

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

V°B°

Ing. Ernesto Álvarez
DECANO

Lic. Elizabeth Castro
VICEDECANA

APROBADA POR

TRIBUNAL:

Ing. José Ernesto Auad
TRIBUNAL

Ing. Héctor Quiroga
TRIBUNAL

Ing. Abraham Anahue
TRIBUNAL

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

ÍNDICE GENERAL

Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Pensamiento	iv

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Objetivos	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos.....	8
Justificación.....	9
Justificación Tecnológica.....	9
Justificación Económica.....	9
Justificación Social.....	10
Justificación Ambiental.....	10

CAPÍTULO I

ESTUDIO DE MERCADO

1.1 Estructura del Mercado	12
1.2 Descripción y Especificaciones de Materias Primas y Productos.....	13
1.2.1 Materia Prima Alcohol Etílico 96°	13
1.2.2 Producto: Etanol Anhidro	20

1.3 Análisis de la Oferta y Demanda de Materias Primas en la Región	22
1.3.1 Oferta de Materias Primas de la Región	22
1.3.2 Oferta de Alcohol Etílico en la Región	50
1.3.3 Demanda de Alcohol Etílico en la Región	50

CAPÍTULO II

TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

2.1 Tamaño de la Planta	56
2.2 Factores Determinantes	57
2.3 Justificación de la Localización de la Planta	57

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1 Características Técnicas de las Materias Primas y Productos	60
3.1.1 Características Técnicas de las Materias Primas: Alcohol Etílico 96 grados Gay Lussac	60
3.1.2 Características Técnicas del Producto: Etanol Anhidro	61
3.2 Descripción de los Procesos existentes para la Elaboración del Producto	63
3.2.1 Procesos de Deshidratación por Destilación	63
3.2.2 Procesos de Deshidratación por Diferencia de Tamaño Molecular	76
3.3 Tecnologías Utilizadas en Bolivia para la Deshidratación de Alcohol	91
3.3.1 Ingenio Aguaí S.A.	91
3.3.2 Unión Agro Industrial de Cañeros Sociedad Anónima – UNAGRO S.A.	92
3.3.3 Ingenio Guabirá S.A.	92

3.4 Selección del Proceso a Diseñar	92
3.5 Diagramas del Proceso.....	98
3.5.1 Diagramas de Bloque del Proceso.....	98
3.5.2 Diagramas de Flujo del Proceso.....	99
3.6 Balances de Materia y Energía.....	100
3.6.1 Balance de Materia.....	100
3.6.2 Balance de Energía.....	108
3.7 Diseño del Equipo Principal.....	117
3.8 Especificaciones Técnicas de los Equipos	125
3.9 Distribución General de la Planta	140

CAPÍTULO IV

ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO

4.1 Inversión del Proyecto.....	146
4.1.1 Estructura de la Inversión.....	146
4.1.2 Estimación de Costos	153
4.1.3 Costos Directos e Indirectos.....	153
4.1.4 Capital de Trabajo	158
4.1.5 Costos Fijos y Variables.....	161
4.1.6 Costo Unitario del Producto.....	165
4.1.7 Estimación de Ingresos	166
4.1.8 Determinación de Utilidades.....	168
4.2 Financiamiento.....	169

4.2.1 Necesidad de Capital.....	169
4.2.2 Fuentes de Financiamiento.....	170
4.2.3 Amortizaciones	172
4.2.4 Costos de Producción Total	174

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

5.1 Determinación del Punto de Equilibrio.....	175
5.2 Determinación del Valor Actual Neto V.A.N.....	180
5.3 Determinación de la Tasa Interna de Retorno T.I.R.	183
5.4 Determinación del Tiempo de Retorno de la Inversión	185
5.5 Determinación de la Relación Beneficio Costo	187
5.6 Análisis de Sensibilidad	188

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones	193
6.2 Recomendaciones.....	194
BIBLIOGRAFÍA.....	195
ANEXOS.....	200

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1. Ficha Técnica del Alcohol de Buen Gusto, 96 grados Gay Lussac	19
Tabla I-2. Especificaciones del Alcohol de Buen Gusto.....	20
Tabla I-3. Características Técnicas de Calidad para el Uso de Etanol Anhidro como Aditivo.....	21
Tabla I-4. Empresas Productoras de Alcohol Etílico en Bolivia	23
Tabla I-5. Tipos de Alcohol Etílico Producidos en Bolivia por Empresa y Grado Alcohólico	24
Tabla I- 6. Alcohol Producido en IABSA – Periodo 2009 – 2019	32
Tabla I-7. Volúmenes Promedio de Producción Anual de Alcohol en IAB	33
Tabla I-8. Producción de Alcohol en IAB – Gestión 2019	34
Tabla I-9. Oferta Nacional de Alcohol Etílico por Empresa.....	49
Tabla I-10. Resumen de Proyecciones de Consumo, 2021 – 2031	54
Tabla III-1. Especificaciones del Alcohol Etílico 96 Grados Gay Lussac	61
Tabla III-2. Características Técnicas de Calidad para el Uso de Etanol Anhidro como Aditivo.....	62
Tabla III-3. Consumo Energético para la Deshidratación de Etanol	94
Tabla III-4. Costos de Capital y Costos de Operación para las tecnologías de separación (\$US).....	95
Tabla III-5. Parámetros de Selección para la Tecnología de Deshidratación	97
Tabla III-6. Fracción Molar de Etanol y Agua en cada corriente	107
Tabla III-7. Masa en Kilogramos por Hora de Etanol y Agua en cada corriente	107
Tabla III-8. Especificaciones Técnicas de la Bomba Centrífuga Autocebante.....	125

Tabla III-9. Especificaciones Técnicas del Intercambiador de Tubos y Coraza	126
Tabla III-10. Materiales de Intercambiador de Tubos y Coraza	127
Tabla III-11. Especificaciones Técnicas del Evaporador con Sobrecalentador	128
Tabla III-12. Especificaciones Técnicas de los Fluidos de Intercambio del Evaporador con Sobrecalentador	130
Tabla III-13. Especificaciones Técnicas de Tamices Moleculares	131
Tabla III-14. Especificaciones Técnicas de la Bomba de Vacío.....	132
Tabla III-15. Especificaciones Técnicas de Desobrecalentador y Condensador	133
Tabla III-16. Características Ambientales de Bermejo y Características del Agua de Refrigeración.....	135
Tabla III-17. Especificaciones Técnicas del Enfriador	136
Tabla III-18. Especificaciones Técnicas de la Bomba Centrífuga	137
Tabla III-19. Especificaciones Técnicas de la Bomba Centrífuga	138
Tabla III-20. Especificaciones Técnicas de los Tanques de Almacenamiento	139
Tabla III-21. Distribución General de la Planta Deshidratadora de Etanol	142
Tabla IV-1. Estructura de la Inversión en Dólares Americanos	151
Tabla IV-2. Depreciación Anual en Dólares Americanos	152
Tabla IV-3. Costo Anual de la Materia Prima en Dólares Americanos.....	154
Tabla IV-4. Costo de la Zeolita.....	155
Tabla IV-5. Costo de la Mano de Obra en Dólares Americanos	155
Tabla IV-6. Costos Directos e Indirectos, Gastos Anuales de Operación	157
Tabla IV-7. Capital de Trabajo	160
Tabla IV-8. Costos Variables y Fijos.....	164
Tabla IV-9. Costo Unitario del Producto en Dólares Americanos.....	165

Tabla IV-10. Programa de Producción.....	167
Tabla IV-11. Utilidades del Proyecto en Dólares Americanos	168
Tabla IV-12. Inversión Total y Financiamiento.....	169
Tabla IV-13. Información sobre el Interés que se paga por un Préstamo en Bolivia, en Moneda Nacional	170
Tabla IV-14. Información sobre el Interés que se paga por un Préstamo en Bolivia, en Dólares Americanos	171
Tabla IV-15. Crédito, Amortización e Intereses	173
Tabla IV-16. Costos de Producción Total en Dólares Americanos	174
Tabla V-1. Punto de Equilibrio Contable.....	176
Tabla V-2. Punto de Equilibrio Unidades Monetarias, Dólares Americanos	177
Tabla V-3. Punto de Equilibrio Unidades Físicas, Litros	179
Tabla V-4. Valor Actual Neto.....	182
Tabla V-5. Tiempo de Retorno de la Inversión.....	186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución Regional de Producción de Etanol en 2024	3
Figura 2. Consumo de Energía Primaria en el mundo	4
Figura I-1. Fuentes Industriales de Alcoholes.....	16
Figura I-2. Mapa geográfico de Bolivia.....	26
Figura I-3. Ubicación geográfica de Industrias Agrícolas Bermejo S.A.	30
Figura I-4. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero Guabirá S.A.....	36
Figura I-5. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero Unión Agroindustrial de Cañeros S.A.....	38
Figura I-6. Ubicación geográfica de la Compañía Agroindustrial San Aurelio S.A.	40
Figura I-7. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero Aguaí S.A.....	42
Figura I-8. Ubicación geográfica de la Sociedad Colectiva Industrial y Comercial Santa Cecilia.....	44
Figura I-9. Ubicación geográfica del Ingenio Azucarero La Bélgica S.A	46
Figura I-10. Ubicación geográfica de la Empresa Azucarera San Buenaventura	48
Figura I-11. Parque Automotor del Departamento de Tarija, 2021 – 2031	51
Figura I-12. Número de Vehículos Consumidores de Biocombustible en el Departamento de Tarija - 2021 – 2031	52
Figura II-1. Localización de la Planta Deshidratadora de Etanol	59
Figura III-1. Efecto de la presión sobre la composición azeotrópica de la mezcla etanol-agua	64
Figura III-2. Proceso de la destilación al vacío.....	65
Figura III-3. Destilación azeotrópica con benceno	68
Figura III-4. Destilación extractiva con solventes	71

Figura III-5. Destilación con sal.....	74
Figura III-6. Diagrama esquemático de la deshidratación de etanol por adsorción con tamices moleculares	86
Figura III-7. Diagrama esquemático del proceso de deshidratación de etanol por pervaporación.....	90
Figura III-8. Diagrama de bloques del proceso.....	98
Figura III-9. Diagrama de flujo del proceso.....	99
Figura III-10. Esquema del Balance Global de Materia	106
Figura III-11. Diseño del equipo principal, tamices moleculares	124
Figura III-12. Distribución general de la fábrica de azúcar y alcohol – IAB.....	140
Figura III-13. Distribución general de Industrias Agrícolas Bermejo	141
Figura III-14. Distribución general de la planta deshidratadora de etanol.....	144
Figura III-15. Distribución del equipamiento principal	145
Figura V-1. Aumento del precio de la materia prima vs. VAN	189
Figura V-2. Aumento del precio de la materia prima vs. TIR	190
Figura V-3. Descenso del Precio del Producto vs. VAN	191
Figura V-4. Descenso del Precio del Producto vs. Tasa Interna de Retorno	192

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro V-1. Relación Beneficio – Costo.....	188
---	-----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima	200
Anexo 2. Materia Prima ingresando al Ingenio	200
Anexo 3. Maquinaria y Camiones de Caña de Azúcar en Patio de Molienda	201
Anexo 4. Caña de Azúcar, Patio de Molienda	202
Anexo 5. Molienda de Caña de Azúcar	203
Anexo 6. Acopio de Melaza. Destilería	204
Anexo 7. Zona de Destilería, Industrias Agrícolas Bermejo Sociedad Anónima	204

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