

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE
UNA PLANTA DESHIDRATADORA DE ETANOL EN
INDUSTRIAS AGRÍCOLAS BERMEJO S.A., EN LA PROVINCIA
ANICETO ARCE DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA**

Por:

GABRIELA OCHOA CASTAÑÓN

**Modalidad de graduación: Estudio de Prefactibilidad, presentado a
consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL
SARACHO”, como requisito para optar al grado académico de Licenciatura en
Ingeniería Química**

Abril de 2021

TARIJA – BOLIVIA

Advertencia

El tribunal calificador del presente trabajo no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidos en el mismo, siendo éstos responsabilidad del autor.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado principalmente a mis padres y hermano, quienes me dieron todo el apoyo y amor para culminar esta etapa de mi educación académica.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por la vida y la oportunidad de cultivar mi mente y conocimientos; a mi familia, por el constante apoyo; a mis amigos, por estar presentes a lo largo de esta aventura universitaria; a mis docentes, por compartir sus conocimientos durante estos años y, finalmente, agradezco a todas aquellas personas que aportaron de alguna manera a que este proyecto de grado salga adelante.

Pensamiento

La buena madera no crece con facilidad,
mientras más fuerte el viento, más fuerte el
árbol.

Thomas S. Monson

Resumen

El presente “*Estudio de Prefactibilidad*” nace a partir del interés por aplicar los métodos de elaboración de un proyecto de ingeniería que sea de utilidad para la industria al momento de realizar inversiones, ofrecer al mercado un nuevo producto, beneficiar a los inversores, generar empleo y movimiento económico, así como estar en armonía con el medio ambiente.

El objetivo principal de este proyecto, es determinar la factibilidad de la *Instalación de una Planta Deshidratadora de Etanol en Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima*, que ofrecerá al mercado *Etanol Anhidro para uso combustible*.

Como parte de este fin, se elabora un *Estudio de Mercado*, en el cual se identifica la demanda insatisfecha de Etanol Anhidro en el Departamento de Tarija, demanda que podrá satisfacerse con la producción de la planta propuesta.

Conocida la demanda insatisfecha de Etanol Anhidro, se procede a definir el *Tamaño y la Localización* de la planta deshidratadora.

Posteriormente, se realiza la *Ingeniería del Proyecto*, que es una de las secciones más importantes, en la cual se selecciona la tecnología que se utilizará para la obtención de Etanol Anhidro, así como se diseña el equipo principal que realizará la deshidratación del Etanol 96°.

Dentro de los *Aspectos Económicos del Proyecto*, se determina la estructura de la inversión, se investiga a cerca de los costos del proyecto y se determina el costo por litro de Etanol Anhidro.

Finalmente, se realiza la *Evaluación Económica del Proyecto* que tiene el objetivo principal de calcular los indicadores económicos, como el Valor Actual Neto, la Tasa Interna de Retorno y la Relación Beneficio-Costo, los cuales serán determinantes en el momento de definir si la inversión para el proyecto es favorable o no.

ÍNDICE GENERAL

Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Pensamiento	iv
Resumen	v

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	¡Error! Marcador no definido.
Objetivos	¡Error! Marcador no definido.
Objetivo General	¡Error! Marcador no definido.
Objetivos Específicos	¡Error! Marcador no definido.
Justificación.....	¡Error! Marcador no definido.
Justificación tecnológica	¡Error! Marcador no definido.
Justificación Económica	¡Error! Marcador no definido.
Justificación Social	¡Error! Marcador no definido.
Justificación Ambiental	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO I

ESTUDIO DE MERCADO

1.1 Estructura del mercado.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2 Descripción y especificaciones de materias primas y productos	¡Error! Marcador no definido.
1.2.1. Materia Prima: Alcohol Etilico 96°	¡Error! Marcador no definido.

1.2.2 Producto: Etanol Anhidro**¡Error! Marcador no definido.**

1.3 Análisis de la oferta y la demanda de materias primas en la región **¡Error! Marcador no definido.**

1.3.1 Oferta de materias primas en la región**¡Error! Marcador no definido.**

1.3.2 Demanda de alcohol etílico en la región.....**¡Error! Marcador no definido.**

1.3.3 Demanda del alcohol anhidro en la región.....**¡Error! Marcador no definido.**

CAPÍTULO II

TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

2.1 Tamaño de la planta.....**¡Error! Marcador no definido.**

2.2 Factores determinantes.....**¡Error! Marcador no definido.**

2.3 Justificación de la localización de la planta.....**¡Error! Marcador no definido.**

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1 Características técnicas de las materias primas y productos.....**¡Error! Marcador no definido.**

3.1.1 Características técnicas de las materias primas: Alcohol Etílico 96 grados Gay Lussac**¡Error! Marcador no definido.**

3.1.2 Características técnicas del producto: Etanol Anhidro**¡Error! Marcador no definido.**

3.2 Descripción de los procesos existentes para la elaboración del producto **¡Error! Marcador no definido.**

3.2.1 Procesos de deshidratación por destilación.....**¡Error! Marcador no definido.**

3.2.2	Procesos de deshidratación por diferencia de tamaño molecular	¡Error!
	Marcador no definido.	
3.3	Tecnologías utilizadas en Bolivia para la deshidratación de Alcohol	¡Error!
	Marcador no definido.	
3.3.1	Ingenio Aguaí S.A.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2	Unión Agro Industrial de Cañeros Sociedad Anónima – UNAGRO S.A....	¡Error!
	Marcador no definido.	
3.3.3	Ingenio Guabirá S.A.	¡Error! Marcador no definido.
3.4	Selección del proceso a diseñar.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5	Diagramas del proceso	¡Error! Marcador no definido.
3.5.1	Diagrama de bloques del proceso	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2	Diagrama de flujo del proceso.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6	Balances de Materia y Energía.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.1	Balance de Materia.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.2	Balance de Energía.....	¡Error! Marcador no definido.
3.7	Diseño del equipo principal	¡Error! Marcador no definido.
3.8	Especificaciones Técnicas de los Equipos	¡Error! Marcador no definido.
3.9	Distribución General de la Planta.....	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO IV

ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO

4.1	Inversión del Proyecto	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1	Estructura de la inversión.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2	Estimación de costos	¡Error! Marcador no definido.

4.1.3 Costos Directos e Indirectos.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.4 Capital de Trabajo.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.5 Costos Fijos y Variables	¡Error! Marcador no definido.
4.1.6 Costo Unitario del Producto	¡Error! Marcador no definido.
4.1.7 Estimación de Ingresos	¡Error! Marcador no definido.
4.1.8 Determinación de Utilidades	¡Error! Marcador no definido.
4.2 Financiamiento.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1 Necesidad de Capital	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2 Fuentes de Financiamiento.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.3 Amortizaciones	¡Error! Marcador no definido.
4.2.4 Costos de Producción Total.....	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

5.1 Determinación del Punto de Equilibrio.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2 Determinación del Valor Actual Neto (VAN)	¡Error! Marcador no definido.
5.3 Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	¡Error! Marcador no definido.
5.4 Determinación del Tiempo de Retorno de la Inversión	¡Error! Marcador no definido.
5.5 Determinación de la Relación Beneficio Costo	¡Error! Marcador no definido.
5.6 Análisis de Sensibilidad	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones	; Error! Marcador no definido.
6.2 Recomendaciones	; Error! Marcador no definido.
BIBLIOGRAFÍA.....	; Error! Marcador no definido.
ANEXOS.....	; Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1. Ficha técnica del alcohol de buen gusto, 96 grados Gay Lussac	; Error! Marcador no definido.
Tabla I-2. Especificaciones del alcohol de buen gusto;	Error! Marcador no definido.
Tabla I-3. Características técnicas de calidad para el uso de etanol anhidro como aditivo	; Error! Marcador no definido.
Tabla I-4. Empresas productoras de alcohol etílico en Bolivia;	Error! Marcador no definido.
Tabla I-5. Tipos de alcohol etílico producidos en Bolivia por empresa y grado alcohólico	; Error! Marcador no definido.
Tabla I-6. Alcohol producido en IABSA - Período 2009 - 2019.;	Error! Marcador no definido.
Tabla I-7. Volúmenes promedio de producción anual de alcohol en IAB	; Error! Marcador no definido.
Tabla I-8. Producción de alcohol en IAB-Gestión 2019;	Error! Marcador no definido.

Tabla I-9. Oferta nacional de alcohol etílico por empresa;**Error! Marcador no definido.**

Tabla I-10. Resumen de Proyecciones de Consumo, 2021-2031;**Error! Marcador no definido.**

Tabla III-1. Especificaciones del alcohol etílico 96 grados Gay Lussac **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-2. Características técnicas de calidad para el uso de etanol anhidro como aditivo.....**Error! Marcador no definido.**

Tabla III-3. Consumo energético para la deshidratación de etanol;**Error! Marcador no definido.**

Tabla III-4. Costos de capital y costos de operación para las tecnologías de separación (\$US).....**Error! Marcador no definido.**

Tabla III-5. Parámetros de selección para la tecnología de deshidratación **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-6. Fracción molar de etanol y agua en cada corriente;**Error! Marcador no definido.**

Tabla III-7. Masa en kilogramos por hora de etanol y agua en cada corriente.. **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-8. Especificaciones Técnicas de la Bomba Centrífuga Autocebante.. **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-9. Especificaciones Técnicas del Intercambiador de Tubos y Coraza **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-10. Materiales del Intercambiador de Tubos y Coraza;**Error! Marcador no definido.**

Tabla III-11. Especificaciones Técnicas del Evaporador con Sobrecalentador. **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-12. Especificaciones Técnicas de los Fluidos de Intercambio del Evaporador con Sobrecalentador; **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-13. Especificaciones Técnicas de Tamices Moleculares; **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-14. Especificaciones Técnicas de Bomba de Vacío; **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-15. Especificaciones Técnicas de Desobrecalentador y condensador ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla III – 16. Características ambientales de Bermejo y características del agua de refrigeración; **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-17. Especificaciones Técnicas del Enfriador; **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-18. Especificaciones Técnicas de la Bomba Centrífuga; **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-19. Especificaciones Técnicas de la Bomba Centrífuga; **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-20. Especificaciones Técnicas de los Tanques de Almacenamiento .. ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla III-21. Distribución general de la planta deshidratadora de etanol ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla IV-1. Estructura de la Inversión en \$US; **Error! Marcador no definido.**

Tabla IV-2. Depreciación Anual en \$US; **Error! Marcador no definido.**

Tabla IV-3. Costo Anual de la Materia Prima en \$US; **Error! Marcador no definido.**

Tabla IV-4. Costo de Zeolita.....; **Error! Marcador no definido.**

Tabla IV-5. Costo de la Mano de Obra (\$US); **Error! Marcador no definido.**

Tabla IV-6. Costos Directos e Indirectos, Gastos Anuales de Operación ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla IV-7. Capital de Trabajo;Error! Marcador no definido.

Tabla IV-8. Costos Variables y Fijos;Error! Marcador no definido.

Tabla IV-9. Costo Unitario del Producto \$US;Error! Marcador no definido.

Tabla IV-10. Programa de Producción.....;Error! Marcador no definido.

Tabla IV-11. Utilidades del Proyecto. (\$US).....;Error! Marcador no definido.

Tabla IV-12. Inversión Total y Financiamiento.....;Error! Marcador no definido.

Tabla IV-13. Información sobre el interés que se paga por un préstamo en Bolivia (Moneda Nacional).....;Error! Marcador no definido.

Tabla IV-14. Información sobre el interés que se paga por un préstamo en Bolivia (Moneda Extranjera);Error! Marcador no definido.

Tabla IV-15. Crédito, Amortización e Intereses;Error! Marcador no definido.

Tabla IV-16. Costos de Producción Total en \$US;Error! Marcador no definido.

Tabla V-1. Punto de Equilibrio Contable.....;Error! Marcador no definido.

Tabla V-2. Punto de Equilibrio Unidades Monetarias (\$US);Error! Marcador no definido.

Tabla V-3. Punto de Equilibrio Unidades Físicas (Litros);Error! Marcador no definido.

Tabla V-4. Valor Actual Neto.....;Error! Marcador no definido.

Tabla V-5. Tiempo de Retorno de la Inversión.....;Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución Regional de Producción de Etanol en 2024;**Error! Marcador no definido.**

Figura 2. Consumo de Energía Primaria en el mundo **¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-1. Fuentes Industriales de Alcoholes.....**¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-2. Mapa geográfico de Bolivia.....**¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-3. Ubicación geográfica de Industrias Agrícolas Bermejo S.A. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-4. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero Guabirá S.A..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-5. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero Unión Agroindustrial de Cañeros S.A.....**¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-6. Ubicación geográfica de la Compañía Agroindustrial San Aurelio S.A.**¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-7. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero Aguaí S.A..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-8. Ubicación geográfica de la Sociedad Colectiva Industrial y Comercial Santa Cecilia**¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-9. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero La Bélgica S.A. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-10. Ubicación geográfica de la Empresa Azucarera San Buenaventura **¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-11. Parque Automotor del Departamento de Tarija, 2021 – 2031 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura I-12. Número de Vehículos Consumidores de Biocombustible en el Departamento de Tarija - 2021 – 2031 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura II-1. Localización de la Planta Deshidratadora de Etanol; **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-1. Efecto de la presión sobre la composición azeotrópica de la mezcla etanol–agua **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-2. Proceso de la destilación al vacío..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-3. Destilación azeotrópica con benceno **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-4. Destilación extractiva con solventes **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-5. Destilación con sal..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-6. Diagrama esquemático de la deshidratación de etanol por adsorción con tamices moleculares **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-7. Diagrama esquemático del proceso de deshidratación de etanol por pervaporación..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-8. Diagrama de bloques del proceso..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-9. Diagrama de flujo del proceso..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-10. Esquema del Balance Global de Materia; **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-13. Diseño del equipo principal, tamices moleculares; **¡Error! Marcador no definido.**

Figura III-14. Distribución general de la fábrica de azúcar y alcohol - IAB **¡Error!**
Marcador no definido.

Figura III-15. Distribución general de Industrias Agrícolas Bermejo **¡Error!**
Marcador no definido.

Figura III-16. Distribución general de la planta deshidratadora de etanol..... **¡Error!**
Marcador no definido.

Figura III-17. Distribución del equipamiento principal;**¡Error!** **Marcador no**
definido.

Figura V-1. Aumento del precio de la materia prima vs. VAN;**¡Error!** **Marcador no**
definido.

Figura V-2. Aumento del precio de la materia prima vs. TIR;**¡Error!** **Marcador no**
definido.

Figura V-3. Descenso del Precio del Producto vs. VAN;**¡Error!** **Marcador no**
definido.

Figura V-4. Descenso del Precio del Producto vs. Tasa Interna de Retorno **¡Error!**
Marcador no definido.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro V-1. Relación Beneficio - Costo**¡Error!** **Marcador no definido.**

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima. **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 2. Materia Prima ingresando al Ingenio. **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 3. Maquinaria y Camiones de Caña de Azúcar en Patio de Molienda. .. **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 4. Caña de Azúcar, Patio de Molienda. **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 5. Molienda de Caña de Azúcar. **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 6. Acopio de Melaza. Destilería. **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 7. Zona de Destilería, Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima.
..... **¡Error! Marcador no definido.**

GLOSARIO

OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
°GL	Grados Gay Lussac
YPFB	Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos
IABSA	Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
ICE	Impuesto a los Consumos Específicos
IEHD	Impuesto Especial a los Hidrocarburos y Derivados
-R	Grupo Alquilo
-OH	Grupo Oxhidrilo
-RH	Fórmula General de los Alcanos
-ROH	Fórmula General de los Alcoholes
H-OH	Fórmula General del Agua
CH ₃ -CH ₂ -OH	Fórmula General del Etanol
IUPAC	Unión Internacional para la Química Pura y Aplicada
°C	Grado Centígrado
g/cm ³	Gramos por Centímetro Cúbico
min	Minutos
mg/l	Miligramos por Litro
S/m	Siemens por Metro
% V/V	Porcentaje Volumen – Volumen

mg/kg	Miligramos por Kilogramo
ABNT (NBR)	Asociación Brasileña de Normas Técnicas
ASTM	American Society of Testing Materials
IAGSA	Ingenio Azucarero Guabirá Sociedad Anónima
UNAGRO	Unión Agro Industrial de Cañeros
CIASA	Compañía Agroindustrial Azucarera San Aurelio
EASBA	Empresa Azucarera San Buenaventura
AEMP	Autoridad de Fiscalización de Empresas
kpa	Kilo Pascales
nm	Nanómetros
°K	Grados Kelvin
kJ/kg	Kilo Joules por Kilogramo
ΔP	Diferencia de Presión
%P/P	Porcentaje Peso Peso
Pa	Pascales
kg/l	Kilogramos por Litro
ρ_{mezcla}	Densidad de la Mezcla
m_{mezcla}	Masa de la Mezcla
V_{mezcla}	Volumen de la Mezcla
kg/h	Kilogramos por Hora
kg	Kilogramos
x_{et-OH}	Fracción Molar del Etanol

x_{H_2O}	Fracción Molar del Agua
ρ_{H_2O}	Densidad del Agua
E	Masa de Entrada
S	Masa de Salida
A	Masa de Acumulación
$x_{et-OH(E)}$	Fracción Molar del Etanol a la Entrada
$x_{et-OH(S)}$	Fracción Molar del Etanol a la Salida
$x_{H_2O(E)}$	Fracción Molar del Agua a la Entrada
$x_{H_2O(S)}$	Fracción Molar de Agua a la Salida
C_p	Capacidad Calorífica
x_i	Fracción Molar de cada componente en la mezcla
C_{p_i}	Capacidad Calorífica de cada Componente en la Mezcla
Q	Cantidad de Calor Ganado o Cedido
m	Flujo Másico de la Corriente
ΔT	Cambio de Temperatura de la Corriente
$Q_{1cedido}$	Cantidad de Calor que cede el Vapor a la Mezcla
$Q_{gana\ mezcla}$	Cantidad de Calor que gana la Mezcla de Alimentación
$Q_{gana\ agua}$	Cantidad de Calor que gana el Agua de Enfriamiento
$Q_{pierde\ mezcla}$	Cantidad de Calor que pierde el Producto al enfriarse
H	Entalpía de una Corriente

\hat{C}_p	Capacidad Calorífica Media de la Corriente
R	Rendimiento del Equipo
E	Eficiencia
Q_{entra}	Cantidad de Calor que entra al Sistema
Q_{sale}	Cantidad de Calor que Sale del Sistema
ΔH	Diferencia de Entalpías
H_1	Entalpía Inicial
H_2	Entalpía Final
PSA	Pressure Swing Adsorption (Adsorción por Oscilación de Presión)
m_z	Masa de Zeolita
W	Porcentaje de Agua en la Mezcla
f	Factor de Retención del Agua
ρ_z	Densidad Absoluta de la Zeolita a emplear en el Lecho
V_z	Volumen que ocupa la Zeolita en Litros
r	Radio del Lecho Interno de la Torre
π	Número pi
h_z	Altura del Lecho Interno de la Torre
V_e	Volumen Externo del Tamiz de Adsorción
r_e	Radio Externo del Tamiz de Adsorción
h_e	Altura Externa del Tamiz de Adsorción

k	Constante k, número adimensional con relación a la Temperatura del Tamiz
e	Número de Euler
T _{tamiz}	Temperatura del Alcohol en el Tamiz de Adsorción, Grados Kelvin (°K)
n	Número Adimensional con relación a la Temperatura del Tamiz
q	Número de Moles de Agua Retenida por Kilogramo de Adsorbente Contenido en el Tamiz Molecular
P _{tamiz}	Presión del Alcohol en el Tamiz de Adsorción, pascales
cm ³	Centímetros Cúbicos
cm	Centímetros
A-100	Área 100
A-200	Área 200
A-300	Área 300
A-400	Área 400
A-500	Área 500
MPC	Millones de Pies Cúbicos
TM	Toneladas Métricas
BNB	Banco Nacional de Bolivia
PE	Punto de Equilibrio
CF	Costo Fijo
CV	Costo Variable
VT	Ventas Totales

VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
FN	Flujo Neto
n	Vida Útil del Proyecto
i	Tasa de Interés de Actualización
FC	Flujo de Caja Neto
I	Inversión
X	Tasa de Descuento
m	Valores Negativos del Saldo Acumulado
t	Tiempo en que se Realiza la Inversión
B	Beneficio
C	Costo

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El ser humano, desde su aparición en la Era Cuaternaria o “Antropozoico”, observa los fenómenos físicos de la naturaleza y se familiariza con el trueno, el relámpago, la lluvia y los cambios climáticos y medioambientales.

El relámpago le llama poderosamente la atención porque expresado en una cinta gigante de color plateado que se dibuja en el cielo, al caer y chocar en la tierra, origina una llama de color rojizo que además genera calor y quema.

El hombre, que hasta entonces se alimentaba de toda especie animal y vegetal en su estado natural y crudo conforme lo cazaba y cosechaba, comienza a pensar en cómo conservar viva esa materia residual del relámpago.

Por un largo proceso de experimentación, se origina y descubre lo que hoy la humanidad y la ciencia entiende como “COMBUSTIÓN” y se origina el “COMBUSTIBLE” que significa “material cuya combustión produce energía calorífica”.

Es entonces cuando el ser humano evoluciona y cambia su manera existencial de alimentarse para vivir.

El largo proceso que origina el cómo y cuándo el ser humano atrapa al relámpago y su candela la adopta y utiliza al grado de que se constituye en uno de los principales elementos existenciales, hace posible su desarrollo, crecimiento y uso como experimentación para edificar su crecimiento social, cultural, inventivo y de perfeccionamiento que, indudablemente es una fabulosa historia que complementa a aquella que relata la historia misma del ser humano y que es propiamente la historia de la raza humana (Silva, y otros, 2017).

Las civilizaciones comienzan a requerir grandes cantidades de energía para satisfacer sus necesidades, conforme avanza la tecnología, especialmente en el área industrial y automotriz.

Bajo ese contexto, durante muchos siglos en la historia del mundo se han utilizado combustibles fósiles, para poner en marcha procesos industriales y tecnológicos necesarios para el desarrollo de las mismas.

Las nuevas tendencias en la producción y uso de combustibles fomentan los principios de sostenibilidad con el medio ambiente y, por esta razón, una de las alternativas energéticas actuales es utilizar biocombustibles que generen menos gases de efecto invernadero hacia la atmósfera (Ferrari, 2013).

El biocombustible es un carburante (combustible) de origen biológico obtenido de recursos naturales renovables, a partir de productos y restos orgánicos como ser: maíz, remolacha, girasol, caña de azúcar y bagazo de caña, también de residuos urbanos e industriales.

El uso de biocombustibles genera menor contaminación ambiental y son una alternativa viable y parcial al agotamiento de energías fósiles, como el gas natural y el petróleo.

Para el presente estudio, la caña de azúcar es la base referencial de la materia prima de la que se obtendrá el biocombustible, cuyo nombre químicamente genérico se lo denomina “etanol”.

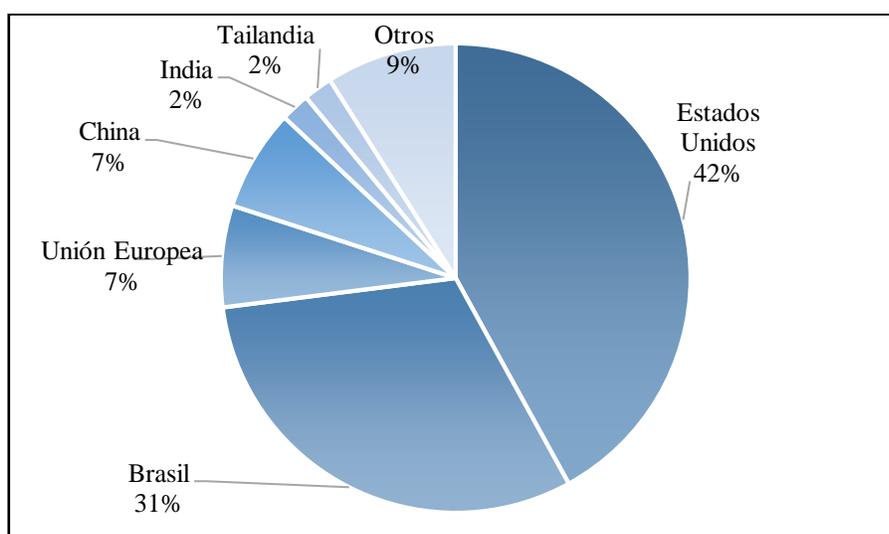
En el continente sudamericano, en la parte central y oriental, de manera progresiva se han ido ampliando y modernizando plantas industriales para la producción azucarera y alcoholera, complementándolas con otras actividades derivadas como lo son la de los alimentos balanceados para aves y ganado, hasta la de diversos abonos para la misma agroindustria alimentaria humana y animal (FAO, 2009).

Brasil, el mayor productor de caña de azúcar entre los principales países del mundo dedicados a esta actividad agroindustrial, ha estado comercializando etanol como combustible de consumo para el autotransporte desde la década de los 80 del siglo pasado, y desde el año 2003, su industria automotriz viene fabricando vehículos con un sistema de combustión denominado “flexible” o “Flex Fuel”, que logra que el automóvil funcione con más de un combustible, tanto gasolina como etanol o mezclas de estos en diferentes porcentajes.

Por los éxitos y resultados hasta ahora alcanzados, se conjetura que el objetivo de este país es aumentar el consumo interno de los biocombustibles que alcanzó un 9% el año 2017, y llegará al 18% para el año 2030 (Agencia Nacional del Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles de Brasil, 2019).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico “OCDE”, en el año 2024, muestra en sus estadísticas que la producción de etanol en el mundo estaría liderada por Estados Unidos y Brasil, países que en la actualidad son los mayores productores de etanol a nivel mundial.

Figura 1. Distribución Regional de Producción de Etanol en 2024



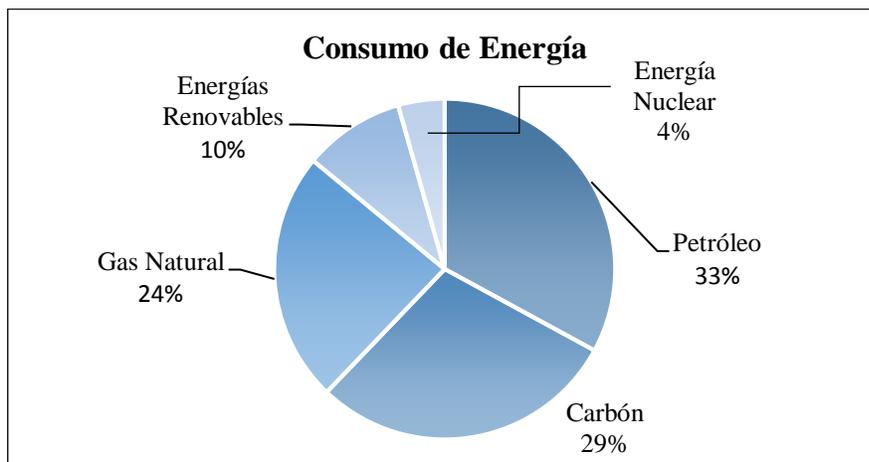
Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, (2021)

A partir del año 1979, se empezó a comercializar etanol como carburante; en el año 2007, los automóviles “Flex Fuel”, que están diseñados para funcionar tanto con gasolina como con etanol, ingresaron en el mercado brasileiro.

Las estadísticas del “Anuario de la Industria Automovilística Brasileira del año 2018” reflejan que la cantidad de automóviles consumidores de biocombustible producidos con el sistema “Flex Fuel”, supera la cantidad de automóviles producidos y consumidores de gasolina o diésel (Asociación Nacional de Fabricantes de Vehículos Automotores de Brasil, 2018).

La mayor parte de la energía que se utiliza en el mundo proviene del petróleo y sólo un 10% del total del consumo proviene de fuentes renovables.

Figura 2. Consumo de Energía Primaria en el mundo



Fuente: Statistical Review of World Energy, (2021)

Una de las alternativas más innovadoras de la última década ha sido la implementación de tecnologías que permitan procesar las materias orgánicas para obtener etanol carburante, principalmente, y de esta manera diversificar la matriz energética en los países productores y consumidores.

Entre los productos químicos orgánicos empleados y producidos por el hombre, el etanol es el más antiguo, constituyéndose en uno de los más importantes.

La industria mundial como nacional emplea de manera más extensa y amplia el alcohol etílico como disolvente para lacas, barnices, colorantes, perfumes, ambientadores; como medio para reacciones químicas; como antiséptico; en las bebidas alcohólicas; en el sector farmacéutico, como excipiente de medicamentos y cosméticos; como anticongelante, desinfectante; como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos (Morrison & Boyd, 1990).

De toda esa evolución progresiva alcanzada por la ciencia sobre el alcohol en el mundo, Bolivia como país sufre serias limitaciones, tecnológicamente carente de mucha disponibilidad, del equipamiento de laboratorios con equipos y aparatos de tecnología

avanzada, especialmente por lo económico, por el alto costo de dichos equipos para la economía nacional.

Bajo esas limitaciones, Bolivia, desde los años 50-60 del pasado siglo XX, profundiza y revoluciona la instalación de los primeros ingenios azucareros para desterrar el aprovisionamiento del azúcar para consumo familiar e industrial que por entonces, por vía de la importación, se obtenía azúcar de origen peruano de la marca “CARTAVIO” y alcohol, hasta que el ingenio azucarero de GUABIRÁ comienza a producir ambos productos que benefician al Estado y pueblo boliviano; luego, de manera secuencial, se constituye el ingenio azucarero de Bermejo en Tarija y, recientemente, el ingenio de San Buenaventura en el departamento de La Paz.

La existencia de ingenios azucareros de propiedad estatal y privada que manejan dichas plantas permiten que instancias superiores del Estado Boliviano promulguen leyes y otras disposiciones públicas con las que se regulan el manejo, uso y comercialización de este producto a partir de su definición como materia prima para satisfacer las demandas de las industrias y actividades líneas atrás ya indicadas.

Bajo ese contexto y proceso evolutivo, Bolivia como Estado y conforme a sus prerrogativas constitucionales, en el año 2018, reformula la “Ley del Etanol 1098”, misma que describe la nueva orientación de Bolivia hacia la producción y consumo de biocombustibles, etanol anhidro y biodiesel.

El departamento de Santa Cruz de la Sierra Bolivia, a la fecha, es el de mayor cantidad y número de ingenios azucareros que representan a la industria que procesa la caña de azúcar para obtener un subproducto de importancia como es el etanol.

Consecuentemente, los ingenios azucareros cruceños, de manera progresiva anualizada, muestran cifras de una disminución de gasolina importada del 14% con la producción actual de etanol anhidro que están generando, además que las proyecciones estimadas para el año 2021 indican una disminución del 19% y para el año 2025 se tendría una disminución del 21% de gasolina importada (Unión Agroindustrial de Cañeros Santa Cruz de la Sierra Bolivia, 2020).

TARIJA

La soberanía territorial con la que actualmente cuenta el Estado Plurinacional de Bolivia está políticamente dividida en nueve departamentos; de ese número, a la fecha, tres son los que tienen instalados en su departamento plantas industrializadoras de la caña de azúcar y sus derivados comúnmente llamados Ingenios Azucareros.

El total de ingenios azucareros existentes en Bolivia son ocho, seis en Santa Cruz de la Sierra, uno en La Paz situado en la localidad norteña de San Buenaventura, y uno en el departamento de Tarija e instalado en la localidad sureña de Bermejo.

Todos los ingenios azucareros instalados en Bolivia son plantas industriales que además de la suficiente maquinaria y equipos con que cuentan para producir azúcar granulada, también cuentan con la necesaria instalación de maquinaria para la producción de alcohol etílico. Existen también instalaciones privadas, en Santa Cruz, que sólo producen alcohol, como Santa Cecilia, que aunque es un productor pequeño es una industria a tener en cuenta (Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, 2019).

El departamento de Tarija cuenta con un ingenio azucarero instalado en la ciudad de Bermejo, capital de la segunda sección de la provincia Aniceto Arce, en el cual se destila etanol potable de alta calidad a partir de melaza. Esta se constituye en un líquido espeso y viscoso que es un subproducto de la producción de azúcar refinada de caña, y es de mucho interés de la empresa bermejeña producir el etanol anhidro para aprovechar el precio conveniente actual y la demanda, cada vez mayor, existente en Bolivia.

Mundialmente, los principales fabricantes de vehículos motorizados de pequeña, mediana y gran capacidad y tonelaje de arrastre que funcionan con motores a explosión de carburantes a base de gasolina y diésel que, por efecto de su masiva capacidad y de trabajo, originan una muy marcada contaminación medio ambiental por la producción de monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO₂), que ha originado el preocupante calentamiento del planeta, por lo que la ingeniería mecánica con la que se fabrican

dichos motores de explosión, experimenten nuevas técnicas en el proceso de su fabricación para que operen con etanol anhidro y mezclas necesarias, todo ello con la finalidad de disminuir la producción de monóxido y dióxido de carbono (CO y CO₂) y, de esa manera, conservar la pureza del aire que es un elemento vital para la vida y existencia de la vida humana, animal y vegetal.

Objetivos

Objetivo General

- Realizar un estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta deshidratadora de etanol para Industrias Agrícolas Bermejo S.A.

Objetivos Específicos

- Recopilar datos teóricos, en base a una investigación documental a partir de trabajos realizados en el área de investigaciones de la deshidratación de alcohol, así como de Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima, sitios *web*, tesis, proyectos de grado, plataformas de estadística, revistas científicas, conferencias, para utilizarlos como referencia e información primaria o secundaria para la elaboración de la ingeniería de este proyecto que es una de las partes más importantes del mismo.

- Realizar el diagnóstico de la situación actual del proyecto para conocer el estado actual de la fábrica de alcohol de Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima, a fin de saber qué instalaciones serán necesarias para la correcta elaboración de la ingeniería del proyecto.

- Realizar un estudio de mercado basado en información primaria e información secundaria a objeto identificar la demanda del producto, competencia, clientes en el mercado interno, preferencias, ventajas y desventajas para determinar el tamaño de la planta de alcohol deshidratado y proceder con el diseño de la ingeniería del proyecto.

- Seleccionar el proceso de deshidratación a emplear.

- Identificar y diseñar la implementación del equipamiento, maquinaria, vehículos, materiales y suministros necesarios para el proceso de deshidratación.

- Determinar los beneficios y costos de inversión y operación del proyecto.

Justificación

Justificación tecnológica

Actualmente, el Ingenio Azucarero de Bermejo cuenta con una fábrica destiladora de etanol de acero inoxidable con una capacidad instalada de 30 000 litros por día, además de contar con una nueva destilería de 120 000 litros por día, igualmente de acero inoxidable en fase de implementación.

Aproximadamente, 90% del alcohol que se produce es de 96 grados Gay Lussac, denominado alcohol de buen gusto y un 10% de alcohol de 90 a 93° grados Gay Lussac o etanol de mal gusto.

El etanol se obtiene mediante el proceso de fermentación que se somete a la melaza, la cual se constituye en un llamado subproducto derivado del proceso de elaboración de azúcar refinada (Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima, 2019).

Justificación Económica

Comercialmente, el precio económico del etanol tiene dos parámetros valorativos bien determinados que son el del llamado mercado interno para satisfacer la demanda nacional, y el llamado mercado de exportación para cubrir demandas internacionales de países con los que Bolivia sostiene relaciones diplomáticas y comerciales.

Actualmente, el precio por cada litro para ambos mercados es de 0,50 centavos de dólar, pero la empresa petrolera del Estado Boliviano que es Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) establece por cada litro de etanol el precio de 0,72 centavos de dólar, esa diferencia económica, por lo tanto, es beneficiosa y conveniente para Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima (IABSA), al destinar un volumen de etanol para deshidratar y vender a ese precio a la petrolera nacional (Asamblea Legislativa Plurinacional de Bolivia, 2018).

Es ventajoso para Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima “IABSA” en términos económicos, que se obtenga etanol anhidro en Bermejo, ya que el etanol anhidro es un producto que tiene un buen precio en los mercados interno y externo.

Además, existen posibles futuros mercados como lo son los departamentos de Chuquisaca y Potosí por la ubicación geográfica y territorial de Bermejo.

Justificación Social

Actualmente, en el mercado del departamento de Tarija – como existe en otros del país – se tiene a la venta dos productos de combustión que expide YPFB, que contienen el aditivo de etanol anhidro, estos son: “*Diésel Oil Súper Etanol 92*” y “*Gasolina Súper Etanol 92*”.

La cadena departamental de las llamadas “Estaciones de Servicio” con las que cuenta el territorio, estratégicamente están instaladas sobre las vías carreteras principales que conectan al departamento con el interior del territorio y con los países que limitan su geografía, siendo que las mismas llegan al número de 20 y a mediano y largo plazo, ese número aumentará conforme al crecimiento demográfico departamental.

En la actualidad de esa cadena, en cinco estaciones de servicio en la ciudad de Tarija se encuentran estos productos, “*Diésel Oil Súper Etanol 92*” y “*Gasolina Súper Etanol 92*” (Agencia Nacional de Hidrocarburos “ANH”).

- Estación de Servicio “Don Daniel”
- Estación de Servicio “Moto Méndez”
- Estación de Servicio “Panamericano”
- Estación de Servicio “El Portillo”
- Estación de Servicio “SOINTA”

La política y *marketing* de YPFB y la ANH dejan percibir que a futuro mediato para todo el departamento se habiliten las veinte estaciones de servicio, actualmente existentes.

La construcción de nuevos caminos nacionales que de mejor manera vinculen a todo el país y sus departamentos, la visión empresarial de YPFB bajo una óptica geopolítica y de estrategia nacional Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB), en coordinación con todos los ingenios azucareros existentes en Bolivia, están ampliando

la producción agrocañera para producir mayores cantidades de etanol anhidro para satisfacer la demanda del nuevo biocombustible que es consumido por vehículos de última generación existentes en todo el territorio nacional.

Industrias Agrícolas Bermejo tiene convenios firmados con Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos que, además de garantizar la producción de caña de azúcar, fomentan que las plantaciones de caña aumenten.

La incorporación de la gasolina Súper Etanol 92 es parte de la diversificación del sector hidrocarburífero, toda vez que sectores importantes del quehacer boliviano en materia de autotransporte es gran consumidor de este producto.

Justificación Ambiental

Climatológicamente y en el aspecto que favorece a la atmósfera, se considera que el uso de biocombustibles es un aporte a la calidad del aire y al medio ambiente en general, debido a las menores emisiones de dióxido de carbono que se aportan al aire, entre otros gases que se producen en la reacción de combustión, de acuerdo a los aditivos sintéticos que son añadidos a las gasolinas para mejorar el octanaje de las mismas.

CAPÍTULO I
ESTUDIO DE MERCADO

CAPÍTULO I

ESTUDIO DE MERCADO

1.1 Estructura del mercado

En el ámbito de los hidrocarburos y orientando el producto del etanol como aditivo para gasolina, Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) es la única entidad en todo el territorio del país facultada legalmente para comprar etanol anhidro y proceder a su mezcla con gasolinas.

En este sentido, YPFB se considera el consumidor absoluto y mayoritario principal en todo el país, de toda la producción que los ingenios azucareros producen de manera anual.

Los consumidores relativamente categorizados como medianos consumidores y clasificados como “primera mano” o de primera instancia son las estaciones de servicio; y finalmente considerados en última instancia, los consumidores permanentes y esporádicos del biocombustible.

Es oportuno tomar muy en cuenta que el Decreto Supremo N° 3672 que trata los porcentajes de elementos que se deben utilizar para producir, especifica que el volumen máximo de etanol anhidro en la mezcla con gasolina es de doce por ciento (12%).

Según la Ley del etanol 1098 vigente en Bolivia, para el manejo y comercialización del etanol, la misma determina que para la compra de etanol deshidratado por YPFB, será posible si para el mismo se tiene una Certificación de Costo Bruto de Producción, además menciona que el etanol anhidro podrá ser exportable a otros países, cuando exista alguna otra certificación que confirme la existencia de excedentes para las demandas y necesidades que se requieren para el consumo nacional.

La misma ley del etanol anhidro determina que este subproducto procesado de la caña de azúcar en los ingenios azucareros está exento al Impuesto a los Consumos Específicos (ICE) y al Impuesto Especial a los Hidrocarburos y sus Derivados (IEHD).

Para lograr la producción, almacenamiento, transporte y comercialización de etanol anhidro destinado a mezcla con gasolinas, la ley determina que se requiere que la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), instancia descentralizada de YPFB para el manejo de hidrocarburos, otorgue una Licencia de Operación, la misma que solicita mínimamente la siguiente documentación:

- Solicitud de licencia de operación para la producción de etanol anhidro.
- NIT (Número de Identificación Tributaria)
- Pólizas de Seguros:
 - * Responsabilidad Civil
 - * Incendio y aliados (todo riesgo)
- Boleta de pago para inspecciones
- Descripción técnica de la operación de las actividades de producción y almacenaje que desarrolla la industria fabricante del Aditivo de Origen Vegetal.
- Especificaciones de Calidad del Etanol Anhidro y/o Informe de Calidad.
- Anexo de información técnica y económica requerida por la ANH para el cálculo de precios.

La licencia de Operación para la producción de Etanol Anhidro tiene una duración de cinco años y contempla los procesos de destilación, deshidratación, almacenaje que desarrolla la industria, el carguío de cisternas, así como su comercialización.

1.2 Descripción y especificaciones de materias primas y productos

1.2.1. Materia Prima: Alcohol Etilico 96°

Los alcoholes son compuestos orgánicos muy importantes debido que, a partir de ellos, se puede obtener prácticamente otro tipo de compuesto alifático, halogenuros de alquilo, alquenos, éteres, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres y una multitud de otros subproductos.

Los alcoholes son compuestos de fórmula general ROH, donde R es cualquier grupo alquilo, incluso sustituido (Morrison & Boyd, 1990).

A los alcoholes se les da nombres comunes o nombres IUPAC.

Se clasifican como primarios, secundarios o terciarios, de acuerdo con el tipo de carbono que tiene el grupo –OH.

Al ser el grupo funcional de los alcoholes, el oxhidrilo (-OH), determina las propiedades características de la familia.

Las propiedades físicas de un alcohol se comprenden mejor si reconocemos que los mismos son derivados de un alcano y del agua. Contiene un grupo lipófilo, del tipo de un alcano y un grupo oxhidrilo que es hidrófilo, similar al agua.

De estas dos unidades estructurales, el grupo –OH da a los alcoholes sus propiedades físicas características y el alquilo es el que las modifica, lo que depende de su tamaño y forma.

R-H un alcano

H-OH agua

R-OH un alcohol

El grupo –OH es muy polar y es capaz de establecer puentes de hidrógeno con sus moléculas compañeras, con otras moléculas neutras y con aniones.

El alcohol etílico tiene en su estructura química, dos átomos de carbono, seis átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, siendo su fórmula química $\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{OH}$.

Entre los hidrocarburos, los factores que determinan puntos de ebullición suelen ser el peso molecular y la forma, lo que es de esperar de moléculas que se mantienen unidas esencialmente por fuerzas de van der Waals.

Los alcoholes también exhiben un aumento del punto de ebullición con un número creciente de átomos de carbono y una disminución del mismo con una mayor ramificación.

El alcohol etílico posee un punto de ebullición de 78,3 grados Celsius, punto de fusión de -97 grados Celsius, densidad a 20 grados Celsius, 0,789 gramos por centímetro cúbico y una solubilidad en agua, infinita (Morrison & Boyd, 1990).

Como el agua, el alcohol etílico es un líquido asociado, su punto de ebullición es considerablemente elevado, comparado con los puntos de ebullición de otros compuestos de peso molecular similar, esto se debe a la mayor energía necesaria para romper los puentes de hidrógeno que mantienen unidas a las moléculas.

La tecnología denominada espectroscopia infrarroja ha desempeñado un papel fundamental en el estudio de la asociación por puentes de hidrógeno.

En solución diluida, es un disolvente no polar como el tetracloruro de carbono, en el que la asociación molecular es mínima, el etanol presenta una banda de alargamiento O-H a $3\ 640\ \text{cm}^{-1}$, a medida que aumenta la concentración de etanol; esta banda es reemplazada gradualmente por otra más ancha a $3\ 350\ \text{cm}^{-1}$, la unión del hidrógeno al segundo oxígeno debilita el enlace O-H, por lo que disminuye la energía y, en consecuencia, la frecuencia de vibración.

En lo referente a la solubilidad, el etanol refleja la tendencia a formar puentes de hidrógeno, a diferencia de los hidrocarburos de mayor peso molecular, por lo que, el alcohol etílico es miscible en agua.

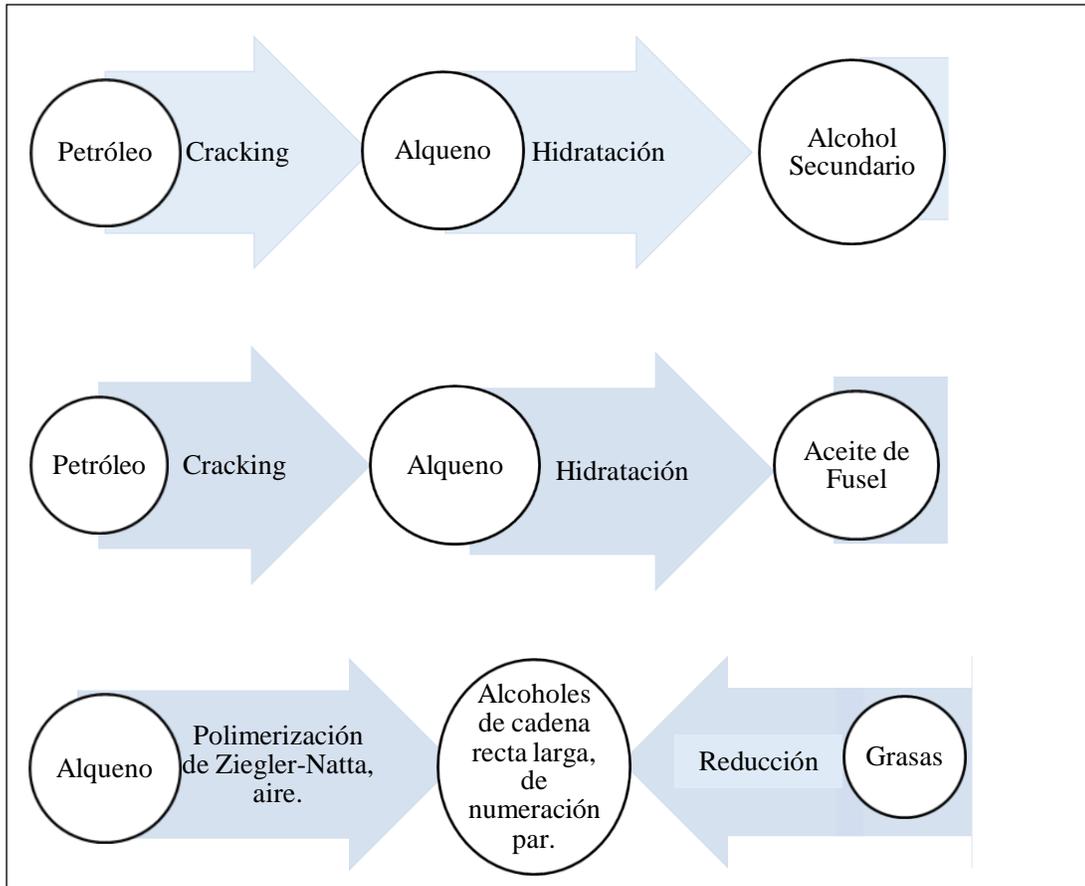
Puesto que el alcohol etílico se mantiene unido por las mismas fuerzas intermoleculares que el agua, puede haber mezcla de las dos clases de moléculas: la energía necesaria para romper un puente de hidrógeno entre dos moléculas de agua o dos de alcohol es proporcionada por la formación de un puente entre una molécula de agua y otra de alcohol (Morrison & Boyd, 1990).

Hay tres procedimientos químicos principales para obtener alcoholes:

- a) Por hidratación de alquenos, obtenidos del *cracking* del petróleo.
- b) Por hidroformilación de alquenos, monóxido de carbono e hidrógeno.
- c) Por la fermentación de carbohidratos.

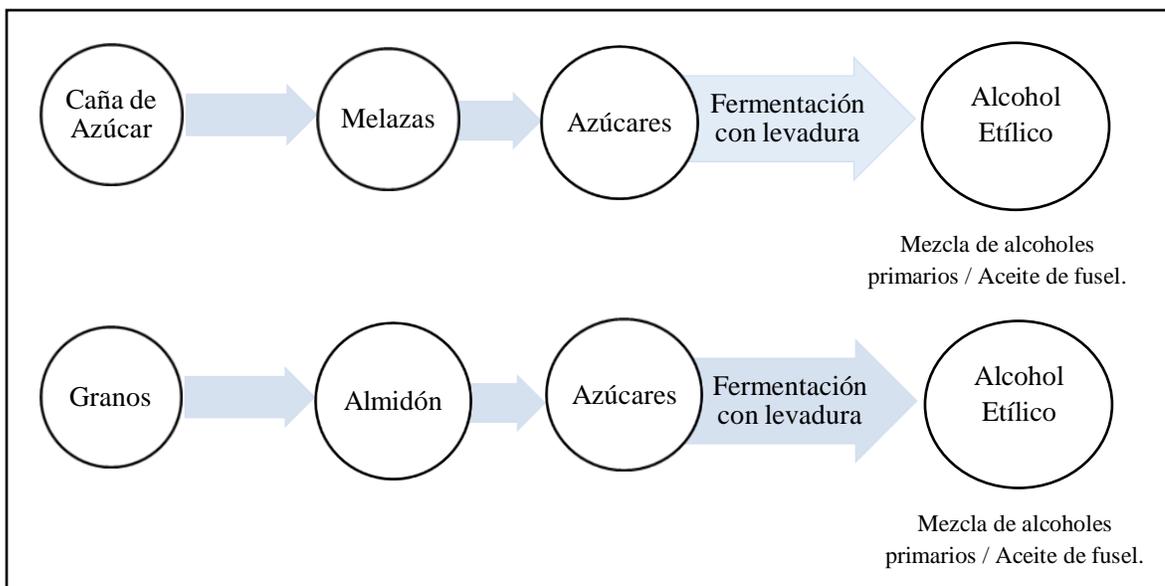
Además de estos métodos considerados principales, existen algunos otros de aplicación más restringida.

Figura I-1. Fuentes Industriales de Alcoholes



Fuente: Morrison & Boyd, (1990)

Figura I-1. Fuentes Industriales de Alcoholes (continuación)



Fuente: Morrison & Boyd, (1990)

El proceso de la fermentación de azúcares con levadura es el proceso de síntesis química más antiguo para la preparación de alcohol etílico.

Los azúcares para este proceso de fermentación o de síntesis química provienen de varias fuentes, principalmente de sacarosa de la caña de azúcar, o del almidón que se obtiene de diversos granos.

El etanol no sólo es el producto químico orgánico sintético más antiguo empleado por el hombre, sino también uno de los más importantes.

La industria emplea extensamente el alcohol etílico como disolvente para lacas, barnices, colorantes, perfumes, ambientadores; como medio para reacciones químicas; como antiséptico; en las bebidas alcohólicas; en el sector farmacéutico, como excipiente de medicamentos y cosméticos; como anticongelante, desinfectante; como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos entre los que se encuentran el acetato de etilo y éter dietílico entre otros; así como para recristalizaciones (Morrison & Boyd, 1990).

El etanol obtenido por el proceso de fermentación de carbohidratos se logra aprovechándose los contenidos requeridos y extraídos de una variedad sorprendente de fuentes vegetales (Morrison & Boyd, 1990).

Las siguientes tablas 1 y 2 reflejan de mejor manera la información de la materia prima que se considera y utiliza, plasmada en una ficha técnica y en las especificaciones del alcohol 96 grados que se produce en Industrias Agrícolas de Bermejo del departamento de Tarija.

Tabla I-1. Ficha técnica del alcohol de buen gusto, 96 grados Gay Lussac

Producto	Alcohol Buen Gusto
Marca	Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima (IABSA)
Descripción técnica	Producto líquido cristalino obtenido por fermentación de la melaza residual de la fábrica de azúcar y posterior destilación como producto principal en la fábrica de alcohol.
Materia prima	La melaza es la miel final del proceso de elaboración de azúcar.
Nombre del fabricante	IABSA
Ubicación	A 7 km de la ciudad de Bermejo (Zona Arrozales) Departamento de Tarija (Bolivia) frontera con la República Argentina.
Presentación comercial	A granel.
Almacenamiento	En tanques de acero de diferente capacidad cerrados y refrigerados en ambiente ventilado.
Manejo y transporte	El 5% en camiones con bidones plásticos a nivel nacional por vía terrestre y el 95% en tanques cisterna a nivel internacional por vía terrestre y posteriormente en barco por vía marítima.
Vida útil estimada	Es un producto imperecedero cuya calidad mejora con el tiempo de añejamiento.

Fuente: Industrias Agrícolas Bermejo S.A., (2019)

Tabla I-2. Especificaciones del alcohol de buen gusto

Constantes Físicoquímicas	Valor
Nombre químico	Alcohol etílico
Fórmula química	C ₂ H ₅ OH
Sinonimia	Etanol, alcohol de melaza, alcohol potable, alcohol rectificado, alcohol de buen gusto.
Grado alcohólico (°GL)	96
Densidad a 288 °K (g/cm ³)	0,810
Tiempo barbet a 288 °K (min)	23
Acidez (mg/l)	17
Ésteres (mg/l)	18
Solubilidad en agua (%)	100
Constantes organolépticas	Valor
Estado físico	Líquido
Color	Límpido cristalino
Olor	Agradable característico

Fuente: Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima, (2020)

1.2.2 Producto: Etanol Anhidro

Las características técnicas de calidad para el uso de etanol anhidro como aditivo de origen vegetal se describen en la siguiente Tabla I-3. Las características y otros indicativos técnico-científicos están ampliamente descritas en la Resolución Ministerial N°120-18 del 18 de octubre del 2018, promulgada por el Ministerios del Estado respectivo, misma que tiene por objetivo reglamentar dichas características en Bolivia.

Tabla I-3. Características técnicas de calidad para el uso de etanol anhidro como aditivo

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	LÍMITE	MÉTODO	
			NBR	ASTM
Aspecto	-	Claro y libre de impurezas.	Visual	
Acidez total	mg/l	30	9866 16047	D1613, D1795
Conductividad eléctrica máxima	s/m	500	10547	D1125
Densidad a 60°F	g/cm ³	0,7968 máx.	5992 15639	D4052
Graduación alcohólica	% vol.	99,5 min.	5992 15693	D891
Contenido de etanol mín.	% vol.	98	16041	D5501
Contenido de agua máx.	% vol.	0,5	15531	E203, E1064
Contenido de metanol, máx.	% vol.	0,5	16041	D5501
Residuo de evaporación, máx.	mg/100 ml	5	8644	-
Cloruros	mg/kg	1	10894	D7328, D7319
Sulfato, máx.	mg/kg	4	10894	D1328, D7319
Cobre, máx.	mg/kg	0,07	11331	D1688
Azufre, máx.	mg/kg	50	-	D5453

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos de Bolivia, (2018)

1.3 Análisis de la oferta y la demanda de materias primas en la región

1.3.1 Oferta de materias primas en la región

Principales oferentes y cantidades

Anteriormente se ha señalado que son un total de ocho las industrias azucareras en actual funcionamiento y producción que ofertan alcohol etílico en Bolivia, a Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) localizadas en tres de los nueve departamentos, que son el departamento de Santa Cruz de la Sierra que en su territorio se encuentran instalados y en funcionamiento seis, uno en Tarija y uno en San Buenaventura del departamento de La Paz.

El volumen total de producción de alcohol etílico de los ocho ingenios azucareros durante el período 2016 – 2019 fue de 540 570 000 litros, de los cuales 273 120 000 litros, corresponden al alcohol etílico de 96°, aproximadamente el 50% del total producido (Morrison & Boyd, 1990).

Tabla I-4. Empresas productoras de alcohol etílico en Bolivia

N°	Empresa	Ubicación
1	Ingenio Azucarero Guabirá Sociedad Anónima (IAGSA)	Provincia Obispo Santisteban – Departamento de Santa Cruz de la Sierra
2	Unión Agroindustrial de Cañeros Sociedad Anónima (UNAGRO)	Mineros, Municipio de la Provincia Obispo Santisteban – Departamento de Santa Cruz de la Sierra
3	Compañía Agroindustrial Azucarera San Aurelio Sociedad Anónima (CIASA)	Provincia Andrés Ibáñez – Departamento de Santa Cruz de la Sierra
4	Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima (IABSA)	Bermejo, Capital de la Segunda Sección de la Provincia Aniceto Arce – Departamento de Tarija
5	Ingenio Sucro-alcoholero Sociedad Anónima AGUAÍ (Aguai)	Provincia Obispo Santisteban – Departamento de Santa Cruz de la Sierra
6	Sociedad Colectiva Industrial y Comercial Santa Cecilia (Santa Cecilia)	Provincia Ignacio Warnes– Departamento de Santa Cruz de la Sierra
7	Poplar Capital Sociedad Anónima Sucursal Bolivia (La Bélgica)	Santa Rosa del Sara, capital de la Provincia Sara – Departamento de Santa Cruz de la Sierra
8	Empresa azucarera San Buenaventura (EASBA)	San Buenaventura, capital del Municipio de San Buenaventura de la provincia Abel Iturralde – Departamento de La Paz

Fuente: Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, (2019)

Los tipos de alcohol que producen las ocho empresas antes mencionadas se detallan en la Tabla I-5 siguiente:

Tabla I-5. Tipos de alcohol etílico producidos en Bolivia por empresa y grado alcohólico

N°	Empresa	Grado Alcohólico (°Gay Lussac)	Destino de Venta	
			Mercado Interno	Exportación
1	Aguai	96° mín.	X	X
2	IAB S.A.	96° mín. 93° mín.	X	X X
3	San Buenaventura S.A.	96° mín. 95° mín.	X	X
4	Guabirá S.A.	96,1° mín. 96,2° mín. 94,5° mín. 99,2° mín.	X	X X X
5	La Bélgica S.A	96,02° mín.	X	X
6	San Aurelio S.A.	96,02° mín.	X	X
7	Santa Cecilia	96° mín.	X	X
8	UNAGRO	96° mín.	X	X

Fuente: Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, (2019)

Referencia Geográfica necesaria y útil para comprenderse mejor el presente trabajo y estudio académico

De una manera general de lo que significa en importancia para el Estado Plurinacional de Bolivia en lo referente a su industria Agrícola y existencia de plantas procesadoras de insumos agroindustriales renovables, a continuación se describe puntualmente la variedad de climas que posee su territorio bajo la clasificación universal que establece la Organización Mundial Geodésica, tomándose como medida universal la situación

geográfica de cualquier territorio geográfico nacional, con relación a su altitud comparada con el nivel del mar.

Por lo que en estricta observancia y respeto a esa norma universalizada y utilizada por la Ciencia Geodésica que contextúa en los cinco continentes, y en cada continente lo conforman, bajo esa doctrina y metodología es que todos los estados, países, naciones, repúblicas, etc., se entienden y comprenden, como regulan sus relaciones internacionales y condicionamientos para sus intereses de diversa índole, especialmente económicos, políticos, sociales, culturales y de convivencia, para fortificarse los fundamentos doctrinales nacionales bajo los principios de “Defensa”, “Seguridad” y “Desarrollo Nacional”.

Al observarse detenidamente la diversa orografía territorial del Estado Plurinacional de Bolivia, los llamados “pisos ecológicos” que existen al interior de su soberanía van desde los muy cercanos al nivel del mar, ascendiendo progresivamente en la dirección geográfica de Este a Oeste, pasando por regiones de clima más templado que las situadas al Este, que son tropicales, para llegar finalmente a las denominadas Altiplánicas que, todas ellas desde las más bajas situadas a 3 800 metros sobre el nivel del mar, llegan hasta más de 6 500 metros sobre el nivel del mar, regiones gélidas donde la temperatura medioambiental oscila entre -20 grados a 5 sobre cero, según la estación climática sea verano o invierno.

Figura I-2. Mapa geográfico de Bolivia



Fuente: Google Inc., (2021)

El presente estudio ha enunciado de manera puntual que en el Estado Plurinacional de Bolivia, país que en su división geográfica política tiene nueve departamentos, solamente en tres de ellos (Santa Cruz de la Sierra, Tarija y La Paz) tiene establecidos y en funcionamiento su denominada cadena de Ingenios Productores de Azúcar y Alcohol.

Observándose la situación y ubicación geográfica donde se encuentran edificados, se puede conjeturar diversos criterios y conceptos analíticos.

Entre ellos, y el más notorio, es que en el Departamento del Beni no existe uno solo, tampoco se escuchan posibles políticas de Estado y Gobierno que al menos se

construirá a mediano plazo, un ingenio azucarero o uno específicamente alcoholero, ello debido a que el Departamento del Beni, en lo que respecta a su participación y concurso agroproductivo e industrial en el contexto nacional, es eminentemente ganadero.

Es importante dejar claramente establecido que el Beni, territorialmente, cuenta con inmensas sabanas que son excepcionales para la agricultura y, particularmente, para la siembra de la planta de la caña de azúcar, por lo que, en muchas estancias ganaderas, de manera criolla y casera, procesan chancaca, melaza y azúcar para el consumo familiar.

El departamento de Pando, hasta fines del siglo XX, ha sido un territorio “Benjamín” por la carencia de una carretera vial que lo vinculara con el interior del país, siendo hasta entonces igualmente conectado solamente por la vía aérea muy cara y prohibitiva para fomentarse su movimiento socioeconómico, por lo que su principal producción agroforestal se constituye hasta ahora en la explotación forestal de ricas especies madereras y la explotación del fruto de la castaña, siendo que otras actividades de importación comercial, expresada en el ritmo y crecimiento urbano por su situación fronteriza con el Brasil y el Perú, es la fuente que regula esta realidad social.

Los ocho ingenios, actualmente en plena capacidad productiva, establecen de manera organizada una “Política de Mercado Nacional”, para el aprovechamiento del azúcar y alcohol en relación a la demanda nacional, siendo que el alcohol está aparejado al mercado mismo del consumo azucarero; en esa bifurcación, se denota la siguiente territorialidad para todos y cada uno de los ingenios azucareros.

Territorialmente y por su ubicación geográfica nacional, el Ingenio de San Buenaventura de La Paz, así como el Ingenio de Bermejo establecido en Tarija, con relación a los seis ingenios que se encuentran en el Departamento de Santa Cruz de la Sierra, forman una figura geoestratégica territorial bien definida para materializar una comercialización permanente y sostenida, toda vez que en las actuales circunstancias, propiamente toda la mancha geográfica nacional, se encuentra vinculada por carreteras con calidad interoceánica cuyas construcciones se van concluyendo y asfaltando,

interdepartamentales de norte a sur y de este a oeste y las interprovinciales entroncadas y conectadas a las anteriormente nombradas.

Encontrándose en el Departamento de Santa Cruz de la Sierra, el mayor número de ingenios con que cuenta el Estado Plurinacional de Bolivia, su situación geográfica constituye el centro y eje principal de la producción total azucarera y de alcohol del país, y por la situación en la que se encuentran el ingenio del departamento de La Paz como el de Tarija, resulta que ambos ingenios son los extremos y de esa manera todos conforman una figura o mapa geopolítico sobre el que se conjetura la llamada política comercial del azúcar y el alcohol para el mercado nacional.

La producción azucarera y de alcohol que genera el ingenio de Tarija alcanza y cubre a los departamentos colindantes de Potosí y Chuquisaca; mientras que el de San Buenaventura del departamento de La Paz cubre al departamento de Pando y departamento de La Paz y, entre ambos, más la mayoritaria capacidad producida por los Ingenios Cruceños, propiamente todo el territorio del Estado Plurinacional de Bolivia tiene y cuenta con un abastecimiento normal que satisface su creciente demanda poblacional.

Bajo un concepto comercial económico, en todo el territorio circula y existen las denominadas “Agencias regionales” de las diferentes marcas y calidades del grano dulce y alcohol, por lo que un posible monopolio territorial con exclusividad y control del mercado consumidor no da a lugar.

A continuación, se presenta un procedimiento necesario que tiene por objetivo ilustrar, informar y establecer parámetros de comparabilidad productiva y de capacidad en cada uno de los ingenios azucareros bolivianos.

Se comienza con el Ingenio Azucarero de Bermejo en el departamento de Tarija, para continuar con el ingenio San Buenaventura del departamento de La Paz y, finalmente, se exponen los ingenios azucareros del departamento de Santa Cruz de la Sierra.

Se deja claramente establecido que toda la información oficial colectiva para el presente estudio y trabajo académico de cada uno de los ocho ingenios existentes en el

Estado Plurinacional de Bolivia, por su calidad valorativa académica y científica, en un compendio constituido en ocho referencias, sirve y es referencia para diversos trabajos de estudio y profundidad con calidad de postestudios de especialización profesional de diversas ciencias.

Industrias Agrícolas Bermejo S.A.

Breve descripción

El territorio geográfico del Departamento de Tarija se encuentra situado al sur del territorio Nacional con una superficie de 37 623 kilómetros cuadrados.

Geográficamente, su territorio está dividido en seis provincias, siendo la provincia Aniceto Arce en su segunda sección con su capital Bermejo, la que alberga al denominado complejo agroproductivo de Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima que, desde los años sesenta del pasado siglo XX, se ha constituido en una de las fuentes económico-productoras más importante de la región.

La planta productora de alcohol de IAB, como la totalidad del Ingenio y sus componentes, está ubicada en la ciudad de Bermejo en la Provincia Aniceto Arce segunda sección del departamento de Tarija.

La planta productora de alcohol de IAB como la totalidad del Ingenio y sus componentes está ubicada en la ciudad de Bermejo en la Provincia Aniceto Arce segunda sección del departamento de Tarija.

Figura I-3. Ubicación geográfica de Industrias Agrícolas Bermejo S.A.



Provincia Aniceto Arce. Departamento de Tarija - Bolivia.

Fuente: Google Inc. (2021)

La estructura tecnológica cuenta con una destilería de alcohol con capacidad de producción de 30 000 litros por día, y una nueva destilería de alcohol en fase de implemetación, con una capacidad de 120 000 litros por día.

En el período de los años 2008-2018, la contaminación medioambiental del planeta, según los datos acumulados, demuestran que son años consecutivos en los que la fabricación de motores diversos para vehículos de gran tonelaje y de uso familiar, se caracterizan porque consumen combustibles que originan mayor monóxido de carbono (CO) producido por la combustión de carburantes fósiles; por ello ingeniería automotriz encuentra novedosos resultados al perfeccionar motores vehiculares que

funcionen con la mezcla de gasolina con el alcohol, dándose a este nuevo combustible la identidad y/o denominativo de biocombustible.

A partir del año 2016, en las diferentes ferias expositoras de renombre mundial van exhibiéndose vehículos de novedosa tecnología, destacándose la combustión más limpia que disminuye la contaminación medioambiental y, en circunstancias, se aceleran políticas industriales que perfeccionan y modernizan de mejor manera y preferencia, la fabricación de este tipo de motores, dejando y reemplazando de manera gradual a los que funcionan solamente a diésel y gasolina, indistintamente.

Esta novedad impulsada por las diferentes marcas mundiales de autos y transportes de carga pesada llega a Bolivia por intermedio de la Feria Exposición Internacional anualizada que, de manera secuencial, se realiza en la capital del departamento de Santa Cruz de la Sierra.

Son los *stands* de países europeos, asiáticos, de Estados Unidos de Norte América y Brasil los que cada año exponen novedosos modelos con mayor tecnología y limpieza de combustión.

En el período de los años 2009-2019, se aprecia de manera muy notoria y dispar la cantidad de alcohol producido por IAB, distintos volúmenes que se muestran en la siguiente tabla referencial:

Tabla I-6. Alcohol producido en IABSA - Período 2009 - 2019.

Producción de alcohol IABSA - 2009 - 2019		
Zafra	Litros de Alcohol 96 grados Gay Lussac	Litros de Alcohol 93 grados Gay Lussac
2009	6 446 312	531 309
2010	7 294 057	592 841
2011	4 517 100	322 676
2012	6 921 581	531 377
2013	8 105 774	725 613
2014	5 708 027	550 217
2015	3 243 089	299 004
2016	1 342 580	141 350
2017	6 117 190	464 430
2018	4 274 000	347 758
2019	2 953 000	428 734

Fuente: Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima, (2019)

El 90% del alcohol producido se denomina *alcohol de buen gusto*, éste alcanza una graduación alcohólica de 96 grados Gay Lussac y el 10% restante del alcohol producido se denomina *alcohol de mal gusto*, con una graduación alcohólica de 93 grados Gay Lussac.

Los volúmenes promedio de producción anual, tomándose en cuenta los diez años (2009-2019), demuestran que hay un muy alto porcentaje de la demanda nacional e internacional, la misma que está controlada y dirigida por la asociación cruceña de

ingenios azucareros que compulsan con los intereses de Tarija en una proporción de seis votos contra uno.

Prueba irrefutable de lo señalado, teniéndose en cuenta los volúmenes promedio de producción de alcohol anual, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla I-7. Volúmenes promedio de producción anual de alcohol en IAB

Litros de Alcohol 96 grados Gay Lussac	Litros de Alcohol 93 grados Gay Lussac
5 174 792	448 664

Fuente: Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima, (2019)

La nueva ley ampliatoria que favorece a Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) para que produzca la llamada Gasolina Etanol 92, cambia muchos conceptos duros y verticales que hasta entonces beneficiaban de mejor manera a los intereses y políticas regionales de los productores cañeros, de los ingenios azucareros cruceños y de su organizada política regional, interesada en constituirse en la de primer orden para abastecer al mercado interno como cubrir las cuotas de exportación a diferentes mercados internacionales y mundiales.

Meses de producción de alcohol

La producción de alcohol tiene que ver directamente con el inicio de la temporada denominada zafra, que significa tiempo y momento de la cosecha de la caña de azúcar para producir el azúcar y sus derivados, siendo entre los principales el alcohol.

El alcohol se obtiene de la melaza residual del proceso industrial que se aplica y desarrolla para la obtención del azúcar para consumo humano y también industrial de numerosas factorías.

La producción de alcohol se inicia a los veinte o más días de iniciada la llamada molienda que consiste en el proceso de estrujado del jugo de la caña de azúcar, para obtener el azúcar refinada, tiempo que permite sea acopiada la melaza residual en tanques de gran capacidad y de almacenamiento.

El tiempo que dura la molienda de la caña de azúcar tiene una duración aproximada de entre 120 y 150 días, período en el que se recibe y procesa toda la caña estimada para cada período anualizado.

Por lo que la actividad humana y organizada para cada molienda está prevista, toda vez que el funcionamiento mecánico del ingenio funcione y trabaje de manera imparable las 24 horas de todos y cada uno de los días señalados.

Para citar un ejemplo, en el año 2019, la destilería de alcohol empezó a trabajar a finales del mes de septiembre, siendo que la molienda comenzó en junio.

Es decir que, en un período de tres meses, se procedió al acopio de la melaza producida, y cuando se tuvo el porcentaje mínimo, se comenzó el destilado y se terminó de destilar alcohol en el mes de diciembre.

En la tabla N° I-8 siguiente, se muestran datos oficiales de la cantidad de caña molida por mes, así como las toneladas de la melaza producida por toneladas de caña molida y la cantidad de alcohol destilado por tonelada de melaza.

Tabla I-8. Producción de alcohol en IAB-Gestión 2019

Mes	Días	Toneladas de caña molida	Toneladas de melaza obtenida	Litros de alcohol destilado	Litros de Alcohol 96 grados Gay Lussac	Litros de Alcohol 90 grados Gay Lussac
Septiembre	24	63 742	2 462	803 580	701 703	101 877
Octubre	31	82 333	3 180	1 037 958	906 366	131 592
Noviembre	31	82 333	3 180	1 037 958	906 366	131 592
Diciembre	15	39 839	1 539	502 238	438 564	63 673
Totales	101	268 246	10 361	3 381 734	2 953 000	428 734

Fuente: Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima, (2019)

Es muy importante dejar establecido de que la producción de la caña de azúcar cultivada en toda la amplia región de Bermejo, hasta el año 2016, ingresaba al ingenio en hasta 60% y el restante porcentaje era vendido a la industria argentina, situada a pocos kilómetros de la banda del río Bermejo, límite natural fronterizo con la república Argentina.

A comienzos del año 2019, YPFB anunció dos hechos industrializadores que benefician y ensanchan la agroproducción nacional, y particularmente la tarijeña:

- El primero, que a todos los ingenios azucareros del país (seis de Santa Cruz de la Sierra, uno de Tarija y otro de La Paz) les comprará toda su producción de alcohol para satisfacer las demandas de sus plantas productoras de gasolina Etanol 92.
- El segundo, igualmente YPFB licitará la construcción de nuevas estaciones de servicio para el abastecimiento de combustibles diversos en base al alcohol, toda vez que el parque automotor nacional vaya ampliándose.

Ingenio Azucarero Guabirá S.A.

Ubicación

Se encuentra situado en la provincia Obispo Santisteban del departamento de Santa Cruz de la Sierra.

Figura I-4. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero Guabirá S.A.



Provincia Obispo Santisteban. Departamento de Santa Cruz - Bolivia.

Fuente: Google Earth, (2021)

Producción

Actualmente, el ingenio produce una amplia gama de subproductos derivados de la caña de azúcar, siendo los principales, el azúcar blanca, azúcar cruda, alcohol, alimento balanceado para ganado diverso, energía eléctrica, rones, mieles y melaza de caña, levadura seca, bioabono (composta orgánica) y bagazo hidrolizado, además de otros subproductos de menor demanda comercial.

Específicamente en materia económico-comercial, la oferta de Guabirá para el mercado es de alcohol etílico de cuatro grados diferentes.

N°	Nombre del Producto	Grado Alcohólico (grados Gay Lussac)	Producción Anual (litros)
1	Alcohol Etílico	94,5°	4 940 000
2	Alcohol Etílico	96,1°	34 480 000
3	Alcohol Etílico	96,2°	16 090 000
4	Alcohol Etílico	99,2°	6 050 000
Total			61 560 000

Fuente: Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, (2019)

Unión Agroindustrial de Cañeros S.A.

Ubicación

El Ingenio Azucarero Roberto Barbery Paz en su estructura industrial cuenta con una planta destiladora ubicada en la localidad de Mineros, situada en la provincia Santisteban del departamento de Santa Cruz de la Sierra, a dos kilómetros de la carretera a Chané.

Figura I-5. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero Unión Agroindustrial de Cañeros S.A.



Provincia Obispo Santisteban. Departamento de Santa Cruz - Bolivia.

Fuente: Google Earth, (2021)

Producción

El ingenio azucarero Roberto Barbery Paz cuenta con una moderna fábrica de alcohol, con una proyección anual de producción de 30 000 metros cúbicos de alcohol potable

de 96 grados Gay Lussac (porcentaje volumen-volumen de alcohol), con cuya tecnología además, le es posible producir muchas calidades a requerimientos específicos: alcohol fino, extrafino y absoluto o anhidro.

Cultiva por cuenta propia alrededor del 40% de la caña que procesa y se provee del resto de materia prima de sus socios cañeros y de productores particulares de la región.

Su política económica y comercial, a diferencia de los otros ingenios, es que dirige la manera estudiada y planificada lo referente a la materia prima a estocar, es decir, la suficiente melaza con la que determina y fomenta una planificación productora de alcohol en la que los requerimientos especificados anteriormente cuentan con un programado crecimiento en la demanda internacional que es el mercado de su notorio interés.

La oferta promedio anual de alcohol etílico 96° del ingenio azucarero de propiedad de la Unión Agroindustrial de Cañeros Sociedad Anónima, conocida también con la razón de UNAGRO, es de 20 700 000 litros. (Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, 2019)

Actualmente, la producción anual señalada se encuentra en estudios, toda vez que la demanda hecha pública de que YPFB produce el nuevo combustible Etanol 92 y Biodiesel y es el comprador mayoritario del alcohol que producen los ocho ingenios deja ver y conjeturar con propiedad y fundamento que esa infraestructura productora de alcohol puede ampliarse.

Compañía Agroindustrial Azucarera San Aurelio S.A.

Ubicación

La empresa está ubicada en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra y, conforme a la división política territorial del Estado Plurinacional de Bolivia, esta ciudad es la capital política del departamento situada en la provincia Andrés Ibáñez, en el corazón del territorio departamental.

Figura I-6. Ubicación geográfica de la Compañía Agroindustrial San Aurelio S.A.



Provincia Andrés Ibáñez. Departamento de Santa Cruz - Bolivia.

Fuente: Google Earth, (2021)

Históricamente, en la referencia empresarial privada de Bolivia como en la actividad agroempresarial productora azucarera, este ingenio azucarero por la data en la producción azucarera y de alcohol, tiene un sitio por demás privilegiado con sobresaliente denominación de ser en el ramo “La Empresa Pionera Boliviana”.

Producción

Si bien el azúcar es el principal producto por su alta calidad y alta tecnología de refinación, el alcohol de la marca “San Aurelio” tiene igual prestigio nacional e internacional que sigue compitiendo con marcas diversas de origen internacional y nacionalidades como lo son la cubana, peruana, argentina, paraguaya, brasilera y muchas otras más.

Actualmente, la producción Agroindustrial para el renglón azucarero está centrada en la producción de azúcar estándar, refinado, crudo, moreno, blanco, blanco especial y blanco de refinería, así como el alcohol de 96°GL.

El principal producto es el azúcar granulado, el subproducto, alcohol, de marca San Aurelio, que se produce como resultado del procesamiento de la melaza, miel fina agotada que se obtiene como subproducto después de agotar el azúcar cristalizable del jugo de la caña molida.

El azúcar se fabrica bajo normas sanitarias y fitosanitarias reguladas por el “Codex Alimentarius”.

Para la fabricación de alcohol se aplican estándares de calidad internacionales.

La Compañía Agroindustrial Azucarera San Aurelio S.A., oferta al mercado nacional e internacional una cantidad promedio anual de 16 250 000 litros (Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, 2019).

Ingenio Azucarero Aguaí S.A.

La empresa y sus principales dependencias tecno-productoras se encuentran en la provincia Obispo Santisteban de departamento de Santa Cruz de la Sierra, distante a 110 km de la ciudad de Santa Cruz, capital del departamento.

Figura I-7. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero Aguaí S.A.



Provincia Obispo Santisteban. Departamento de Santa Cruz - Bolivia.

Fuente: Google Earth, (2021)

Producción

Su actual actividad procesadora para la industrialización y comercialización de productos obtenidos a partir de la caña de azúcar es azúcar y alcohol.

Igual interés otorga a los diversos subproductos que son resultado del proceso industrial, gracias a la diversa virtualidad que demuestra su moderna maquinaria instalada y en funcionamiento.

La empresa regente del Ingenio Azucarero Aguaí S.A. realizó la instalación de una nueva y moderna destilería de alcohol etílico debido a la creciente demanda nacional e internacional.

Actualmente, tiene como objeto principal la industrialización y comercialización de productos obtenidos a partir de la caña de azúcar, en especial azúcar y alcohol, así como diversos subproductos que son resultado del proceso industrial.

La producción anualizada de alcohol que produce el Ingenio Azucarero Aguaí S.A. es de 35 000 000 de litros promedio (Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, 2019).

Sociedad Colectiva Industrial y Comercial Santa Cecilia

Ubicación

La empresa se encuentra ubicada en la provincia Ignacio Warnes, cantón Los Chacos, en el departamento de Santa Cruz.

Figura I-8. Ubicación geográfica de la Sociedad Colectiva Industrial y Comercial Santa Cecilia



Provincia Ignacio Warnes. Departamento de Santa Cruz - Bolivia.

Fuente: Google Earth, (2021)

Producción

Desde el nueve de septiembre del año 1959 comenzó su producción con equipos inicialmente para la elaboración de alcohol, disponiendo de una pequeña destilería.

En el transcurso de los siguientes años, se estructuró en una fábrica por la alta calidad del alcohol que obtenía, con lo que la marca “Santa Cecilia” se expande tanto a nivel nacional como internacional.

La década de los años noventa del siglo XX fue el período en el que la transformación de su planta destiladora, recibió una reingeniería futurista, que se aprecia en su producción actual pues diariamente produce como término medio la cantidad de 20 000 litros diarios de alcohol potable 96 grados Gay Lussac.

La producción promedio anual de la Sociedad Colectiva Industrial y Comercial Santa Cecilia se estima y supera la cantidad de 1 560 000 litros anuales (Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, 2019).

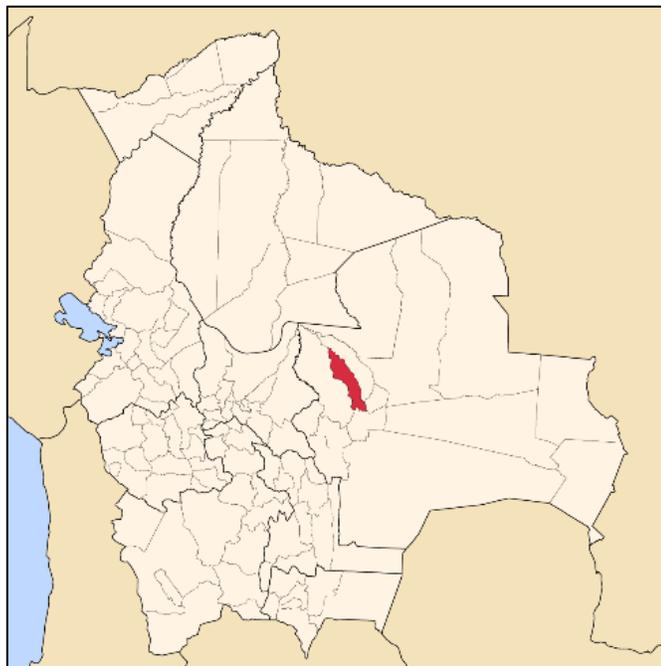
Se presupone que los convenios de oferta y compra que YPFB han protocolizado con esta destilería (como también lo han efectuado con los siete otros ingenios), la política expansiva que hace factible el nivel empresarial por la experiencia y especialidad que tiene en la producción y calidad del alcohol etílico; su capacidad productora será ampliada, fundamentando esa realidad, a la agroproducción que despliegan los productores cañeros de sus campos agrícolas actuales.

Ingenio Azucarero la Bélgica S.A.

Ubicación

La empresa está localizada en el departamento de Santa Cruz, provincia Sara, municipio de Colpa Bélgica, localidad de la Bélgica.

Figura I-9. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero La Bélgica S.A.



Provincia Sara. Departamento de Santa Cruz – Bolivia.

Fuente: Google Earth, (2021)

Producción

Tiene como principal actividad la producción de azúcar refinada y la producción de alcohol etílico.

La empresa maneja dos periodos por año: en el “periodo de interzafra”, las actividades de la fábrica se limitan al mantenimiento y reparación de toda la industria y en el “periodo de la zafra” la industria desarrolla plenamente sus actividades fabriles, procesa la caña del sector agrícola cañero (cooperación industrial) con derecho a participar en las proporciones que convengan sobre el producto final resultante.

El proceso de producción de alcohol se encuentra prácticamente integrado a la producción de azúcar ya que la materia prima para la producción de alcohol es la melaza o miel que la fábrica produce como residuo. La primera etapa del proceso de producción es la preparación de cultivo de levadura, utilizando como fuente de alimentación la melaza.

La oferta de esta empresa en el mercado es de un sólo tipo de alcohol:

- Alcohol etílico de 96,02° GL, con una producción de 4 680 000 de litros anuales (Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, 2019).

DEPARTAMENTO DE LA PAZ

Empresa azucarera San Buenaventura

Ubicación

Ubicada en el departamento de La Paz, en la provincia Abel Iturralde, en el municipio de San Buenaventura a 233 kilómetros de la ciudad de La Paz, fue creada el 15 de septiembre de 2010, mediante el Decreto Supremo N° 063.

Figura I-10. Ubicación geográfica de la Empresa Azucarera San Buenaventura



Provincia Abel Iturralde. La Paz –Bolivia.

Fuente: Google Earth, (2021)

Producción

La producción de alcohol en la EASBA se realiza a partir de la melaza o miel final, subproducto de la fabricación de azúcar que inició en las zafras de prueba de las gestiones 2016 y 2017, con resultados importantes desde el punto de vista de la calidad y cantidad.

La oferta EASBA en el mercado es de un sólo tipo de alcohol hidratado:

- Alcohol etílico de 95 grados Gay Lussac, con una producción de 1 600 000 de litros anuales.

ANÁLISIS

Con los datos de producción de cada una de las empresas ofertantes de alcohol etílico en Bolivia, se pudo construir la siguiente tabla, donde se muestra la cantidad de alcohol en millones de litros, ofertado al mercado nacional e internacional, por empresa:

Tabla I-9. Oferta nacional de alcohol etílico por empresa

Empresa	Volumen (millones de litros)
IABSA	5 200 000
Aguai	35 000 000
Guabirá	61 560 000
La Bélgica	4 680 000
San Aurelio	16 250 000
San Buenaventura	1 600 000
Santa Cecilia	1 560 000
UNAGRO	20 700 000
TOTAL	146 550 000

Fuente: Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, (2019)

1.3.2 Demanda de alcohol etílico en la región

Demanda interna de alcohol etílico 90 grados Gay Lussac – 96 grados Gay Lussac

Según información proporcionada por las empresas del sector, la demanda interna de alcohol etílico en Bolivia representa el 5 % del volumen total producido (Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, 2019), es decir, **7 330 000 de litros anuales**.

Demanda externa de alcohol etílico 90 grados Gay Lussac – 96 grados Gay Lussac

La demanda externa de alcohol etílico se representa por el volumen exportado, mismo que alcanza los **128 000 000 de litros anuales** (Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia, 2019), lo cual representa el 87,28% de la producción de alcohol etílico total.

1.3.3 Demanda del alcohol anhidro en la región

En el año 2020, la demanda de etanol deshidratado por parte de YPFB, según la información proporcionada por la entidad, fue de **80 000 000 de litros anuales**. El objetivo del sector agroindustrial boliviano, concentrado en el oriente del país es hacer las inversiones necesarias en la parte técnica para llegar a una producción de **700 000 000 de litros anuales** de alcohol anhidro para el 2025 (Unión Agroindustrial de Cañeros Santa Cruz de la Sierra Bolivia, 2020), de los cuales, **312 000 000 de litros anuales** estarían destinados al mercado interno y **388 000 000 de litros anuales** para exportación.

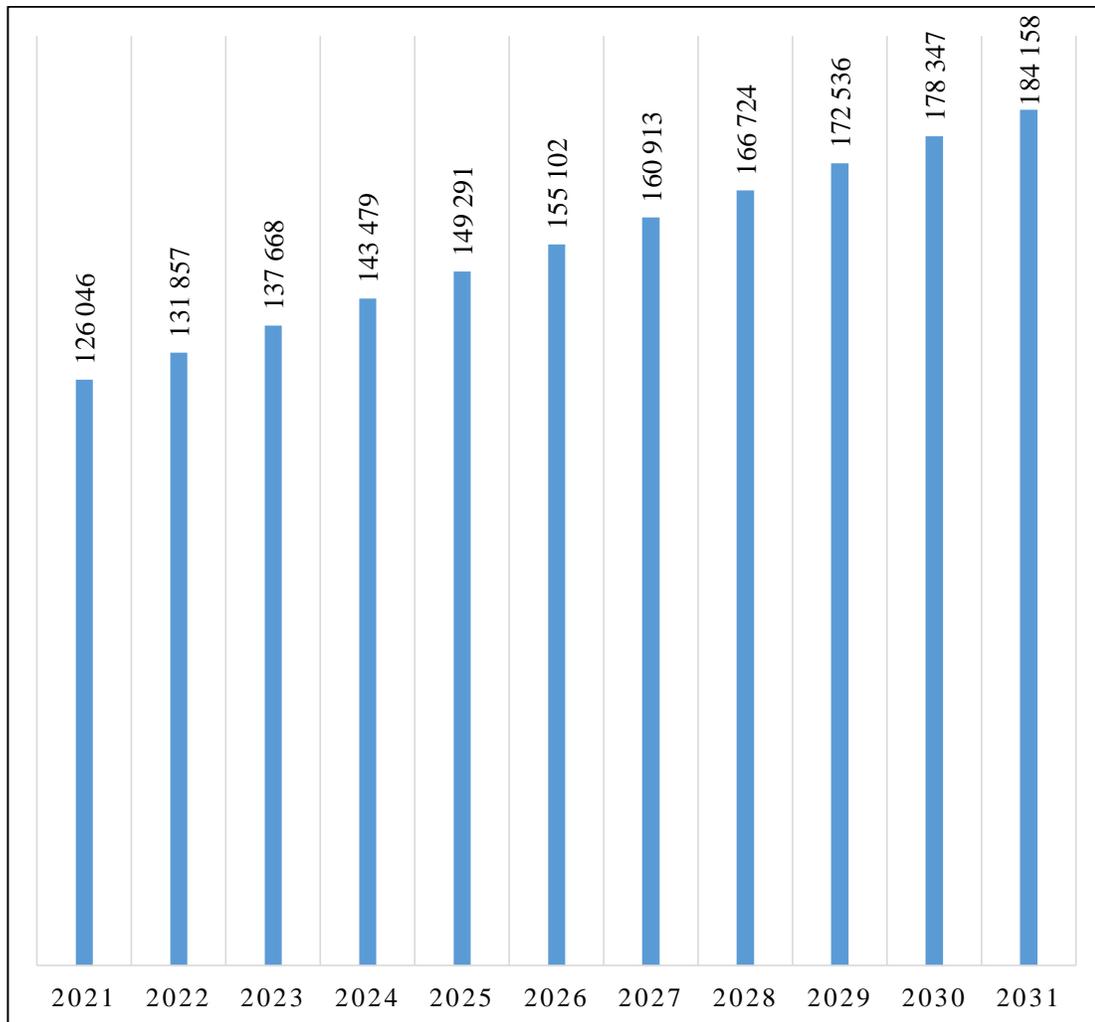
La tasa de crecimiento del parque automotor es un factor determinante en la demanda de alcohol deshidratado, así como los volúmenes de ventas de combustibles líquidos en el departamento de Tarija.

Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos debe garantizar el abastecimiento de combustible para el parque automotor tarijeño así como el Ingenio de Bermejo deberá ser capaz de cumplir con esta demanda de alcohol deshidratado.

A continuación, se expone una figura que muestra la proyección del número de vehículos en el departamento de Tarija, desde el año 2021 hasta el año 2031, según

datos proyectados a partir de información del Instituto Nacional de Estadística. Es importante mencionar que esta figura muestra datos de los vehículos que se encuentran registrados en los sistemas nacionales; sin embargo, existen vehículos sin registro en todo el departamento.

Figura I-11. Parque Automotor del Departamento de Tarija, 2021 – 2031



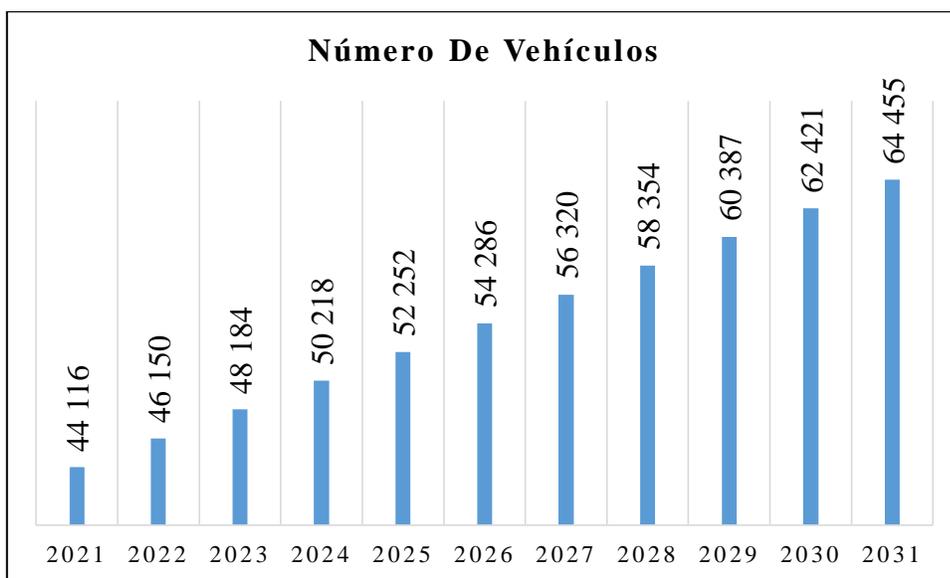
Fuente: Instituto Nacional de Estadística Bolivia, (2020)

Como se observa, el número de vehículos es creciente anualmente, y no todos los vehículos van a adquirir el nuevo biocombustible.

Pero para tener un estimado de la cantidad de etanol anhidro demandado por el departamento de Tarija, se va a suponer que el 35% de todo este parque automotor puede consumir el biocombustible.

La Figura I-12 muestra ese porcentaje de vehículos consumidores de biocombustible en los próximos 10 años.

Figura I-12. Número de Vehículos Consumidores de Biocombustible en el Departamento de Tarija - 2021 – 2031



Fuente: Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (2021)

Demanda insatisfecha

Debido a que los vehículos consumidores varían en cuanto a modelo, tipo, cantidad de combustible consumido, distancias recorridas, etc., es conveniente utilizar las estadísticas actuales de venta de combustibles líquidos anuales, para calcular un estimado de la cantidad de biocombustible consumido y así tener el valor de la demanda anual insatisfecha de alcohol anhidro.

Este porcentaje que se va a considerar es del 35%, es decir, se va a asumir que del volumen total de litros consumidos de combustibles líquidos, el 35% corresponde al

consumo de biocombustible que es consumido por los vehículos del departamento de Tarija.

Es importante recalcar que un litro de Gasolina Súper Etano 92, contiene 12% de etanol anhidro y 88% de gasolina base.

Los datos y cálculos se muestran en la Tabla I-10:

Tabla I-10. Resumen de Proyecciones de Consumo, 2021-2031

Año	Consumo litros gasolina nacional (litros anuales)	Consumo gasolina Tarija (litros anuales)	Consumo de Gasolina Súper Etanol 92 Tarija (35%) (litros anuales)	Consumo Etanol Anhidro (12%) (litros anuales)	Capacidad requerida etanol anhidro (litros/día)	Etanol 96° (litros/día)	Vehículos consumidores
2021	2 217 627 950	221 762 795	88 705 118	10 644 614	35 482	36 960	44 116
2022	2 323 044 950	232 304 495	92 921 798	11 150 616	37 169	38 717	46 150
2023	2 428 461 950	242 846 195	97 138 478	11 656 617	38 855	40 474	48 184
2024	2 533 878 950	253 387 895	101 355 158	12 162 619	40 542	42 231	50 218
2025	2 639 295 950	263 929 595	105 571 838	12 668 621	42 229	43 988	52 252
2026	2 744 712 950	274 471 295	109 788 518	13 174 622	43 915	45 745	54 286
2027	2 850 129 950	285 012 995	114 005 198	13 680 624	45 602	47 502	56 320
2028	2 955 546 950	295 554 695	118 221 878	14 186 625	47 289	49 259	58 354
2029	3 060 963 950	306 096 395	122 438 558	14 692 627	48 975	51 016	60 387
2030	3 166 380 950	316 638 095	126 655 238	15 198 629	50 662	52 773	62 421
2031	3 271 797 950	327 179 795	130 871 918	15 704 630	52 349	54 530	64 455

Fuente: Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, (2020)

Según la Tabla I-10, la demanda de etanol anhidro al año 2031 es de 15 704 630 de litros en el departamento de Tarija.

Precio del producto

La Ley 1098 de Aditivos de Origen Vegetal establece que el precio del etanol se fija en función de las inversiones necesarias realizadas para el inicio del proceso de producción del etanol anhidro a partir del producto o subproducto industrial correspondiente.

También, se toma en cuenta el precio de diferencia entre transformar la materia prima en alcohol u otro producto principal en una primera etapa, que se estima durará hasta 2025.

Para el periodo posterior, se establecerá un nuevo precio que se actualizará en función del precio del combustible resultante de la mezcla del etanol anhidro con gasolinas.

CAPÍTULO II
TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE LA
PLANTA

CAPÍTULO II

TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

2.1 Tamaño de la planta

El consumo de etanol anhidro en el departamento de Tarija para el año 2031, según los datos proyectados en el capítulo anterior, es de 15 704 630 litros anuales.

La planta deshidratadora de etanol producirá trescientos días al año, por lo tanto, como lo indica la Tabla I-10, para cubrir la demanda de etanol anhidro, se requiere deshidratar al día 54 530 litros de alcohol 96 grados Gay Lussac, para tener diariamente 52 349 litros por día de producto (alcohol deshidratado).

Para alcanzar la demanda anual de etanol anhidro en 2031, se necesitará realizar además cambios en el proceso de la obtención de alcohol 96 grados Gay Lussac que actualmente se consigue por fermentación de melaza.

El Ingenio Azucarero de Bermejo necesita implementar un proceso que obtenga etanol 96 grados Gay Lussac directamente del jugo de caña, para conseguir más materia prima, esto se justifica debido a que se tiene sobre producción de azúcar a nivel nacional.

En la actualidad, el alcohol se produce a través de una sola materia prima, que es la melaza, pero para llegar a la meta demandada de etanol anhidro, se necesitará utilizar otras materias primas, como mieles pobres, jugos residuales o, así como se mencionó líneas arriba, jugo de caña.

Bajo esas condiciones, es posible alcanzar la cantidad de materia prima que se requiere.

El tamaño de la planta es la capacidad instalada de producción de la misma, ésta capacidad se expresa en la cantidad producida por unidad de tiempo, es decir, en unidades de volumen de producto elaborado por día; los factores determinantes del tamaño de la planta deshidratadora son la demanda de etanol anhidro, según datos estadísticos de ventas de Gasolina Súper Etanol 92, así como el crecimiento del parque automotor en el departamento.

Debido a que no existe en el mercado un equipo capaz de producir exactamente los 52 349 litros de producto (alcohol deshidratado), se propone que el tamaño de la planta deshidratadora del presente proyecto tenga una capacidad de producción de 60 000 litros diarios, ya que dentro de la economía de escala, existe este tamaño de planta.

2.2 Factores determinantes

Entre los factores determinantes para justificar la localización de la planta se encuentran los siguientes:

- Materia Prima
- Servicios básicos y servicios complementarios
- Vías de acceso
- Cercanía a una población, puestos de salud, insumos, talleres de fabricación y reparación.
- Disponibilidad de terreno

Cada uno de los mencionados factores son los más importantes a la hora de ubicar una planta industrial.

2.3 Justificación de la localización de la planta

Para justificar la ubicación de la planta deshidratadora de alcohol, se analizan los factores antes mencionados.

Materia prima

Por la cercanía de la materia prima, (alcohol etílico), producida en las mismas instalaciones del Ingenio Azucarero, el lugar conveniente para instalar una planta deshidratadora es dentro de los predios del Ingenio Azucarero.

Servicios básicos y servicios complementarios

El ingenio de Bermejo cuenta con todos los servicios básicos y servicios complementarios necesarios para la instalación de la planta deshidratadora.

No existe otro lugar cercano que cuente con los servicios básicos y complementarios que requiere la planta deshidratadora.

Vías de acceso

Las vías de acceso al Ingenio Azucarero se encuentran en buen estado y son las únicas vías habilitadas en la zona para transportar vehículos de transporte pesado, como cisternas, cuando el producto requiera ser recogido, por lo tanto, no se requiere analizar otra alternativa.

Cercanía a una población, puestos de salud, insumos, talleres de fabricación y reparación.

El Ingenio Azucarero de Bermejo se encuentra a 7 kilómetros de la ciudad de Bermejo en la zona Arrozales, lo cual permite el fácil transporte del personal, el fácil transporte hacia puestos de salud, insumos y talleres de fabricación y reparación cuando fuere necesario.

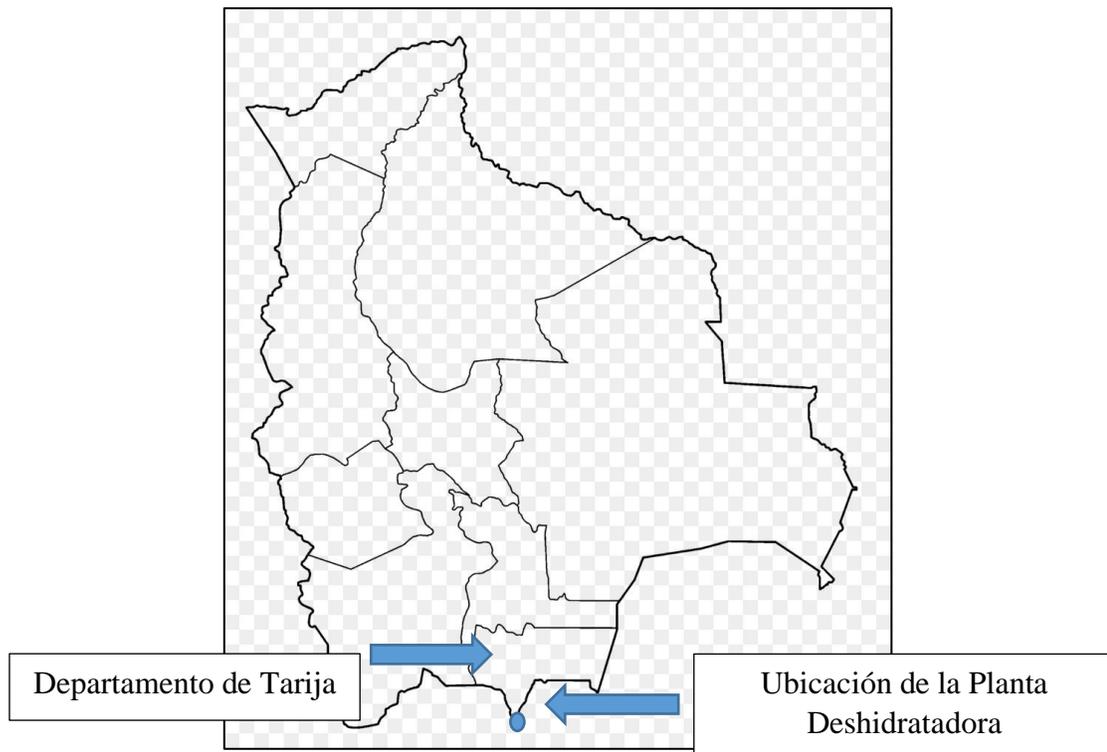
Disponibilidad de terreno

El Ingenio Azucarero de Bermejo cuenta con áreas disponibles para la instalación de la planta deshidratadora.

Existen también terrenos disponibles alrededor del Ingenio, sin embargo, esto implicaría un gasto innecesario para la empresa.

De esta manera, se justifica que la localización de la planta deshidratadora de alcohol esté dentro de los predios del Ingenio Azucarero de Bermejo, por lo tanto, no se requiere realizar estudio alguno de localización de otras alternativas para la planta deshidratadora de alcohol.

Figura II-1. Localización de la Planta Deshidratadora de Etanol



Fuente: Google Earth, (2021)

CAPÍTULO III
INGENIERÍA DEL PROYECTO

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

La ingeniería del proyecto comprende toda la información técnica relacionada al proceso de producción, (instalación y funcionamiento), desde la descripción del proceso seleccionado, adquisición de equipos y maquinarias, hasta la distribución óptima de la planta, su montaje y puesta en funcionamiento.

El estudio técnico o ingeniería es el núcleo del proyecto, los demás capítulos dependen de él.

3.1 Características técnicas de las materias primas y productos

3.1.1 Características técnicas de las materias primas: Alcohol Eílico 96 grados Gay Lussac

El compuesto químico etanol, conocido como alcohol etílico, es un alcohol que en condiciones normales de presión y temperatura se presenta como un líquido incoloro e inflamable con una temperatura de ebullición de 78,4 grados Celsius.

Es una sustancia psicoactiva y es el principal tipo de alcohol presente en las bebidas alcohólicas, como el vino (alrededor de un 13 %), la cerveza (5 %), los licores (hasta un 50 %) o los aguardientes (hasta un 70 %).

Miscible en agua en cualquier proporción; a la concentración de 96 % en peso se forma una mezcla azeotrópica.

Su fórmula química semidesarrollada es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ o, conservando el OH, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Estas últimas son las fórmulas empíricas y mixtas respectivamente

Las características técnicas del alcohol etílico 96 grados Gay Lussac, provistas por Industrias Agrícolas Bermejo, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla III-1. Especificaciones del alcohol etílico 96 grados Gay Lussac

Constantes Fisicoquímicas	Valor
Nombre químico	Alcohol etílico
Fórmula química	C ₂ H ₅ OH
Sinonimia	Etanol, alcohol de melaza, alcohol potable, alcohol rectificado, alcohol buen gusto.
Grado alcohólico (grados Gay Lussac)	96
Densidad a 15°C (gr/cm ³)	0,810
Tiempo barbet a 288°K (min)	23
Acidez (mg/l)	17
Ésteres (mg/l)	18
Solubilidad en agua (%)	100
Constantes organolépticas	Valor
Estado físico	Líquido
Color	Límpido cristalino
Olor	Agradable característico

Fuente: Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima, (2021)

3.1.2 Características técnicas del producto: Etanol Anhidro

Las características se refieren al conjunto de particularidades que permiten identificar al etanol anhidro.

Se considera la composición física y química, sus propiedades físicas y químicas, el nombre comercial y las normas y especificaciones exigidas, calidad y envase.

Tabla III-2. Características técnicas de calidad para el uso de etanol anhidro como aditivo

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	LÍMITE	MÉTODO	
			NBR	ASTM
Aspecto	-	Claro y libre de impurezas.	Visual	
Acidez total	mg/l	30	9866 16047	D1613, D1795
Conductividad eléctrica máxima	s/m	500	10547	D1125
Densidad a 60°F	g/cm ³	0,7968 máx.	5992 15639	D4052
Graduación alcohólica	Porcentaje volumen/volumen	99,5 min.	5992 15693	D891
Contenido de etanol mín.	Porcentaje volumen/volumen	98	16041	D5501
Contenido de agua máx.	Porcentaje volumen/volumen	0,5	15531	E203, E1064
Contenido de metanol, máx.	Porcentaje volumen/volumen	0,5	16041	D5501
Residuo de evaporación, máx.	mg/100 ml	5	8644	-
Cloruros	mg/kg	1	10894	D7328, D7319
Sulfato, máx.	mg/kg	4	10894	D1328, D7319
Cobre, máx.	mg/kg	0,07	11331	D1688
Azufre, máx.	mg/kg	50	-	D5453

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos, (2018)

3.2 Descripción de los procesos existentes para la elaboración del producto

A través de los métodos convencionales de destilación, es posible obtener etanol con concentraciones cercanas a la composición azeotrópica (96% en peso); sin embargo, para que el etanol pueda ser mezclado con la gasolina, es necesario que su contenido de agua sea muy bajo, con el fin de evitar la formación de dos fases líquidas en la mezcla.

La primera alternativa puesta en consideración para superar el punto azeotrópico consiste en modificar las condiciones de operación de la destilación, las cuales abarcan desde la aplicación de alto vacío hasta la adición de solvente; dichas modificaciones varían los coeficientes de actividad de la mezcla.

Posteriores a las técnicas de destilación, que involucran operaciones líquido-vapor, se han introducido otras que utilizan los principios de adsorción y permeación: entre ellas se destacan la utilización de zeolitas y membranas de pervaporación, y como propuestas alternas se encuentran los procesos híbridos que combinan diferentes técnicas y procesos (Uyazán, Gil, Aguilar, Rodríguez, & Caicedo, 2004).

3.2.1 Procesos de deshidratación por destilación

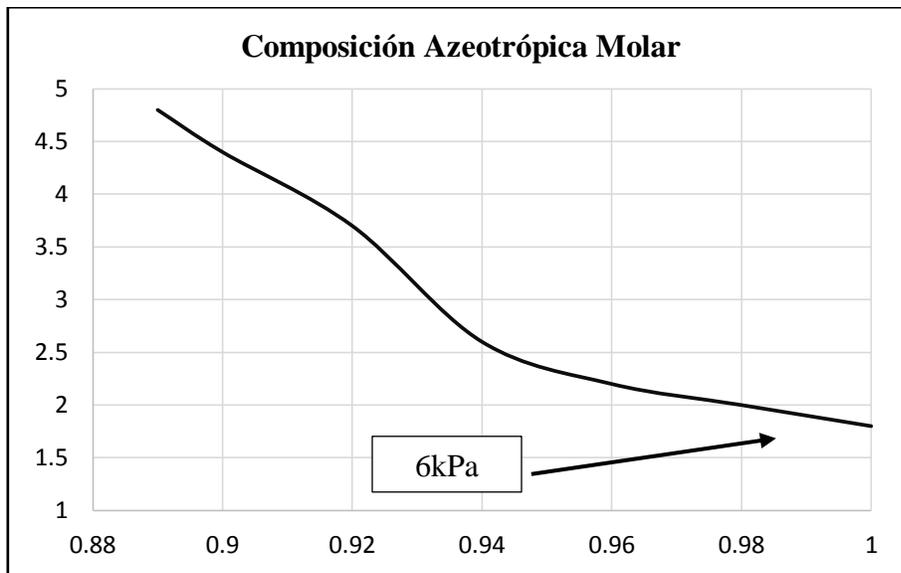
Los problemas de azeotropía de la mezcla etanol-agua han exigido la consideración de diferentes alternativas para eliminar o superar el azeótropo. Ésta búsqueda ha generado opciones que se han encaminado fundamentalmente a la reducción del consumo energético demandado por la operación de deshidratación del alcohol.

Destilación al vacío

Es una de las primeras técnicas utilizadas para eliminar el azeótropo etanol-agua, aprovechando el efecto conseguido al disminuir la presión del sistema y así obtener etanol anhidro. En la actualidad, ha sido desplazada por técnicas de destilación que utilizan agentes de separación.

En la Figura III-1, se observa el efecto de la presión sobre la composición azeotrópica del sistema etanol-agua. Por debajo de los 6 kilopascales el azeótropo desaparece y la separación de los componentes se hace teóricamente posible.

Figura III-1. Efecto de la presión sobre la composición azeotrópica de la mezcla etanol-agua

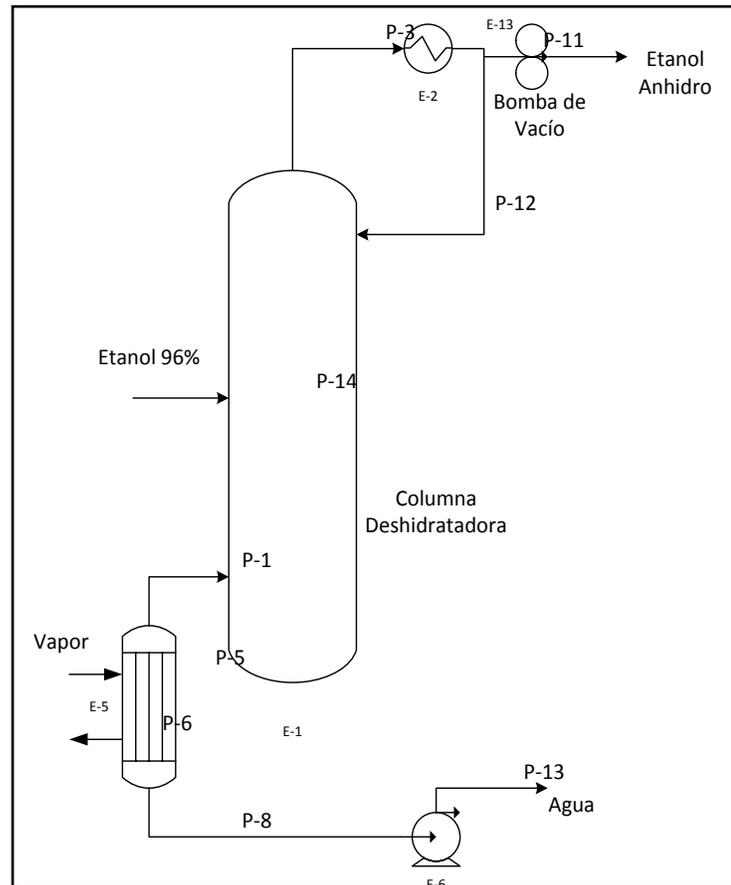


Fuente: Uyazán, Gil, Aguilar, Rodríguez, & Caicedo, (2004)

El sistema para obtener etanol anhidro consta de dos columnas consecutivas; en la primera, se alimenta una solución diluida para llevarla hasta una composición cercana a la azeotrópica y luego esta se lleva a la segunda columna, donde se hace vacío para deshidratar el etanol y obtener una composición por encima del 99% en volumen.

El incremento de la relación de reflujo y el número de etapas requerido para la separación no tiene ninguna influencia marcada sobre la eficacia de la misma, de tal manera que para obtener un producto de alta pureza es necesario utilizar columnas de deshidratación con un gran número de etapas (por encima de 40) y con altas relaciones de reflujo, incurriendo en elevados consumos energéticos y altos costos de construcción de la torre.

Figura III-2. Proceso de la destilación al vacío



Fuente: Uyazán, Gil, Aguilar, Rodríguez, & Caicedo, (2004)

Destilación azeotrópica

En los sistemas de destilación azeotrópica, se aprovecha la adición de un agente de separación que modifique la condición de azeotropía de la mezcla a una más favorable. Los agentes de separación que inducen la formación de dos fases líquidas (mezclas heterogéneas) se utilizan para separar mezclas azeotrópicas. La efectividad de tales agentes está en el aprovechamiento de la separación de fases para lograr que la composición del alimento se encuentre en una región favorable para la operación de la columna.

El agente de separación se selecciona con criterios económicos, de baja toxicidad, de eficiencia en la separación y de conservación de energía. El pentano y el ciclohexano

han demostrado tener los mejores rendimientos desde el punto de vista del consumo energético; sin embargo, industrialmente son muy utilizados el benceno y el dietil-eter. El pentano es muy volátil y, por lo tanto, las pérdidas por evaporación son considerables, situándolo en desventaja con relación a otros agentes de separación. El benceno que se utilizó durante muchos años ha perdido aceptación por su toxicidad, impidiendo la aplicación del etanol obtenido con fines farmacéuticos y alimenticios, y obligando a que algunas de las plantas existentes cambiaran de tecnología para la producción de alcohol anhidro.

El sistema de deshidratación consta de tres columnas; la primera, conocida como deshidratadora y en la que se alimenta un agente de separación, permite obtener como producto de cima un azeótropo heterogéneo que arrastra el agua y que se condensa para llevarlo luego a un decantador, en el que se produce una separación de fases y se hace la reposición del agente de separación. La fase liviana constituye la mayor parte de la corriente de reflujo de la columna y la fase pesada se utiliza como reflujo, en algunas ocasiones, para ajustar parámetros en la columna. Como producto de fondos de la columna deshidratadora se obtiene etanol anhidro.

En esta columna, el consumo típico de vapor es de 1,5 kg por cada litro de etanol anhidro producido, con una presión entre 102 000 pascales y 171 000 pascales.

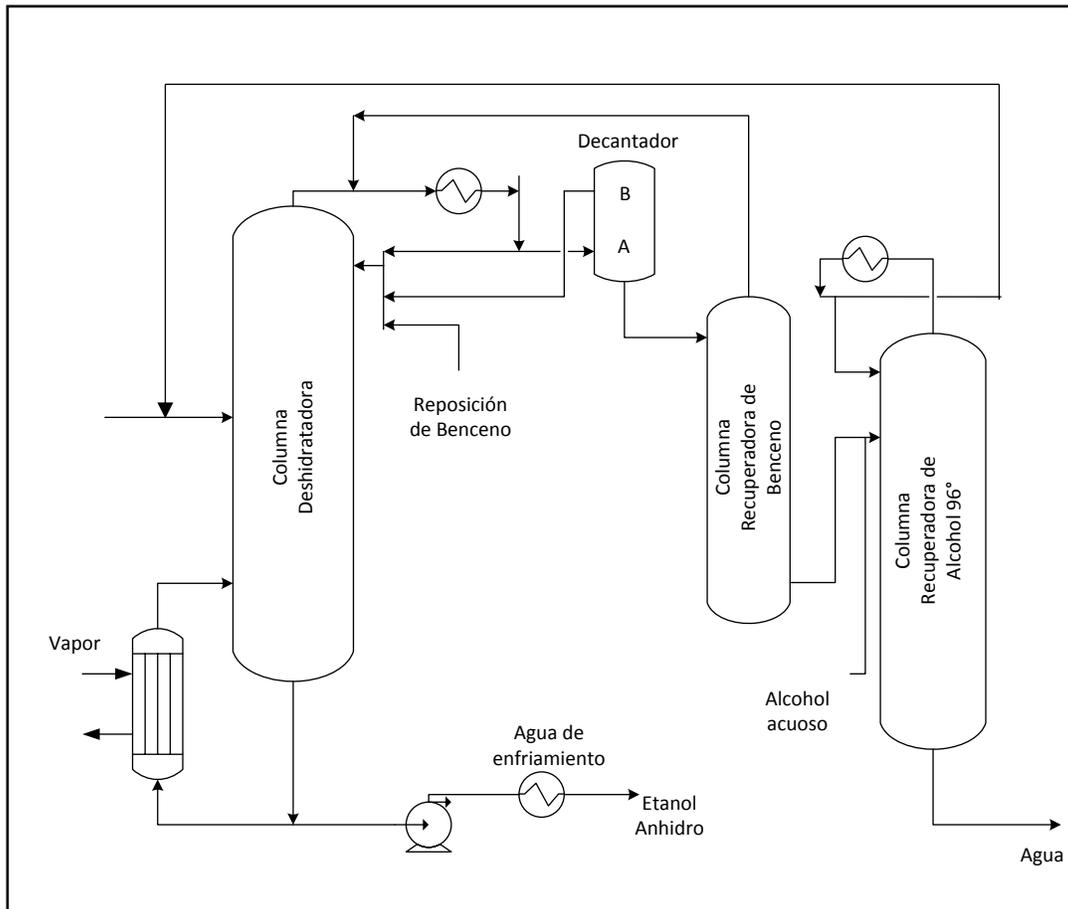
La segunda columna, conocida como recuperadora, se alimenta con la fase acuosa del azeótropo formado para retirar el solvente remanente y devolverlo a la columna de deshidratación. En esta columna, el consumo típico de vapor es de 0,78 kg por cada litro de etanol anhidro producido.

Para separar una mezcla binaria homogénea de etanol y agua, que forma un azeótropo de mínimo punto de ebullición, se puede utilizar benceno como agente de separación, el cual tiene miscibilidad parcial con el agua y conduce a la formación de tres azeótropos de mínimo punto de ebullición, dos binarios y uno ternario (Kosuge & Mortaheb, 2004).

En un estudio realizado por Kosuge H. y Mortaheb H. (2004), se evalúa el efecto de la velocidad de transferencia de masa sobre la destilación azeotrópica con benceno. Allí, se encontró que la separación en la columna deshidratadora es más eficaz a medida que se cuenta con mayor área libre en el plato y cuanto mayor sea la altura del vertedero. Por otro lado, también se concluye que la separación es mejor cuando la concentración del vapor de cima se aproxima a la del azeótropo ternario y cuando aumenta la relación de reflujo y el flujo de agente recirculado. Sin embargo, esto último debe estar acompañado de un análisis económico que permita establecer los valores óptimos, sin acarrear altos consumos energéticos en la operación (pág. 317).

El diagrama del proceso se muestra en la Figura III-3.

Figura III-3. Destilación azeotrópica con benceno



Fuente: Perry & Chilton, (1988)

Destilación extractiva con solventes

La destilación extractiva es un método de separación de azeótropos binarios de mínimo punto de ebullición, y ocurre en presencia de una sustancia de alto punto de ebullición, llamada solvente, la cual es completamente miscible con los componentes de la mezcla binaria en todas las proporciones y no forma azeótropos adicionales. El solvente se adiciona a la mezcla azeotrópica de alimentación para alterar las volatilidades relativas de los componentes de la mezcla; debido a su baja volatilidad éste tiende a permanecer en la fase líquida, razón por la cual se alimenta en una de las etapas superiores para que su efecto sea aprovechado a lo largo de toda la columna.

La destilación extractiva es ampliamente utilizada en las industrias de procesos químicos y petroquímicos para la separación de sistemas azeotrópicos, cuyos puntos de ebullición son muy cercanos. Así mismo, tiene aplicación en la separación de componentes que contienen uno o más grupos funcionales, pero es costosa para separación de estereoisómeros, series homólogas o isómeros estructurales.

Cuando el agente de separación es una sustancia líquida se denomina solvente. La selección de los solventes de destilación extractiva implica un estudio para determinar su efectividad, la cual está representada por las modificaciones que produce sobre las no idealidades de la fase líquida de los componentes a separar. El proceso se hace posible cuando el solvente altera de manera selectiva los coeficientes de actividad; para que esto ocurra, es necesaria una alta concentración de solvente. Las características más importantes de un solvente son:

- Debe afectar el comportamiento de la fase líquida de los componentes claves.
- Debe tener un punto de ebullición superior al de los componentes a separar y ser relativamente no volátil, para asegurar su permanencia en la fase líquida.
- No debe formar azeótropos con los componentes de la mezcla a separar.
- Debe tener baja viscosidad, baja toxicidad y bajo costo.

La deshidratación o recuperación completa del etanol a partir de soluciones acuosas por este método ha sido estudiada durante muchos años. Una gran variedad de solventes que modifican la forma de la curva del equilibrio líquido–vapor y eliminan el azeótropo ha sido evaluada; entre dichos solventes se encuentran algunos glicoles, aminas, fenoles hidrofóbicos, parafinas, tiofenos y otros. La adición de glicoles como solvente extractivo no solo elimina el azeótropo etanol–agua, sino que también cambia la forma de la curva de equilibrio líquido–vapor en la zona rica en etanol. Además, la efectividad del agente extractivo depende del incremento que produzca en la volatilidad relativa del etanol o del agua. Dado que la presión de vapor del etanol es aproximadamente 2,5 veces mayor que la del agua, resulta conveniente utilizar un agente de extracción

hidrofílico que reduzca el coeficiente de actividad del agua y, si es posible, incremente el coeficiente de actividad del etanol; y que además, tenga bajas viscosidad y toxicidad.

Un estudio de Black & Distler (1972), reporta que la operación con etilenglicol acarrea altos consumos energéticos; sin embargo, estudios posteriores realizados por Lee, Hanson, Merirelles y Uzayán han demostrado que los consumos energéticos son menores y competitivos, comparado con otros procesos existentes de deshidratación del etanol. Los resultados obtenidos por Meirelles concuerdan con los estudios experimentales reportados por Lee y Hanson.

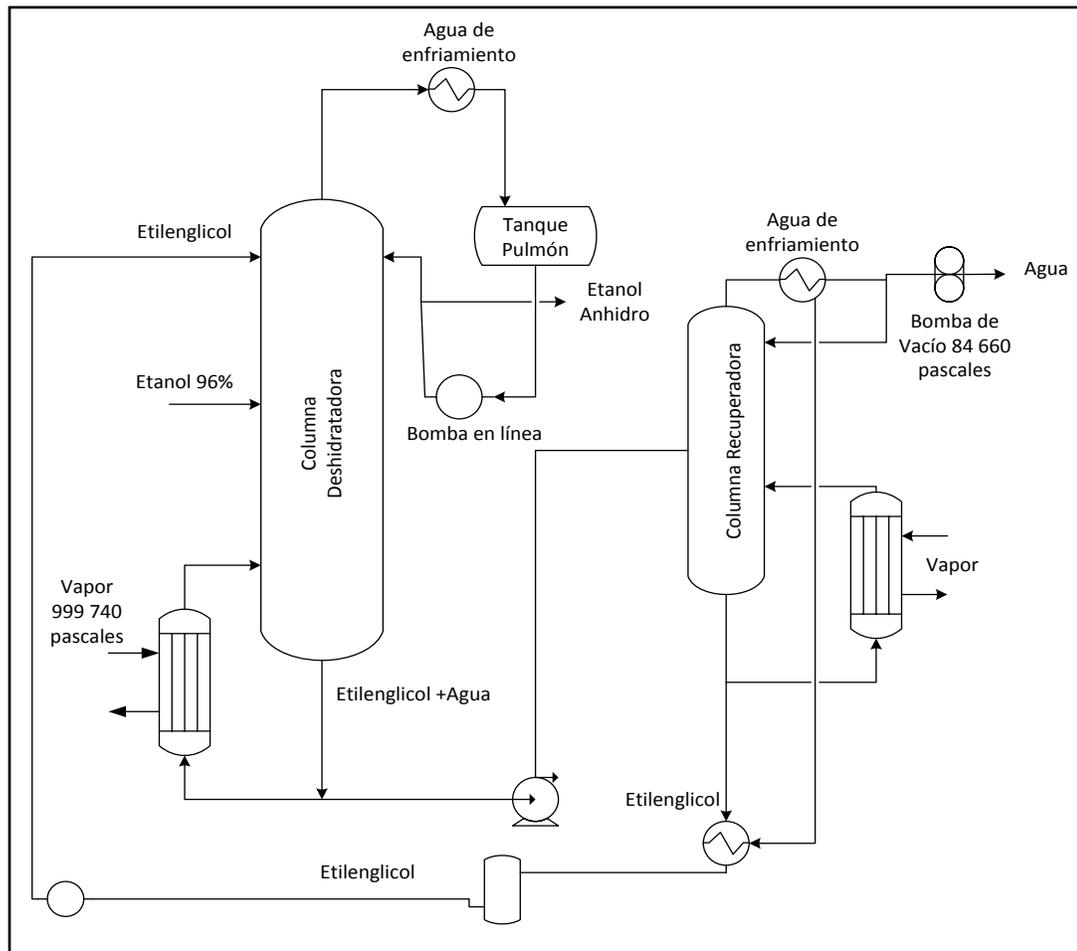
Como aplicación de estos estudios, en Brasil se montaron algunas plantas que trabajan con la tecnología de destilación extractiva utilizando etilenglicol como agente de separación.

En un esquema típico de un proceso de destilación extractiva, que utiliza solvente como agente de separación, el equipo consta de una columna extractiva con doble alimentación y una columna de recuperación de solvente, a la que se adecúa un sistema de vacío debido al alto punto de ebullición del solvente a recuperar.

El alimento es una mezcla de los componentes A y B a separar, los cuales pueden formar un azeótropo de mínimo punto de ebullición o tener una baja volatilidad relativa. El solvente se adiciona a la columna de destilación extractiva en las etapas superiores, cerca del condensador y por encima de la etapa de entrada del alimento.

Uno de los componentes, B (que no necesariamente es el más volátil), se recoge en la corriente de destilado con alta pureza. El producto de fondos de la columna, el componente A y el solvente, se envían a la columna de recuperación, cuyo destilado es el componente A puro, y por el fondo se obtiene el solvente, que se recircula a la columna extractiva. Un diagrama del proceso se muestra en la Figura III-4.

Figura III-4. Destilación extractiva con solventes



Fuente: Uyazán, Gil, Aguilar, Rodríguez, & Caicedo (2004)

Destilación con sal

Con la adición de una sal iónica, soluble y no volátil, se modifica el comportamiento de la fase líquida de la mezcla a separar. En este caso, la sal se alimenta por disolución en la corriente de reflujo caliente de la columna. Con el fin de que sea efectiva la separación, la sal debe ser soluble en ambos componentes de la mezcla a separar dentro de todo el intervalo de composición que se representa a lo largo de la columna. Por no ser volátil, permanece en la fase líquida, alterando la volatilidad relativa del sistema. No es necesaria una sección de rectificación por encima del plato en el que se alimenta la sal; ésta se recupera del producto de fondos, que se encuentra en su punto de burbuja,

con un suministro adicional de calor para evaporar la mayor parte del líquido. La eliminación de la humedad ligada se consigue fundiendo o calentando la sal hasta una temperatura que permita asegurar que la sal está libre de líquido. Generalmente, por facilidad en la manipulación, se prefiere fundir la sal, aunque no siempre es posible por problemas de descomposición; cuando esto último ocurre, se opta entonces por un secado por aspersión.

Un estudio reciente propone dos esquemas para la recuperación de la sal. En un primer esquema, se alimenta una solución alcohólica diluida acuosa de la sal, que se lleva a una etapa de evaporación para retirar la mayor parte del agua y luego se somete a un secado por aspersión. El segundo utiliza una columna de destilación convencional para llevar la solución alcohólica hasta una concentración cercana al 80% y, posteriormente, se alimenta dicha solución a una columna salina en la que por fondos se retira una solución mucho más concentrada que la obtenida en el primer esquema y que puede ser sometida directamente al proceso de secado por aspersión. En dicho estudio, se concluye que el esquema más competitivo desde el punto de vista energético es el que utiliza la etapa de preconcentración del alcohol.

Los iones de la sal son generalmente capaces de causar efectos superiores y más selectivos que los causados por las moléculas de un solvente líquido, por lo que se utilizan relaciones en peso sal/alimento de 0,1 como máximo.

A diferencia del solvente líquido, el agente salino presenta problemas de transporte, disolución y posterior recristalización, bajas velocidades de disolución, solubilidad limitada en los componentes de la mezcla alimentada y la necesidad de utilizar materiales especiales para prever la corrosión. Otro problema que limita la utilización de esta técnica es la dificultad para predecir el desempeño y la solubilidad de la sal en un sistema en particular, cuando no se cuenta con datos experimentales.

En la deshidratación del etanol se han utilizado las siguientes sales: cloruro de calcio, cloruro de potasio, cloruro de cobalto (II), cloruro cúprico, cloruro de níquel (II), bromuro de estroncio, acetato de sodio, acetato de potasio, nitrato de calcio, yoduro de sodio y yoduro de potasio. Se ha reportado que las sales con catión divalente son

preferibles debido a que su esfera de hidratación es superior a la de las sales monovalentes. Entre los criterios que se tienen en cuenta para elegir la sal están:

- Bajo costo
- Estabilidad química
- Alta solubilidad
- Poca corrosión sobre los materiales
- Bajo envenenamiento
- Baja toxicidad
- Fácil manejo

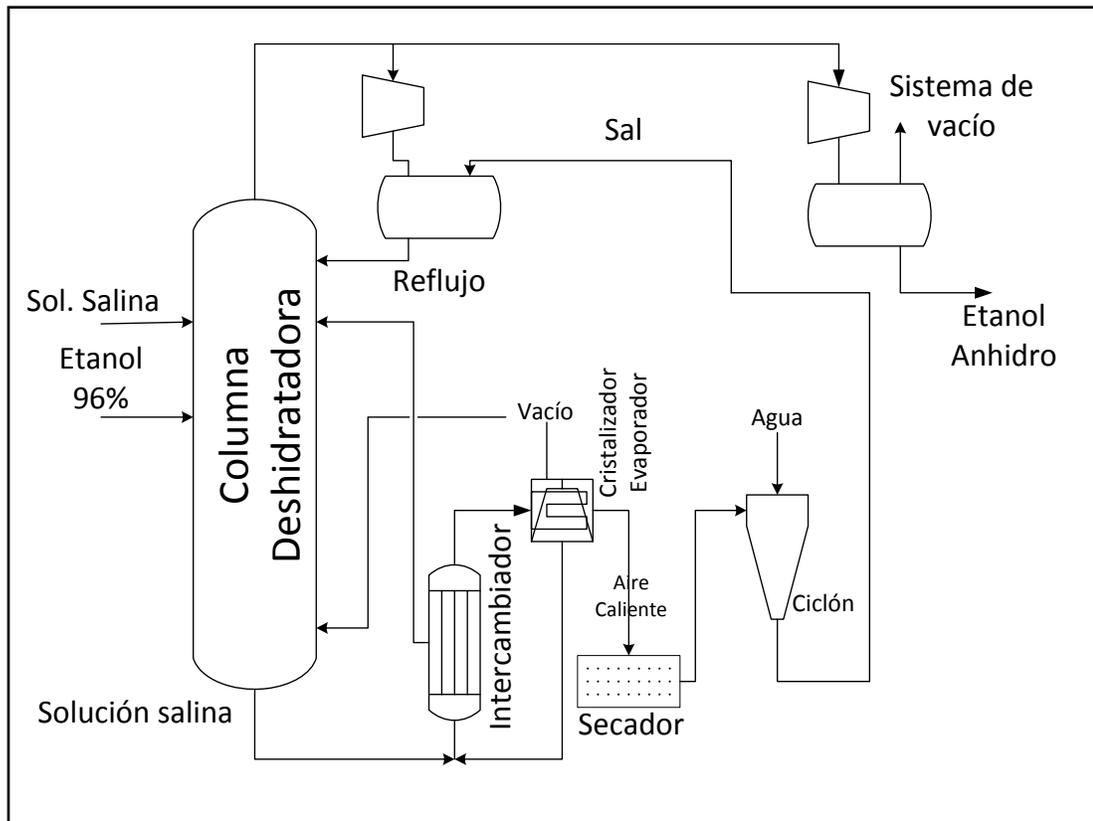
La literatura reporta que los cloruros, y en especial el cloruro de calcio, presentan el mejor comportamiento y balance a nivel técnico y económico (Rongqi & Zhanting, 2000).

Además de satisfacer los requisitos mencionados, incrementa fuertemente la volatilidad relativa.

En la sección superior de la torre, la sal ingresa disuelta después de haber sido precalentada, junto con una corriente de etanol 96%; en la sección superior de la torre, la sal ingresa disuelta en la corriente de reflujo y se retira en la solución salina de fondos, en la que se alimenta a un cristalizador evaporativo y, después de un secado final, la sal se recircula al sistema.

Un proceso típico de destilación extractiva salina para obtener etanol anhidro se muestra en la Figura III-5.

Figura III-5. Destilación con sal



Fuente. Uyazán, Gil, Aguilar, Rodríguez, & Caicedo (2004)

Destilación extractiva con sal y solvente

La destilación extractiva con sal y solvente como agente de separación surge como una nueva alternativa para obtener productos de alta pureza. Este proceso combina la destilación extractiva convencional con el principio del efecto sal. Con esta combinación se superan los problemas de transporte, disolución, corrosión y taponamiento que se puedan presentar cuando se utiliza únicamente la sal como agente de separación; sumado a esto, se tiene las siguientes características:

- Mejora el desempeño del solvente; comparada con la destilación extractiva, la cantidad de solvente a recircular se reduce a una cuarta o quinta parte, el número

de etapas teóricas requerido se reduce en una tercera parte, así como el consumo energético y el costo de los equipos también descienden de manera importante.

- Permite la operación continua dada la alta eficiencia y el bajo desperdicio de solvente.
- Se obtiene un producto de alta pureza
- Se incrementa la volatilidad relativa del sistema etanol-agua, comparada con el efecto producido por cada uno de los agentes de manera independiente.

No se tienen reportes acerca de la implementación del proceso de destilación extractiva con sal y solvente a nivel piloto o industrial, pero se han realizado estudios en laboratorio para la separación de sistemas no polares, como mezclas de hidrocarburos de cuatro carbonos, y sistemas polares, como la mezcla etanol-agua, que han permitido concluir acerca de la eficiencia de los agentes de separación en el proceso. El análisis para el sistema etanol-agua se ha enfocado en la obtención de datos experimentales del equilibrio líquido-vapor para el sistema etanol-agua-etilenglicol-cloruro de calcio, así como en la realización de corridas experimentales a nivel laboratorio que han permitido establecer algunos parámetros de operación (Rongqi & Zhanting, 2000).

Uno de los resultados que se destaca en este estudio es que el agente de separación (mezcla sal-solvente) fue recuperado en una etapa posterior de separación y recirculado al proceso, sin necesidad de separar la sal y el solvente.

También se han realizado estudios de simulación para el sistema etanol-agua-etilenglicol-cloruro de calcio, en los que se concluye utilizar concentraciones de cloruro de calcio en etilenglicol inferiores a 100 kilogramos por metro cúbico de solvente y se encuentra que la cantidad de solvente a utilizar es inferior en casi un 50% respecto de la operación que utiliza solvente como único agente de separación.

3.2.2 Procesos de deshidratación por diferencia de tamaño molecular

Adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares

Los tamices moleculares son sustancias microporosas, materiales arcillosos (aluminosilicatos cristalinos que pertenecen a la clasificación de zeolitas) los cuales pueden ser completamente secados sin que su estructura cristalina sea afectada.

Se presentan en forma de diminutos lechos de cerámica de diferentes tamaños. El tamaño generalmente usado en la industria del etanol varía entre tres y cuatro milímetros.

La superficie de los lechos tiene poros diminutos de un tamaño preciso y uniforme. Las moléculas que son suficientemente pequeñas para entrar en los poros son adsorbidas, mientras que las moléculas más grandes no lo son.

Forman millones de poros regularmente espaciados, con exactamente el mismo diámetro dentro de un material particular, pero variando entre diferentes materiales, generalmente, entre tres y diez unidades angstrom.

Estos poros sirven como una pantalla (tamiz) al permitir que solo las moléculas de cierto diámetro sean adsorbidas.

Los tamices moleculares son ideales para la deshidratación de etanol debido a su gran poder desecante y a su área de superficie activa de 800 000 metros cuadrados por kilogramo.

La adsorción con tamices moleculares utilizando oscilación de presión para adsorber la molécula de agua es uno de los nuevos procesos que existen para producir etanol deshidratado cumpliendo con los estándares internacionales de pureza, 99% de etanol.

En este proceso, se transfieren ciertos componentes de una fase fluida (gaseosa) hacia la superficie de un sólido (zeolitas), donde son retenidos físicamente.

Se utilizan dos o más columnas que trabajan en paralelo y contienen zeolita, ya sea natural o sintética.

Los tamices moleculares separan a las moléculas por el tamaño y la polaridad.

En el proceso para la obtención de alcohol etílico anhidro con tamices moleculares, se tienen las siguientes etapas:

- **Deshidratación bajo presión**

El alcohol hidratado es precalentado, vaporizado y sobrecalentado antes de ser admitido a las columnas contenedoras del material de tamizado molecular.

En esta fase de vapor sobrecalentado, a una temperatura y presión controladas, la adsorción de moléculas de agua por el tamiz molecular es óptima, mientras que las moléculas de alcohol pasan a través del lecho.

Esta adsorción ocurre debido a las fuerzas de atracción que interactúan para atraer a las moléculas de agua con un diámetro de 2,8 angstroms, presentes en el alcohol hidratado vaporizado, hacia los poros del lecho de zeolita, mientras que el etanol, con moléculas de 3,2 angstroms no puede ingresar dentro de los poros y pasan a través del lecho.

Para el caso del etanol, se utilizan tamices moleculares con poros de aproximadamente 3 angstroms. Las moléculas de agua con diámetro de 2,8 angstroms ingresan en los poros, mientras que las moléculas de etanol no pueden; entonces, se lleva a cabo la separación de moléculas.

Para permitir un proceso continuo, dos o más columnas de adsorción son previstas estando alternadamente una de ellas en la fase de adsorción (bajo presión) y la otra en la fase de regeneración (bajo vacío).

El vapor alcohólico proveniente del súpercalentador de alcohol etílico será alimentado en uno de los recipientes de adsorción donde se encuentra el filtro molecular para la deshidratación de alcohol etílico.

Mientras un recipiente está deshidratando (bajo presión), el otro está regenerando (bajo vacío).

Se inicia el proceso de deshidratación con uno de los recipientes, el alcohol etílico anhidro en la fase vapor deja el recipiente por la base y es conducido hasta el balón

colector de alcohol etílico anhidro; en seguida, alimenta a los condensadores que irán a condensar el alcohol etílico anhidro.

El etanol deshidratado pasa a través de una válvula de retención, una válvula de contrapresión y luego se condensa hasta saturación para posteriormente subenfriarlo.

Después de ser enfriado, es enviado para su almacenamiento.

- **Regeneración**

En la fase de regeneración, el agua acumulada en el tamiz molecular es removida aplicando vacío en las columnas, reduciendo la presión parcial del agua, haciendo que se evapore nuevamente y deje la cavidad interior donde estaba alojada, permitiendo que el tamiz molecular sea reutilizado en el siguiente ciclo.

La regeneración está compuesta por tres fases.

Fase 1. Hacer vacío en el recipiente

Fase 2. Regenerar la resina bajo vacío

Desviándose parte del vapor sobrecalentado de alcohol etílico deshidratado del primer recipiente, que está en el ciclo de adsorción, para el segundo recipiente que está en el ciclo de presurización.

Fase 3. Presurización del segundo recipiente

El alcohol etílico anhidro en la fase vapor atraviesa la base de filtro molecular saturado de agua en contracorriente.

El agua contenida en el filtro molecular se evapora formando una mezcla hidroalcohólica, que se condensa y es enviada para la columna de rectificación y agotamiento de flema para ser vaciada y rectificada, saliendo como alcohol etílico hidratado que retorna al proceso.

El conjunto de condensadores y balón colector de la mezcla hidroalcohólica están conectados a una columna de lavado de gases, con la finalidad de eliminar posibles pérdidas de alcohol etílico por la bomba de vacío.

Cuando la regeneración esta completa, el tamiz molecular retorna a su fase de producción. Este proceso de deshidratación bajo presión y regeneración bajo vacío es repetido para una operación continua y es conocido como adsorción por oscilación de presión.

Los ciclos de deshidratación y regeneración se alternan y el proceso es controlado automáticamente por el sistema supervisor.

Por sus siglas en inglés PSA, “Pressure Swing Adsorption” o “Adsorción por Oscilación de Presión”, se ha convertido en una solución flexible, aunque sigue siendo un proceso de separación complejo por su naturaleza cíclica, debido al cambio de operación o la oscilación de presión de una columna a otra, que es controlado con válvulas que abren y cierran a ciertos tiempos establecidos mientras duran las etapas del proceso.

Zeolitas

Las zeolitas son aluminosilicatos de metales alcalinos o alcalino-terrosos predominantemente de sodio y calcio (Clarke, 1980).

Las zeolitas naturales presentan como características relevantes, una estructura microporosa que le confiere propiedades adsorbentes y una gran capacidad de intercambio catiónico debido a un desequilibrio de cargas que es función de la relación Silicio (Si) – Aluminio (Al).

Las zeolitas naturales son formadas a partir de la precipitación de fluidos contenidos en los poros, tal como en las zonas hidrotermales, o por la alteración de vidrios volcánicos. Las condiciones de presión, temperatura, actividad de las especies iónicas y presión parcial del agua son factores determinantes en la formación de las diferentes especies de zeolitas.

Existen cerca de 40 especies de zeolitas naturales conocidas, sin embargo, tan solo algunas especies son ampliamente utilizadas. Dentro de esas se incluyen: mordenita, clinoptilolita, heulandita, phillipsita, eroinita y chabazita (Curi, Granda, Lima, & Sousa, 2006).

La mayoría de las zeolitas pueden ser encontradas en uno de los seis ambientes geológicos: salino o lagos alcalinos, suelos alcalinos, diagenético, sistema abierto, hidrotermal y sedimentos marinos.

Actualmente, se conocen 34 zeolitas naturales y más de cien variedades de zeolitas sintéticas; sin embargo, sólo unos cuantos tipos tienen valor práctico.

Las zeolitas sintéticas son más aptas para las investigaciones y responden mejor a los requerimientos de la industria debido a su alta homogeneidad y pureza. Estos requerimientos son importantes, sobre todo en los campos donde es necesario un alto grado de reproductividad de los resultados y en situaciones en las que las cantidades insignificantes de mezclas puedan causar efectos indeseables.

Las zeolitas que se usan para adsorber las moléculas de agua son fabricadas a partir de aluminosilicatos de potasio y se identifican de acuerdo con el tamaño nominal de los poros internos, cuyo diámetro generalmente es medido en angstroms; se caracterizan por su excelente capacidad para retener sobre su superficie tipos definidos de especies químicas.

Una de las características esenciales en las operaciones que involucran la acción de tamices moleculares, es que la cantidad de la sustancia a remover por medio del tamiz debe ser baja.

Una zeolita sintética del tipo 0,3 nanómetros se utiliza en la gran mayoría de los deshidratadores de etanol, debido a que sus poros tienen un diámetro de 0,3 nanómetros, mientras que las moléculas de agua tienen un diámetro de 0,28 nanómetros y las moléculas de etanol un diámetro de 0,44 nanómetros. De esta manera, las moléculas de agua son atraídas fuertemente dentro de los poros y las moléculas de etanol pasan a través del lecho sin experimentar atracción alguna.

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

Los vapores alcohólicos ingresan a la columna deshidratadora con una presión entre 205 kilopascales y 345 kilopascales, con temperaturas de aproximadamente 420 grados Kelvin, desde la parte superior del lecho.

La presurización maximiza la capacidad de adsorción del sistema.

El paso de los vapores a través del lecho permite que el agua se adsorba liberando 4,185 kilojulios por kilogramo de agua, de tal manera que el lecho alcanza una temperatura de 466 grados Kelvin , y esto sirve para almacenar energía como calor sensible que luego será utilizado en el proceso de regeneración.

Los lechos empacados con zeolitas de 0,3 nanómetros de diámetro son capaces de retener hasta un 22% de su peso en agua; sin embargo, ellos se operan hasta que se saturan en un 70% con agua, en un proceso que tarda alrededor de 16 minutos. En este punto, cambian su función y son colocados en la etapa de regeneración.

En forma paralela, en un segundo tamiz se lleva a cabo la operación de regeneración a una presión reducida de 88046,1 pascales, que se logra por la combinación de un condensador y una bomba de vacío de anillo líquido.

Al disminuir la presión, se modifica el equilibrio de adsorción y es posible retirar el agua que ha sido adsorbida previamente; esto se hace recirculando entre 15 y 40% del etanol anhidro obtenido en el primer lecho, de tal manera que se obtienen soluciones alcohólicas con una concentración promedio del 65%, que son recirculadas a una etapa de destilación anterior.

Es importante contabilizar la energía adicional requerida para redestilar este líquido, así como electricidad para operar la torre de enfriamiento y el compresor de aire. La regeneración tarda entre tres y diez minutos.

Aspectos de interés a tener en cuenta para el buen funcionamiento de un sistema de deshidratación mediante tamices moleculares

Aunque el proceso de deshidratación de alcohol se realiza de forma automática y la operación manual es mínima, hay aspectos que influyen en el desarrollo del proceso de

forma óptima y que se deben tener en cuenta para una operación estable y eficiente del sistema.

Estabilidad del vapor

Este es un sistema que necesita de condiciones estables de alimentación del vapor ya que el alcohol deberá entrar a la columna de adsorción a una temperatura por encima de 418 grados Kelvin para no provocar enfriamiento de la cama de zeolita, por lo que es importante velar que la presión y temperatura del vapor de alta y baja presión empleado se encuentre en los valores establecidos.

Diferencia de presión en el empaque de zeolita (ΔP)

A pesar de que las camas de zeolita son altamente fuertes por su alta resistencia a la compactación y una buena resistencia al desgaste, los cambios de presión y temperatura regulares tienden a producir desgaste entre las camas de zeolita individuales lo que provocaría una disminución en sus propiedades de adsorción.

Normalmente, el tamaño de la cama de zeolita es cuidadosamente controlado y diseñado para esta aplicación; se requiere la distribución uniforme del empaque y, por tanto, una buena distribución de flujo, por lo que deberá evitarse levantar la cama de zeolita con fluctuaciones rápidas de presión o de alimentación del líquido.

Temperatura del empaque de zeolita

El empaque, para su funcionamiento adecuado, deberá calentarse antes de comenzar su operación hasta valores de 513 grados Kelvin a 523 grados Kelvin cuidándose de que el mismo no supere los 533 grados Kelvin para no provocar afectaciones en las propiedades físico-químicas de la zeolita.

Los tamices deben tener una temperatura mínima en el lecho de 373 grados Kelvin, si durante el calentamiento inicial la temperatura sube por encima de 523 grados Kelvin en alguno de los lechos, este debe ser sometido a vacío para remover el agua acumulada y reducir la temperatura.

También es importante evitar que el flujo de alcohol de salida abandone la columna de forma brusca para mantener el empaque lo suficientemente caliente y garantizar que el etanol se mantenga en la fase de vapor. Normalmente, el control de la temperatura se realiza ajustando el flujo del alcohol hidratado a la entrada y si la temperatura alcanza valores muy elevados, puede reducirse la presión por medio de vacío.

Otro aspecto a tener en cuenta es que la recirculación del flujo de alimentación siempre debe ser lo suficientemente alta para mantener el flujo turbulento a través del tamiz molecular, de lo contrario, las propiedades de transferencia de calor son menores y pueden desarrollarse zonas calientes en la cama.

Para verificar que el flujo sea turbulento, se mide la caída de presión a través del empaque, la que debe ser como mínimo 221,63 pascales por metro de empaque.

Siempre existe el peligro de aumento brusco de temperatura si la cama de zeolita regenerada se llena rápidamente con etanol hidratado.

El alto contenido de agua en la carga y el calor de adsorción asociado (997,98 kilocalorías por kilogramo de agua adsorbida) pueden conducir a reacciones exotérmicas de formación de ésteres y aldehídos. De ahí la importancia de un control exhaustivo de la velocidad de llenado de la cama regenerada con etanol anhidro, debido a que éste actúa como un controlador de calor cuando el etanol hidratado es adicionado a la cama de zeolita.

Generación de vacío

En este tipo de sistema, la regeneración del tamiz se realiza pasando una corriente de alcohol deshidratado y aplicando vacío para extraer el agua que quedó ocluida en los poros de la zeolita, por lo que deberá mantenerse un control estricto del nivel en los tanques de sello de la bomba de vacío que no deben estar por debajo del 40% para mantener el vacío en los valores deseados y lograr una operación eficiente.

Calidad del alcohol anhidro

Es importante insistir que la calidad del alcohol deshidratado (en especial acidez y contenido en ésteres) dependerá de la operación eficiente de las columnas de

destilación, ya que en los tamices, solo se separa el contenido de agua presente en la corriente.

Cuando la acidez exceda el valor permitido, se hace necesario neutralizar el alcohol hidratado con solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 20%.

El hidróxido de sodio es una base fuerte, se disuelve con facilidad en agua generando gran cantidad de calor y disociándose por completo en sus iones, es también muy soluble en etanol. Reacciona con ácidos y disminuye la acidez de la solución.

En alcohol se separa en sus iones constitutivos Na^+ y OH^- , provocando disminución en la acidez del etanol con el que entra en contacto.

Grado alcohólico de entrada

El grado alcohólico del alcohol hidratado a la entrada a los tamices deberá ser superior a 93 grados Gay Lussac para garantizar la extracción de agua necesaria y alcanzar las condiciones de salida del alcohol anhidro prefijadas, de ahí que si el flujo de entrada estuviera por debajo de este valor, deberá ser recirculado a la columna de rectificación hasta alcanzar la concentración de diseño del sistema de deshidratación.

También se puede añadir alcohol anhidro al tanque de alimentación hasta obtener el grado de alimentación al tamiz.

Otro método de regeneración de la Zeolita

Otra alternativa para regenerar la zeolita es calentarla a una temperatura relativamente alta, hasta 523 grados Kelvin. Se sopla vapor sobrecalentado en el interior del lecho de zeolita, que es proporcionado por el generador de vapor de la instalación.

La temperatura del vapor es de 383 grados Kelvin a 403 grados Kelvin. Se llena el generador de vapor con un determinado volumen de agua líquida, luego, se energizan los electrodos y se espera que la presión aumente y genere el vapor.

Posteriormente, se sopla con vapor el lecho de zeolita, por medio de una manguera y los productos de lavado se recogen en un tanque auxiliar.

Después de purgar el lecho de zeolita con vapor, se procede al secado.

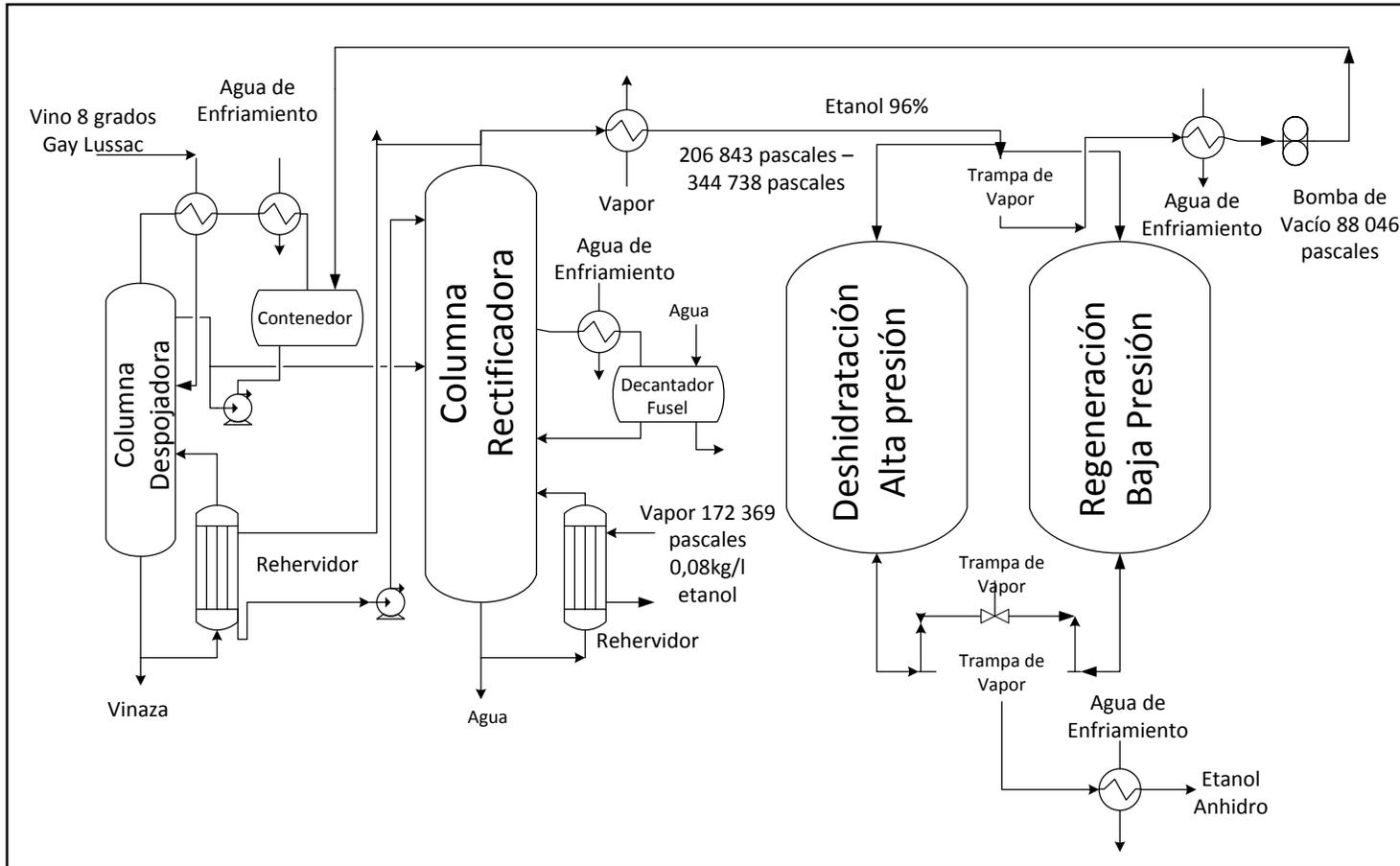
Desde la línea de suministro del vapor, la manguera cambia a la línea de suministro de aire caliente, el soplador dirige el aire al calentador, donde se calienta a 523 grados Kelvin, después de lo cual se alimenta al lecho de zeolita, por lo tanto, la humedad se elimina de la zeolita.

Se debe observar que la potencia del calentador permita calentar el aire suministrado a una temperatura de 673 grados Kelvin.

La etapa final es la creación de vacío en el lecho de zeolita. La manguera cambia a la línea de vacío y la bomba de vacío se activa.

En la Figura III-6 se presenta un diagrama esquemático del sistema de adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares.

Figura III-6. Diagrama esquemático de la deshidratación de etanol por adsorción con tamices moleculares



Fuente: Uyazán, Gil, Aguilar, Rodríguez, & Caicedo, (2004)

Pervaporación

La pervaporación es un proceso de separación relativamente nuevo en que se remueven compuestos orgánicos volátiles de mezclas acuosas por evaporación, a través de una membrana que tiene elementos en común con la ósmosis inversa y la separación de gases.

El principio de la pervaporación se basa en que la fuerza impulsora que permite el transporte de masa a través de la membrana se mantiene en el lado permeado; esta fuerza impulsora se presenta por la diferencia de presiones parciales o las actividades entre el alimento líquido y el vapor permeado, que se encuentra al lado de la membrana al que se aplica vacío.

La presión y la temperatura del alimento se deben manipular de tal manera que no se presente la ebullición del mismo. El vacío del lado permeado debe ser el adecuado para asegurar que no ocurra condensación del otro lado de la membrana, debido a que cualquier película de condensado en los poros de la membrana puede inhibir la fuerza impulsora.

La necesidad de un equipo de vacío y, en general, el montaje de los módulos del sistema de pervaporación hace de esta y de los sistemas de permeación de vapor procesos costosos en comparación con otras técnicas que utilizan membranas. Debido a los bajos flujos de permeado alcanzables y a que dichos flujos disminuyen con el descenso de la concentración del alimento, es necesario que la cantidad de compuesto a retirar por la membrana sea la menor posible.

La velocidad de permeación, los factores de separación y la selectividad son características importantes que determinan el desempeño de las membranas; por tal razón, muchas investigaciones se han dirigido a mejorar el desempeño de la membrana utilizando materiales entre los que sobresalen mezclas de polímeros, injertos químicos, injertos de plasma y cobalto irradiado con rayos gamma.

La deshidratación del etanol es el proceso más representativo de los sistemas de pervaporación y separación por membranas hasta ahora estudiados.

En este proceso, se parte de una solución de etanol en agua con una concentración cercana al 96% en peso y se lleva a una concentración de 99,7% aproximadamente. Junto al proceso de deshidratación, se encuentran otras aplicaciones de la pervaporación, por ejemplo, la separación de mezclas de solventes orgánicos con problemas de azeotropía tales como la mezcla propano–propileno e isopropanol–agua, entre otros.

En el proceso, 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. Inicialmente, se alimenta etanol del 94% en peso obtenido de una torre de destilación anterior y que se encuentra almacenado en un tanque, al primer módulo de pervaporación.

El etanol alimentado se precalienta por medio de un intercambiador de calor que permite recuperar el calor de la corriente que abandona la última etapa del proceso, la cual se encuentra a una temperatura cercana a 368 grados Kelvin.

El sistema mostrado en la Figura III-7 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 a una temperatura de 333 grados Kelvin antes de entrar a los módulos. En general, este arreglo varía en cuanto al número de etapas y de módulos; no obstante, el principio de operación es el mismo.

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, a causa del calor de la vaporización del agua, lo que provoca una baja eficiencia de permeación.

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.

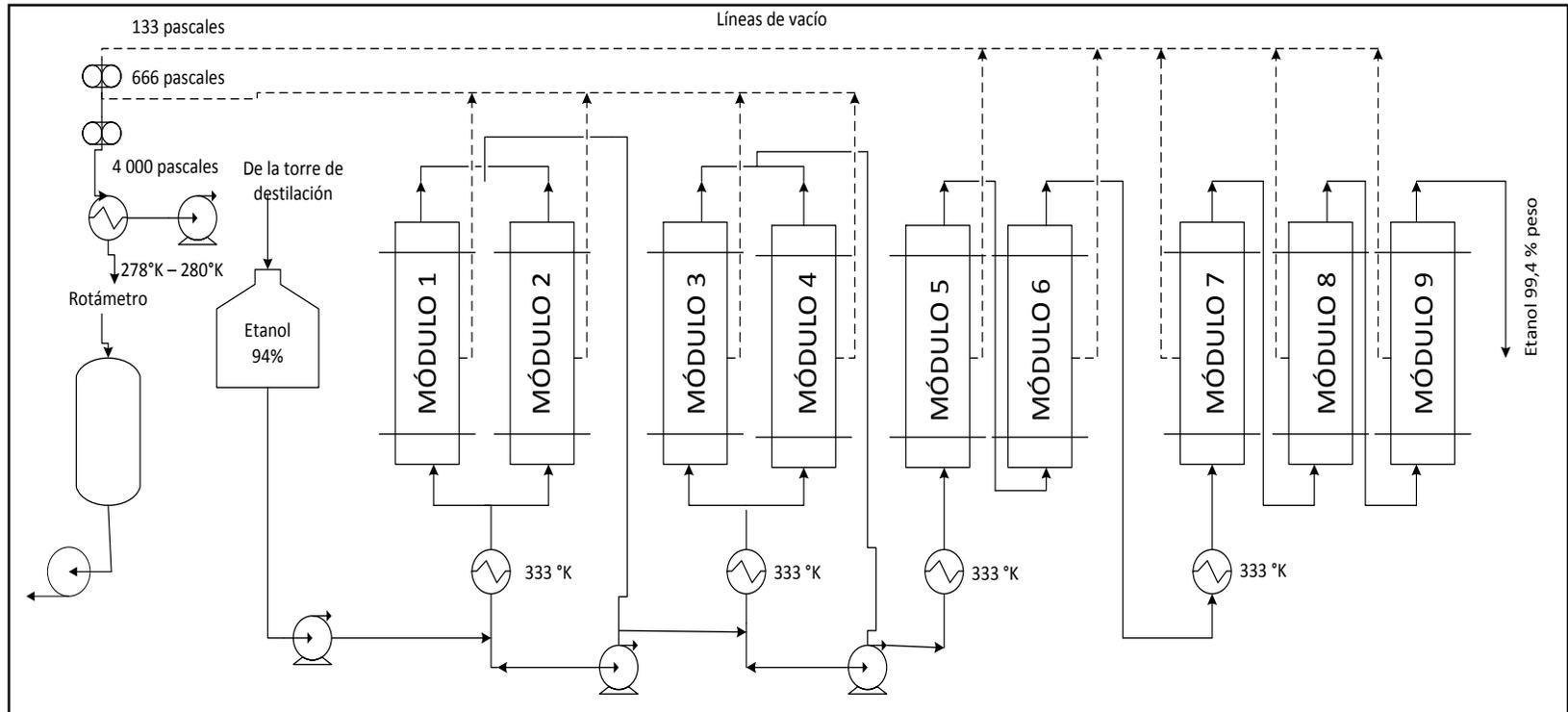
El sistema tiene además dos líneas de vacío (666 pascales y 133 pascales) para aumentar la eficiencia de la permeación; estas líneas permiten la remoción de los gases inertes únicamente, en este caso, el agua.

La concentración del producto se controla por medio del flujo de alcohol, mientras que la temperatura del alimento se mantiene constante por medio de un sistema de control automático.

El agua en fase gaseosa se retira a través de un condensador que opera entre 278 grados Kelvin y 280 grados Kelvin. La cantidad de calor removida en esta etapa del proceso es prácticamente equivalente a la cantidad de calor requerida para evaporar el agua en la sección de pervaporación. La presión de vacío se regula con una bomba de succión de agua a 4 000 pascales.

Una de las principales ventajas de este proceso se refiere a que el alcohol deshidratado obtenido está exento de trazas de agentes de separación, en contraste con las técnicas de destilación azeotrópica y extractiva, lo que amplía su aplicación a productos alimenticios y farmacéuticos. Comparada con técnicas que utilizan agentes de separación, la pervaporación presenta otras ventajas prácticas, como la flexibilidad en el uso de diferentes concentraciones de alimento y la facilidad en la puesta en marcha y operabilidad de los equipos, debido a que requiere una mínima supervisión.

Figura III-7. Diagrama esquemático del proceso de deshidratación de etanol por pervaporación



Fuente: Uyazán, Gil, Aguilar, Rodríguez, & Caicedo, (2004)

3.3 Tecnologías utilizadas en Bolivia para la deshidratación de Alcohol

3.3.1 Ingenio Aguaí S.A.

La planta deshidratadora de alcohol inaugurada en septiembre de 2018, del ingenio Aguaí, localizado en el Departamento de Santa Cruz, tiene una capacidad de producción de 750 000 litros de etanol por día.

El Ingenio cuenta actualmente con dos tanques de almacenamiento, siendo los más grandes del país, con capacidad de 20 000 000 de litros cada uno, lo que le permite almacenar su producción los doce meses del año.

Considerando el incremento de la producción debido a la actualización de la ley del Etanol en Bolivia en el año 2018, y a los programas gubernamentales que fomentan el uso de biocombustible, en el año 2019, el ingenio Aguaí terminó la instalación de un tercer tanque de 20 000 000 de litros, con lo que se eleva su capacidad total de almacenamiento a 60 000 000 de litros.

La planta deshidratadora, construida en 13 hectáreas, utiliza la *tecnología de deshidratación de etanol por adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares*. La tecnología utilizada tiene especiales particularidades destinadas a optimizar recursos y trabajar de manera amigable con el medio ambiente. El sistema de procesamiento de caña es automático, lo que le permite una capacidad de molienda de 500 toneladas por hora tratada por dos motores: la primera, corta una medida exacta y la segunda, desfibra.

La chimenea del ingenio de 50 metros de altura no arroja humos contaminantes a la atmósfera y está construida de acuerdo a las normas medioambientales. El extractor de gases tiene un sistema de aspersion que separa la ceniza y permite que el humo blanco no contaminante salga a la atmósfera. Es la mayor caldera instalada en el país con una capacidad de 220 toneladas de vapor por hora.

3.3.2 Unión Agro Industrial de Cañeros Sociedad Anónima – UNAGRO S.A.

UNAGRO S.A. tiene un acuerdo con Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos para proveer alcohol anhidro. Junto a UNAGRO, también están los ingenios Guabirá y Aguaí, los que proporcionan el producto a YPFB para que mezcle con gasolina especial.

Para deshidratar etanol, UNAGRO emplea la *tecnología de deshidratación de etanol por adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares*.

3.3.3 Ingenio Guabirá S.A.

En el mes de mayo de 2019, Guabirá instaló una nueva planta deshidratadora de alcohol de 700 000 litros diarios de capacidad, que utiliza la *tecnología de deshidratación de etanol por adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares*. Así mismo, cuenta con una planta deshidratadora más pequeña de 70 000 litros diarios, que utiliza la tecnología de *deshidratación de etanol por destilación azeotrópica con ciclohexano*.

3.4 Selección del proceso a diseñar

A la hora de seleccionar un proceso para deshidratar el etanol, se analizan tres principales tecnologías predominantes en la actualidad y se hará una comparación entre las mismas.

Las tecnologías son las siguientes:

- *Deshidratación de etanol por destilación azeotrópica con benceno*
- *Deshidratación de etanol por destilación extractiva con etilenglicol*
- *Deshidratación de etanol por adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares*

Dentro de los parámetros para seleccionar alguna de las tres tecnologías se encuentran:

- *El consumo de energía demandada en la producción de un kilogramo de etanol anhidro.*
- *El consumo de servicios industriales de la tecnología seleccionada.*
- *Los costos de inversión inicial de la tecnología.*

Argumentos

El consumo de energía estimado para los ciclos de deshidratación y regeneración dentro del proceso de adsorción con tamices moleculares muestra resultados más bajos que los de la destilación azeotrópica. Además de la ventaja energética, el sistema de adsorción es más fácil y seguro de operar que los sistemas de destilación.

Otros parámetros que también se deben tomar en cuenta, en la caso de los procesos de destilación, son la concentración de la alimentación, el solvente arrastrador y el número de platos de las columnas.

Para los procesos de destilación, es importante reconocer que el benceno es una sustancia tóxica, sin embargo, dado a que el uso del etanol se dirige al área de los biocombustibles, este detalle no es tan relevante como si el producto estuviera dirigido al área de las bebidas alcohólicas, laboratorio y cosmética, entre otros.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de kilocalorías consumidas por kilogramo de etanol anhidro producido, por tecnología.

Tabla III-3. Consumo energético para la deshidratación de etanol

Tecnología	kilocalorías por kilogramo de etanol
Destilación azeotrópica con benceno	2 958,600
Destilación extractiva con etilenglicol	2 555,300
Adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares	2 325,500

Fuente: Quintero, Montoya, Sánchez, & Cardona, (2007)

Según la Tabla III-3, la tecnología de adsorción con tamices moleculares es la más eficiente energéticamente; la producción de un kilogramo de alcohol deshidratado presenta un valor de 2 325,500 kilocalorías por kilogramo.

A continuación, en la Tabla III-4, se presentan los costos de capital y costos de operación de las tecnologías de separación del etanol y del agua; esta Tabla es útil para analizar la selección del proceso de deshidratación.

Tabla III-4. Costos de capital y costos de operación para las tecnologías de separación (\$US)

Resultados	Unidades	Destilación azeotrópica	Destilación extractiva	Tamices moleculares
Producción	kg/año	142 609 349	141 897 940	142 726 998
Costos totales de capital	\$US	9 547 963	9 525 920	12 809 706
Costos totales de operación	\$US /año	8 943 642	8 023 714	7 730 653
Fluidos de servicios	\$US /año	7 113 850	6 266 715	5 821 429
Mano de obra	\$US /año	600 000	600 000	600 000
Costos de mantenimiento	\$US /año	78 200	75 100	191 000
Otros	\$US /año	1 151 592	1 081 899	1 118 134
Costos totales de capital por kilogramo	\$US /kg.año	0,067	0,067	0,089
Costos totales de operación por kilogramo	\$US /kg.año	0,063	0,056	0,054

Fuente: Quintero, Montoya, Sánchez, & Cardona, (2007)

Los valores mostrados en la tabla anterior son para una producción anual promedio de 142 500 000 kilogramos de alcohol deshidratado; a continuación, se listan y analizan los parámetros considerados, comparando los costos de cada tecnología.

- Costos totales de capital

La tecnología de adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares es la de mayor valor, con 12 800 000 dólares, 3 280 000 dólares más cara que la tecnología de destilación extractiva y 3 260 000 dólares más cara que la tecnología de destilación azeotrópica.

- Costos de operación anuales

La tecnología de destilación azeotrópica muestra el valor más alto con 8 900 000 dólares, 920 000 dólares más cara que la destilación extractiva y 1 200 000 dólares más cara que la tecnología de adsorción por oscilación de presión.

- Fluidos de servicio

La destilación azeotrópica es la tecnología que tiene un costo más elevado, con 7 100 000 dólares anuales, 848 000 dólares más cara que la destilación extractiva y 1 800 000 dólares más cara que la adsorción por oscilación de presión.

- Costo de la mano de obra

El costo de la mano de obra no muestra ninguna diferencia.

- Los costos de mantenimiento

El valor más elevado es de la tecnología de adsorción por oscilación de presión con 191 000 dólares, 116 000 dólares más cara que la destilación extractiva y 113 000 dólares más cara que la destilación azeotrópica.

- Costos anuales totales de operación

El valor más alto es para la destilación azeotrópica, seguida por la destilación extractiva y, por último, la tecnología de adsorción por oscilación de presión.

Con toda esta información, es posible construir la Tabla III-5, planteada a continuación:

Tabla III-5. Parámetros de selección para la tecnología de deshidratación

Parámetros	Tecnología
Tecnología más eficiente energéticamente	Adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares
Costo total de capital más bajo	Destilación extractive
Costo total de operación más bajo	Adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares
Consumo más bajo de fluidos de servicios	Adsorción por oscilación de presión con tamices moleculares
Costo de mantenimiento más bajo	Destilación extractive

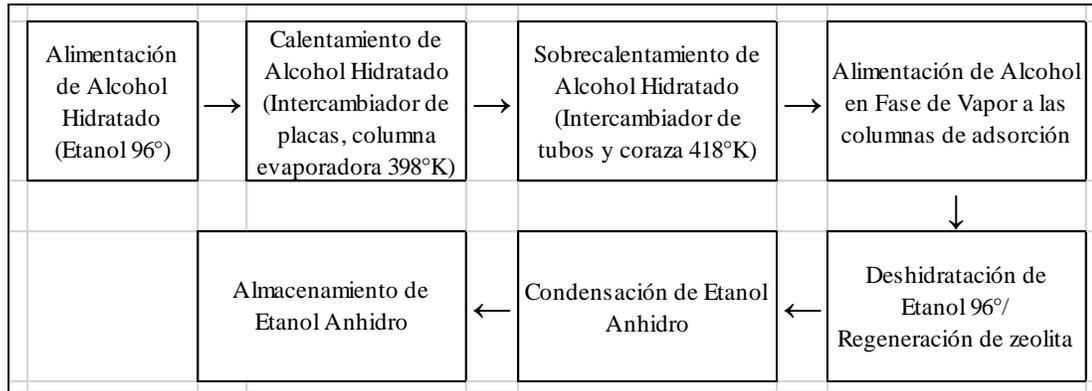
Fuente: Elaboración propia, 2020

Debido a que en tres de los cinco parámetros importantes para seleccionar un proceso de deshidratación, la tecnología de Adsorción por Oscilación de Presión con Tamices Moleculares es la que muestra los costos más bajos, por ser más eficiente energéticamente, por tener el costo de operación más bajo y por tener el consumo de fluidos de servicios más bajo, se escoge esta tecnología como una propuesta para la deshidratación del etanol en Industrias Agrícolas Bermejo.

3.5 Diagramas del proceso

3.5.1 Diagrama de bloques del proceso

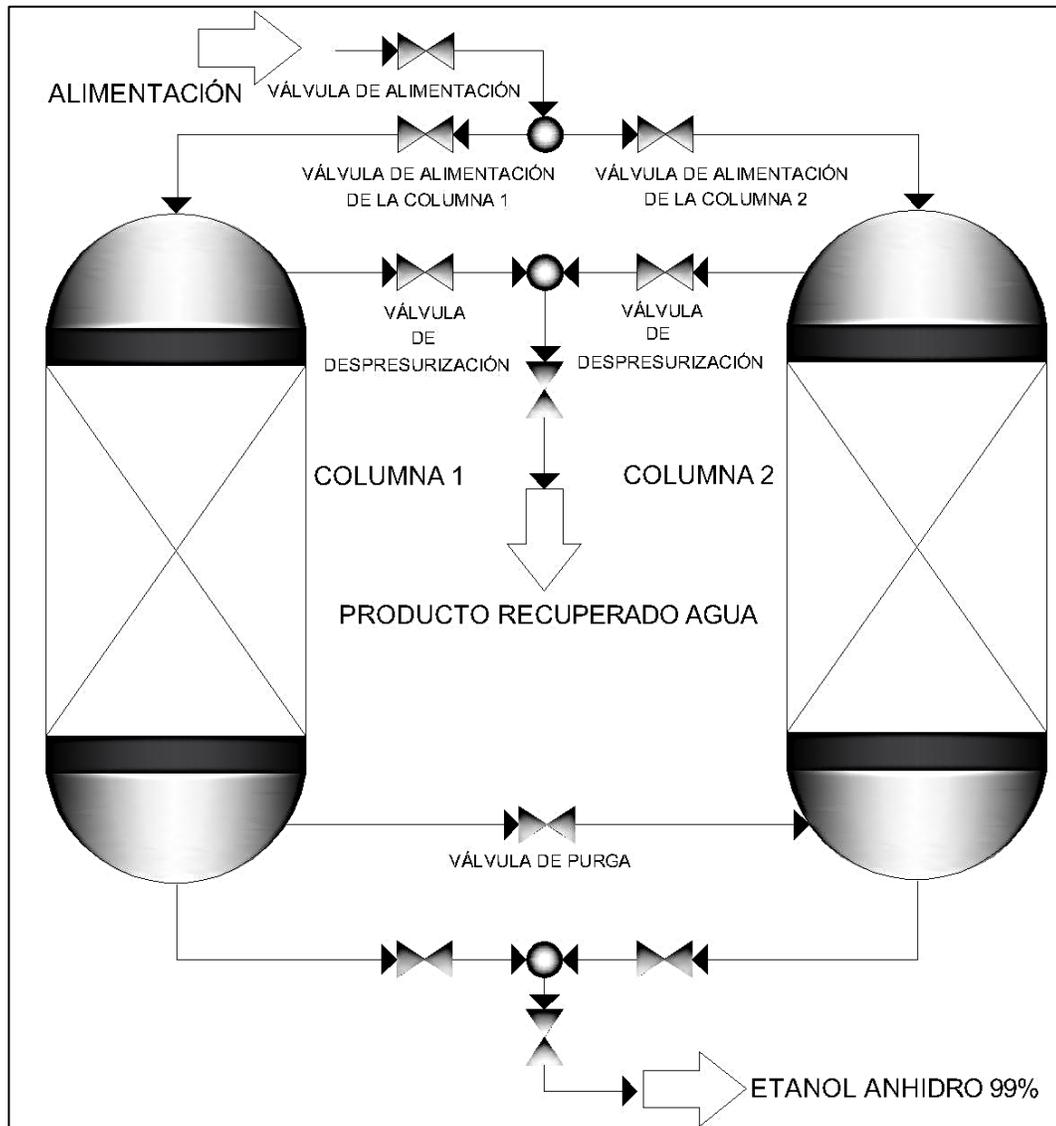
Figura III-8. Diagrama de bloques del proceso



Fuente: Elaboración propia, 2020

3.5.2 Diagrama de flujo del proceso

Figura III-9. Diagrama de flujo del proceso



Fuente: Elaboración propia. Autodesk AutoCad, 2020

3.6 Balances de Materia y Energía

3.6.1 Balance de Materia

Balance Global de Materia

Para realizar el balance global de materia del proceso de deshidratación de etanol, se parte de la siguiente ecuación:

$$\textit{Entrada} - \textit{Salida} + \textit{Generación} - \textit{Consumo} = \textit{Acumulación}$$

Debido a que este proceso no presenta una reacción química, la generación y el consumo son iguales a cero.

Por tanto, se tiene:

$$\textit{Entrada} = \textit{Salida} + \textit{Acumulación}$$

La Entrada (E) representa la masa en fase de vapor de alcohol 96 grados Gay Lussac, que entra al sistema; la Salida (S) es la masa de etanol anhidro que sale del sistema por hora y, la Acumulación (A) representa la masa de agua que se va reteniendo en la columna de adsorción.

$$\textit{Entrada} = E$$

$$\textit{Salida} = S$$

$$\textit{Acumulación} = A$$

Por tanto, se escribe el balance de materia, de la manera siguiente:

$$E = S + A \quad (\textit{Ec. 1})$$

Se conoce debido a las características de la zeolita A3 que se propone utilizar en el lecho de adsorción de la columna; el porcentaje teórico de acumulación o retención de moléculas de agua es del 4%.

Entonces, se tiene que:

$$\% \textit{Acumulación} = 4\%$$

Y se escribe la siguiente ecuación de acumulación:

$$A = 0,040 * E \quad (\text{Ec. 2})$$

El volumen de etanol a la salida es de 2 500 litros por hora, que corresponden a 60 000 litros por día de producto obtenido, es decir, de etanol anhidro. Este es el volumen propuesto en el capítulo anterior de *Tamaño de Planta*. Este volumen se debe llevar a kilogramos usando la densidad del etanol en la mezcla final, la base del cálculo es una hora.

Se calculó la densidad del etanol en la mezcla final y, posteriormente, la masa en kilogramos que corresponde a este volumen, de la manera siguiente:

Cálculo de la densidad de la mezcla multicomponente, etanol –agua (99,5%)

Datos necesarios:

$$\text{Densidad del etanol anhidro a la salida} = \rho_{et-OH} = 0,789 \frac{kg}{l}$$

$$\text{Densidad del agua pura} = \rho_{H_2O} = 0,998 \frac{kg}{l}$$

$$\text{Fracción molar del etanol anhidro a la salida} = x_{et-OH} = ?$$

$$\text{Fracción molar del agua a la salida} = x_{H_2O} = ?$$

Debido a que no se conocen las fracciones molares del etanol y del agua a la salida, se procede a calcularlas, considerando cien partes como un total, ya que la pureza está expresada en porcentaje; en este caso, se utilizó un volumen de 100 mililitros de mezcla para realizar los cálculos.

Fracción molar del etanol anhidro a la salida, considerando una pureza del 99,5%

Para calcular la fracción molar del etanol anhidro y del agua a la salida del proceso, se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\text{Fracción molar del etanol} = \frac{\text{moles de etanol}}{\text{moles totales}}$$

$$\text{Fracción molar del agua} = 1 - \text{Fracción molar del etanol}$$

Se requiere conocer los moles de etanol y agua en una solución al 99,5% de pureza (se consideran 100 mililitros de solución), y se procede de la siguiente manera:

Moles de etanol en una muestra de 100 ml de solución (99,5% etanol):

$$\mathbf{moles\ de\ etanol} = \frac{\mathbf{volumen\ etanol} * \mathbf{densidad\ etanol}}{\mathbf{peso\ molecular}_{etanol}}$$

$$\mathbf{moles\ de\ etanol} = \frac{99,500\ ml\ etanol * 0,789\ \frac{g}{ml}}{46\ \frac{g}{mol}}$$

$$\mathbf{moles\ de\ etanol} = 1,707\ mol$$

Moles de agua en una muestra de 100 ml de solución (0.5 % agua):

$$\mathbf{moles\ de\ agua} = \frac{\mathbf{volumen\ agua} * \mathbf{densidad\ agua}}{\mathbf{peso\ molecular}_{agua}}$$

$$\mathbf{moles\ de\ agua} = \frac{0,5\ ml * 0,998\ \frac{g}{ml}}{18\ \frac{g}{mol}}$$

$$\mathbf{moles\ de\ agua} = 0,028\ mol$$

Entonces, se puede calcular la fracción molar del etanol y del agua a la salida:

$$\mathbf{Fracción\ molar\ del\ etanol} = \frac{\mathbf{moles\ de\ etanol}}{\mathbf{moles\ totales}}$$

$$\mathbf{Fracción\ molar\ del\ etanol} = \frac{1,707\ mol\ etanol}{1,707\ mol\ etanol + 0,028\ mol\ agua}$$

$$\mathbf{Fracción\ molar\ del\ etanol} = 0,984$$

$$\mathbf{Fracción\ molar\ del\ agua} = 1 - \mathbf{fracción\ molar\ del\ etanol}$$

$$\mathbf{Fracción\ molar\ del\ agua} = 1 - 0,984$$

$$\mathbf{Fracción\ molar\ del\ agua} = 0,016$$

Una vez calculadas las fracciones molares de etanol anhidro y agua a la salida, se procede a calcular la densidad de esta mezcla multicomponente de la manera siguiente:

Densidad de la mezcla (ρ_{mezcla}):

$$\rho_{mezcla} = \rho_{et-OH} * x_{et-OH} + \rho_{H_2O} * x_{H_2O}$$

$$\rho_{mezcla} = 0,789 \frac{kg}{l} * 0,984 + 0,998 \frac{kg}{l} * 0,016$$

$$\rho_{mezcla} = 0,792 \frac{kg}{l}$$

Con este dato, se procede a calcular la masa de salida del sistema.

Cálculo de la masa de etanol anhidro a la salida (S):

Datos necesarios:

Densidad del etanol anhidro a la salida = $\rho_{et-OH} = 0,792 \frac{kg}{l}$

Volumen del etanol anhidro a la salida = $V_{et-anhidro} = 2\ 500\ l$

Cálculo:

Base de cálculo: 1 hora.

$$Densidad = \frac{masa}{volumen} \quad (Ec. 3)$$

Despejando la masa de la ecuación 3, se tiene:

$$m_{salida\ (et-anhidro)} = \rho_{etanol\ anhidro} * V_{et-anhidro}$$

$$m_{salida\ (et-anhidro)} = 0,792 \frac{kg}{l} * 2\ 500\ l$$

$$m_{salida\ (et-anhidro)} = 1\ 980\ kg$$

La masa calculada es la masa de salida del sistema en Kg, por tanto:

$$S = m_{salida\ (et-anhidro)}$$

$$S = 1\ 980\ kg$$

Cálculo de la masa de alcohol hidratado a la entrada al sistema (E):

De la ecuación 1, se tiene que la **Entrada** es igual a la **Salida** más la **Acumulación**:

$$E = S + A$$

Reemplazando el valor de la **Salida** en la ecuación 1, se obtiene la siguiente ecuación:

$$E = 1\,980\text{ kg} + A \quad (\text{Ec. 4})$$

Al reemplazar la ecuación 2 en la ecuación 4, se tiene:

$$E = 1\,980\text{ kg} + 0,040E \quad (\text{Ec. 5})$$

Se procede a despejar E, para encontrar la masa de entrada al sistema:

Base de cálculo: 1 hora.

$$E - 0,040E = 1\,980\text{ kg}$$

$$E(1 - 0,040) = 1\,980\text{ kg}$$

$$E = \frac{1\,980\text{ kg}}{(1 - 0,040)}$$

$$E = \frac{1\,980\text{ kg}}{0,960}$$

$$E = 2\,062,500\text{ kg}$$

La masa de entrada de alcohol hidratado (etanol 96 grados Gay Lussac) es de 2 062,500 kilogramos por hora.

Cálculo de la masa de acumulación en el sistema (A):

Para encontrar la masa de acumulación (A), se reemplaza el valor de la masa de entrada en la ecuación (2):

$$A = 0,040 * E \quad (\text{Ec. 2})$$

$$A = 0,040 * 2\,062,500\text{ kg}$$

$$A = 82,500\text{ kg}$$

Quedando el balance global de materia resuelto de la manera siguiente:

$$E = S + A$$

$$2\,062,500\text{ kg} = 1\,980\text{ kg} + 82,500\text{ kg}$$

$$2\,062,500\text{ kg} = 2\,062,500\text{ kg}$$

$$E = 2\,062,500\text{ kg}$$

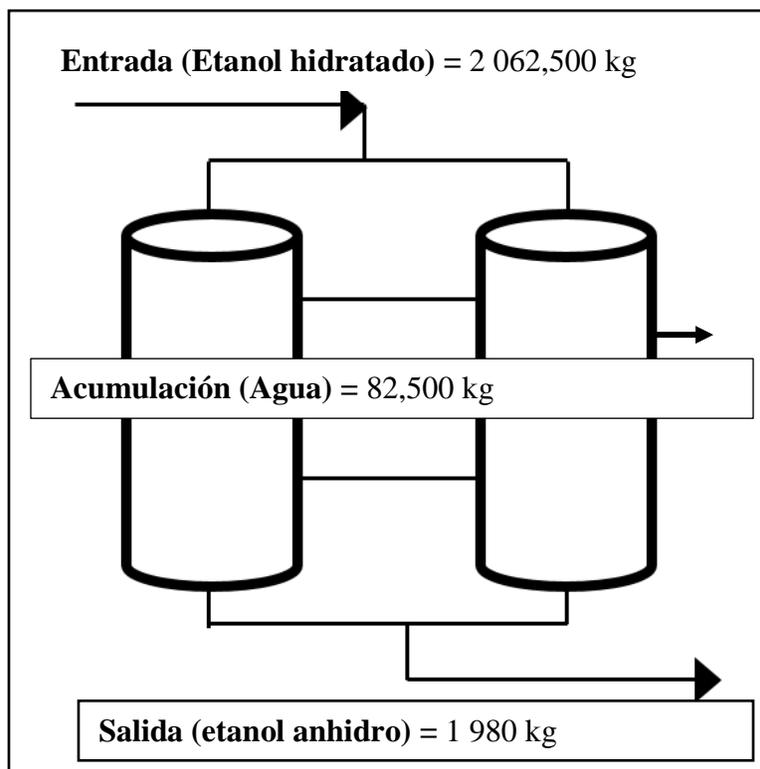
$$S = 1\,980\text{ kg}$$

$$A = 82,500\text{ kg}$$

Base de Cálculo: 1 hora

Se muestra una representación gráfica del balance global de materia en la siguiente figura:

Figura III-10. Esquema del Balance Global de Materia



Base de Cálculo: 1 hora

Fuente: Elaboración propia, 2020

Es importante mencionar que las columnas de adsorción trabajan de forma independiente, ya que mientras una está en operación, la otra se encuentra en la fase de regeneración para la eliminación del agua adsorbida. Este proceso se realiza de manera secuencial y automática, controlado por el sistema supervisor.

El balance de masa se calculó, para el proceso en operación, independientemente de la columna que esté operando.

A continuación, se muestra, en las Tablas III-6 y III-7, un resumen de los cálculos líneas arriba realizados, de la fracción molar y la masa en kilogramos de etanol y agua, en las corrientes de entrada y salida.

Tabla III-6. Fracción molar de etanol y agua en cada corriente

Componente	Entrada	Salida
Etanol	0,881	0,984
Agua	0,119	0,016

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla III-7. Masa en kilogramos por hora de etanol y agua en cada corriente

Componente	Entrada	Salida
Etanol	$E * x_{etanol} =$ $2\ 062,500\ kg * 0,881 =$ $1\ 817,063\ kg$	$S * x_{etanol} =$ $1\ 980\ kg * 0,984 =$ $1\ 948,320\ kg$
Agua	$E * x_{agua} =$ $2\ 062,500\ kg * 0,119 =$ $245,438\ kg$	$S * x_{agua} =$ $1\ 980\ kg * 0,016 =$ $31,680\ kg$
Total	2 062,500 kg	1 980 kg

Fuente: Elaboración propia, 2020

3.6.2 Balance de Energía

Para el balance de energía, se calcularon algunos datos importantes empleando las ecuaciones que se listan y explican a continuación.

Al final de esta sección, se calcularon también el rendimiento y la eficiencia del sistema.

Capacidad calorífica media

Se refiere a la resistencia de un cuerpo para cambiar su temperatura. Sirve para calcular la capacidad calorífica de una mezcla con varios componentes.

$$\bar{C}_p = \sum x_i C_{p_i}$$

Donde:

\bar{C}_p = Capacidad calorífica media, J/kg°K

x_i = Fracción molar de cada componente en la mezcla, adimensional

C_{p_i} = Capacidad calorífica de cada componente en la mezcla, J/kg°K

Cantidad de calor

Es la cantidad de kilocalorías que se gana o pierde en un flujo y depende directamente del cambio de temperatura.

Esta ecuación se emplea para calcular el aporte calórico que se gana o pierde en una corriente másica al cambiar la temperatura.

$$Q = m * C_p * \Delta T$$

Donde:

Q = Cantidad de calor ganado o cedido al cabo de un tiempo, J/h.

m = Flujo másico de la corriente, kg/h

C_p = Capacidad calorífica de la mezcla o corriente, J/kg°K

ΔT = Cambio de temperatura de la corriente analizada, °K

Balance de energía en la fase de calentamiento y sobrecalentamiento del alcohol hidratado, en base al vapor de agua

Es la igualdad de cantidad de energía entre el vapor de agua que entra y sale del sistema.

Se emplea para calcular el aporte calórico que es perdido y ganado en la fase previa a la deshidratación.

$$- Q_{1 \text{ cedido}} = Q_{\text{gana la mezcla de alimentación}}$$

Donde:

$- Q_{1 \text{ cedido}}$ = Cantidad de calor que cede el vapor a la mezcla, J/h.

$Q_{\text{gana la mezcla de alimentación}}$ = Cantidad de calor que gana la mezcla de alimentación, J/h.

Balance de energía agua-etanol anhidro

Igualdad de cantidad de energía entre el agua de enfriamiento y el producto enfriado.

Se emplea para calcular el aporte calórico que es perdido y ganado en el condensador.

$$Q_{\text{gana el agua}} = -Q_{\text{pierde la mezcla}}$$

Donde:

$Q_{\text{gana el agua}}$ = Cantidad de calor que gana el agua de enfriamiento, J/h.

$Q_{\text{pierde la mezcla}}$ = Cantidad de calor que pierde el producto al enfriarse, J/h.

Cálculo de entalpías

La entalpía, simbolizada generalmente como H, también llamada contenido de calor, y calculada en julios en el sistema internacional de unidades, es una función de estado extensiva, que se define como la transformada de Legendre de la energía interna con respecto del volumen.

Se emplea para calcular la cantidad de julios que son necesarios para aumentar la temperatura de la mezcla a tratarse en la operación.

$$H = m_{mezcla} * \overline{Cp} * \Delta T$$

Donde:

H = Entalpía de una corriente, julios

m_{mezcla} = Flujo másico de la mezcla a tratarse, kg/h

\overline{Cp} = Capacidad calorífica media de la corriente, J/kg°K

ΔT = Cambio de temperatura de la corriente, °K

Rendimiento

Hace referencia a la cantidad de producto obtenido en base a la cantidad de materia prima que ingresa.

Se emplea para calcular el porcentaje que expresa la cantidad de producto que se recoge.

$$R = \frac{\text{masa de salida}}{\text{masa de entrada}} * 100\%$$

Donde:

R = rendimiento del equipo

Masa de salida = masa obtenida de producto, kg

Masa de entrada = masa ingresada en la alimentación, kg

Eficiencia

Hace referencia al equipo, es decir, al consumo del suministro de energía usado para realizar la operación y obtener el producto.

Se emplea para calcular (en función del porcentaje) la cantidad de calor consumido para producir cierta cantidad de producto.

$$E = \frac{Q_{entra} - Q_{sale}}{Q_{entra}} * 100$$

Calor perdido

Es la cantidad de julios que sale del sistema o que se ha perdido durante la operación.

Se emplea para calcular la cantidad de julios que se pierde en el sistema de operación y llegar al cálculo de la eficiencia del equipo.

$$Q_{sale} = \Delta H = H_2 - H_1$$

Donde:

Q_{sale} = Cantidad de calor que sale o se pierde, J/h

H_2 = Entalpía final, J/h

H_1 = Entalpía inicial, J/h

Cálculos

Para resolver el balance de energía del sistema, se necesita realizar algunos cálculos previos que se desarrollan a continuación.

Cálculo de la densidad inicial y final de la mezcla etanol-agua

- Densidad inicial (Etanol 96%)

$$\rho_{mezcla\ inicial} = \rho_{et-OH} * x_{et-OH} + \rho_{H_2O} * x_{H_2O}$$

$$\rho_{mezcla\ inicial} = 0,789 \frac{kg}{l} * 0,881 + 0,998 \frac{kg}{l} * 0,119$$

$$\rho_{mezcla\ inicial} = 0,814 \frac{kg}{l}$$

- Densidad final (Etanol 99,5 %)

$$\rho_{mezcla\ final} = \rho_{et-OH} * x_{et-OH} + \rho_{H_2O} * x_{H_2O}$$

$$\rho_{mezcla\ final} = 0,789 \frac{kg}{l} * 0,984 + 0,998 \frac{kg}{l} * 0,016$$

$$\rho_{mezcla\ final} = 0,792 \frac{kg}{l}$$

Cálculo de la capacidad calorífica media (\overline{Cp})

$$\overline{Cp} = \sum x_i Cp_i$$

$$\overline{Cp}_{agua} = 4\,186,800 \frac{J}{kg^\circ K}$$

$$\overline{Cp}_{etanol} = 2\,427,880 \frac{J}{kg^\circ K}$$

- Capacidad calorífica media inicial

$$\overline{Cp}_{inicial} = x_{et-OH} * Cp_{et-OH} + x_{H_2O} Cp_{H_2O}$$

$$\overline{Cp}_{inicial} = 0,881 * 2\,427,880 \frac{J}{kg^\circ K} + 0,119 * 4\,186,800 \frac{J}{kg^\circ K}$$

$$\overline{Cp}_{inicial} = 2\,637,191 \frac{J}{kg^\circ K}$$

- Capacidad calorífica media final

$$\overline{Cp}_{final} = x_{et-OH} * Cp_{et-OH} + x_{H_2O} Cp_{H_2O}$$

$$\overline{Cp}_{final} = 0,984 * 2\,427,880 \frac{J}{kg^\circ K} + 0,016 * 4\,186,800 \frac{J}{kg^\circ K}$$

$$\overline{Cp}_{final} = 2\,456,023 \frac{J}{kg^\circ K}$$

- Capacidad calorífica media en la acumulación

$$\overline{Cp}_{acumulación} = x_{et-OH(A)} * Cp_{et-OH} + x_{H_2O(A)} Cp_{H_2O}$$

$$\overline{Cp}_{acumulación} = 0,0005 * 2\,427,880 \frac{J}{kg^\circ K} + 0,999 * 4\,186,800 \frac{J}{kg^\circ K}$$

$$\overline{Cp}_{acumulación} = 4\,183,827 \frac{J}{kg^\circ K}$$

Balance de energía en el calentamiento y sobrecalentamiento de alcohol hidratado, en base al vapor de agua

$$-Q_1 \text{ cedido} = Q_{\text{gana la mezcla de alimentación}}$$

$$-(m_{\text{vapor}} * Cp_{\text{vapor}} * \Delta T) = m_{\text{mezcla inicial}} * \overline{Cp}_{\text{mezcla inicial}} * \Delta T$$

Donde:

m_{vapor} = masa de la corriente de vapor de agua, kg

Cp_{vapor} = calor específico del vapor de agua = 2 009,664 J/kg°K

$\Delta T_{\text{final-inicial}}$ = diferencia de temperatura del vapor al inicio y al final, °K

$m_{\text{mezcla inicial}}$ = masa de la mezcla etanol-agua, kg

$\overline{Cp}_{\text{mezcla inicial}}$ = calor específico de la mezcla etanol-agua, J/kg°K

ΔT = diferencia de temperatura de la mezcla al inicio y al final, °K

$$m_{\text{vapor}} * 2\,009,664 \frac{J}{kg^{\circ}K} * (373,150^{\circ}K - 418,150^{\circ}K) =$$

$$2\,062,500 \text{ Kg} * 2\,637,684 \frac{J}{kg^{\circ}K} * (378,15^{\circ}K - 358,15^{\circ}K)$$

$$m_{\text{vapor}} * 90\,434,880 \frac{J}{kg} = 108\,804\,465 \text{ J}$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{108\,804\,465 \text{ J}}{90\,434,880 \frac{J}{kg}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 1\,203,125 \text{ kg}$$

Con la masa de la corriente de vapor, se calculó la cantidad de calor a la entrada del proceso, es decir, en la fase de calentamiento y sobrecalentamiento del alcohol hidratado, que es la energía necesaria para llevar la corriente de mezcla de entrada (etanol 96 grados Gay Lussac) del estado líquido, al estado de vapor.

- Energía cedida 1

$$Q_{1\text{cedido}} = m * Cp * \Delta T$$

$$Q_{1\text{cedido}} = m_{\text{vapor}} * Cp_{\text{vapor}} * (T_f - T_o)$$

$$Q_{1\text{cedido}} = 1\,203,125\text{ kg} * 2\,009,664 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * (358,150^\circ\text{K} - 418,150^\circ\text{K})$$

$$Q_{1\text{cedido}} = -145\,072\,620\text{ J}$$

El signo negativo indica que se está cediendo calor.

Balance de energía en el condensador (para llevar el producto de vapor a líquido)

$$Q_{\text{gana el agua}} = -Q_{\text{pierde la mezcla}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} * Cp_{\text{H}_2\text{O}} * \Delta T_{\text{final-inicial}} = -(m_{\text{mezcla final}} * \overline{Cp}_{\text{mezcla final}} * \Delta T)$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} * 4\,186,800 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * (301,15^\circ\text{K} - 293,15^\circ\text{K}) =$$

$$-(1\,980\text{ kg} * 2\,436,718 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * (288,150^\circ\text{K} - 366,150^\circ\text{K}))$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} * 33\,494,400 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 376\,326\,727,900\text{ J}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{376\,326\,727,900\text{ J}}{33\,494,400 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 11\,235,512\text{ kg}$$

Cálculo de la entalpía de alimentación

$$H_{\text{alimentación}} = m_{\text{mezcla inicial}} * \overline{Cp}_{\text{mezcla inicial}} * \Delta T$$

$$H_{\text{alimentación}} = 2\,062,500 \text{ kg} * 2\,499,520 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * (378,150^\circ\text{K} - 358,150^\circ\text{K})$$

$$H_{\text{alimentación}} = 103\,105\,200 \text{ J}$$

Cálculo de la entalpía del deshidratado

$$H_{\text{etanol anhidro}} = m_{\text{mezcla final}} * \overline{Cp}_{\text{mezcla final}} * \Delta T$$

$$H_{\text{etanol anhidro}} = 1\,980 \text{ kg} * 2\,436,718 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * (387,150^\circ\text{K} - 403,15^\circ\text{K})$$

$$H_{\text{etanol anhidro}} = -77\,195\,226,240 \text{ J}$$

Cálculo de la entalpía en la acumulación

$$H_{\text{acumulación}} = m_{\text{acumulación}} * \overline{Cp}_{\text{acumulación}} * \Delta T$$

$$H_{\text{acumulación}} = 82,500 \text{ kg} * 4\,178,426 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * (387,150^\circ\text{K} - 403,150^\circ\text{K})$$

$$H_{\text{acumulación}} = -5\,515\,522 \text{ J}$$

El signo negativo indica que se está perdiendo calor.

Cálculo de rendimiento del tamiz

$$R = \frac{\text{masa de salida}}{\text{masa de entrada}} * 100\%$$

$$R = \frac{1\,980 \text{ kg}}{2\,062,500 \text{ kg}} * 100\%$$

$$R = 96 \%$$

Cálculo del calor perdido

$$H_{alimentación} = H_{acumulación} + H_{etanol\ anhidro}$$

$$Q_{sale} = \Delta H$$

$$Q_{sale} = H_{alimentación} - (H_{acumulación} + H_{etanol\ anhidro})$$

$$Q_{sale} = (103\ 105\ 200\ J) - ((-5\ 515\ 522\ J) + (-77\ 195\ 226,240\ J))$$

$$Q_{sale} = 20\ 394\ 451,760\ J$$

Cálculo de la eficiencia del equipo

$$Eficiencia = \frac{Q_{1\ cedido} - Q_{sale}}{Q_{1\ cedido}} * 100\%$$

$$Eficiencia = \frac{145\ 072\ 620\ J - 20\ 394\ 451,760\ J}{-145\ 072\ 620\ J} * 100\%$$

$$Eficiencia = 85,942\ \%$$

3.7 Diseño del equipo principal

El equipo principal del proceso de deshidratación del etanol 96 grados Gay Lussac es el equipo de adsorción, en otras palabras, las torres de adsorción con zeolita A3 en el interior del lecho.

Las ecuaciones utilizadas para el diseño del sistema antes mencionado, se presentan a continuación.

Se entiende al término tamiz o tamiz molecular como la “torre de adsorción”.

Masa de zeolita A3 a emplear en el lecho del tamiz

$$m_z = \frac{m_{mezcla} * W}{f}$$

m_z = masa de la zeolita, kg

m_{mezcla} = masa de entrada de etanol 96 grados Gay Lussac, kg

W = porcentaje de agua en la mezcla = 0,040 (4%)

f = factor de retención del agua = 0,150 (15%)

Densidad absoluta de la zeolita

$$\rho_z = \frac{m_z}{V_z}$$

Donde:

ρ_z = densidad absoluta de la zeolita a emplear en el lecho, kg/l

m_z = masa de la zeolita, kg

V_z = volumen que ocupa la zeolita, l

Volumen de zeolita

$$V_z = r^2 * \pi * h_z$$

V_z = volumen que ocupa la zeolita, cm³

r = radio del lecho interno de la torre, cm

π = número pi, adimensional

h_z = altura del lecho interno de la torre, cm

Volumen externo del tamiz

$$V_e = r_e^2 * \pi * h_e$$

V_e = volumen externo del tamiz de adsorción, cm³

r_e = radio externo del tamiz de adsorción, cm

π = número pi, adimensional

h_e = altura externa del tamiz de adsorción, cm

Constante k

$$k = 8 * 10^{-7} * e^{\left(\frac{6014}{T_{tamiz}}\right)}$$

k = número adimensional que se calcula con relación a la temperatura que se trabaja en el tamiz.

e = número de Euler, adimensional

T_{tamiz} = temperatura del alcohol en el tamiz de adsorción, °K

Constante n

$$n = 4,223 - \left(\frac{1050,7}{T_{tamiz}}\right)$$

n = número adimensional que se calcula con relación a la temperatura que se trabaja en el tamiz.

T_{tamiz} = temperatura del alcohol en el tamiz de adsorción, °K

Cantidad de agua adsorbida

$$q = \frac{10 * k * \left(\frac{P_{tamiz}}{1,1085 * 10^{-4} T_{tamiz}} \right)^{\frac{1}{n}}}{1 + k * \left(\frac{P_{tamiz}}{1,1085 * 10^{-4} * T_{tamiz}} \right)^{\frac{1}{n}}}$$

q = número de moles de agua retenida por kilogramo de adsorbente contenido en el tamiz molecular, mol/kg

k = número adimensional que se calcula con relación a la temperatura que se trabaja en el tamiz

n = número adimensional que se calcula con relación a la temperatura que se trabaja en el tamiz

P_{tamiz} = presión del alcohol en el tamiz de adsorción

T_{tamiz} = temperatura del alcohol en el tamiz de adsorción, °K

Cálculos

Masa de zeolita A3 a emplear en el lecho del tamiz

$$m_z = \frac{m_{mezcla} * W}{f}$$

$$m_{mezcla} = 2\,062,500 \text{ kg}$$

$$W = 0,040$$

$$f = 0,150$$

Base de Cálculo: 1 hora

$$m_z = \frac{2\,062,500 \text{ kg} * 0,040}{0,150}$$

$$m_z = 550 \text{ kg}$$

Densidad absoluta de la zeolita

La ecuación de la densidad absoluta de la zeolita se empleó para calcular el volumen que ocupará la masa de zeolita.

$$\rho_z = \frac{m_z}{V_z}$$

$$m_z = 559,720 \text{ kg}$$

$$\rho_z = 1,160 \text{ kg/l}$$

$$V_z = \frac{m_z}{\rho_z}$$

$$V_z = \frac{550 \text{ kg}}{1,160 \frac{\text{kg}}{\text{l}}}$$

$$V_z = 474,138 \text{ l (aprox. 475 litros)}$$

Tamiz de adsorción

- Cálculos para el diseño del lecho interno

Volumen de zeolita = 475 l = 475 000 cm³

Diámetro del empaque interno de zeolita

Diámetro asumido = 70 cm

Altura del empaque interno de zeolita

$$V_z = r^2 * \pi * h_z$$

$$475\,000\text{ cm}^3 = (35\text{ cm})^2 * \pi * h_z$$

Despejando la ecuación, se tiene la altura del empaque interno de zeolita:

$$h_z = 123,426\text{ cm (aprox. 124 cm)}$$

- Cálculos para la cobertura externa

Diámetro de la cobertura externa

Se determinó que el diseño tendrá cinco centímetros entre el empaque interno y la cobertura externa del tamiz.

Diámetro de la cobertura externa = 70 cm + 5cm + 5cm = 80 cm

Altura de la cobertura externa

Se determinó que el diseño tendrá 15 centímetros adicionales de altura en la parte superior e inferior del tamiz para que ingresen y salgan los vapores alcohólicos.

Altura de la cobertura externa = 124 cm + 15cm + 15cm = 154 cm

Volumen externo del tamiz

$$V_e = r_e^2 * \pi * h_e$$

$r_e = 40\text{ cm}$

$h_e = 154\text{ cm}$

$$V_e = (40 \text{ cm})^2 * \pi * 154 \text{ cm}$$

$$V_e = 774 \text{ 088,430 cm}^3$$

$$1 \text{ cm}^3 = 0,001 \text{ l}$$

$$V_e = 774 \text{ 088,430 cm}^3 * \left(\frac{0,001 \text{ l}}{1 \text{ cm}^3} \right) = 774 \text{ l}$$

Para contener los 475 litros de zeolita se necesitará un lecho contenedor de 70 centímetros de diámetro y 124 centímetros de altura.

El cilindro de cobertura externa debe tener un diámetro externo de 80 centímetros y una altura de 154 centímetros.

Constante k

$$k = 8 * 10^{-7} * e^{\left(\frac{6 \text{ 014}}{T_{tamiz}} \right)}$$

$$T_{tamiz} = 387,150 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$k = 8 * 10^{-7} * e^{\left(\frac{6 \text{ 014}}{387,150} \right)}$$

$$k = 4,461$$

Constante n

$$n = 4,223 - \left(\frac{1 \text{ 050,700}}{T_{tamiz}} \right)$$

$$T_{tamiz} = 387,150 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$n = 4,223 - \left(\frac{1 \text{ 050,700}}{387,150} \right)$$

$$n = 1,509$$

Cantidad de agua adsorbida

$$q = \frac{10 * k * \left(\frac{P_{tamiz}}{1,108 * 10^{-4} T_{tamiz}} \right)^{\frac{1}{n}}}{1 + k * \left(\frac{P_{tamiz}}{1,108 * 10^{-4} * T_{tamiz}} \right)^{\frac{1}{n}}}$$

$$k = 4,461$$

$$n = 1,509$$

$$P_{tamiz} = 103\,421 \text{ Pa}$$

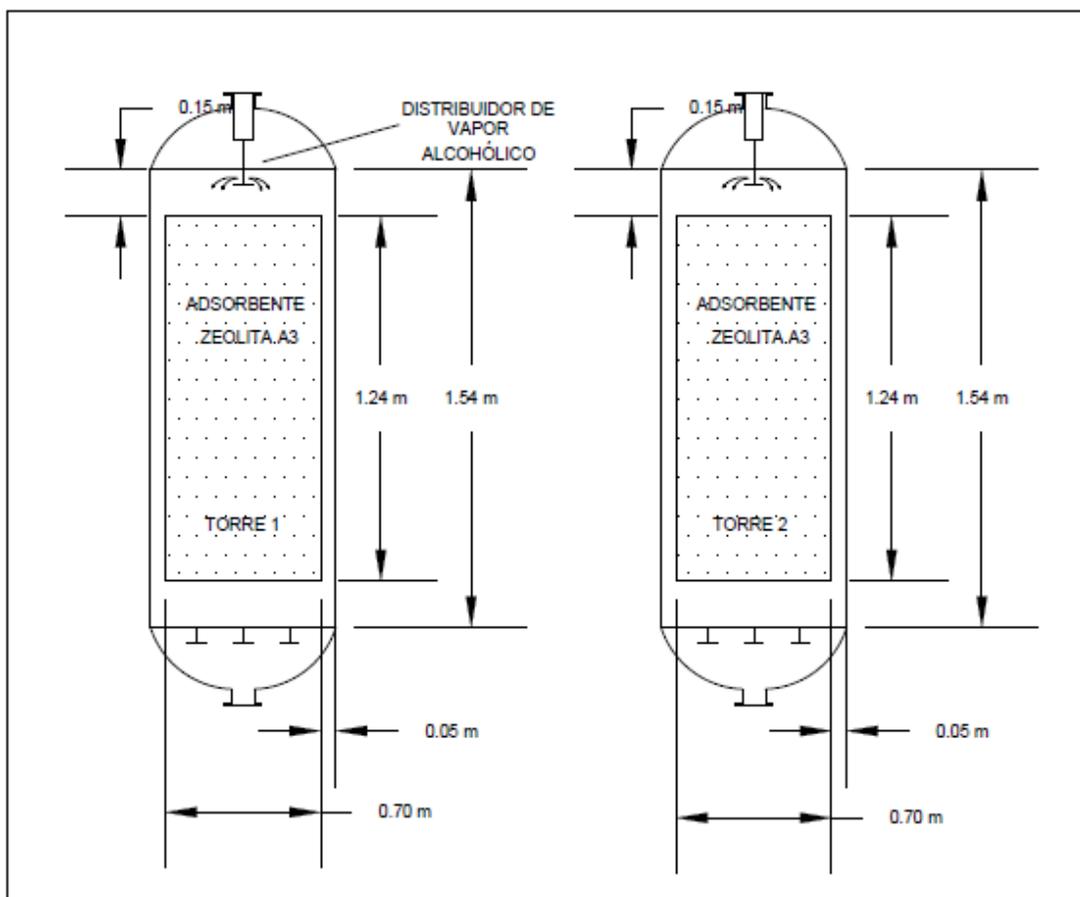
$$T_{tamiz} = 387,150 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$q = \frac{10 * 4,461 * \left(\frac{103\,421 \text{ Pa}}{1,108 * 10^{-4} * 387,150 \text{ } ^\circ\text{K}} \right)^{\frac{1}{1,509}}}{1 + 4,461 * \left(\frac{103\,421 \text{ Pa}}{1,108 * 10^{-4} * 387,150 \text{ } ^\circ\text{K}} \right)^{\frac{1}{1,509}}}$$

$$q = \frac{756\,569,558}{75\,657,956}$$

$$q = 9,999 \frac{\text{mol de H}_2\text{O}}{\text{kg de adsorbente}}$$

Figura III-13. Diseño del equipo principal, tamices moleculares



Fuente: Elaboración propia. AutoCad, 2020

3.8 Especificaciones Técnicas de los Equipos

Alimentación de Alcohol Hidratado - Equipo: Bomba Centrífuga Autocebante

Tabla III-8. Especificaciones Técnicas de la Bomba Centrífuga Autocebante

Especificaciones Técnicas	Detalles
Diámetro nominal de aspiración	25,4 mm
Diámetro nominal de impulsión	25,4 mm
Potencia	2 kw
Presión nominal	600 kpa
Tensión de alimentación	220 V
Conexiones	Roscada Entrada (diámetro): 76,2 mm Salida (diámetro): 76,2 mm
Tipo de válvula	De compuerta (2 unidades)
Capacidad máxima	3,6 m ³ /h
Capacidad requerida	2,5 m ³ /h
Porcentaje de funcionamiento	70%
Tipo de motor	Monofásico
Voltaje	220 V 50Hz
Material	Acero inoxidable (AISI 304)

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

Calentamiento de Alcohol Etilico - Equipo: Intercambiador de Tubos y Coraza

Tabla III-9. Especificaciones Técnicas del Intercambiador de Tubos y Coraza

Especificaciones Técnicas	Detalles
Sobrepresión máxima de servicio (lado coraza)	1 600 kpa
Sobrepresión de prueba (lado coraza)	2 400 kpa
Temperatura máxima de servicio (lado coraza)	423,15 °K
Sobrepresión máxima de servicio (lado tubos)	1 000 kpa
Sobrepresión de prueba (lado tubos)	1 500 kpa
Temperatura máxima de servicio (lado tubos)	423,15 °K
Haz tubular	Fijo
Tipo de cabezal estacionario (extremo anterior)	Canal y tapa extraíble
Tipo de coraza	Carcasa de dos pasos con <i>baffle</i> longitudinal
Tipo de cabezal (extremo posterior)	Placa tubular fija (igual a cabezal estacionario)
Rendimiento	10 kw
Superficie de intercambio	0,3 m ²
Diámetro de carcasa	200 mm
Diámetro de tubo	15 mm
Espesor de tubo	2 mm
Longitud del tubo	1,5 m
Número de tubos	38
Paso de tubos	20 mm
Conexiones	Roscada Entrada (diámetro): 101,6 mm Salida (diámetro): 101,6 mm
Tipo de válvulas	De compuerta (2 unidades)

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

Tabla III-10. Materiales del Intercambiador de Tubos y Coraza

Elemento	Material
Tubos Internos	CuZn28Sn1As (CW706R)
Placas Tubulares	CuZn38Al-C-GM (CC767S-GM)
Baffles	CuZn37(CW508L)
Carcasa	CuZn37Pb0.5 (CW604N)
Cámaras de conexión, soportes	EN-GJL-200
Tuercas	8,8-Zn
Juntas	Klinger C4400, Alchem 6377
Pintura	RAL 5012, azul claro
Pies angulares	S235JRG2
Aislamiento	Lana mineral con chapa de acero galvanizado
Espesor del aislamiento	50,8 mm

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

Vaporización del alcohol y sobrecalentamiento del vapor de Alcohol - Equipo:

Evaporador con sobrecalentador incluido

Tabla III-11. Especificaciones Técnicas del Evaporador con Sobrecalentador

Especificaciones Técnicas	Detalles
Material de tubos	Acero al Molibdeno 0,3-0,5 Mo (209 T1)
Densidad del Acero 209 T1	8 238 kg/m ³
Conductividad térmica del acero 209 T1	21 w/m.°K
Capacidad calorífica del acero 209 T1	560 kj/kg.°K
Diámetro exterior de los tubos	19,05 mm
Espesor de tubos	1,65 mm
Diámetro interno de tubos	16 mm
Longitud de tubos	6 000 mm
Distancia entre tubos (pitch)	25,4 mm
Orientación de Pitch	Orientación cuadrada (90°)
Diámetro exterior de la carcasa	1 524 mm
Espesor de la carcasa	20 mm
Material de la carcasa	Acero al Molibdeno 0,3-0,5 Mo (209 T1)
Área de intercambio interior	0,297 m ²
Área de intercambio exterior	0,359 m ²
Flujo de aceite que circula	0,345 kg/s
Resistencia térmica equivalente	7,943 * 10 ⁻⁴ °K/w
Transmisión de calor por conducción	6,903 * 10 ⁻⁸ °K/w
Diseño del ciclo de generación de vapor	Dos trenes paralelos, para la generación de vapor al 50% de capacidad cada uno.
Flujo másico del etanol	0,573 kg/s
Flujo másico del aceite térmico	5,579 kg/s
Flujo másico de vapor de etanol	0,563 kg/s

Flujo másico de etanol de purga	0,03 kg/s
Temperatura de entrada de aceite térnico	473,15 °K
Temperatura de entrada de etanol	531,35 °K
Temperatura de salida del vapor de etanol	387,15 °K
Presión	8 000 kpa
Conexiones	Roscada Entrada (diámetro): 101,6 mm Salida (diámetro): 101,6 mm
Tipo de válvulas	De compuerta (2 unidades)

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

Tabla III-12. Especificaciones Técnicas de los Fluidos de Intercambio del Evaporador con Sobrecalentador

Fluido de Intercambio Aceite Térmico Therminol VP1	Especificaciones
Viscosidad dinámica	164×10^{-6} Pa.s
Densidad	736 kg/m ³
Conductividad térmica	0,082 w/m.°K
Capacidad calorífica	2,517 kJ/kg.°K
Fluido de Intercambio Alcohol Etílico	Especificaciones
Temperatura de entrada de la corriente	531,35 °K
Densidad	789 kg/m ³
Conductividad térmica	0,16 w/m.°K
Capacidad calorífica	2,428 kJ/kg.°K

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

Deshidratación de Alcohol - Equipo: Tamices Moleculares (se requieren dos columnas deshidratadoras)

Tabla III-13. Especificaciones Técnicas de Tamices Moleculares

Especificaciones Técnicas	Detalles
Material	Acero Inoxidable AISI 304
Flujo másico a la entrada de tamices	2 062,5 kg/h
Flujo másico a la salida de tamices	1 980 kg/h
Flujo másico de acumulación	82,5 kg/h
Porcentaje de acumulación de agua	4%
Eficiencia del proceso	86%
Masa de zeolita por tamiz	550 kg
Tipo de zeolita	3A
Densidad absoluta de la zeolita	1,160 kg/l
Volumen de zeolita	475 l
Diámetro del empaque interno de la zeolita	700 mm
Altura del empaque interno de la zeolita	1 240 mm
Diámetro externo del tamiz molecular	800 mm
Altura del tamiz molecular	1 540 mm
Volumen externo del tamiz	774 l
Espesor de cabezal	2 mm
Espesor de cuerpo cilíndrico	2 mm
Espesor de base	2 mm
Temperatura de deshidratación	387,15 °K
Presión de deshidratación	103 400 kpa
Presión de fase de regeneración	200 kpa
Cantidad de agua adsorbida	9,735 mol de H ₂ O/kg de zeolita
Medidor de nivel	Sí Medidor de nivel por reflexión
Conexiones	Roscada Entrada (diámetro): 76,2 mm Salida (diámetro): 76,2 mm
Tipo de válvulas	Los dos tamices moleculares requieren de 11 válvulas: 7 válvulas de compuerta 1 válvula mariposa 2 válvulas de seguridad 1 válvula de desahogo

Fuente: Elaboración propia, 2020

Sistema de Vacío en Tamices Moleculares - Equipo: Bombas de Vacío (se requieren dos unidades).

Tabla III-14. Especificaciones Técnicas de Bomba de Vacío

Especificaciones Técnicas	Detalles
Material	Acero Inoxidable AISI 304
Fluido Bombeado	Mezcla procedente de regeneración, sistema de deshidratación, tamiz molecular
Temperatura de la mezcla	387,15 °K
Presión de vacío máxima	1 400 kpa
Presión de vacío requerida	1 200 kpa
Capacidad máxima	10 m ³ /h
Capacidad requerida	2,5 m ³ /h
Porcentaje de Funcionamiento	25%
Velocidad de giro del rodete	1 100 rpm
Tipo de motor	Monofásico
Voltaje	220V 50Hz
Requerimiento de potencia	5 kw
Peso	115 kg
Ruido generado	50 dB
Conexiones	Aspiración : 80 mm Descarga : 50 mm

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

Desobrecalentamiento y condensación - Equipo: Desobrecalentador y condensador**Tabla III-15. Especificaciones Técnicas de Desobrecalentador y condensador**

Especificaciones Técnicas	Detalles
Tipo	Tubos y coraza – Orientación Vertical
Tipo de refrigeración	Con agua
Material de tubos	Acero Inoxidable 304L
Porcentaje extra de tubos	5%
Espesor de tubos	0,889 mm zona condensado 0,711 mm dos primeras filas de periferia
Galga de condensado	22
Galga de periferia	20
Espesor de placa tubular (mínimo)	40 mm
Tipo de operación	Continua
Tipo de bomba	Recirculación
Cantidad de bombas de recirculación	2
Capacidad de bombas de recirculación	60%
Sistema de filtros	Sí
Limpieza de bolas	Sistema continuo de limpieza
Requerimientos de diseño	Según Instituto de Intercambio de Calor (Heat Exchange Institute HEI)
Presión de operación	0,069 bar
Porcentaje de flujo de agua de recirculación	60%
Tipo de presión	Única
Haz tubular	Doble
Paso de agua	Doble
Circulación de agua	Por haz tubular
Pérdida de carga (máxima)	50 kpa

Ánodos de sacrificio	Incluidos
Sistema auxiliar de vacío (bombas de vacío)	Incluido
Coeficiente de transmisión de calor	3991 w/m ² .°K
Conexiones	Roscada Entrada (diámetro): 127 mm Salida (diámetro): 101,6 mm
Tipo de válvulas	De compuerta (2 unidades)
Salida de turbina	
Presión	9 kpa
Temperatura	316,95 °K
Entalpía	2452 kj/kg
Salida de condensado	
Presión	90 kpa
Temperatura	316,95 °K
Entalpía	183 kj/kg
Agua de recirculación	
Temperatura de entrada	305,15 °K
Temperatura de salida	313,15 °K
Presión de diseño	500 kpa
Flujo volumétrico	42 926 m ³ /h
Flujo másico	42 926 000 kg/h
Velocidad en tubo	2,1 m/s
Pérdida de carga	49 kpa

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

Tabla III – 16. Características ambientales de Bermejo y características del agua de refrigeración

Características ambientales	
Parámetro	Valor
Altura sobre el nivel del mar	419 metros sobre el nivel del mar
Presión atmosférica	101,4 kpa
Temperatura del ambiente máxima	320,15 °K con 20% de humedad relativa
Temperatura del ambiente mínima	287,15 °K con 90% de humedad relativa
Humedad relativa (mín. – máx.)	20% - 90%
Temperatura media anual	300,55 °K
Características del agua de refrigeración	
pH	7,3
Conductividad	179,2 μ S/cm
Turbiedad	1200 NTU
Dureza total como CaCO ₃	86,52 mg/l
Hierro como Fe ⁺²	0,12 mg/l
Alcalinidad total CaCO ₃ /l	41,1 mg/l

Fuente: Empresa Municipal de Agua de Bermejo, (2021)

Enfriamiento del Etanol Anhidro - Equipo: Enfriador**Tabla III-17. Especificaciones Técnicas del Enfriador**

Especificaciones Técnicas	Detalles
Tipo	Intercambiador de calor de placas con flujo en contra corriente
Caudal de fluido	1,5 kg/s (máximo)
Tipo de placa	T2B
Tipo de bastidor	FG
Número de placas	210
Dimensiones	Base de placa: 140 mm Alto de placa: 380 mm Distancia entre centro de orificios de paso de fluidos: 50 mm Altura de orificios: 41 mm desde parte inferior de placa
Material de placa bastidor	Acero al carbono pintado con epoxi
Material de boquillas	Acero inoxidable AISI 316 o titanio
Material de placas	Acero inoxidable AISI 316 o titanio
Material de juntas	Nitrilo EPDM
Conexiones	Rosca en tubo recto ISO G 3/4"
Válvulas	De compuerta
Presión de diseño y temperatura	1,6 mpa / 433,15 °K
Superficie máxima de intercambio	1 m ²

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

Impulsión para Etanol Anhidro hasta Tanques de Almacenamiento - Equipo:

Bomba centrífuga

Tabla III-18. Especificaciones Técnicas de la Bomba Centrífuga

Especificaciones Técnicas	Detalles
Material de Construcción	Acero Inoxidable AISI 304
Temperatura de Mezcla	293,15 °K (bombeo después de enfriamiento)
Capacidad Máxima	20 m ³ /h
Capacidad requerida	2,5 m ³ /h
Porcentaje de Funcionamiento	12,5 %
Velocidad de Giro de Rodete	1 100 rpm
Tipo de Motor	Monofásico
Voltaje del motor	220V 50Hz
Requerimiento de Potencia	0,6 kw
Conexiones	Aspiración : 80 mm Descarga : 50 mm

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

**Impulsión de Etanol Anhidro desde Tanques de Almacenamiento hasta Camión
Cisterna - Equipo: Bomba Centrífuga**

Tabla III-19. Especificaciones Técnicas de la Bomba Centrífuga

Especificaciones Técnicas	Detalles
Material de Construcción	Acero Inoxidable AISI 304
Fluido bombeado	Etanol Anhidro
Temperatura de la mezcla	293,15 °K
Capacidad máxima	10 m ³ /h
Capacidad requerida	25%
Velocidad de Giro de Rodete	1 100 rpm
Tipo de Motor	Monofásico
Voltaje	220V 50Hz
Requerimiento de Potencia	10 kw
Conexiones	Aspiración : 100 mm Descarga : 65 mm

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

Almacenamiento de etanol anhidro - Equipo: Tanques de Almacenamiento (ocho unidades requeridas).

Tabla III-20. Especificaciones Técnicas de los Tanques de Almacenamiento

Especificaciones Técnicas	Detalles
Material de Construcción	Acero al carbono
Espesor	6 mm
Tipo	Atmosférico
Instalación	Base plana Interior cubeto
Producto almacenado	Etanol Anhidro
Concentración del producto	99,5%
Características de producto almacenado	Clase : Inflamable (F) N° CAS : 64-17-5 N° CE : 200-578-6 NU: 1170
Capacidad de almacenamiento	50 000 l
Altura	8 m
Diámetro	3 ,22 m
Porcentaje de llenado	95%
Requiere cubeto	Sí
Tanques en cada cubeto	1
Volumen de cubeto	80 m ²
Porcentaje llenado de cubeto	95%
Conexiones	Roscada Entrada (diámetro): 152,4 mm Salida (diámetro): 152,4 mm
Tipo de válvula	Mariposa
Otros	– Medidores de nivel

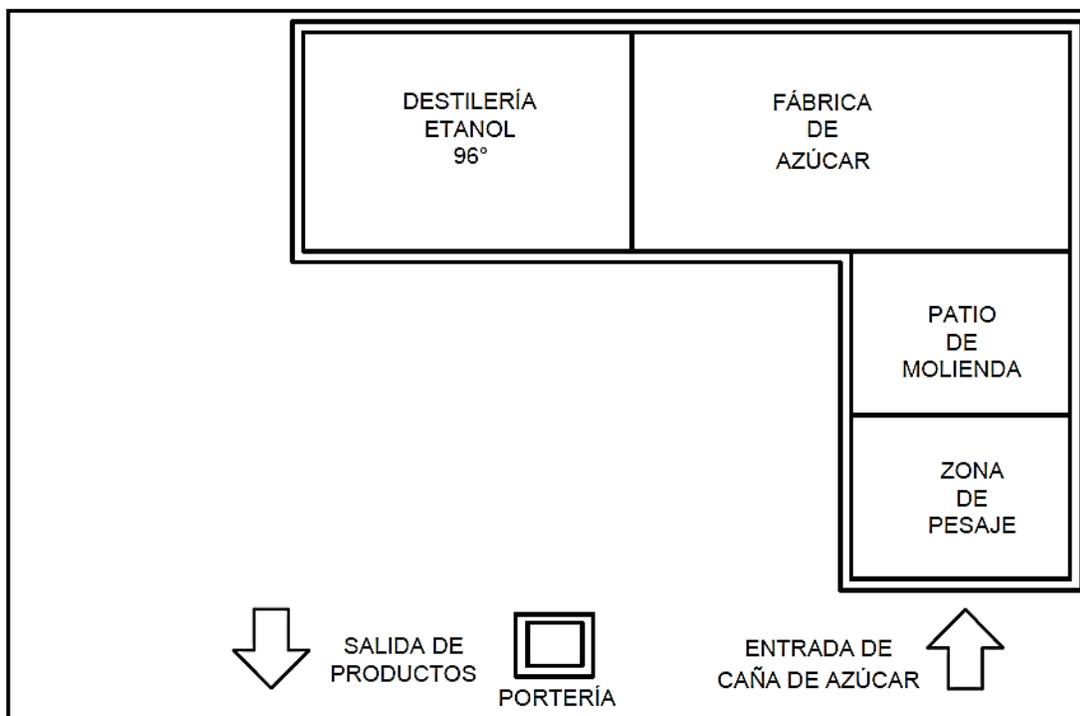
	<ul style="list-style-type: none"> – Medidor de temperatura – Bocas de hombre – Escaleras adosadas al cuerpo del tanque para acceso a cubierta – Respiraderos con absolvedor de humedad. – Medidas de protección contra incendios apropiadas.
--	--

Fuente: Industrias JW Brasil, (2021)

3.9 Distribución General de la Planta

Industrias Agrícolas Bermejo tiene la siguiente distribución general donde se encuentra la fábrica de azúcar y alcohol.

Figura III-14. Distribución general de la fábrica de azúcar y alcohol - IAB



Fuente: Elaboración propia. AutoCad, 2020

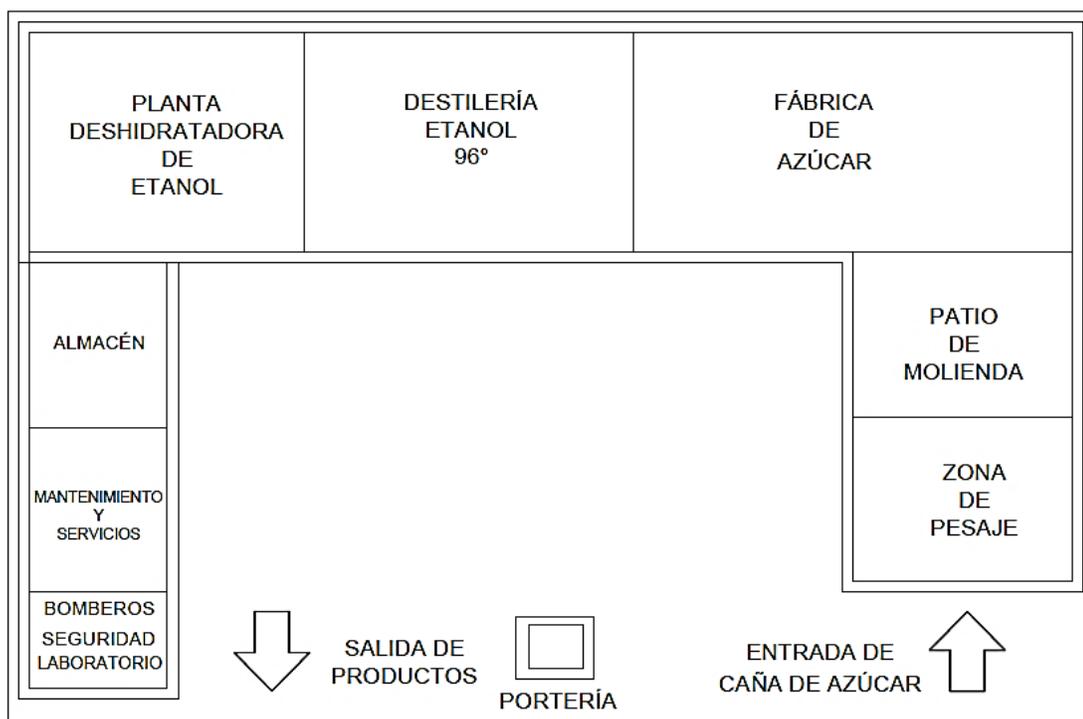
Se ubicó la planta deshidratadora de etanol junto a la planta productora de alcohol o destilería.

Industrias Agrícolas Bermejo informó por escrito que cuenta con 300 metros cuadrados disponibles para la instalación de una planta deshidratadora de etanol.

Además, se destinó un espacio de terreno para un almacén, para el área de mantenimiento y para el área de bomberos, seguridad y laboratorio; áreas exclusivas para la planta deshidratadora de etanol.

En la siguiente figura, se muestra la distribución general de la planta.

Figura III-15. Distribución general de Industrias Agrícolas Bermejo



Fuente: Elaboración propia. AutoCad, 2020

A continuación, se muestra una Tabla donde se detallan las áreas correspondientes a la planta deshidratadora de etanol con su respectiva codificación.

Tabla III-21. Distribución general de la planta deshidratadora de etanol

Codificación	Descripción
A-100	Área de acondicionamiento de la materia prima
A-200	Área de deshidratación de etanol
A-300	Área de almacenamiento y despacho de producto terminado
A-400	Áreas de mantenimiento y servicios
A-500	Áreas de bomberos, seguridad y laboratorio

Fuente: Elaboración propia, 2020

Consecuentemente, se hace una breve descripción de los equipos y actividades realizadas en cada una de las áreas.

A-100. Área de acondicionamiento de la materia prima

En esta área se prepara la materia prima, que es el etanol 96°, para ingresarla al proceso de deshidratación.

El equipo principal de esta área es un evaporador.

A-200. Área de deshidratación de etanol

El equipamiento de esta área está conformado principalmente, por dos columnas de deshidratación.

A-300. Área de almacenamiento y despacho de producto terminado

El producto se almacena en esta área en tanques de acero inoxidable, a bajas temperaturas.

Almacenar el producto a temperaturas bajas es un detalle muy importante, debido a las elevadas temperaturas ambientales de la zona.

A-400. Áreas de mantenimiento y servicios

Es un área destinada al mantenimiento de los equipos, así como de los servicios necesarios para llevar adelante el proceso.

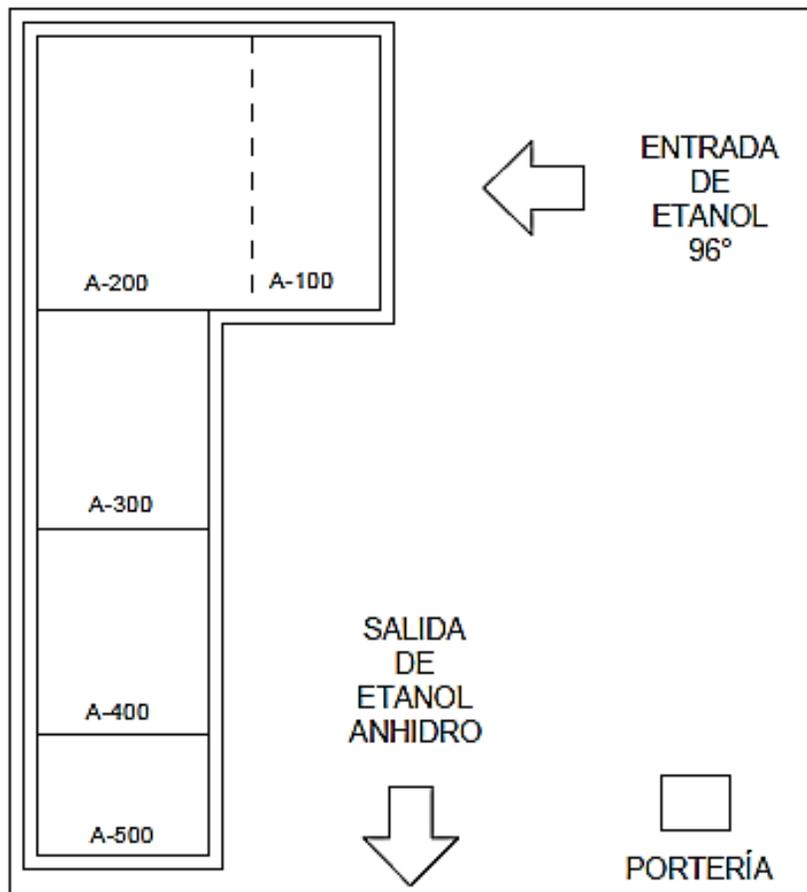
En esta área, se encuentran todas las herramientas mecánicas necesarias, así como materiales de mantenimiento.

A-500. Áreas de bomberos, seguridad y laboratorio

En esta área, se tienen todos los elementos de seguridad en caso de incendios, como extinguidores, mangueras, equipos de protección personal, así como el área de laboratorio, exclusivamente para la planta deshidratadora de etanol, con todos los materiales, productos e insumos necesarios.

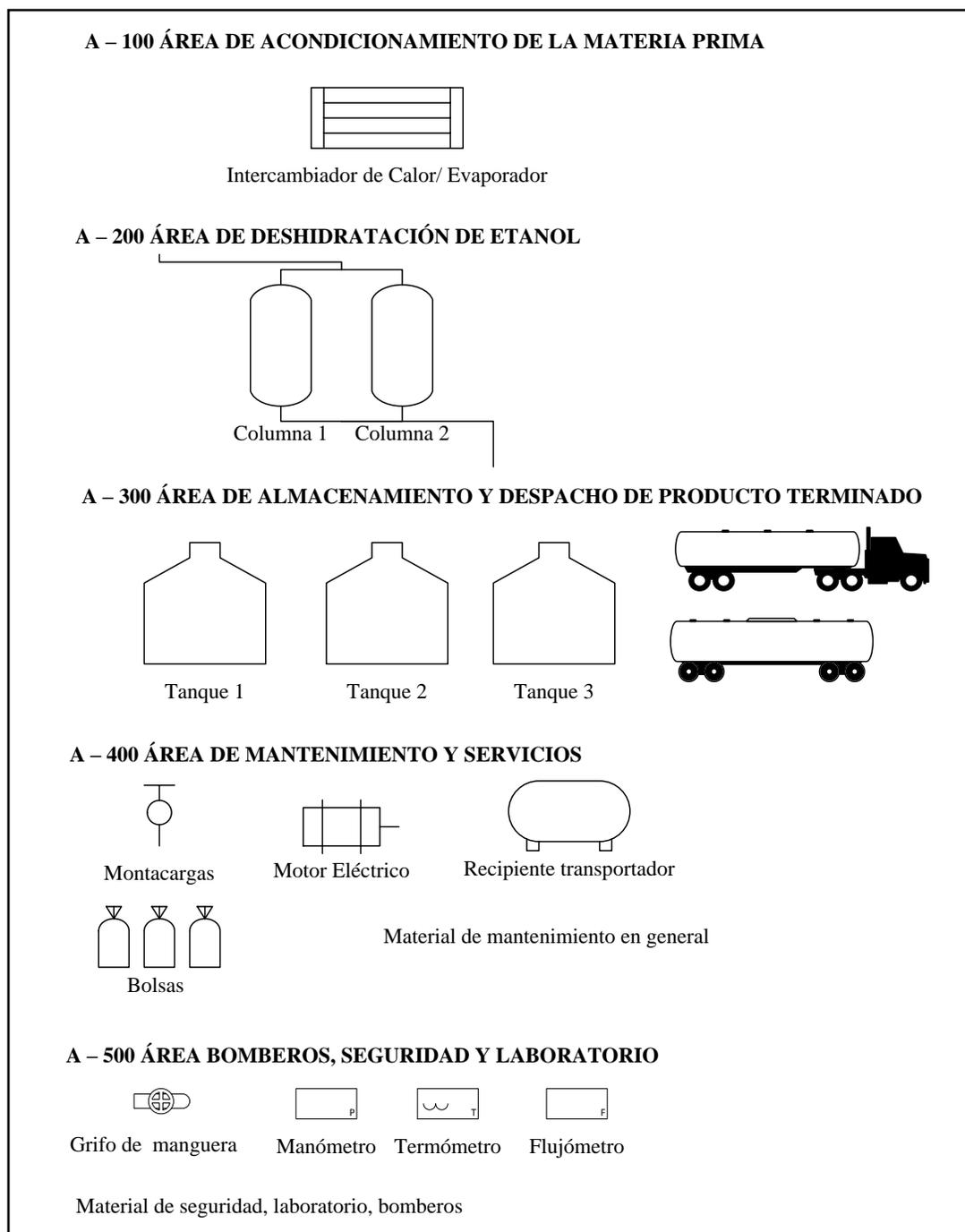
La planta debe contar con un sistema de seguridad industrial que vele por la salud integral de los recursos humanos y también por la seguridad de las instalaciones minimizando los riesgos.

Figura III-16. Distribución general de la planta deshidratadora de etanol



Fuente: Elaboración propia, 2020

Figura III-17. Distribución del equipamiento principal



Fuente: Elaboración propia. Microsoft Visio, 2020

CAPÍTULO IV
ASPECTOS ECONÓMICOS DEL
PROYECTO

CAPÍTULO IV

ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO

4.1 Inversión del Proyecto

La inversión es un gasto que se efectúa por la adquisición de determinados activos fijos (tangibles) y diferidos (intangibles), es decir, es la compra de bienes o servicios para la fabricación, producción o adquisición de bienes de capital, con los que el proyecto producirá durante su vida útil (Baca, 1991).

4.1.1 Estructura de la inversión

Las inversiones del proyecto se destinan a dos fines, uno de ellos a la inversión fija y/o diferida y el otro al capital de trabajo llamado también capital de operación.

Las inversiones totales del proyecto se dividen en dos fases:

- **Fase 1: de preinversión**

Formada por gastos destinados a la inversión diferida, llamada también intangible, cuya trayectoria empieza desde el primer desembolso del proyecto y termina con la puesta en marcha del mismo, es decir, cuando el proyecto está listo para producir.

En esta fase, el proyecto no genera ingresos propios, porque aún no existe producción de bienes o servicios.

- **Fase 2: de inversión**

Formada por gastos destinados a la adquisición de activos fijos y al capital de trabajo.

Termina cuando el proyecto cumple su vida útil.

El valor de las inversiones requeridas por el proyecto es una información que se obtiene gracias al trabajo realizado en el capítulo tres de “Ingeniería del Proyecto” (Baca, 1991).

Componentes de la Inversión

La inversión está constituida por dos rubros: la inversión de bienes fijos o activos tangibles y la inversión de bienes diferidos o activos intangibles, llamados también servicios.

Inversión Fija

Se caracteriza por su materialidad, se puede tocar y ver, está sujeta, en su mayor parte, a la depreciación, que es sinónimo de desvalorización gradual a lo largo de su uso, ya sea por desgaste y obsolescencia.

Las inversiones fijas, que tienen una vida útil mayor a un año, se deprecian como los edificios, equipos, obras civiles e instalaciones, vehículos, muebles y enseres. De acuerdo a normas establecidas.

Los terrenos son los únicos activos que no se deprecian.

La inversión fija se recupera mediante el mecanismo de la depreciación.

Se le llama inversión fija porque el proyecto no puede desprenderse fácilmente de esos activos, sin que con ello perjudique a las actividades productivas.

En términos generales, la inversión fija está compuesta por:

- **Terrenos:** Considera la preparación y el precio del terreno donde se instalará el proyecto, la preparación comprende el estudio y/o mejoramiento de suelos, nivelación, excavación, etc.

El terreno se deprecia a excepción de los recursos naturales no renovables.

- **Maquinarias, equipos y vehículos:** incluye el valor monetario de estos bienes para la ejecución del proyecto. Su adquisición debe sujetarse a las especificaciones realizadas en el capítulo tres de Ingeniería del Proyecto.
- **Muebles y enseres:** se refiere al mobiliario y accesorios necesarios para el funcionamiento del proyecto y equipamiento de la planta.

- **Obras civiles e instalación:** su valoración está en función a los costos incurridos en la infraestructura del proyecto (viviendas, oficinas, depósitos, tinglados, talleres, etc.), y en la instalación de servicios (instalaciones de agua, desagües, electricidad, gas, vapor, etc.)

Inversión Diferida

Se caracteriza por su inmaterialidad, son servicios necesarios para el estudio e implementación del proyecto, no están sujetos a desgaste físico.

Usualmente, están conformados por trabajos de investigación, tecnología e ingeniería, organización o administración, funcionamiento o puesta en marcha de los equipos, intereses durante la instalación del proyecto, asistencia técnica, capacitación del personal, imprevistos, etc.

Para recuperar el valor monetario de las inversiones diferidas o intangibles, se incorpora en los costos de producción el rubro denominado “Amortización de Inversiones Diferidas”, donde se incluyen los respectivos montos monetarios anuales para reponer esta inversión.

Las inversiones diferidas están representadas por:

- **Gastos de Organización y Supervisión:** sus costos están referidos a los servicios que, por lo general, se requieren durante el proceso de montaje de la planta e instalaciones diversas, comprenden todos los pagos efectuados o por efectuar en servicios legales, técnicos y administrativos de gestión y apoyo.
- **Montaje e Instalación de Maquinarias:** son costos realizados para probar las instalaciones de maquinarias y equipos y, poner en funcionamiento el aparato productivo, esta fase estará a cargo de especialistas, por lo que este costo incluye las remuneraciones a la mano de obra, así como la utilización de materiales.
- **Estudios:** Se refiere a los gastos de las investigaciones y estudios efectuados para implementar el proyecto.

- **Intereses de preoperación:** es el interés que se acumula durante la fase preoperativa, es un costo financiero generado en el período de gracia por el préstamo obtenido.
- **Imprevistos:** son valores destinados para cubrir posibles contingencias no previstas en el estudio, su estimación es flexible, no responde a un criterio único.

La recuperación de la inversión diferida es asignada al costo de producción que en la estructura de costos es conocida como “Amortización de la Inversión Diferida”.

Los montos de inversión que requiere el proyecto, se determinan por las cotizaciones de los proveedores de bienes y servicios productivos, en función a las especificaciones técnicas señaladas en el capítulo tres de “Ingeniería del Proyecto”.

A continuación, se detalla en qué consiste la planta que se propone instalar en Industrias Agrícolas Bermejo, así como las obras civiles e instalaciones complementarias de la planta deshidratadora de Etanol.

Sistema de deshidratación de Etanol 96 grados Gay Lussac (Marca JW)

La planta modular de deshidratación incluye: tanque de recepción de alcohol, calentador de alcohol etílico, evaporador, sobrecalentador del vapor de alcohol etílico, dos columnas deshidratadoras, condensador, tanque de flemaza, enfriador, tanques de almacenamiento, estructura, sistema de control, instalación eléctrica, bombas y sistemas de control automático.

Así como su debida instalación llave en mano con puesta en marcha a cargo del proveedor y capacitación a los operadores.

Obras Civiles e Instalaciones Complementarias de la Planta Deshidratadora de Etanol

Incluye la preparación del predio, cercado, tanques de almacenamiento de materia prima y producto terminado, cargadero de camiones, oficina, laboratorio, sistemas de protección contra incendio, instalación de enfriamiento de agua, acondicionamiento de vapor, generación de aire comprimido, bombas e iluminación.

Otros

Comprende asesoramiento, estudios de ingeniería, auditorías de aprobación, viajes y estadía.

En la Tabla IV-1, se muestra la estructura de la inversión para el presente proyecto.

Tabla IV-1. Estructura de la Inversión en \$US

	Costo de Inversión	Inversiones Adicionales	Total	Valor Residual	Factor de Depreciación Anual
Terrenos	300 000	0	300 000	300 000	Los terrenos no se deprecian.
Edificios y Estructuras	20 000	0	20 000	15 000	0,025
Muebles y Enseres	5 000	0		0	0,100
Maquinaria y Equipo	300 000	0	300 000	0	0,100
Herramientas y Útiles	2 500	3 800	3 600	50	0,250
Equipo de Transporte	20 000	20 000	40 000	0	0,200
Total	647 500	23 800	671 300	315 050	-----

Fuente: Elaboración propia, 2020

Posteriormente, se realizó el cálculo de la depreciación anual, multiplicando el costo de la inversión por el factor de depreciación para cada categoría, como se muestra en la Tabla IV-2 siguiente:

Tabla IV-2. Depreciación Anual en \$US

Año	Terrenos *	Edificios y estructuras	Muebles y Enseres	Maquinaria y Equipo	Herramientas y Útiles	Equipo de transporte	Total
1		500	500	30 000	625	4 000	35 625
2		500	500	30 000	625	4 000	35 625
3		500	500	30 000	625	4 000	35 625
4		500	500	30 000	625	4 000	35 625
5		500	500	30 000	625	4 000	35 625
6		500	500	30 000	625	4 000	35 625
7		500	500	30 000	625	4 000	35 625
8		500	500	30 000	625	4 000	35 625
9		500	500	30 000	625	4 000	35 625
10		500	500	30 000	625	4 000	35 625
Total		5 000	5 000	300 000	6 250	40 000	356 250

* Los terrenos no se deprecian

Fuente: Elaboración propia, 2020

4.1.2 Estimación de costos

Los costos nacen en el capítulo de “Ingeniería del Proyecto”, donde se identifican las materias primas e insumos, equipos principales para el proceso de deshidratación de alcohol, medios materiales, remuneración de la mano de obra y otras obligaciones necesarias para el proceso de producción.

Los costos son valores de los recursos materiales, humanos y financieros que el proyecto utiliza para sus diferentes fases: estudios, producción o comercialización de los bienes o servicios producidos.

En este caso, el producto es el etanol anhidro.

4.1.3 Costos Directos e Indirectos

Costos Directos

Son aquellos costos de los recursos que se incorporan físicamente al producto final, a su empaque y accesorios que se comercializan conjuntamente y a las labores necesarias para el uso, manipuleo y transformación de dichos recursos, incluyen:

- **Mano de Obra Directa:** Es la fuerza de trabajo empleada para transformar la materia prima en producto terminado.

Los trabajadores que manejan la maquinaria y equipos del proceso de deshidratación de etanol representan la mano de obra directa.

- **Materias Primas e Insumos Directos:** Son las que se transforman en el proceso productivo en una parte o en la totalidad del producto final.

El etanol 96° es una materia prima directa.

- **Materiales Directos:** Son los accesorios que se incorporan al producto final y son comercializados conjuntamente con éste, por ejemplo, envases, recipientes, papel de envoltura, cajas, etiquetas, accesorios o repuestos de la maquinaria y equipo, etc.

El producto final, etanol anhidro, será vendido y recogido en tanque cisterna por parte de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, por tanto, ni el proyecto ni la empresa serán responsables de los costos de transporte.

Los costos de almacenamiento que se realizará en tanques de acero inoxidable y los costos del movimiento del producto final hasta la cisterna del cliente están dentro de las categorías: costos de mantenimiento, mano de obra y otros.

En síntesis, los costos directos en su generalidad son costos variables.

En las tablas siguientes se muestran los costos anuales de la materia prima (etanol 96 grados Gay Lussac), de la zeolita y de la mano de obra.

Tabla IV-3. Costo Anual de la Materia Prima en \$US

Año	% Capacidad Utilizada	Producción Etanol Anhidro (litros)	Materia Prima Etanol 96 grados Gay Lussac (litros)	Costo (\$US)
1	50	9 000 000	10 000 000	1 600 000
2	65	11 700 000	13 000 000	2 080 000
3	90	16 200 000	18 000 000	2 880 000
4	90	16 200 000	18 000 000	2 880 000
5	90	16 200 000	18 000 000	2 880 000
6	90	16 200 000	18 000 000	2 880 000
7	90	16 200 000	18 000 000	2 880 000
8	90	16 200 000	18 000 000	2 880 000
9	90	16 200 000	18 000 000	2 880 000
10	90	16 200 000	18 000 000	2 880 000

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla IV-4. Costo de Zeolita

Año	Producción de Alcohol	Zeolita (kg)	Columnas deshidratadoras (kg)	Valor en \$US
1	9 000 000	6 511	13 021	65 105
2	11 700 000	8 464	16 928	84 640
3	16 200 000	11 719	23 438	117 190
4	16 200 000	11 719	23 438	117 190
5	16 200 000	11 719	23 438	117 190
6	16 200 000	11 719	23 438	117 190
7	16 200 000	11 719	23 438	117 190
8	16 200 000	11 719	23 438	117 190
9	16 200 000	11 719	23 438	117 190
10	16 200 000	11 719	23 438	117 190

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla IV-5. Costo de la Mano de Obra (\$US)

	Cantidad	Sueldo por mes	Sueldo/año	Cargas Sociales	Total
Administrador	1	1 014	13 188	3 209	16 398
Jefe de destilería	1	870	11 304	2 751	14 055
Encargado de Laboratorio	3	1 739	22 609	5 501	28 110
Encargado de Deshidratadora	3	1 522	19 783	4 814	24 596
Mecánico	3	923	11 994	2 919	14 912
Electricista	2	615	7 996	1 946	9 942
Despachador y Receptor	3	652	8 478	2 063	10 541
Total	16		95 352	23 202	118 555

Fuente: Elaboración propia, 2020

Costos Indirectos

Son costos de los recursos que participan en el proceso productivo, pero que no se incorporan físicamente al producto final, incluyen:

- **Mano de Obra Indirecta:** Es aquella empleada en el departamento de producción, pero que no interviene directamente en la transformación de las materias primas y en la obtención del producto final. Por ejemplo, personal de supervisión, jefes de turno, todo el personal de control de calidad, choferes, jefes de mantenimiento, administradores, gerentes, contadores, etc.
- **Materiales Indirectos:** Se pueden nombrar, dentro de esta categoría, combustibles, lubricantes, útiles de limpieza, reactivos, repuestos menores, herramientas, agua, etc.

Todos estos costos están considerados dentro de la categoría del Capital de Trabajo.

- **Otros costos Indirectos:** Responden a la definición de costos indirectos, comprenden: energía, alquileres, comunicaciones, seguros, imprevistos, depreciaciones y amortizaciones de activos diferidos.

Los costos indirectos pueden clasificarse tanto como costos fijos y como costos variables.

Cabe señalar que existen diferentes formas de clasificar los costos, cualquiera sea la forma adoptada, no influye en la evaluación general el proyecto.

En la tabla siguiente, se presentan los costos directos e indirectos anuales para el proyecto, así como los gastos de operación anuales.

Tabla IV-6. Costos Directos e Indirectos, Gastos Anuales de Operación

Costos Directos e Indirectos Anuales										
Costos Directos										
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Materias Primas y Materiales	1 665 105	2 164 640	2 997 190	2 997 190	2 997 190	2 997 190	2 997 190	2 997 190	2 997 190	2 997 190
Salarios	118 555	118 555	118 555	118 555	118 555	118 555	118 555	118 555	118 555	118 555
Total Costos Directos	1 783 660	2 283 195	3 115 745							
Costos Indirectos										
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Gastos Generales	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Mantenimiento	33 565	33 565	33 565	33 565	33 565	33 565	33 565	33 565	33 565	33 565
Total Costos Indirectos	34 565									
Gastos de Operación	1 818 225	2 317 760	3 150 310							

Fuente: Elaboración propia, 2020

4.1.4 Capital de Trabajo

El capital de trabajo, financieramente, proviene de la diferencia existente entre los activos y pasivos corrientes o circulantes y es el monto de dinero que se requiere permanentemente para dar inicio al ciclo productivo y cubrir los gastos del proyecto, en su fase de preparación.

Es el capital adicional con el que se debe contar para que comience a funcionar el proyecto, esto es, financiar la producción antes de recibir ingresos.

Esta inversión es distinta a la inversión fija y diferida, por su naturaleza circulante.

Mientras las inversiones fijas y diferidas pueden recuperarse mediante la depreciación y amortización, la inversión en capital de trabajo no puede recuperarse por estos medios, dada su naturaleza circulante, pero puede resarcirse a la finalización del proyecto.

La naturaleza circulante del capital de trabajo descansa en tres rubros:

- **Caja y Bancos:** Es el dinero en efectivo o en cheque bancario, con el que cuenta el proyecto para su disponibilidad inmediata o pago al contado.
- **Existencia:** Son los *stocks* en materiales, materia prima e insumos del proyecto para el inicio de operaciones, y siempre los volúmenes deberán ser suficientes en existencia para darle continuidad al proceso productivo.

En la ingeniería del proyecto se identifica la materia prima y los materiales necesarios para la producción, su valoración comprende el precio de compra.

- **Exigibles:** Son recursos que el proyecto tiene que recuperar por diferentes conceptos como ventas a crédito, sólo en el caso de que el proyecto al iniciar operaciones otorgue créditos por sus primeras ventas.

En efecto, desde el momento que se compra materia prima e insumos, se cancelan salarios, servicios, etc., se incurren en gastos que deben ser cubiertos por el capital de trabajo, hasta que se obtenga ingresos por venta del producto final.

El capital de trabajo, llamado también capital de operación, debe financiar:

- Materia prima e insumos
- Materiales directos e indirectos
- Mano de obra
- Otros gastos que requieran salidas en efectivo, por ejemplo, salarios, servicios eléctricos, agua, vapor, materiales de limpieza, etc.

Así como se debe invertir en los rubros señalados, también se puede obtener créditos a corto plazo, dando lugar a un pasivo circulante o crédito de operación representando ambos conceptos el capital de trabajo, es decir, los recursos con los que debe contar el proyecto para comenzar el trabajo productivo.

El capital de trabajo tiene que garantizar la disponibilidad de recursos para cubrir los insumos y costos de operación exigidos por el proyecto en el ciclo productivo, hasta el momento de recuperar el dinero invertido para que vuelva a utilizarse en el siguiente ciclo.

La inversión en activos fijos debe lograrse con créditos de mediano o largo plazo y no de corto plazo, ello significaría que el proyecto transite por serias dificultades financieras ante la cuantía de la deuda y la imposibilidad de pago en el corto plazo.

Sólo para el capital de trabajo o de operaciones, se puede recurrir al préstamo en el corto plazo si ese fuera el caso.

El monto para la inversión en capital de trabajo se estima de acuerdo a los requerimientos de materias primas, materiales directos e indirectos, mano de obra y otros gastos exigidos por el proyecto en el transcurso del ciclo productivo.

El ciclo productivo empieza cuando se efectúa el primer desembolso destinado a cubrir los costos de producción y termina el momento de venta del bien o servicio, incluyendo el período de recuperación de los fondos invertidos, que serán destinados al próximo ciclo productivo.

En el costo total se considera sólo los costos efectivos de producción, excluyendo la depreciación y amortización de la inversión diferida.

El capital de trabajo se incrementa cuando aumenta el volumen de producción, hasta llegar al punto máximo de producción estimada.

En la Tabla IV-7 siguiente, se presenta el monto del Capital de Trabajo, que se calculó restando el activo circulante menos el pasivo circulante.

Tabla IV-7. Capital de Trabajo

Capital de Trabajo		
Activo Circulante	Días	Importe (\$US)
Cuentas a cobrar	30	315 031
Existencias		
Materias Primas y Materiales	30	299 719
Repuestos (5%)		32 375
Productos terminados (30% producción)	90	945 093
Efectivo en Caja (Costo operación - materiales)	15	7 656
Total Activo Circulante		1 599 874
Pasivo Circulante	Días	Importe (\$US)
Cuentas a pagar	30	249 766
Capital de Trabajo (AC-PC)		1 350 108

Fuente: Elaboración propia, 2020

El capital de trabajo tiene un valor de 1 350 108 dólares americanos.

4.1.5 Costos Fijos y Variables

Para fines de análisis en los estudios de proyectos, los costos a considerarse por su variabilidad son:

- Costos Fijos
- Costos Variables

Costos Fijos

Son aquellos costos que permanecen constantes ante cualquier volumen de producción, es decir, que no dependen de la producción.

Por ejemplo, mano de obra indirecta más beneficios sociales, materiales indirectos, alquileres, depreciaciones, imprevistos, impuestos, mantenimiento y/o reparación, sueldos de planta administrativa y personal de ventas más beneficios sociales (costos de comercialización), energía eléctrica fija, seguros, honorarios de directores y asesores, comunicaciones (internet, teléfono, fax, etc.), amortización de inversión diferida, intereses (costo financiero), publicidad, gastos generales de administración.

- **De administración:** Son costos que provienen de las actividades realizadas en la organización de la producción y funcionamiento administrativo, considera, por ejemplo, los sueldos del personal administrativo, contador, secretaria, personal de asesoramiento, alquileres en el caso que los hubiera, gastos de oficina, papelería trámites legales, comunicaciones, etc.

Estos costos se clasifican como indirectos o fijos.

- **De producción:** Los costos de producción comprenden aquellos egresos monetarios que se realizan después de la puesta en marcha del proyecto por concepto de insumos (materias primas, combustibles, electricidad, agua, suministros, etc.), mano de obra (personal directivo, técnico, obrero y personal contratado), recursos naturales si fuera el caso, (alquiler de tierras y yacimientos), otros (transporte y manipuleo, patentes y regalías, seguros, etc.) Su clasificación responde al concepto de costo variable y fijo.

- **De Ventas o Comercialización:** Los costos de ventas o comercialización incluyen una parte fija y otra variable.

La parte fija o indirecta está relacionada con los sueldos del personal que tendrá a su cargo la venta del producto, así como los gastos de oficina.

La parte variable o directa corresponde a los gastos efectuados en la distribución del producto (transporte, publicidad, distribución, gastos de despacho, etc.)

- **Depreciación:** Son cargos que se deducen anualmente por el desgaste de los bienes de capital, su conceptualización responde al costo fijo.
- **Amortización de Inversión Diferida:** Son costos incurridos en la etapa preoperativa, por concepto de inversiones realizadas en activos diferidos o intangibles y se clasifican como costo fijo.
- **Costo Financiero:** Se refiere a los intereses que se deben pagar por los capitales obtenidos mediante créditos, responde al concepto de costo fijo o indirecto.

Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima no cuenta con recursos económicos propios para realizar la inversión para el presente proyecto, por lo tanto se necesitará solicitar un crédito bancario para financiar el proyecto.

- **Costo de Mantenimiento:** Es un costo orientado al mantenimiento de la planta, las maquinarias y los equipos.

La mano de obra y los respectivos materiales e insumos empleados se cargan directamente a este rubro.

El costo de mantenimiento a considerar es un porcentaje del precio de adquisición de las maquinarias y equipos, su clasificación corresponde al costo fijo o indirecto.

Este porcentaje será del 5%.

Costos Variables

Son costos que varían en forma directa con la variación o cambios en los volúmenes de producción.

Por ejemplo, materias primas directas, mano de obra directa más beneficios sociales, primas por horas extraordinarias, materiales directos, materiales de empaque y embalaje, energía eléctrica asignada directamente a la producción, combustibles y lubricantes asignados directamente a la producción, regalías, comisiones por ventas, agua, repuestos, gastos de distribución y transporte para la venta de producto (costo de comercialización).

Cada costo tiene su componente directo e indirecto.

A continuación, en la Tabla IV-8, se presentan los costos fijos y variables del proyecto.

Tabla IV-8. Costos Variables y Fijos

Costos Variables (\$US)										
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costos Directos	1 783 660	2 283 195	3 115 745	3 115 745	3 115 745	3 115 745	3 115 745	3 115 745	3 115 745	3 115 745
Costos Fijos (\$US)										
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costos Indirectos	34 565	34 565	34 565	34 565	34 565	34 565	34 565	34 565	34 565	34 565
Depreciación	35 625	35 625	35 625	35 625	35 625	35 625	35 625	35 625	35 625	35 625
Total Costos Fijos	70 190	70 190	70 190	70 190	70 190	70 190	70 190	70 190	70 190	70 190
Total	1 853 850	2 353 385	3 185 935	3 185 935	3 185 935	3 185 935	3 185 935	3 185 935	3 185 935	3 185 935

Fuente: Elaboración propia, 2020

4.1.6 Costo Unitario del Producto

Llamado también costo unitario de producción, indica el costo de producir una unidad del bien o servicio para cada nivel de producción.

En este caso, se refiere al costo de producción de cada litro de etanol anhidro.

Se presenta en la tabla siguiente el costo unitario de etanol anhidro.

Tabla IV-9. Costo Unitario del Producto \$US

Costos de producción por litro de etanol anhidro producido				
	Unidad	Precio	Cantidad	Precio Unitario
Alcohol	l	0,160	1,100	0,176
Zeolita	kg	5	0,001	0,006
Gas	MPC	1,200	0,0004	0,0005
Vapor	TM	4,340	0,002	0,009
Energía	MPC	1,200	0,0004	0,0005
Agua	l	0,003	0,040	0,0001
Total \$US				0,192

Fuente: Elaboración propia, 2020

El costo para producir un litro de etanol anhidro es de 0,192 dólares americanos.

4.1.7 Estimación de Ingresos

Conociendo el costo unitario de producción, se determina el precio de venta del producto, producido por el proyecto (etanol anhidro), considerando además el porcentaje de utilidad que se espera obtener.

El precio de venta será de 0,30 centavos de dólar por litro de etanol anhidro.

El precio de venta debe estar entre los márgenes del precio vigente en el mercado si el producto ofrecido por el proyecto (etanol anhidro) tiene competencia, pero si es producto único, entonces el precio estará en función a la expectativa de ganancia que se tiene.

En el primer año de producción, se tendrá una capacidad utilizada del 50%, en el segundo año, del 65% y a partir del tercer año hasta el final, el proyecto tendrá una capacidad utilizada del 90%.

Se considera que toda la producción es comprada por Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos a 0,30 centavos de dólar el litro.

En la Tabla IV-10, se muestra la capacidad utilizada anual, así como la producción anual en litros, los ingresos por las ventas y, en las dos últimas columnas, se muestra la cantidad de etanol 96 grados Gay Lussac requerido anualmente y el costo de esta materia prima (egresos).

Tabla IV-10. Programa de Producción

Año	% Capacidad Utilizada	Producción Etanol Anhidro (litros)	Ingresos (\$US)	Compra Etanol 96 grados Gay Lussac (litros)	Egresos (\$US)
1	50	9 000 000	2 700 000	10 000 000	1 600 000
2	65	11 700 000	3 510 000	13 000 000	2 080 000
3	90	16 200 000	4 860 000	18 000 000	2 880 000
4	90	16 200 000	4 860 000	18 000 000	2 880 000
5	90	16 200 000	4 860 000	18 000 000	2 880 000
6	90	16 200 000	4 860 000	18 000 000	2 880 000
7	90	16 200 000	4 860 000	18 000 000	2 880 000
8	90	16 200 000	4 860 000	18 000 000	2 880 000
9	90	16 200 000	4 860 000	18 000 000	2 880 000
10	90	16 200 000	4 860 000	18 000 000	2 880 000

Fuente: Elaboración propia, 2020

Como se observa en la tabla anterior, los ingresos son mayores que los egresos lo cual es fundamental para que el proyecto otorgue utilidades.

4.1.8 Determinación de Utilidades

Las utilidades del proyecto se calculan restando ingresos menos costos, este valor se conoce como “Utilidades Brutas”. Los impuestos representan el 25% de las “Utilidades Brutas” y la resta de las “Utilidades Brutas” y los “Impuestos” representan las “Utilidades Netas”.

En la Tabla IV-11, se muestran las utilidades anuales del proyecto.

Tabla IV-11. Utilidades del Proyecto. (\$US)

Periodo	Ingresos	Costo total	Utilidades Brutas	Impuestos 25%	Utilidades Netas
1	2 700 000	2 096 418	603 582	150 895	452 686
2	3 510 000	2 595 953	914 047	228 512	685 535
3	4 860 000	3 428 503	1 431 497	357 874	1 073 622
4	4 860 000	3 398 182	1 461 818	365 454	1 096 363
5	4 860 000	3 367 861	1 492 139	373 035	1 119 104
6	4 860 000	3 337 540	1 522 460	380 615	1 141 845
7	4 860 000	3 307 219	1 552 781	388 195	1 164 586
8	4 860 000	3 276 898	1 583 102	395 776	1 187 327
9	4 860 000	3 246 577	1 613 423	403 356	1 210 067
10	4 860 000	3 216 256	1 643 744	410 936	1 232 808

Fuente: Elaboración propia, 2020

4.2 Financiamiento

Se refiere a la consecución de los fondos que precisa el proyecto. La inversión total requerida por el proyecto es financiada, una con préstamos y otra con fondos propios. En el caso de este proyecto, Industrias Agrícolas Bermejo va a solicitar un préstamo bancario para cubrir el 100% de la inversión porque no cuenta con fondos propios para invertir en el proyecto.

4.2.1 Necesidad de Capital

Industrias Agrícolas Bermejo necesita 2 021 408 dólares americanos para realizar la inversión. Esta es la suma de la inversión fija y el capital de trabajo.

En la Tabla IV-12, se muestra el porcentaje que representa la inversión fija que es del 33% del total de la inversión y el capital de trabajo representa el 67% del total.

El crédito a solicitar tendrá un 12% de interés anual.

Tabla IV-12. Inversión Total y Financiamiento

	Inversión (\$US)	Capital Social	Crédito (\$US)	
Inversión Fija	671 300	33%		
Capital de Trabajo	1 350 108	67%		
Total	2 021 408	0	2 021 408	12%

Fuente: Elaboración propia, 2020

4.2.2 Fuentes de Financiamiento

En Bolivia, existen ocho entidades financieras que realizan préstamos al sector empresarial, que es el sector de interés. A continuación, se presenta una tabla con las entidades financieras que reportan el interés anual para los préstamos.

Tabla IV-13. Información sobre el interés que se paga por un préstamo en Bolivia (Moneda Nacional)

Entidades	Moneda Nacional				
	Empresarial	PYME	Micro-Crédito	Consumo	Vivienda
BANCOS MÚLTIPLES					
NACIONAL DE BOLIVIA	12,00	6,17	14,16	11,42	6,67
MERCANTIL SANTA CRUZ	10,99	7,35	12,98	14,01	7,77
CRÉDITO DE BOLIVIA	10,99	8,57	17,14	20,17	27,6
BISA		6,99	16,65	16,66	8,02
UNIÓN	8,55	6,47	13,55	19,33	8,39
ECONÓMICO	9,61	6,14	12,63	19,74	7,15
GANADERO	11,23	7,65	15,73	17,16	7,12
NACIÓN ARGENTINA					
DO BRASIL	11,23				
FASSIL	11,99	6,58	15,34	26,79	

Fuente: Banco Nacional de Bolivia, (2021)

Tabla IV-14. Información sobre el interés que se paga por un préstamo en Bolivia (Moneda Extranjera)

Entidades	Moneda Extranjera				
	Empresarial	PYME	Micro-Crédito	Consumo	Vivienda
BANCOS MÚLTIPLES					
NACIONAL DE BOLIVIA					
MERCANTIL SANTA CRUZ		8,03	16,47		
CRÉDITO DE BOLIVIA					
BISA					
UNIÓN					
ECONÓMICO					
GANADERO					
NACIÓN ARGENTINA					
DO BRASIL					
FASSIL					

Fuente: Banco Nacional de Bolivia, (2021)

Se asumirá un valor de interés del 12% para el préstamo a solicitar, considerando el caso más severo de préstamo que es el del Banco Nacional de Bolivia.

Existen más entidades que otorgan préstamos, pero no se incluyen en la tabla anterior porque no presentan valores para los préstamos empresariales.

4.2.3 Amortizaciones

La amortización es la cantidad correspondiente a la devolución de una parte del capital, es decir, el saldo adeudado. En la Tabla IV-15, se muestran el valor del crédito, las amortizaciones anuales, así como los intereses, y la suma de amortizaciones e intereses. Se consideran dos años de gracia en los cuales no existe el pago de amortización.

Los intereses anuales se calculan multiplicando el valor anual del crédito por el 12%. La amortización a partir del año 3 del proyecto se calcula dividiendo el crédito entre 8 años, es un valor constante. La amortización e intereses corresponden a la suma de los intereses y amortización. El nuevo valor del crédito anual se calcula restando el crédito del año anterior y la amortización anual. Es por esto que la amortización es también conocida como el pago de la deuda. Hasta el final del proyecto, el crédito se habrá pagado, por ello, los últimos valores en el periodo 10 del crédito y la amortización son iguales.

Tabla IV-15. Crédito, Amortización e Intereses

Pago del crédito y los intereses en dólares					
Años	Periodo	Crédito	Amortización	Intereses	Amortización e Intereses
2021	1	2 021 408		242 569	242 569
2022	2	2 021 408		242 569	242 569
2023	3	2 021 408	252 676	242 569	495 245
2024	4	1 768 732	252 676	212 248	464 924
2025	5	1 516 056	252 676	181 927	434 603
2026	6	1 263 380	252 676	151 606	404 282
2027	7	1 010 704	252 676	121 284	373 960
2028	8	758 028	252 676	90 963	343 639
2029	9	505 352	252 676	60 642	313 318
2030	10	252 676	252 676	30 321	282 997

Fuente: Elaboración propia, 2020

4.2.4 Costos de Producción Total

La Tabla IV-16 es muy importante porque muestra el costo total de producción, considerando, además de los costos de operación, la depreciación y los intereses que se deben pagar anualmente. Para calcular este valor, se suman los costos de operación, la depreciación y los intereses anuales. Los costos de operación anuales se tomaron sumando los costos directos e indirectos del proyecto (Tabla IV-8), la depreciación se tomó de la Tabla IV-15, así como los intereses.

Tabla IV-16. Costos de Producción Total en \$US

Año	Periodo	Costo de Operación	Depreciación	Intereses	Total
2021	1	1 818 225	35 625	242 569	2 096 418
2022	2	2 317 760	35 625	242 569	2 595 953
2023	3	3 150 310	35 625	242 569	3 428 503
2024	4	3 150 310	35 625	212 248	3 398 182
2025	5	3 150 310	35 625	181 927	3 367 861
2026	6	3 150 310	35 625	151 606	3 337 540
2027	7	3 150 310	35 625	121 284	3 307 219
2028	8	3 150 310	35 625	90 963	3 276 898
2029	9	3 150 310	35 625	60 642	3 246 577
2030	10	3 150 310	35 625	30 321	3 216 256

Fuente: Elaboración propia, 2020

CAPÍTULO V
EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL
PROYECTO

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

5.1 Determinación del Punto de Equilibrio

El punto de equilibrio, llamado también por algunos autores *umbral de rentabilidad*, se da cuando el valor de los ingresos es igual al valor de los costos de producción. Dicho en otros términos, el punto de equilibrio es el nivel de producción donde los beneficios por ventas son iguales a la suma de los costos fijos y variables.

El punto de equilibrio permite conocer el punto mínimo de producción al que debe operarse para que el proyecto no tenga pérdidas. Para su análisis, es necesario segregar los costos en fijos y variables. Los primeros son independientes del volumen de producción, por lo general permanecen constantes, los segundos tienen relación directa con el nivel de producción. Se incrementan o disminuyen con el aumento o decremento del volumen de producción.

Para calcular el Punto de Equilibrio en porcentaje, se utiliza la siguiente fórmula matemática:

$$\text{Punto de equilibrio \%} = \left(\frac{\text{costo fijo}}{\text{ventas} - \text{costo variable}} \right) \times 100$$

El resultado indica que, de las ventas totales, ese porcentaje es empleado para el pago de los costos fijos y variables y el porcentaje restante (100% - Punto de equilibrio %) es la utilidad neta que obtiene la empresa. A continuación, se muestra la tabla del punto de equilibrio en porcentaje.

Tabla V-1. Punto de Equilibrio Contable

Años	Ventas	Costo Fijo	Costo Variable	Punto de Equilibrio %
2021	2 700 000	70 190	1 783 660	7,660
2022	3 510 000	70 190	2 283 195	5,720
2023	4 860 000	70 190	3 115 745	4,020
2024	4 860 000	70 190	3 115 745	4,020
2025	4 860 000	70 190	3 115 745	4,020
2026	4 860 000	70 190	3 115 745	4,020
2027	4 860 000	70 190	3 115 745	4,020
2028	4 860 000	70 190	3 115 745	4,020
2029	4 860 000	70 190	3 115 745	4,020
2030	4 860 000	70 190	3 115 745	4,020

Fuente: Elaboración propia, 2020

Para citar un ejemplo, en el año tres, el 4,02% de las ventas totales se empleará para pagar los costos fijos y variables y el 95,98% es la utilidad neta que tendrá la empresa.

Para encontrar el punto de equilibrio con costos totales, se emplea la siguiente ecuación matemática:

$$PE = \frac{\text{costo fijo total}}{1 - \frac{\text{costo variable total}}{\text{ventas totales}}}$$

Para el primer año de producción:

CF= Costo fijo = 70 190 \$US

CV= Costo variable = 1 783 660 \$US

VT= Ventas totales del primer año = 2 700 000 \$US

Se encuentra el punto de equilibrio en unidades monetarias:

$$PE = \frac{70\ 190}{1 - \frac{1\ 783\ 660}{2\ 700\ 000}}$$

$$PE = 206\ 815\ \$US$$

Este resultado significa que cuando las ventas alcancen a 206 815 dólares americanos, se habrán igualado los ingresos y los costos, es decir, por encima de este valor, se tendrán utilidades.

De esta manera es que se construyó la Tabla V-2, donde se muestran el punto de equilibrio anual en unidades monetarias (dólares americanos).

Tabla V-2. Punto de Equilibrio Unidades Monetarias (\$US)

Años	Costo Fijo	Costo Variable	Ventas	Punto de Equilibrio
2021	70 190	1 783 660	2 700 000	206 815
2022	70 190	2 283 195	3 510 000	200 820
2023	70 190	3 115 745	4 860 000	195 570
2024	70 190	3 115 745	4 860 000	195 570
2025	70 190	3 115 745	4 860 000	195 570
2026	70 190	3 115 745	4 860 000	195 570
2027	70 190	3 115 745	4 860 000	195 570
2028	70 190	3 115 745	4 860 000	195 570
2029	70 190	3 115 745	4 860 000	195 570
2030	70 190	3 115 745	4 860 000	195 570

Fuente: Elaboración propia, 2020

Cada año, del año uno al diez, se debe superar el punto de equilibrio para obtener utilidades.

Para encontrar el punto de equilibrio en volúmenes físicos, se utiliza la siguiente ecuación matemática:

$$PE = \frac{\text{punto de equilibrio unidades monetarias}}{\text{precio de venta}}$$

Para el primer año de producción:

Punto de equilibrio unidades monetarias = 206 815 \$US

Precio de venta = 0,30 \$US

$$PE = \frac{206\ 815\ \$US}{0,30\ \$US}$$

$$PE = 689\ 383\ \text{unidades físicas (litros)}$$

El resultado dice que, para obtener utilidades, se tendrá que vender por encima de 689 383 litros de etanol anhidro en el primer año.

En este punto, los ingresos igualan a los costos; a partir de este nivel, el proyecto logra utilidades.

Así, sucesivamente, se efectúa el cálculo del punto de equilibrio (PE) para el segundo, tercer, cuarto, hasta el año diez del proyecto.

Tabla V-3. Punto de Equilibrio Unidades Físicas (Litros)

Años	PE Unidades Monetarias (\$US)	Precio de venta (\$US)	Punto de Equilibrio Unidades Físicas (l)
2021	206 815	0,300	689 384
2022	200 820	0,300	669 400
2023	195 570	0,300	651 899
2024	195 570	0,300	651 899
2025	195 570	0,300	651 899
2026	195 570	0,300	651 899
2027	195 570	0,300	651 899
2028	195 570	0,300	651 899
2029	195 570	0,300	651 899
2030	195 570	0,300	651 899

Fuente: Elaboración propia, 2020

5.2 Determinación del Valor Actual Neto (VAN)

La evaluación del proyecto es una operación que permite tomar la respectiva decisión de invertir o no, en base a la comparación de las utilidades o beneficios arrojados frente a los respectivos costos de producción del bien ofrecido por el proyecto, en otras palabras, evaluar es medir la rentabilidad del proyecto mediante los indicadores del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El VAN y la TIR, permiten medir la rentabilidad del proyecto, estos indicadores consideran el valor cronológico del dinero, es decir, el dinero cambia su valor en el tiempo, cambiando, por lo tanto, su capacidad de adquisición. Como el dinero cambia su valor en el tiempo, entonces, es necesario actualizarlo a un mismo periodo de tiempo y, para ello, se debe buscar una tasa de actualización, lo que significa actualizar el dinero que hoy se recibe, al tiempo futuro.

El Valor Actual Neto es la sumatoria de los beneficios netos actualizados de un proyecto a una tasa determinada por el costo de oportunidad del capital.

El costo de oportunidad del capital es aquella ganancia que se deja de percibir por el empleo del dinero en la alternativa A, dejando de lado la alternativa B, es decir, el posible rendimiento de la misma cantidad de capital invertido en otra actividad. Expresado de otra manera, la tasa de actualización sería aquella tasa de rendimiento mínima por debajo de la cual el inversionista considera que no le conviene invertir.

Generalmente, para el cálculo del VAN se toma la tasa de interés existente en el sistema bancario comercial, que viene a constituir el costo de oportunidad del dinero siempre y cuando no exista inflación; cuando este sea el caso y, si la inflación es mayor a la tasa de interés bancaria vigente, entonces, se debe tomar como referencia el índice inflacionario más un porcentaje de beneficio, porque si el capital tuviese un rendimiento igual al índice inflacionario, sólo se mantendría el poder adquisitivo del dinero, lo que no es atrayente y lógico para una inversión, más al contrario, toda inversión debe tener un rendimiento que haga crecer el dinero por encima del índice inflacionario o de la tasa de interés bancaria.

Matemáticamente la fórmula del VAN es:

$$VAN = -\frac{FN_0}{(1+i)^0} + \frac{FN_1}{(1+i)^1} + \frac{FN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FN_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

FN = Flujo neto o saldo de liquidez neto

n = Vida útil del proyecto

i = Tasa de interés de actualización

Para encontrar el Flujo neto anual, se emplearon los siguientes elementos:

- Ingresos anuales
- Inversión
- Amortización e intereses anuales
- Costos anuales de operación
- Impuestos anuales
- Costos de reposición de equipos
- Total de egresos anuales

En la Tabla V-4 siguiente, se muestran los valores de los ítems mencionados, así como el valor calculado de Valor Actual Neto.

Tabla V-4. Valor Actual Neto

Periodo	Ingresos	Inversión	Amortización e Intereses	Costo de Operación	Impuestos	Reposición de Equipos	Total Egresos	Flujo Neto
0		2 021 408						-2 021 408
1	2 700 000		242 569	1 818 225	150 895		2 211 689	488 311
2	3 510 000		242 569	2 317 760	228 512		2 788 840	721 160
3	4 860 000		495 245	3 150 310	357 874		4 003 429	856 571
4	4 860 000		464 924	3 150 310	365 454		3 980 688	879 312
5	4 860 000		434 603	3 150 310	373 035	20 000	3 957 947	902 053
6	4 860 000		404 282	3 150 310	380 615		3 935 206	924 794
7	4 860 000		373 960	3 150 310	388 195		3 912 465	947 535
8	4 860 000		343 639	3 150 310	395 776	3 800	3 889 724	970 276
9	4 860 000		313 318	3 150 310	403 356		3 866 984	993 016
10	4 860 000		282 997	3 150 310	410 936		3 844 243	1 015 757

*Incluye valor residual y capital de operaciones. Egresos en efectivo

VAN 12%	2 360 723
----------------	-----------

Fuente: Elaboración propia, 2020

El resultado del VAN, significa que, invirtiendo 2 021 408 dólares americanos y obteniendo las utilidades anuales que se muestran en la columna de *Flujo Neto*, con una tasa de actualización del 12% anual, el proyecto produce 2 360 723 dólares americanos más que si se hubiere depositado ese dinero en el banco o destinando a otra inversión alternativa, vale decir que el VAN indica el valor futuro del dinero que va a recibir el proyecto en los 10 años de vida del mismo, al margen de las inversiones realizadas y luego de recuperar las mismas y cubrir los costos de operación.

- Si el VAN resultante es negativo ($VAN < 0$), no debe invertirse, porque los ingresos futuros no cubrirían el costo del capital.
- Si el VAN es igual a cero o cercano a cero ($VAN = 0$), desde el punto de vista de la rentabilidad es indiferente llevar a cabo el proyecto.
- Si el VAN es positivo ($VAN > 0$) es conveniente realizar la inversión, el proyecto será más atractivo mientras mayor sea su VAN, es decir, la rentabilidad de la inversión está por encima de la tasa de actualización.

5.3 Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Representa la tasa de rendimiento financiero del dinero invertido en el proyecto, responde a la pregunta de cuánto interés ganaría anualmente el proyecto sobre el monto total invertido.

Matemáticamente, la fórmula de la TIR es:

$$TIR = \left(-I + \left(\frac{FC}{(1 + X)^n} \right) \dots \right) = 0$$

Donde:

I = Inversión inicial

FC = Flujo de caja neto

X = Tasa de descuento

n = Vida útil del proyecto

También se puede señalar que la Tasa Interna de Retorno (TIR), es aquella tasa de actualización que aplicando al Flujo Neto, logra que el VAN del proyecto sea igual a cero ($VAN = 0$).

El procedimiento utilizado para calcular la TIR, es el mismo empleado para el cálculo del VAN, posteriormente, se aplica el método numérico a través de aproximaciones sucesivas hasta acercarnos a un $VAN = 0$. Por lo tanto, para hallar la TIR se debe encontrar una tasa de actualización (interés) donde la diferencia entre la inversión y los beneficios actualizados sea igual a cero.

El valor calculado de la TIR del proyecto es del 35%.

TIR	35%
------------	-----

Se utilizaron los datos de la Tabla V-4 anterior para calcularlo.

La TIR del 35% quiere decir que, si calculamos el VAN con un interés del 35%, se obtiene un valor igual a cero. Como el costo de oportunidad del capital invertido es del 12%, entonces el dinero rinde el 23% anual por encima de lo que se hubiere ganado depositando ese dinero en el banco al 12% de interés o en otras alternativas de inversión ($35\% - 12\% = 23\%$).

La evaluación económica es esencial para conocer el grado de atracción que el proyecto puede ejercer sobre las inversiones y así obtener préstamos de instituciones financieras.

5.4 Determinación del Tiempo de Retorno de la Inversión

Es un indicador complementario en la evaluación del proyecto. Con este método se mide el tiempo en el cual se recupera la inversión total a partir del flujo neto del proyecto. Si se utiliza este método como criterio de selección para efectuar una inversión, el proyecto será atractivo cuando el tiempo de retorno de la inversión sea igual o menor al tiempo esperado por el inversionista.

Para encontrar el tiempo de retorno, se utiliza la siguiente ecuación matemática:

$$\text{Tiempo de Retorno} = m + \frac{|\text{saldo acum. } (-)|}{|\text{saldo acum. } (-) + \text{saldo acum. } (+)|} - t$$

Donde:

m = Valores Negativos del Saldo Acumulado

t = Tiempo en que se realiza la Inversión.

En la Tabla V-5, se muestra el método realizado para el cálculo de los saldos anuales acumulados, para calcular posteriormente el tiempo de retorno de la inversión.

Tabla V-5. Tiempo de Retorno de la Inversión

Periodo	Inversión	Utilidad Neta	Depreciación	Intereses	Ingresos	Saldo Acumulado
0	-2 021 408					-2 021 408
1		452 686	35 625	242 569	730 880	-1 290 528
2		685 535	35 625	242 569	963 729	-326 799
3		1 073 622	35 625	242 569	1 351 816	1 025 017
4		1 096 363	35 625	212 248	1 344 236	2 369 253
5		1 119 104	35 625	181 927	1 336 656	3 705 909
6		1 141 845	35 625	151 606	1 329 075	5 034 985
7		1 164 586	35 625	121 284	1 321 495	6 356 480

Inversión realizada en un año	t=1
Valores negativos del saldo acumulado	m=2
Período de Recuperación	$PR = m + \frac{ saldo\ acum.\ (-) }{ saldo\ acum.\ (-) + saldo\ acum.\ (+) } - t = 1,24\ años$

Fuente: Elaboración propia, 2020

El tiempo de retorno de la inversión reporta un valor de 1,24 años.

5.5 Determinación de la Relación Beneficio Costo

La relación beneficio/costo (B/C) muestra la cantidad de dinero actualizado que percibirá el proyecto por cada unidad monetaria (\$US) invertida. Resulta de dividir los ingresos brutos actualizados (beneficios) entre los costos actualizados, a una tasa de interés vigente en el mercado, generalmente se utiliza la misma tasa que la aplicada para el cálculo del VAN.

Este indicador mide la relación que existe entre los ingresos de un proyecto y los costos incurridos a lo largo de su vida útil, incluida la inversión efectuada en el momento cero.

- Si la relación B/C es mayor que la unidad, el proyecto es aceptable porque los beneficios son superiores a los costos.

$$\frac{B}{C} > 1, \text{ entonces existe beneficio}$$

- Si la relación B/C es menor que la unidad, el proyecto debe rechazarse ya que no existe beneficios.

$$\frac{B}{C} < 1, \text{ entonces no existe beneficio}$$

- Si la relación B/C es igual a la unidad, es indiferente llevar adelante el proyecto porque no hay beneficios ni pérdidas.

$$\frac{B}{C} = 1, \text{ entonces no existe beneficio ni pérdida}$$

En el Cuadro V-1, se muestra el cálculo de la relación costo beneficio:

Cuadro V-1. Relación Beneficio - Costo

Relación Costo Beneficio *	$B/C = \frac{\sum_1^{10} \text{Flujo Neto}}{ \text{Inversión} }$ $B/C = \frac{8\,698\,786}{ -2\,012\,408 } = 4.32$ $B/C = 4,32$ <p><i>B/C > 1 existe beneficio</i></p>
--	---

*Datos extraídos de la Tabla V-5.

Fuente: Elaboración propia, 2020

Como la relación beneficio/costo es mayor que 1, entonces, existe beneficio.

5.6 Análisis de Sensibilidad

Se llama análisis de sensibilidad al procedimiento que ayuda a determinar cuánto varía (qué tan sensible son) el VAN y la TIR ante cambios en algunas variables del proyecto.

Estas variables pueden ser los volúmenes de venta proyectados, el precio de venta del producto, los precios de compra de los materiales directos e indirectos, el costo del capital, etc.

En general, es aconsejable realizar el análisis de sensibilidad para ver cuánto afectaría a la rentabilidad del proyecto si se verificara una disminución en el precio de venta del bien producido por el proyecto, o un aumento en los costos de producción, o una variación en el costo de oportunidad del capital, etc.

El análisis de sensibilidad está orientado a comprobar hasta qué punto el proyecto puede mantener su rentabilidad ante cambios en las variables mencionadas, para fines prácticos, es recomendable efectuar el cálculo de sensibilidad bajando el precio unitario de venta o subiendo el valor de la materia prima, los porcentajes a considerarse dependerán del grado de sensibilidad a los cambios de cada variable.

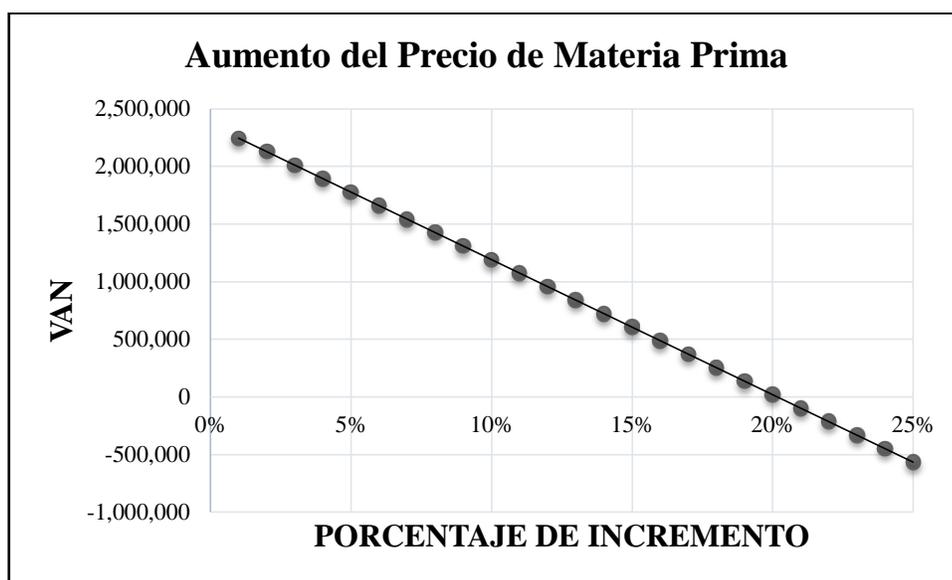
Identificadas las variables a modificar, así como su porcentaje de variación, los respectivos cálculos deben efectuarse y encontrar el nuevo VAN y la nueva TIR.

Variable 1: Aumento del precio de la Materia Prima

En la siguiente Figura V-1, se grafica el aumento del precio de la materia prima en porcentaje, y los valores del Valor Actual Neto (VAN).

Por encima del 20% de aumento del precio de la materia prima, el valor del VAN se hace negativo, lo que significa que el límite de aumento de precio de la materia prima, para que el proyecto siga siendo rentable, es de máximo el 20%. Si la materia prima sube más del 20%, entonces los valores del VAN se hacen negativos y la inversión no es conveniente.

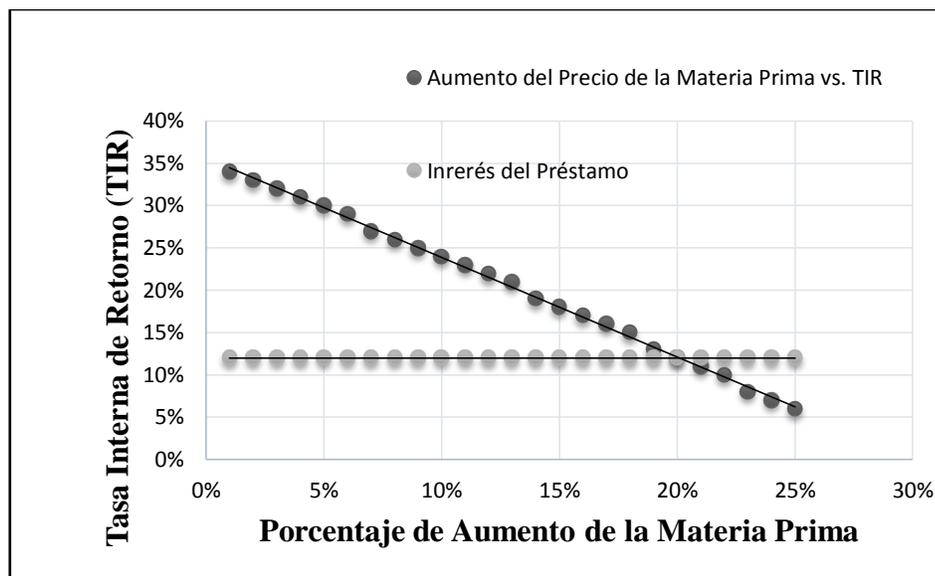
Figura V-1. Aumento del precio de la materia prima vs. VAN



Fuente: Elaboración propia, 2020

En la Figura V-2, se puede observar que la intersección de las dos líneas es al 20%, la línea horizontal representa el interés del 12%, y la línea con pendiente negativa representa cómo los valores de la Tasa Interna de Retorno van descendiendo a medida que el precio de la materia prima va aumentando.

Figura V-2. Aumento del precio de la materia prima vs. TIR



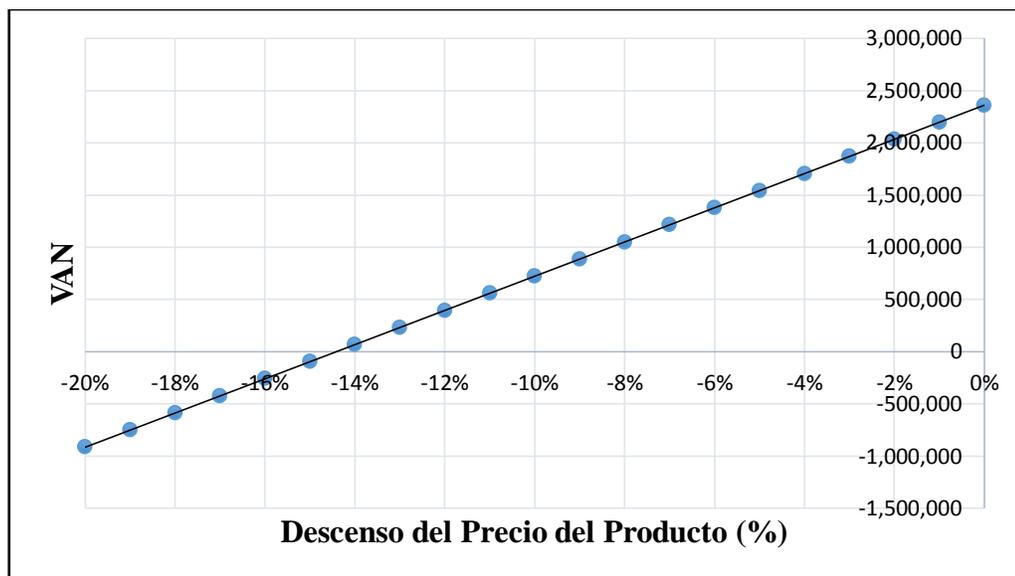
Fuente: Elaboración propia, 2020

El proyecto puede tolerar un 20% en el aumento del costo de la materia prima, por encima del 20%, el valor de la Tasa Interna de Retorno es menor al interés del préstamo (12%), por lo tanto, no es conveniente la inversión.

Variable 2: Descenso del precio del Producto

Para la segunda variable, se analiza cómo cambia el Valor Actual Neto a medida que disminuye el precio del producto (etanol anhidro). En la Figura V-3, se muestra en el eje x, el porcentaje de disminución en el precio de venta del producto (-1%, -2%, -3%, etc.) y en eje “y”, el Valor Actual Neto. Los valores del eje “x” son negativos porque se está expresando una disminución en el precio de venta del producto. El punto 0% expresa que no existe disminución en el precio de venta del producto, el cual es 0,30 centavos de dólar.

Figura V-3. Descenso del Precio del Producto vs. VAN

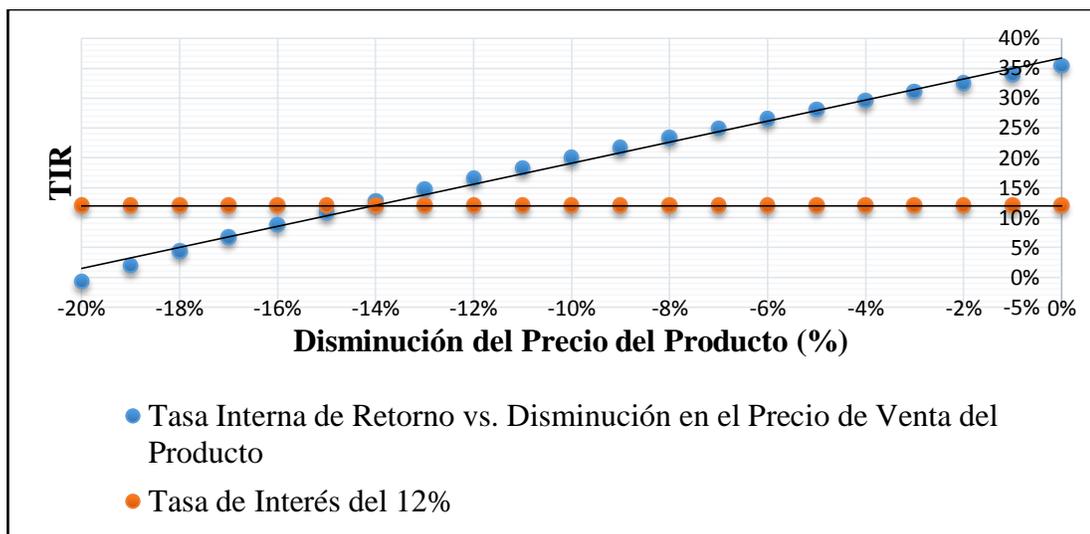


Fuente: Elaboración propia, 2020

Se puede ver, en la figura anterior, que el precio del producto puede llegar a disminuir hasta un 14%, sin que el Valor Actual Neto sea menor que cero. Esto significaría que el proyecto podría soportar una disminución del 14% en la venta por litro de etanol anhidro, y aún la inversión sería recomendable. Sin embargo, se necesita conocer la relación que existe entre la Tasa Interna de Retorno y la variable del Descenso del Precio de Venta del Producto para conocer con más precisión cuál sería el punto máximo de disminución del precio de venta del producto.

A continuación, se realizará este análisis en la Figura V-4.

Figura V-4. Descenso del Precio del Producto vs. Tasa Interna de Retorno



Fuente: Elaboración propia, 2020

La tasa de interés del préstamo es del 12%, por lo tanto, la Tasa Interna de Retorno (TIR) no puede ser menor que 12%. En la figura anterior, se observa que mientras más disminuye el precio de venta del producto, más disminuye el valor de la TIR.

El valor límite según la figura anterior es del 14%, lo cual significa que el precio del producto puede llegar a disminuir un 14% como máximo.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se concluyó que el proceso de deshidratación de Alcohol Etílico se puede realizar en Industrias Agrícolas Bermejo, con la instalación de una Planta Deshidratadora de Etanol que tiene una inversión de 2 021 408 dólares americanos.
- El tamaño de la planta deshidratadora que se propone instalar es de 60 000 litros por día para llegar a cubrir la demanda departamental tarijeña de biocombustible en los próximos diez años.
- Industrias Agrícolas Bermejo puede acceder a un préstamo bancario de hasta el 12% de interés anual.
- Los indicadores económicos que son el Valor Actual Neto con un valor de 2 360 723 , la Tasa Interna de Retorno que muestra un valor del 35%, la relación Beneficio Costo, que establece que existe beneficio, son razones suficientes para invertir en el proyecto.
- El análisis de sensibilidad realizado indica que el proyecto seguirá siendo rentable, hasta un aumento máximo del 20% en el costo de la materia prima, y hasta un 14% máximo, en el descenso del precio del etanol anhidro.
- Se llevó a cabo el Estudio de Prefactibilidad para la Instalación de una Planta Deshidratadora de Etanol que permita a Industrias Agrícolas Bermejo contar con la información necesaria para tomar la decisión de invertir en el mismo.
- Se recopilaron datos teóricos, en base a una investigación documental, que permitieron la elaboración de varios puntos del proyecto, como ser, el estudio de mercado, la ingeniería del proyecto así como los aspectos económicos del proyecto.

- Se elaboró el diagnóstico de la situación actual del proyecto para conocer el punto del cual se debe partir.
- Se realizó un estudio de mercado basado en información primaria e información secundaria a objeto de identificar la demanda del producto, competencia, clientes en el mercado interno, preferencias, ventajas y desventajas.
- Se identificó y diseñó la implementación del equipamiento principal, maquinaria, vehículos, materiales y suministros necesarios para el proceso de deshidratación del alcohol.
- Se determinaron los beneficios y costos de inversión y operación del proyecto.
- Se concluye que el presente proyecto es rentable para Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima, debido a que los indicadores económicos muestran valores favorables para la inversión.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda a futuras investigaciones en el ámbito de los negocios agroindustriales, utilizar otro proceso de deshidratación del alcohol 96 grados Gay Lussac para comparar los resultados obtenidos con el presente trabajo.
- Se insta a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Juan Misael Saracho, a elaborar proyectos de análisis técnico-económicos, relacionados a la industria del etanol como combustible, debido a la rentabilidad que muestra el presente proyecto, para tener más información científica y académica en esta área.
- Se exhorta a investigar sobre la incidencia del biocombustible en determinados motores de combustión, debido a que en Bolivia no se han desarrollado tecnologías específicas para procesar este tipo de combustible, a pesar de que en otros países como en Brasil, estas tecnologías ya existen hace más de 40 años.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional del Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles de Brasil. (2019). *Anuario Estadístico Brasileiro de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles*. ANP. Brasil.
- Arellano A. y Riofrío L. (2014). *Diseño y construcción de un Deshidratador por Adsorción con Tamices Moleculares para la Obtención de Alcohol Anhidro*. (Tesis de Maestría). Escuela de Ingeniería Química, Riobamba - Ecuador.
- Asamblea Legislativa Plurinacional de Bolivia. (Septiembre de 2018). *Lexivox*. 18 de Septiembre, de la dirección <https://www.lexivox.org>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Vehículos Automotores de Brasil. (2018). *Anuario de la Industria Automovilística Brasileira*.
- Autoridad de Fiscalización de Empresas de Bolivia. (2019). *Estudio de Mercado del Alcohol Etilio en Bolivia*. La Paz, Bolivia.
- Baca, G. (1991). *Evaluación de Proyectos*. Editorial Siglo Veintiuno. Buenos Aires.
- Banco Nacional de Bolivia. (2021). *Interés que se paga por un préstamo en moneda nacional*. Bolivia.
- Banco Nacional de Bolivia. (2021). *Interés que se para por un préstamo en moneda extranjera*. Bolivia.
- Black, C., & Distler, D. (1972). Deshidratación de mezclas acuosas de etanol por destilación extractiva y azeotrópica. *Avances en Química*. Vol. 166, N°5. Mayo, pp 1 - 15.
- Cerpa M. (2015). *Producción del Etanol Anhidro como Aditivo para la Gasolina a partir de la Caña de Azúcar en la región del Río Huallaga* (Tesis de Licenciatura). Universidad de Valladolid, Valladolid - España.

- Clarke, C. (1980). Minerales Industriales. *Rumbo Minero*. Vol. 10, N°11. Noviembre, pp 21 - 32.
- Curi, A., Granda, W., Lima, H., & Sousa, W. (2006). Las zeolitas y su aplicación en la contaminación de efluentes mineros. *Ingeniería Tecnológica Universidad Federal de Oro Negro*. Vol. 30, N°2. Febrero, pp 111 - 118.
- Empresa Municipal de Agua de Bermejo. (2021). *Características del agua potable*. Bermejo.
- FAO. (2009). *Informe del Foro Regional de Agroindustrias en America Latina*. Lima.
- Ferrari, L. (2013). Energías fósiles: diagnóstico, perspectivas e implicaciones económicas. *Revista Mexicana de Física*. Vol. 13, N°10. Octubre, pp 36 - 43.
- Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. (2018). *Ley del Etanol N° 1098*. Bolivia.
- Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. (2018). *Decreto Supremo N° 3672*. Bolivia.
- Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. (2018). *Resolución Ministerial N° 129-18*. Bolivia.
- Gómez F. (2015). *Ingeniería de Procesos de Planta de Fabricación de Etanol con una Capacidad de 20 mil toneladas métricas al año* (Tesis de Licenciatura). Universidad de Sevilla, España.
- Google Earth. (2021). Localización de la Planta Deshidratadora de Etanol.
- Google Earth. (2021). Ubicación Geográfica de la Compañía Industrial San Aurelio S.A.
- Google Earth. (2021). Ubicación Geográfica de la Empresa Azucarera San Buenaventura.
- Google Earth. (2021). Ubicación Geográfica de la Sociedad Colectiva Industrial y Comercial Santa Cecilia.

- Google Earth. (2021). Ubicación Geográfica del Ingenio Azucarero Aguai S.A.
- Google Earth. (2021). Ubicación Geográfica del Ingenio Azucarero Guabirá S.A.
- Google Earth. (2021). Ubicación Geográfica del Ingenio Azucarero La Bélgica S.A.
- Google Earth. (2021). Ubicación Geográfica del Ingenio Azucarero Unión Agroindustrial de Cañeros S.A.
- Google Inc. (2021). Mapa Geográfico de Bolivia.
- Google Inc. (2021). Ubicación Geográfica de Industrias Agrícolas Bermejo.
- Guerrero A. (2016). *Diseño de un Sistema de Deshidratación mediante Tamices Moleculares para Obtener Alcohol Carburante y Concentración de su Efluente Vinaza en Evaporadores de Múltiple Efecto* (Tesis de Maestría). Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo - Perú.
- Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima. (2019). *Informe Anual de Operaciones*. Bermejo.
- Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima. (2021). *Especificaciones del alcohol etílico 96 grados Gay Lussac*. Bermejo.
- Industrias JW Brasil. (2021). *Guías de Selección de Equipos*. Brasil.
- Instituto Nacional de Estadística Bolivia. (2020). *Informe anual del crecimiento del parque automotor en Bolivia*. La Paz.
- Instituto Nacional de Estadística de Bolivia. (2021). *Número de Vehículos Consumidores de Biocombustible en el Departamento de Tarija, 2021-2031*. Bolivia.
- Iñigo R., Iosune V., (2010). *Guía para la Elaboración de Proyectos*. Editorial Tres de Tres. Barcelona, España.
- Kosuge, H., & Mortaheb, H. (2004). Simulación y Optimización de Procesos de Destilación Azeotrópica Heterogénea. *Ingeniería Química y Procesos*, Vol.52, N°7. Julio pp 137 - 326.

- Ministerio de Hidrocarburos. (2018). *Resolución Ministerial N°128-18*. Bolivia
- Morrison, R. T., & Boyd, R. N. (1990). *Química Orgánica*. Editorial Pearson. Estados Unidos.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2021). *Distribución Regional de Producción de Etanol en 2024*.
- Perry, R. H., & Chilton, C. H. (1988). *Manual del Ingeniero Químico*. Editorial McGRAW-HILL. Estados Unidos.
- QB Johnson Manufacturing Inc. (Enero de 2014). *Products*. Fecha de consulta, abril de 2020, de <https://www.qbjohnson.com/>
- Quintero, J., Montoya, I., Sánchez, J., & Cardona, C. (2007). Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos. *Ciencia y Tecnología Universidad Nacional de Colombia*. Vol.11, N°6. Junio pp 47 - 62.
- Rongqi, Z., & Zhanting, D. (2000). Destilación extractiva con sal y solvente. *Ciencia y Tecnología Universidad de Tsinghua*. Vol.50, N°32. Marzo, pp 17 - 22.
- Sánchez C.A., Rodríguez G. y Gómez M.A. (2012). Herramientas Geométricas para el Diseño Básico de Columnas de Destilación con mezclas Azeotrópicas Heterogéneas Ternarias. *Revista Científica Escuela de Ingeniería de Antioquía*. Vol.20, N°17. Marzo, pp 7 - 15.
- Silva, P., Bardaji, T., Roquero, E., Baena-Presley, J., Cearreta, A., Rodriguez-Pascua, M., Goy, J. (2017). *El periodo cuaternario: La Historia Geológica de la Prehistoria*. Editorial Nuevo Mundo. México.
- Sousek H. (2004). Deshidratación del Etanol. *Revista de Ingeniería e Investigación Colombia*. Vol.14, N°13. Abril, pp 26 - 40.
- Statistical Review of World Energy. (2021). *Consumo de Energía Primaria en el Mundo*. Estados Unidos.

- Rumbo J.Y., López G., Alvarado V.M., Valdez J.S., Sorcia F.D. y Brizuela J.A. (2018). Simulación y Control de un Proceso de Adsorción por Oscilación de Presión para Deshidratar Etanol. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 5, N° 12. Febrero, pp 11 - 19.
- Unión Agroindustrial de Cañeros Santa Cruz de la Sierra Bolivia. (2020). *Informe Anual de Producción de la Unión Agroindustrial de Cañeros de Santa Cruz de la Sierra Bolivia*. Santa Cruz, Bolivia.
- Uyazán, A., Gil, I., Aguilar, J., Rodríguez, G., & Caicedo, L. (2004). Deshidratación del Etanol. *Revista de Ingeniería e Investigación Colombia*. Vol.19, N°21. Agosto, pp 49 - 59.
- Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. (2020). *Informe de ventas de combustible líquidos al mercado interno* . La Paz, Bolivia.

ANEXOS

Anexo 1. Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima.



Fuente: IABSA 2020

Anexo 2. Materia Prima ingresando al Ingenio.



Fuente: IABSA 2020

Anexo 3. Maquinaria y Camiones de Caña de Azúcar en Patio de Molienda

Fuente: IABSA 2020

Anexo 4. Caña de Azúcar, Patio de Molienda

Fuente: IABSA 2020

Anexo 5. Molienda de Caña de Azúcar



Fuente: IABSA 2020

Anexo 6. Acopio de Melaza. Destilería

Fuente: IABSA 2020

Anexo 7. Zona de Destilería, Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima

Fuente: IABSA 2020