-\$ 13.589.904,0
Impuestos	-\$ 24.832.907,5	-\$ 4.756.466	-\$ 4.756.466	-\$ 4.756.466	-\$ 4.756.466	-\$ 4.756.466
Beneficio Neto	-\$ 46.118.256,9	-\$ 8.833.437,6	-\$ 8.833.437,6	-\$ 8.833.437,6	-\$ 8.833.437,6	-\$ 8.833.437,6
Depreciación	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13
FLUJO DE CAJA	-\$ 41.802.851,7	-\$ 4.518.032,5				

En este cuadro solo se tuvo en cuenta lo ingresos de venta de la producción de bioetanol, se puede observar que el flujo de caja es negativo todos los años, para que esta inversión sea rentable, se analiza vender como subproducto, los pellets de remolacha, el excedente de la alimentación de la caldera.

A continuación se muestra el nuevo cuadro de usos y fuentes:

Detalle de Operación	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Año	1	2	3	4	5	6	7
Fuente							
Inversión Total	\$ 81.067.980,3	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Crédito	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Ventas Netas	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411
TOTAL (A)	\$ 337.020.391	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411	\$ 255.952.411
Usos							
Inversión Fija	\$ 73.698.163,8	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Capital de Trabajo	\$ 64.731.076,88	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Costos de Producción	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00	\$ 140.060.424,00
TOTAL (B)	\$ 278.489.665	\$ 140.060.424	\$ 140.060.424	\$ 140.060.424	\$ 140.060.424	\$ 140.060.424	\$ 140.060.424
SALDO (A) - (B)	\$ 58.530.726,6	\$ 115.891.987,0	\$ 115.891.987,0	\$ 115.891.987,0	\$ 115.891.987,0	\$ 115.891.987,0	\$ 115.891.987,0
Impuestos	\$ 20.485.754,3	\$ 40.562.195	\$ 40.562.195	\$ 40.562.195	\$ 40.562.195	\$ 40.562.195	\$ 40.562.195
Beneficio Neto	\$ 38.044.972,3	\$ 75.329.791,6	\$ 75.329.791,6	\$ 75.329.791,6	\$ 75.329.791,6	\$ 75.329.791,6	\$ 75.329.791,6
Depreciación	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13	\$ 4.315.405,13
FLUJO DE CAJA	\$ 42.360.377,4	\$ 79.645.196,7	\$ 79.645.196,7	\$ 79.645.196,7	\$ 79.645.196,7	\$ 79.645.196,7	\$ 79.645.196,7

Es este caso, se puede observar que si se comercializa las cosetas deshidratadas, se obtiene un flujo de caja positivo desde el primer año de inversión. Se estimó el valor de depreciación en 15 años, pero en la figura solo se muestran los primeros años, repitiéndose el mismo valor para el resto.

Tiempo de repago (nR)

Se define como el mínimo periodo de tiempo teóricamente necesario para recuperar la inversión fija depreciable en forma de flujo de caja del proyecto.

En el caso de este proyecto los flujos de caja varían de un año a otro, por lo tanto se debe utilizar el método gráfico.

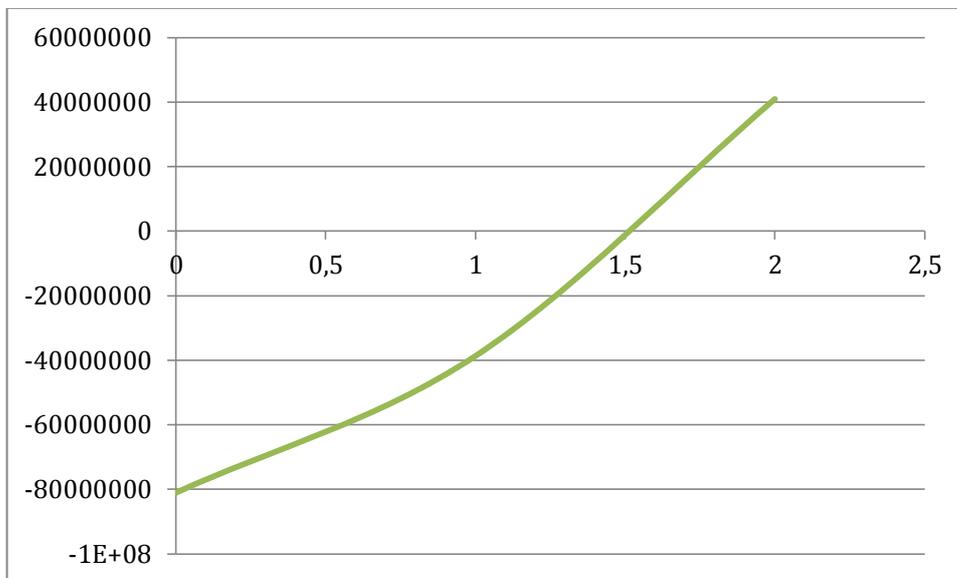


Gráfico 7 - Tiempo de repago.

Se puede observar el gráfico, de donde se concluye que nR=1,5 años aproximadamente.

Tasa interna de Retorno (TIR)

Se establece la tasa de interés que se debe aplicar anualmente al flujo de caja, de manera que la inversión original sea igual a cero, obteniendo la máxima tasa de interés que podría pagarse para obtener el dinero necesario para financiar la inversión.

$$TIR=0,892$$

Valor presente (VP)

Se compara los valores presentes de todos los flujos de caja con la inversión original. El valor presente es igual a la diferencia entre la suma del valor presente de los flujos anuales de fondos y la inversión inicial total. El valor del terreno y el capital de trabajo se incluyen en el flujo de caja del último año.

$$VP = \left[\sum_{j=1}^N \frac{FC_j}{(1+TRMA)^j} \right] - I_T$$

$$VP= \text{US\$ } 142.748.771,363.$$

Dónde TRMA es la Tasa de Rentabilidad Mínima Aceptable (considerada TRMA=30%).

10.5. Cronograma de actividades

El objetivo es presentar un cronograma preliminar del proyecto. Una herramienta útil es el diagrama de Gantt, en el mismo, se expone el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado.

A continuación se presenta el cronograma de la planta productora de bioetanol, donde se desarrollan las metas a corto y mediano plazo, de modo de organizar la gestión y realizar una proyección razonable de los tiempos de consecución del proyecto.

Tabla 88 - Cronograma.

Etapas del proyecto/Meses	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Idea principal- búsqueda de información	■											
Evaluación del impacto socio-económico	■											
Desarrollo del proyecto		■										
Caracterización del sustrato		■										
Desarrollo del proyecto- Ingeniería básica			■	■								
Desarrollo del proyecto- Ingeniería intermedia					■	■						
Desarrollo de planta piloto- optimización de los parámetros operativos					■	■	■					
Desarrollo del proyecto- Ingeniería en detalle							■	■				
Adquisición y acondicionamiento del terreno							■					
Construcción de obra civil								■	■			
Compra y recepción de equipos										■		
Instalación de equipos e interconexiones										■		
Instalación de servicios										■		
Compra e instalación de mobiliarios											■	
Selección y reclutamiento del personal									■			
Capacitación del personal										■	■	

Compra de materias primas													
Aprobación de organismos pertinentes													
Puesta en marcha													

10.6. Plan de negocios

El plan de negocios permite abordar las oportunidades y obstáculos esperados e inesperados que puede enfrentarse el proyecto desde el periodo de puesta en marcha y a lo largo de toda su vida útil.

Se analiza el entorno competitivo particular de este negocio, el nicho de mercado y las particularidades que hacen que la producción de bioetanol sea una opción viable a nivel industrial.

Los objetivos del plan de negocios es hacer foco en cuestiones tales como

- Determinar cuáles son las oportunidades de negocio más prometedoras para la empresa.
- Señalar cómo participar más activamente en los mercados.
- Establecer objetivos, programas, estrategias y planes a seguir, que permitan controlar mejor el desarrollo futuro de la empresa.
- Establecer una base firme para planificar todas las actividades de la empresa.
- Estimular un uso más racional de los recursos.
- Facilitar el control y medición de los resultados.
- Crear conciencia de los obstáculos que se deben superar.
- Proveer una fuente de información para referencias actuales y futuras.
- Mantener a todos los miembros de la empresa orientados hacia la rentabilidad.
- Evaluar estrategias alternas.
- Crear el marco general financiero de la empresa.
- Determinar cuáles son las áreas más importantes que se deben controlar.

Como política de la empresa, estos puntos se revisan, mejoran y cambian a medida que la planta crece durante la vida útil de la misma.

10.6.1. Análisis FODA

A partir de este análisis se identifican o determinan fortalezas y debilidades de la organización. En cuanto a fortalezas internas de la misma, se pueden identificar las siguientes:

- Ubicación estratégica: Se encuentra en zonas aptas para el cultivo, sobre una ruta nacional de gran acceso y conectividad con las provincias aledañas y posee dos rutas directas a Chile, lo que posibilita la exportación a este país y garantiza futuros negocios con países del Pacífico.
- Buena calidad de productos: El uso de tecnología, principalmente en la purificación del bioetanol, genera un producto que cumple con los requerimientos específicos para su implementación en el corte de nafta.
- Producción local y reactivación del empleo rural.
- Capital propio y planes de financiación de la provincia disponibles.

Las debilidades propias de la planta, se pueden identificar:

- Falta de experiencia en la producción y en la red de comercialización. Al tratarse de un proyecto nuevo, no se tiene la suficiente experiencia ante inconvenientes que puedan surgir en alguna parte del proceso.
- Falta de reconocimiento y promoción en mercado nacional o carencia de marca reconocida.
- Lejanía con puertos que posibilitan la comercialización por el Atlántico.
- Gran uso de agua potable: si bien el proyecto se aleja del consumo diario de la industria más grande de la Provincia (la minera Barrick Gold, con 9 millones de litros al día de agua potable), siempre se pondrá en discusión la huella de carbono que deja la industria y el costo-beneficio ambiental que se genera.

Analizando el contexto del mercado en el cual se intenta ingresar, se pueden señalar como oportunidades los siguientes factores:

- Existencia de una baja competencia: a nivel provincial no se cuenta con competencia de producto ni nivel de producción, siendo este último mayor del total nacional.
- Proyecciones de aumento de demanda a futuro: por requisitos políticos y ambientales, se prevé un mayor uso de este tipo de combustible.

Pueden distinguirse las siguientes amenazas:

- Dependencia de materia prima a total disposición: para mantener la máxima producción de etanol, se depende de las buenas cosechas de remolacha. Una prolongada sequía o un fenómeno de granizo, podrían dañar parte de la cosecha y por ende, la producción.
- Falta de promoción nacional: Si bien la Ley 26.093 contempla la regulación y promoción de Biocombustibles, falta aún promover un mayor porcentaje de etanol en la nafta, lo que ya es realidad en otros países.
- Situación económica actual: Los constantes aumentos de precios en Argentina podrían generar inestabilidad financiera.
- Países con mayor posicionamiento en el mercado: Brasil surge como la gran competencia, ya que posee muchos años de reconocimiento internacional como principal productor de bioetanol de Latinoamérica. China y Estados Unidos se presentan como otros competidores, los cuales no se busca superar en producción o ventas, pero sí igualar en calidad de producto y reconocimiento internacional.

10.7. Conclusión

La producción de biocombustible comienza a ser rentable (sin subsidio) a partir de un determinado precio del petróleo. Las estimaciones indican que en el caso del etanol producido a partir de caña de azúcar, el petróleo debe valer 35 dólares, en el caso del etanol producido a partir de maíz, el valor del petróleo debe ser de 60 dólares.⁸⁹

La producción exclusiva de bioetanol no resulta rentable, sin embargo si se comercializa el subproducto, los peletes de remolacha, los cuales son utilizados para alimentar la caldera, y el excedente se vende como alimento de ganado, este proyecto resulta rentable. Siempre manteniendo el supuesto que se cuenta con la cantidad y calidad de materia prima necesaria y a disposición durante los 300 días de operación.

Cabe recordar que durante el proceso se producen cantidades considerables de dióxido de carbono, este podría ser tratado y comercializado lo que queda afuera del alcance de estudio de este trabajo.

Finalmente, se establecen los factores críticos para el éxito del emprendimiento y se realiza el análisis FODA, estableciendo las estrategias a llevar a cabo con el fin de aprovechar oportunidades y fortalezas, minimizando debilidades y amenazas.

⁸⁹ Engormix (2007). *Factores que impulsan las inversiones en biocombustibles*.

10.8. Bibliografía

Amalia García-Vellido Santías. (2017). *Tesis: Proyecto de Instalaciones Necesarias en una Planta Azucarera*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla, España. Disponible en:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91520/fichero/%C3%BAltima+versi%C3%B3n+tfp.pdf>

Apunte teórico, cátedra de Ingeniería Económica. (2017). UNMDP.

Argenfrio (2018). *Intercambiador de calor, tubos y coraza*. Disponible en:
http://www.argenfrio.com.ar/intercambiadores_casco_y_tubos.html

Cuadro Tarifario de San Juan. (2018). *Tarifa N°3: Grandes demandas*. Disponible en:
http://www.energiasanjuan.com.ar/cuadros_tarifarios/CT%2001-08-2018%20al%2031-10-2018.pdf

Diario El País. (2017). *Parque Industrial Pocito, San Juan*. Disponible en:
<https://www.elpaisdiario.com.ar/nacionales/item/3385-san-juan-pocito-ya-tiene-su-parque-industrial>

Diario La Provincia de San Juan (2017). *Ampliación del Parque industrial Pocito*. Disponible en:
<https://www.diariolaprovinciasj.com/economia/2017/4/18/parque-industrial-pocito-varias-empresas-quieren-instalarse-evaluan-ampliar-lugar-67937.html>

Diario La vanguardia. (2017). *Azucarera garantiza un precio de base de la remolacha de 25,45 euros/tn*. Disponible en:
<https://www.lavanguardia.com/vida/20170208/414153497736/azucarera-garantiza-un-precio-de-base-de-la-remolacha-de-2545-eurostn.html>

Ecogas. Cuadro Tarifario San Juan. (2018). *Tarifas de distribución a usuarios P3, G, FD, FT, ID, IT, sin impuestos*. Disponible en:
https://www.ecogas.com.ar/appweb/leo/pub/notas/2378/San_Juan.pdf

Engormix (2007). *Factores que impulsan las inversiones en biocombustibles*. Disponible en:

<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/factores-impulsan-inversiones-biocombustibles-t27063.htm>

Feicheng Jinta Machiner y Co., Ltd. (2018). *Tren de destilación*. Disponible en:

https://jintagroup.en.alibaba.com/?spm=a2700.md_es_ES.cordpanyb.1.524563ceAhJ3wH

Finlay, D. A. S. (2010). *Estudio exploratorio para la producción de bioetanol y co-productos de biorefinería, a partir de rastrojos de maíz*. Universidad de Chile, Chile.

Ingeniería Industrial Online (2018). *Método de distribución y redistribución en planta*.

Disponible en: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/m%C3%A9todos-de-distribuci%C3%B3n-y-redistribuci%C3%B3n-en-planta/>

Marshall & Swift. (2017). *Inventory Index Factors for 2017*. Disponible en :

https://www.freestoncad.org/wp-content/uploads/2017/01/2017-Index_Factors_Srv_Life_Prcnt_GD.pdf

Matches (2014). *Estimación de costos*. Disponible en:

<http://www.matche.com/equipcost/Tank.html>

Ministerio de Energía. (2018). *Reporte de precios Bioetanol*. Disponible en:

https://glp.se.gob.ar/biocombustible/reporte_precios_bioetanol.php

OSEE San Juan. Cuadro Tarifario Industrias.

Perryvidex. Equipo difusor. Disponible en: <https://www.perryvidex.com/product/vertical-4500-tpd-bma-as61935/+&cd=5&hl=es&ct=clnk&gl=ar>

Piensos Santa Cruz. (2013). *Pulpa de remolacha en pellet*. Disponible en:
http://www.fabricadepiensos.es/pulpa-de-remolacha_8.html

Sci Dev Net (2017). *Biocombustibles: beneficios y riesgos del tercer mundo*. Disponible en: <https://www.scidev.net/america-latina/desarrollo-de-capacidades/opinion/biocombustibles-beneficios-y-riesgos-del-tercer-m.html>

SOM (2018). *Terreno - Fracciones industriales en Pocito*. Disponible en: <https://casas.trovitargentina.com.ar/listing/terreno-fracciones-industriales-pocito.1D15u7wj1j18>

Todo Alfalfa. (2018). *Pellet de alfalfa a granel*. Disponible en: <https://todoalfalfa.com.ar/mercados/>

Velásquez-Riascos, Y., & López, J. E. (2016). *Estudio de prefactibilidad para el diseño de una planta de etanol a partir de residuos de cosecha de caña de azúcar*.

Walas, S. M. (1990) *Chemical Process Equipment, Selection and Desing*. Cap 20, pag 688- 692.

Conclusión general

El objetivo de este proyecto fue diseñar una planta de producción de bioetanol, a partir de remolacha azucarera, cosechada en cercanías de la localización de la planta, en el Departamento de Pocito, Provincia de San Juan.

En primera instancia, se realizó un estudio de mercado para realizar la justificación preliminar del proyecto y definir cuestiones asociadas con la capacidad y ubicación de la planta, junto con el mercado hacia el cual estaría orientada la producción.

Se fijó la capacidad de producción en 150.000 m³ anuales destinados en primera instancia a satisfacer al mercado interno.

Para el diseño de la planta, se analizaron los aspectos cinéticos y termodinámicos de los componentes y las reacciones involucradas, definiendo propiedades de productos y reactivos, como así también los equilibrios de fases correspondientes. Se determinaron posibles condiciones de operación en base a bibliografía consultada.

Se planteó un esquema preliminar del proceso donde se visualizaron los balances de masa, simplificando los sistemas de separación, para luego dar lugar a un análisis más detallado de los reactores de fermentación y del sistema de destilación.

Durante el diseño de la planta, se buscó optimizar la red energética, integrando aquellas corrientes que pueden transferir calor entre sí, y adicionando corrientes auxiliares en los casos que se requiera.

Se estimó un factor de efectividad global del proceso para alcanzar los valores deseados ante posibles inconvenientes, deseando obtener una producción de 187.500 m³. Luego de resolver los balances de la planta, se obtuvo una producción de etanol de 232.056 m³ anuales, valor superior a lo esperado. Las semillas de remolacha azucarera son modificadas genéticamente para que almacene mayor porcentaje de azúcar, lo que implica un mayor rendimiento.

Se realizó un análisis de higiene, seguridad y medio ambiente buscando los posibles impactos que podría causar la instalación de la industria, tanto en el medio ambiental como en la salud de los trabajadores. Se propusieron medidas preventivas y correctivas para aquellos casos en donde se detectó la existencia de potenciales peligros.

Finalmente, se realizó un detallado análisis económico, donde se estimó la inversión del proyecto y los costos de producción, resultando el proyecto rentable si además del bioetanol que se produce se comercializan sus subproductos.

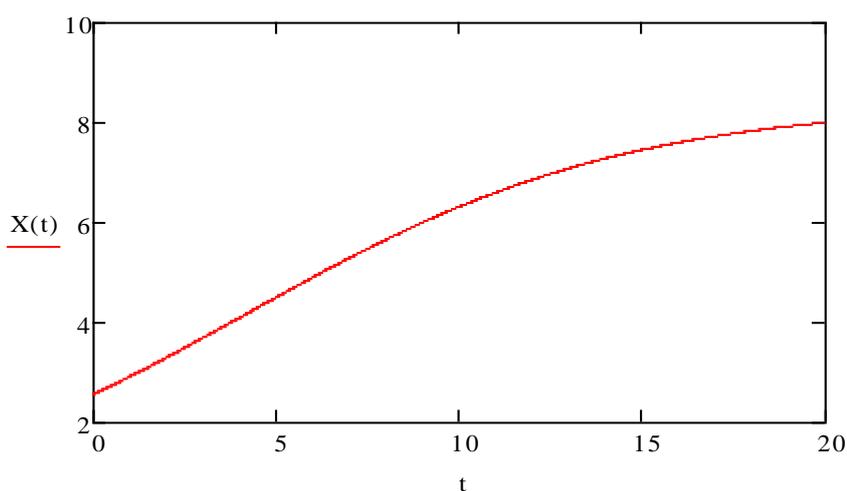
Anexo

Capítulo 2: Ecuaciones cinéticas

$$X_0 := 2.576 \quad \mu_m := 0.194 \quad X_m := 8.38$$

$$X(t) := \frac{X_0 \cdot e^{(\mu_m \cdot t)}}{1 - \frac{X_0}{X_m} \cdot [1 - e^{(\mu_m \cdot t)}]}$$

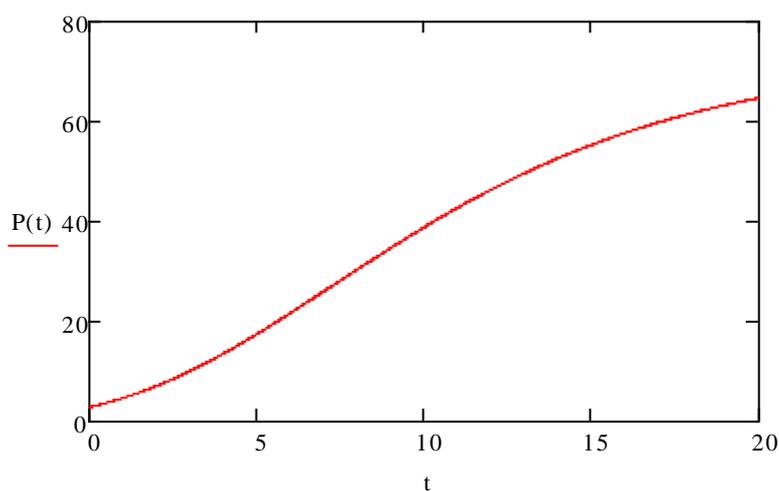
$$X(t) := \frac{2.576e^{(0.194t)}}{1 - \frac{2.576}{8.381} \cdot [1 - e^{(0.194t)}]}$$



Ecuación de Gompertz

$$P(t) := 73.31e^{-e^{-\left[\frac{4.392e^{(1)}}{73.31} \cdot (1.04-t) + 1\right]}}$$

$$P(t) := P_m e^{-e^{-\left[\frac{r_{pm} \cdot e^{(1)}}{P_m} \cdot (t_L - t) + 1\right]}}$$



ANEXO 2: hojas de seguridad de los compuestos involucrados.

ÁCIDO SULFÚRICO

ICSC: 0362

Febrero 2000

CAS: 7664-93-9 Ácido sulfúrico 100%
 RTECS: WS5600000 Aceite de vitriolo
 NU: 1830 H₂SO₄
 CE Índice Anexo I: 016-020-00-8 Masa molecular: 98.1
 CE / EINECS: 231-639-5



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores o agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACIÓN DE NIEBLAS DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Corrosivo. Sensación de quemazón. Dolor de garganta. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Ampollas. Quemaduras cutáneas graves.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Corrosivo. Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Consultar a un experto. ¡Evacuar la zona de peligro! NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.	Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2-)26-30-45 Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II

RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S1830 o 80GC1-II+III Código NFPA: H3; F0; R2; W	Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos, materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.

IPCS
 International Programme on Chemical Safety

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005



ÁCIDO SULFÚRICO

ICSC: 0362

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO

Líquido higroscópico incoloro, aceitoso e inodoro.

PELIGROS QUÍMICOS

La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo- ver ICSC 0001). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentar se forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre).

LÍMITES DE EXPOSICIÓN

TLV: 0.2 mg/m³, Fracción torácica, A2 (sospechoso de ser cancerígeno humano); (ácido sulfúrico contenido en las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes) (ACGIH 2005).
MAK: (Fracción inhalable) 0.1 mg/m³; Categoría de limitación de pico: I(1); Cancerígeno: categoría 4; Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).

VÍAS DE EXPOSICIÓN

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN

La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.

EFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN

Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de esta sustancia puede originar edema pulmonar (ver Notas).

EFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA

Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales. Las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes que contengan esta sustancia son carcinógenas para los seres humanos.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición (se descompone): 340°C
Punto de fusión: 10°C
Densidad relativa (agua = 1): 1.8
Solubilidad en agua: miscible
Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.

NOTAS

Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otros números NU: UN1831 Ácido sulfúrico fumante, clase de peligro 8, riesgo subsidiario 6.1, grupo de envasado I; UN1832 Ácido sulfúrico agotado, clase de peligro 8, grupo de envasado II. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005, ver Límites de exposición, Respuesta de Emergencia, y en enero de 2008: ver Lucha contra incendios.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2014):

VLA-ED (niebla): 0,05 mg/m³

Notas: al seleccionar un método adecuado de control de la exposición, deben tomarse en consideración posibles limitaciones e interferencias que pueden surgir en presencia de otros compuestos de azufre. Agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE. Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida. Véase UNE EN 481: "Atmósferas en los puestos de trabajo; Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles".

NOTA LEGAL

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIÓXIDO DE CARBONO	ICSC: 0021
Octubre 2006	

Gas ácido carbónico	Anhídrido carbónico
CAS: 124-38-9 RTECS: FF6400000 NU: 1013 CE / EINECS: 204-696-9	CO₂ Masa molecular: 44,0
	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN	¡Los envases pueden arder en un incendio!		En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
Inhalación	Vértigo. Dolor de cabeza. Presión sanguínea elevada. Ritmo cardíaco acelerado. Asfixia. Pérdida del conocimiento.	Ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío. Traje de protección.	EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	En contacto con líquido: congelación.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal: equipo autónomo de respiración. Ventilar. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido.	Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.2 Clasificación GHS Atención Puede ser nocivo si se inhala. Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.

RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20S1013 o 20G2A	A prueba de incendio, si está en local cerrado. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo.

IPCS International Programme on Chemical Safety	 WHO	 ILO	 UNEP		 MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACIÓN	 INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO
---	---	---	--	---	---	--

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2007

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIÓXIDO DE CARBONO

ICSC: 0021

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Gas licuado comprimido, incoloro e inodoro.

PELIGROS FÍSICOS:

El gas es más denso que el aire y puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. A velocidades elevadas pueden generarse cargas electrostáticas y puede inflamarse cualquier mezcla explosiva presente. Las pérdidas de líquido condensan formando hielo seco extremadamente frío.

PELIGROS QUÍMICOS:

La sustancia se descompone al calentarla intensamente, por encima 2000 °C produciendo monóxido de carbono tóxico.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 5000 ppm como TWA, 30000 ppm como STEL; (ACGIH 2006).

MAK: 5000 ppm, 9100 mg/m³; Categoría de limitación de pico: II(2); (DFG 2006).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este líquido se evapora muy rápidamente originando una saturación total del aire con grave riesgo de asfixia.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La inhalación a niveles elevados puede originar pérdida de conciencia. Asfixia.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

La sustancia puede afectar al metabolismo.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de sublimación: -79 °C

Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20 °C: 88

Presión de vapor, kPa a 20 °C: 5720

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,5

Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0,83

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

El dióxido de carbono se libera en muchos procesos de fermentación (vino, cerveza, etc.) y es un componente mayoritario en los gases de combustión. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Otros números de clasificación NU para el transporte son: NU 1845 dióxido de carbono, sólido (Hielo seco); NU 2187 dióxido de carbono líquido refrigerado.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 5000 ppm; 9150 mg/m³

Notas: Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ETANOL (ANHIDRO)	ICSC: 0044
Octubre 2000	

Alcohol etílico		
CAS:	64-17-5	CH₃CH₂OH / C₂H₆O
RTECS:	KQ6300000	Masa molecular: 46.1
NU:	1170	
CE Índice Anexo I:	603-002-00-5	
CE / EINECS:	200-578-6	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes fuertes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono,
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
Inhalación	Tos. Dolor de cabeza. Fatiga. Somnolencia.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemazón.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Confusión. Vértigo. Pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Eliminar el residuo con agua abundante.	Clasificación UE Símbolo: F R: 11 S: (2-)7-16 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II

RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1170. Código NFPA: H 0; F 3; R 0;	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.

IPCS International Programme on Chemical Safety						
---	---	---	---	---	--	---

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ETANOL (ANHIDRO)**ICSC: 0044**

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido incoloro, de olor característico.

PELIGROS FÍSICOS:

El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.

PELIGROS QUÍMICOS:

Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato de mercurio o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 1000 ppm (como TWA), A4 (no clasificable como cancerígeno humano) (ACGIH 2004).
MAK: 500 ppm; 960 mg/m³; Categoría de limitación de pico: II(2),
Cancerígeno: categoría 5, Mutágeno: categoría 5, Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar irritación de los ojos y del tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central, dando lugar a irritación, dolor de cabeza, fatiga y falta de concentración. Ver Notas.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 79 °C

Punto de fusión: -117 °C

Densidad relativa (agua = 1): 0,8

Solubilidad en agua: miscible

Presión de vapor, kPa a 20 °C: 5,8

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,6

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1,03

Punto de inflamación: 13 °C c.c.

Temperatura de autoignición: 363 °C

Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.3-19

Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.32

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

El consumo de etanol durante el embarazo puede afectar al feto. La ingesta crónica de etanol puede causar cirrosis hepática. El punto de inflamación de la disolución acuosa al 50% es 24 °C. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2013):

VLA-EC: 1000 ppm; 1910 mg/m³

Notas: Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

GLICEROL	ICSC: 0624
Abril 2006	

Glicerina
1,2,3-Propanotriol
1,2,3-Trihidroxipropano

CAS:	56-81-5	C₃H₈O₃ / CH₂OH-CHOH-CH₂OH
RTECS:	MA8050000	Masa molecular: 92,1
CE / EINECS:	200-289-5	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	Evitar las llamas.	Agua pulverizada. Espuma resistente al alcohol. Polvo. Dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN			En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

EXPOSICIÓN			
Inhalación		Ventilación.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Guantes protectores.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos		Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Diarrea.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes tapados. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Código NFPA: H1; F1; R0;	Separado de oxidantes fuertes.

IPCS
International
Programme on
Chemical Safety



Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2006

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

GLICEROL

ICSC: 0624

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido viscoso, higroscópico e incoloro.

PELIGROS QUÍMICOS:

La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo humos corrosivos de acroleína. Reacciona con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: niebla 10 mg/m³ como TWA; (ACGIH 2005).
MAK: 50 mg/m³ (fracción inhalable); Categoría de limitación de pico: I(2); Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2006).

RIESGO DE INHALACIÓN:

La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire por pulverización.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 290°C
Punto de fusión: 18°C
Densidad relativa (agua = 1): 1,26
Solubilidad en agua: miscible
Presión de vapor, Pa a 25°C: 0,01
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,2

Punto de inflamación: 176°C c.c.
Temperatura de autoignición: 393°C
Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2,6 - 11,3
Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -1,76

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en agosto de 2007: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: niebla 10 mg/m³

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

HIDRÓXIDO DE SODIO

ICSC: 0360
Mayo 2010

CAS: 1310-73-2 Sosa caústica
 NU: 1823 Hidrato de sodio
 CE Índice Anexo I: 011-002-00-6 Sosa
 CE / EINECS: 215-185-5 NaOH
 Masa molecular: 40.0



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar calor suficiente para provocar la ignición de materiales combustibles.	NO poner en contacto con el agua.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con: (ver Peligros Químicos).	NO poner en contacto con materiales incompatibles. (Ver Peligros Químicos).	
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Graves quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Quemaduras en la boca y la garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.	No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2-)26-37/39-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria.
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Código NFPA: H3; F0; R1	Separado de alimentos y piensos, ácidos fuertes y metales. Almacenar en el recipiente original. Mantener en lugar seco. Bien cerrado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010



HIDRÓXIDO DE SODIO

ICSC: 0360

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO

Sólido blanco e higroscópico, en diversas formas

PELIGROS QUÍMICOS

La disolución en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales tales como: aluminio, estaño, plomo y cinc, formando gas combustible (hidrógeno - ver FISO:0001). Reacciona con sales de amonio produciendo amoniaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o con el agua genera calor. (Ver Notas).

LÍMITES DE EXPOSICIÓN

TLV: 2 mg/m³ (Valor techo) (ACGIH 2010).
MAK: Ilb (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2009).

VÍAS DE EXPOSICIÓN

Efectos locales graves

RIESGO DE INHALACIÓN

Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN

La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 1388°C
Punto de fusión: 318°C
Densidad: 2.1 g/cm³

Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 (muy elevada).

DATOS AMBIENTALES

Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente. Debe prestarse atención especial a los organismos acuáticos.

NOTAS

El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otro n° NU: NU1824 Disolución de hidróxido de sodio, clasificación de peligro 8, grupo de envasado II-III.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-EC: 2 mg/m³

NOTA LEGAL

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.