

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA PETROLERA**



PROYECTO DE GRADO

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA
PLANTA DE ACETATO DE ETILO A PARTIR DE ETILENO”**

POSTULANTE: UNIV. ALIZON COSSIO MAMANI

TUTOR: ING. FERNANDO CUEVAS BANDA

LA PAZ - BOLIVIA

2021



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| GLOSARIO TECNICO | xii |
| RESUMEN EJECUTIVO | xiii |
| CAPITULO I | 1 |
| GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. Introducción | 1 |
| 1.2. Antecedentes..... | 2 |
| 1.3. Planteamiento del Problema..... | 2 |
| 1.3.1. Identificación del Problema | 2 |
| 1.3.2. Formulación del Problema | 3 |
| 1.4. Objetivos..... | 3 |
| 1.4.1. Objetivo General | 3 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 3 |
| 1.5. Justificación del Proyecto | 4 |
| 1.5.1. Justificación Técnica | 4 |
| 1.5.2. Justificación social..... | 4 |
| 1.5.3. Justificación Económica | 4 |
| 1.5.4. Justificación Ambiental..... | 5 |
| 1.6. Alcance | 5 |

| | |
|---|----|
| 1.6.1. Alcance Temático..... | 5 |
| 1.6.2. Alcance geográfico..... | 5 |
| CAPITULO II..... | 6 |
| MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 2.1. Introducción | 6 |
| 2.2. La petroquímica | 6 |
| 2.3. Proceso para la refinación del petróleo..... | 7 |
| 2.3.1. Destilación..... | 7 |
| 2.3.2. Extracción por solventes | 8 |
| 2.3.3. Proceso de conversión..... | 8 |
| 2.3.4. Craqueo catalítico | 8 |
| 2.3.5. Craqueo térmico..... | 9 |
| 2.4. Características de la Planta de Separacion Gran Chaco | 9 |
| 2.5. Características del complejo Petroquimico de Etileno y Polietileno | 10 |
| 2.6. Principales procesos para la producción de Acetato de Etilo..... | 10 |
| 2.6.1. La esterificación de Fisher - Tecnología Hoechst..... | 11 |
| 2.6.2. Reacción de Tishchenko- Tecnología Hoechst..... | 12 |
| 2.6.3. Des hidrogenación del Etanol- Tecnología Davy | 13 |
| 2.6.4. Alquilación de Etileno y ácido acético – Tecnología Avada..... | 14 |
| 2.7. Descripción de la tecnología seleccionada | 15 |
| 2.8. Descripción y especificaciones de materias primas y producto | 15 |
| 2.8.1. Etileno | 15 |
| 2.8.1.1. Usos y aplicaciones del etileno | 16 |

| | |
|---|----|
| 2.8.2. Ácido acético | 15 |
| 2.8.2.1. Usos y aplicaciones del Acido Acético..... | 16 |
| 2.8.3. Acetato de Etilo | 17 |
| 2.8.3.1. Propiedades físicas | 18 |
| 2.8.3.2. Propiedades termodinámicas | 18 |
| 2.8.3.3. Propiedades químicas | 18 |
| 2.8.3.4. Manejo..... | 19 |
| 2.8.3.5. Riesgos..... | 19 |
| 2.8.4. Aplicaciones del Acetato de Etilo | 20 |
| CAPITULO III..... | 22 |
| ESTUDIO DE MERCADO..... | 22 |
| 3.1. Introducción | 22 |
| 3.2. Capacidad mundial del acetato de etilo | 23 |
| 3.3. Estructura del mercado..... | 25 |
| 3.3.1. Estructura del mercado nacional | 25 |
| 3.3.2. Estructura del mercado regional..... | 27 |
| 3.4. Descripción geográfica del mercado y políticas de comercialización... 30 | |
| 3.4.1. Mercado nacional..... | 30 |
| 3.4.2. Precio de la materia prima y producto..... | 30 |
| 3.4.3. Mercado internacional | 31 |
| 3.5. Proyecciones | 31 |
| 3.5.1. Proyecciones de demands potencial en Bolivia del 2017 al 2036..... | 31 |
| 3.5.2. Proyección de demanda potencial en América Latina..... | 35 |

| | |
|--|----|
| 3.6. Demanda potencial y tamaño de la planta..... | 40 |
| CAPITULO IV | 41 |
| TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA | 41 |
| 4.1. Justificación de tamaño | 41 |
| 4.2. Justificación de la localización de la planta..... | 41 |
| 4.3. Macro localización | 42 |
| 4.4. Micro localización | 42 |
| 4.5. Factores que determinan la ubicación de la planta en Yacuiba | 43 |
| 4.5.1. Materia prima..... | 44 |
| 4.5.2. Cercanía a los mercados | 44 |
| 4.6. Disponibilidad de mano de obra | 44 |
| 4.7. Transporte | 45 |
| 4.8. Disponibilidad de terreno | 45 |
| 4.9. Suministro de energía y agua | 46 |
| 4.10. Proceso avada de etileno y ácido acético | 46 |
| 4.11. Balance de materia y energía | 51 |
| 4.11.1. Balance de materia y energía en los equipos | 52 |
| 4.11.1.1. Balance del mixer | 52 |
| 4.11.1.2. Balance del calentador (e-100)..... | 55 |
| 4.11.1.3. Balance en el reactor de conversion (crv-100)..... | 57 |
| 4.11.1.4. Diseño del reactor (crv-100)..... | 61 |
| 4.11.1.5. Balance del separador (v-100)..... | 64 |
| 4.11.1.6. Balance en la columna 1, corto y riguroso (T-100, T-103) | 66 |

| | |
|--|----|
| 4.11.1.7. Balance en la columna 2, corto y riguroso (T-101, T-104) | 70 |
| 4.11.1.8. Balance en la columna 3, corto y riguroso (T-102, T-105) | 74 |
| 4.11.2. Diagrama de flujo del proceso..... | 77 |
| 4.11.3. Balance de energía | 79 |
| 4.12. Distribución general de la planta..... | 82 |
| 4.12.1. Objetivos de la distribución de la planta | 82 |
| 4.12.2. Principios básicos en la distribución de la planta | 83 |
| 4.13. Servicios auxiliares | 85 |
| 4.14. Aspectos medioambientales | 85 |
| CAPITULO V | 87 |
| ANALISIS ECONOMICO | 87 |
| 5.1. Evaluación técnica..... | 88 |
| 5.2. Evaluación económica..... | 88 |
| 5.2.1. Análisis de inversiones..... | 88 |
| 5.2.2. Flujo de caja..... | 90 |
| 5.3. Cálculo de ratios financieros..... | 96 |
| 5.3.1. Valor actual neto (VAN)..... | 96 |
| 5.3.2. Tasa interno de retorno (TIR)..... | 97 |
| 5.4. Resumen de la evaluación económica | 97 |
| CAPITULO VI | 98 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 98 |
| 6.1. Conclusiones | 98 |
| 6.2. Recomendaciones | 99 |

| | |
|-------------------|-----|
| Bibliografia..... | 100 |
| ANEXOS..... | 105 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 3. 1. Distribución del consumo de Acetato de Etilo | 24 |
| Tabla 3. 2. Importación del acetato de etilo en Bolivia..... | 26 |
| Tabla 3. 3. Importación de Acetato de Etilo en Latinoamérica (ton/año)..... | 28 |
| Tabla 3. 4. Producción de Acetato de Etilo (ton/año)..... | 29 |
| Tabla 3. 5. Consumo de Acetato de Etilo en Latinoamérica (ton/año) | 29 |
| Tabla 3. 6. Precio de la materia prima | 30 |
| Tabla 3. 7. Proyecciones de la demanda en Bolivia | 32 |
| Tabla 3. 8. Proyecciones del mercado nacional | 34 |
| Tabla 3. 9. Proyección de la demanda en América Latina | 35 |
| Tabla 3. 10. Proyección de importación en Latinoamérica | 37 |
| Tabla 4. 11. Localización de la planta | 43 |
| Tabla 4. 12. Propiedades calculadas de las corrientes de entrada y salida.. | 53 |
| Tabla 4. 13. Composición molar de los componentes | 54 |
| Tabla 4. 14. Propiedades de corriente de entrada y salida del enfriador | 55 |
| Tabla 4. 15. Propiedades de las corrientes de entrada y salida | 58 |
| Tabla 4. 16. Parámetros de diseño..... | 63 |
| Tabla 4. 17. Propiedades de la corriente de entrada y salida | 65 |
| Tabla 4. 18. Propiedades en la columna 1 | 69 |
| Tabla 4. 19. Dimensionamiento columna de destilación | 65 |
| Tabla 4. 20. Balance en la columna 2..... | 71 |
| Tabla 4. 21. Propiedades de las corrientes de entrada y salida..... | 73 |
| Tabla 4. 22. Dimensionamiento columna de destilación 2 | 74 |
| Tabla 4. 23. Propiedades de las corrientes de entrada y salida | 76 |
| Tabla 4. 24. Dimensionamiento columna de destilación 3 | 77 |
| Tabla 4. 25. Balance global de materia y energía de acetato de etilo..... | 81 |
| Tabla 5. 26. Precios de componentes en el mercado (expresados en USD) | 87 |
| Tabla 5. 27. Costos de equipos (expresados en USD)..... | 89 |
| Tabla 5. 28. Costos de implementación de equipo (expresados en USD).... | 89 |

| | |
|--|----|
| Tabla 5. 29. Depreciación de equipos (expresados en USD) | 90 |
| Tabla 5. 30. Costo total (expresado en USD) | 90 |
| Tabla 5. 31. Demanda interna..... | 91 |
| Tabla 5. 32. Demanda externa..... | 91 |
| Tabla 5. 33. Ingresos por ventas..... | 94 |
| Tabla 5. 34. Flujo de caja..... | 95 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 4. 1. Diagrama de Bloques del proceso | 48 |
| Figura 4. 4. Diagrama de flujo de alquilacion del etileno y acido acetico | 49 |
| Figura 4. 5. Balance mixer | 53 |
| Figura 4. 6. Balance en el calentador (e-100)..... | 55 |
| Figura 4. 7. Balance en el reactor de conversion (cvt-100) | 64 |
| Figura 4. 8. Balance en la columna 1..... | 67 |
| Figura 4. 9. Balance en la columna 2..... | 71 |
| Figura 4. 10. Balance en la columna 3..... | 74 |
| Figura 4. 11. Simulación de producción (Modelo riguroso)..... | 78 |
| Figura 4. 12. Distribución de la planta de producción de Acetato de Etilo | 84 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 3. 1 Producción Mundial del ETAC por países 2012 | 23 |
| Gráfico 3. 2. Distribución porcentual del consumo de Acetato de Etilo..... | 25 |
| Gráfico 3. 3. Demanda de Acetato de Etilo en Bolivia | 27 |
| Gráfico 3. 4. Distribución porcentual de importación en latinoamericana | 28 |
| Gráfico 3. 5. Representación Gráfica de la línea recta | 34 |
| Gráfico 3. 6. Representación Gráfica de la línea recta | 37 |

GLOSARIO TÉCNICO

| | |
|----------------|--|
| Å | Armstrong (unidad de medida de longitud) |
| A.C. | Antes de Cristo |
| APIC | The Asia Petrochemical Industry Conference |
| AR | Auto regresivo |
| APPE | Association of Petrochemicals Producers in Europe |
| ATT | Autoridad de Regulación y fiscalización de telecomunicaciones y transporte |
| BP | British Petroleum |
| BPD | Barriles por día |
| cp | Centipoises (unidad de medida de viscosidad) |
| CARGILL | Es una <u>corporación multinacional</u> privada, con base en <u>Minnesota</u> , en los <u>Estados Unidos</u> |
| CGA | Compressed Gas cylinder |
| CPMA | Chemicals and Petrochemicals Manufacturer`s Association of India |
| DME | Dimetil-eter |
| DTP | Dominant Technology for the Propylene Production |
| EIA | Estudio de Impacto Ambiental |
| EEIA | Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental |
| ETAC | Ethyl Acetate |
| EA | Ethyl Acetate |
| EBIH | Empresa Boliviana de Industrialización de Hidrocarburos |
| FCC | Cracking Catalítico Fluidizado |
| GNV | Gas Natural Vehicular |
| GLP | Gas Licuado de Petróleo |
| GLJ | Petroleum Consultants de Canadá (Empresa que certifica reservas de gas y petróleo en el mundo) |
| gr. | Gramos (unidad de medida de peso) |

| | |
|-----------------|--|
| KBR | Kellogg, Brown and Root, (empresa que desarrolla tecnología para procesos químicos) |
| KPa | Kilo pascales (unidad para medir presión) |
| MA | Promedio Movil |
| MHE | Ministerio de Hidrocarburos y Energía |
| MMBTU | Millones de BTU(unidad de energía) |
| MMmcd | Millones de metros cúbicos por día |
| MMTon | Millones de toneladas |
| MTO | Methanol to Olefins |
| MTP | Methanol to Propylene |
| mm | Milímetros (unidad de medida de longitud) |
| MW | Mega Watts (unidad de medida de energía) |
| NBP | Nacional Balancing Point |
| NFPA | National Fire Protection Association |
| NB 512 | Norma Boliviana agua para consumo humano |
| OMICS | World Congress on Petrochemistry and Chemical Engineering |
| pH | Medida de acidez o alcalinidad de una disolución |
| Psia | Libra por pulgada cuadrada (unidad de medida de presión) |
| RASH | Reglamento Ambiental al sector hidrocarburifera |
| SC | Steam Cracking |
| TCF | Trillón de pies cúbicos |
| \$us/ton | Dólares por cada Tonelada |
| TMD | Toneladas Métricas Diarias |
| TMA | Tonelada Métrica por Año |
| ton | Toneladas |
| YPFB | Yacimientos Petrolíferos Bolivianos |

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de grado para el diseño de una planta de acetato de etilo a partir de etileno a través del proceso AVADA aplicado en la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija.

En el marco teórico se realizó la investigación teórica que permita dar sustento al proyecto de grado, tomando en cuenta los campos a ser evaluados en el grueso de la investigación.

Fue necesario realizar un estudio de mercado que proporcione a través de su estudio la demanda interna y externa de acetato de etilo.

Se realizó un estudio de macro y micro localización necesarios para delimitar la mejor ubicación para implementar una planta de acetato de etilo, tomando en cuenta la materia prima disponible, disponibilidad de mano de obra, transporte, disponibilidad de terreno, y servicios básicos.

En el marco práctico se realizó los cálculos necesarios para el diseño de una planta, tomando en cuenta el balance de materia y energía. Por otro lado se realizó la identificación del proceso más óptimo delimitando las ventajas y desventajas, así mismo se realizó una distribución de planta y servicios auxiliares necesarios.

Para la realización del proyecto fue necesario utilizar el método científico, así como también un estudio de mercado para estimar el consumo interno y externo de acetato de etilo, posteriormente el diseño y equipos necesarios para su obtención, posteriormente un estudio técnico económico donde se observa un VAN de 36.214.594,85 y una TIR de 67%, siendo ambos positivos para el proyecto demostrándose la factibilidad del mismo.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

El Acetato de Etilo que pertenece al grupo de los ésteres; descubiertos por primera vez en el año 1848 por el químico alemán Leopold Gmelin, estos son una clase importante de productos químicos, que tiene aplicaciones en una variedad de áreas tales como disolventes, plastificantes, productos farmacéuticos y productos intermedios.

El acetato de etilo comúnmente abreviado ETAC o EA, de fórmula química $\text{CH}_3\text{-COO-CH}_2\text{-CH}_3$ es un compuesto conocido con los siguientes nombres: Ester etílico de ácido acético, éter acético, etanoato de etilo, acetoxietano, Ester etil acético. Existen diferentes enfoques para preparar el acetato de etilo, como es: 1) el proceso de esterificación que es a partir del etanol y ácido acético, 2) el proceso Tishchenko que se realiza por la dimerización del acetaldehído, 3) el proceso de deshidrogenación del etanol y 4) el proceso de alquilación del etileno y ácido acético.

El interés de producir se incrementó con los años, cuando se descubrió su gran utilidad en la producción de tintas para la industria gráfica, en la industria del papel, en la industria textil, fabricación de perfumes, solventes de nitrocelulosa, barnices y lacas, esencias artificiales de frutas, elaboración de cueros artificiales y por otro lado, se utilizan en la fabricación de envases flexibles y en la fabricación de películas de poliéster. Durante los periodos 2004 a 2011 la producción mundial del acetato de etilo creció por encima del 80% y más de 3 millones de toneladas en 2011. En 2012, toca la marca de 3,12 millones de toneladas. En el 2015 la producción superó la marca de 3,5 millones de toneladas. En el año 2037, la producción mundial de ETAC es probable que llegara a los 4 millones de toneladas. Como el consumo del ETAC fue incrementando considerablemente al nivel mundial con los años, y Bolivia no es

la excepción, ya que se importan de otros países para cubrir la demanda interna, por este motivo sería de mucha utilidad una planta de producción del ETAC en el país

1.2. Antecedentes

Bolivia desde el año 2010 inicio con los procesos de industrialización, dio un gran paso a la industria petroquímica, con algunos proyectos realizados como ser: las plantas separadoras de líquido, la planta de amoniaco y urea, y otros proyectos que están planificadas para el futuro por la EBIH, mencionando dos de ellos: la planta de metanol que es materia prima la producción de ácido acético, se estima una capacidad de proceso 500.000 TMA y la implementación de la planta de etileno, para la producción del acetato de etilo.

La planta separadora Gran Chaco tiene una capacidad de proceso: 32.19 MMmcd de gas natural y producirá: Etano: 3.144 TMD, que es materia prima para el etileno se estima una capacidad de 600.000 TMA y consumirá aproximadamente 756.000 TMA de etano.

La demanda del etileno y ácido acético depende de los consumos, es decir; en gran medida del mercado de sus derivados, ya que son materias primas básicas para una gran variedad de productos industriales.

1.3. Planteamiento del Problema

1.3.1. Identificación del Problema

Teniendo en cuenta que la planta separadora Gran Chaco producirá 3.144 TMD de Etano la cual es materia prima para el etileno se estima una capacidad de 600.000 TMA.

Los datos reflejan que Bolivia al entrar a la era de la industrialización tiende a tener mayores oportunidades de competir en el mercado en cuanto a

exportación de acetato de etilo, sin descuidar el mercado interno, teniendo en cuenta que el uso de este compuesto se incrementó con los años.

Considerando lo anteriormente expuesto se ve necesario aprovechar la materia prima generada en la planta Gran Chaco, de este modo construir una planta que coadyuve al desarrollo industrial, económico y generando empleos.

1.3.2. Formulación del Problema

En base a los antecedentes anteriormente citados, se formula la siguiente interrogante:

¿Es Factible el diseño de una planta de Acetato de Etilo a partir de etileno para Bolivia considerando la demanda interna y externa a través del proceso AVADA que conlleva mayor producción a menor costo?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Proponer un estudio de factibilidad para el diseño de una planta de acetato de etilo a partir de etileno a través del proceso AVADA y que permita el polo de desarrollo del país generando progreso industrial y económico.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Describir las características de la materia prima y del producto.
- Analizar de mercado del Acetato de Etilo
- Determinar tamaño y la localización más adecuada para la producción del Acetato de Etilo
- Seleccionar e identificar el proceso más óptimo para la obtención de Acetato de Etilo.
- Realizar los cálculos necesarios para el diseño de planta.

- Definir un estudio técnico económico para dar factibilidad al proyecto.

1.5. Justificación del Proyecto

1.5.1. Justificación Técnica

En los últimos años Bolivia ha ingresado a una etapa de industrialización y un avance tecnológico dándole un valor agregado de gran importancia al gas natural, en el plan de desarrollo del gobierno boliviano está la implementación de una planta de etileno y ácido acético, de tal forma, es necesario realizar el estudio técnico para la producción de acetato de etilo, que es producido a partir de etileno y se estima una producción de 600.000 TMA, así mismo el ácido acético se estima una producción de 500.000 TMA., lo que nos lleva a realizar este estudio para futuras estimaciones de cálculo.

También es necesario señalar la factibilidad ambiental por que al estar ubicado en un solo complejo no se afectaría a otras zonas posibles de instalaciones u otro tipo de daños ambientales que se pueden generar.

1.5.2. Justificación social

Dentro de la justificación también se toma en cuenta la zona productora de gas del departamento de Tarija en proyectos a industrializar sus recursos naturales para no vender como materia prima no procesada con menor valor agregado, de este modo dar un mayor beneficio adicional a los productos derivados del gas natural y generar empleos directos e indirectos para la región.

1.5.3. Justificación Económica

Al industrializar el gas natural por medio de proyectos petroquímicos se cambiará una matriz económica tradicional de exportación de materias primas a una de generación de valor agregado que otorgue mayores ingresos para el desarrollo del país incrementando la economía futura de Bolivia.

1.5.4. Justificación Ambiental

También es necesario estudiar la factibilidad ambiental que aporta el presente proyecto de la producción del producto terminado, al estar ubicado en cercanías a la población puede provocar riesgos de salud humana, ya que es un disolvente fácilmente inflamable y durante su manipulación puede generar cargas electrostáticas.

Frente al medio ambiente es fácilmente biodegradable con bajo potencial de bioacumulación.

1.6. Alcance

1.6.1. Alcance Temático

La presente investigación se enfocará en fundamentos técnicos necesarios para el diseño de la planta de acetato de etilo a través del proceso AVADA.

Se debe realizar la descripción de las materias primas necesarias, considerar también el tamaño y localización de la planta, selección del proceso más óptimo y por último a través de un estudio técnico determinar la factibilidad del proyecto propuesto.

1.6.2. Alcance geográfico

La presente investigación, se desarrollará en la Provincia Gran Chaco, que tiene una superficie de 147.428 km², ubicada al sur de Bolivia, en el departamento de Tarija.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

La industrialización del gas natural que dio inicio a la petroquímica en Bolivia que corresponde a la planta de Bulo Bulo en la región central de Cochabamba con producción de urea y amoníaco, destaco la puesta en marcha de la industria, dando un salto cualitativo para mejorar la calidad de vida de todos los bolivianos.

La nacionalización de los hidrocarburos ha permitido obtener importantes ingresos económicos a nuestro país. Con la inauguración de la planta de líquidos de Rio Grande en fechas 10 de mayo de 2013, se estableció el eslabón previo y obligatorio para el inicio de la industrialización del gas natural, puesto que esta planta permite obtener gas licuado de petróleo (GLP) e iso-pentano para su comercialización.

2.2. La petroquímica

La industria petroquímica tiene como objetivo la transformación del petróleo en la mayor cantidad de derivados posibles, con menor o mayor calidad dependiendo los procesos aplicados. Este proceso es el denominado refinamiento del petróleo el cual acontece en las refinerías, pudiendo otorgar como resultado la producción de GLP, Gasolina, Queroseno, Diesel o Full Oil entre otros.

Los tres pasos básicos de la petroquímica son la extracción del petróleo, el refinamiento del mismo, y la transformación de éste en un producto, comentado de esta manera aparenta ser un proceso simple, pero ciertamente la cantidad

de pasos establecidos entre la extracción del petróleo y el producto resultante contiene alrededor de 45 etapas previas.

El petróleo está constituido de una composición basada en hidrocarburos los cuales se pueden encontrar en tres estados.

En su fase gaseosa es denominado Gas natural, en su etapa líquida lo encontramos bajo el nombre de Crudo y por último en su etapa sólida.

Generalmente es encontrado en su estado líquido

El proceso de separación es el que determina el aislamiento de los hidrocarburos en las familias que lo componen, este proceso se denomina fraccionamiento.

Ya en el proceso de conversión existen varias transformaciones químicas, durante estas reacciones son generados diferentes grupos de hidrocarburos.

En el proceso de tratamiento son eliminadas todas las impurezas que contiene el petróleo en estado crudo, a través de transformaciones químicas.

La petroquímica es un área de la química abocada al estudio de los derivados del petróleo y su utilización en la industria, es una área vital ya que la demanda de combustibles crece día a día.

El petróleo debe pasar por determinados procesos para que su aprovechamiento energético sea posible: separación, conversión y tratamiento

2.3. Proceso para la refinación del petróleo

2.3.1. Destilación

Consiste en el suministro de calor al petróleo en estado crudo lo que consigue fraccionar el producto debido a que distintos elementos que lo componen cuentan con diferentes puntos de ebullición y condensación, por lo tanto el

proceso es eficaz para dividir el petróleo en los diferentes elementos que lo componen.

También existen métodos eléctricos que consiguen separar el crudo en sus diferentes componentes.

La Torre de destilación atmosférica, corresponde al proceso antes mencionado, el crudo es separado gracias a la injerencia del calor y los diferentes puntos de ebullición y condensación que los elementos que componen el crudo disponen.

El residuo de la Torre de destilación, se comente a un nuevo proceso de destilación esta vez mediante métodos de alto vació.

Con esto se logra separar los elementos menos volátiles, que dependiendo el tipo de crudo utilizado son destinados a su reutilización o desintegrados catalíticamente.

2.3.2. Extracción por solventes

Este tipo de procesos consiste en la desasfaltación por propano, cuyo objetivo es la extracción y recuperación de fracciones aceitosas ricas en asfáltenos, el resultante de esta extracción es utilizado para la fabricación de aceites combustibles o asfalto para carreteras y calles.

2.3.3. Proceso de conversión

Consiste en la generación de nuevos productos gracias a procesos químicos de craqueo o cracking molecular.

2.3.4. Craqueo catalítico

Consiste en romper las moléculas mediante catalizadores, el objetivo es transformar las fracciones más pesadas en otras más livianas.

Los productos obtenidos mediante este craqueo que consigue modificar el orden molecular reorganizando su estructura y consiguiendo como resultado de dicho proceso productos tales como, Gas combustible, queroseno, GLP y cargas petroquímicas.

2.3.5. Craqueo térmico

El craqueo térmico al igual que su homónimo catalítico, consiste en el reordenamiento molecular, rompiendo las cadenas existentes y consiguiendo nuevos productos

El sistema consiste en romper las moléculas mediante calor, el proceso inicialmente desarrollado en 1913, se basaba en la destilación del petróleo por calor mediante, grandes tambores y bajo una gran presión.

Actualmente disponemos de modernos procesos de craqueo térmico, entre los que se cuentan la ruptura de la viscosidad, el craqueo en fase de vapor y la coquización.

Los procesos de conversión del petróleo se basan en el reordenamiento molecular conformando así elementos nuevos con moléculas más pequeñas y de mayor volatilidad, de todas maneras algunos productos resultantes requieren procesos ulteriores para mejorar su rendimiento, como el índice de octanos o el contenido de azufre.

2.4. Características de la Planta de Separación Gran Chaco

La planta de Separación de Líquidos del Gran Chaco, en Tarija, que entro en funcionamiento en el año 2015, es la base de la industria petroquímica de plásticos, deriva en la producción de la materia prima de etano y propano, para alimentar al Complejo Petroquímico de Etileno-Polietileno (plásticos blandos) y Propileno-Polipropileno (plásticos duros).

La planta de Gran Cacho procesa 32.2 MMmcd de gas natural, produce como producto terminado 2,247 TMD de GLP y 3.144 TMD de etano.

Además se suma la producción de 1.044 BPD de Iso-pentano y 1.658 BPD de Gasolina Natural, generando insumos como Etano para los plásticos blandos y propano para plásticos duros con destino al Complejo Petroquímico.

Garantizando el abastecimiento interno, pero también incrementando en gran medida la exportación del Gas Licuado de Petróleo (GLP), siendo la tercera con mayor capacidad de producción de Sudamérica.

2.5. Características del Complejo Petroquímico de Etileno y Polietileno

El Complejo Petroquímico ha sido implementado para una producción anual de 600.000 TMA de etileno y polietilenos de diferentes características y aplicaciones y un consumo de 756.000TMA de Etano como materia prima suministrada de la Planta Gran Chaco.

La producción de Etileno y Polietileno atenderá la demanda del mercado interno y externo, potenciando la industria nacional y exportar un producto con mayor valor agregado a países de la región.

De esta manera, la producción del Etileno abrirá la posibilidad del estudio de la planta de Acetato de Etilo con mayor tecnología y beneficio adicional para el país.

2.6. Principales procesos para la producción del Acetato de Etilo

Existen cuatro procesos principales para producir Acetato de Etilo:

- La esterificación de Fisher – Tecnología Hoechst.
- Reacción de Tishchenko- Tecnología Hoechst.
- Des hidrogenación del Etanol- Tecnología Davy.

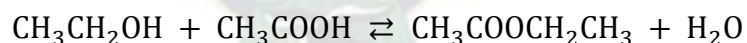
- Alquilación de Etileno y ácido acético – Tecnología Avada.

2.6.1. La esterificación de Fisher – Tecnología Hoechst

El etanol y ácido acético junto con acetato de etilo en bruto se alimenta en el reactor en presencia de ácido sulfúrico concentrado para producir éster y agua.

El acetato de etilo se produce por esterificación de ácido acético con etanol usando ácido sulfúrico como catalizador. El etanol y el ácido acético se alimentan continuamente al reactor calentado por vapor. El acetato de etilo formado se retira de la parte superior de la columna del reactor junto con un poco de etanol y agua. La fase oleosa se separó y se lavó y luego se envía a la columna de éster donde el producto es retirado de la parte inferior. Fases de agua de decantadores se envían a la columna de recuperación en donde se recupera y se envía de nuevo al reactor de etanol. La fase acuosa inferior se envía como efluente.

- Tiene como reacción global:

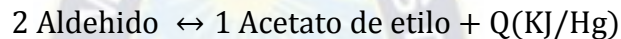


- Materia prima : Etanol y Acido Acético
- Catalizadores: Acido Sulfúrico, acido p-toluensulfonico o resinas de intercambio iónico.
- Ventajas:
 - La técnica es avanzada.
 - La materia prima es muy poco.
 - Costo de producción relativamente poco.
- Desventajas:
 - Alta corrosividad que causan altos costos de mantenimiento de equipos.

2.6.2. Reacción de Tishchenko- Tecnología Hoechst

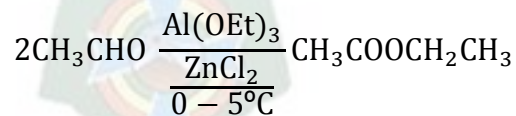
La reacción Tishchenko con acetaldehído es el proceso favorecido en otros países, donde está presente en cantidades suficientes como en Japón y Alemania, o cuando el precio del etanol es artificialmente alto.

El acetato de etilo se fabrica a partir de la reacción de condensación del acetaldehído en presencia de un catalizador de alcoxido de aluminio



En esta ruta, el acetato de etilo es producido por la dimerización de acetaldehído en esta presencia del catalizador alcóxido de aluminio, alcóxido de sodio o bases sólidas como óxidos alcalinotérreos. La conversación se puede lograr a un rendimiento del 61 % del éster mediante la adición de etóxido de aluminio a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta tecnología se llevó a cabo principalmente en Europa durante la primera mitad de este siglo y la visión general del proceso para la producción de acetato de etilo fue descrito por Hoechst.

- Tiene como reacción global :



- Materia prima: Acetaldehído
- Catalizadores: Alcoxido de Aluminio, alcoxido de Sodio.
- Ventajas:
 - La reacción es sin pérdida de moléculas pequeñas.
 - La técnica es sencilla.
 - Baja corrosividad.
 - Baja inversión y energía.

- Desventajas:
 - Es competitivo cuando es bajo el costo de la materia prima.
 - No es favorable con el medio ambiente, ya que produce hidróxido de aluminio.

2.6.3. Des hidrogenación del Etanol- Tecnología Davy

El acetato de etilo también se puede obtener por des hidrogenación del etanol, de una manera competitiva con respecto a los procesos mencionados. En particular, este proceso se ha convertido muy atractivo, ya que el etanol es el único material de alimentación necesaria para el proceso, así como el crecimiento de la producción de bioetanol. Este método es más efectivo que el de esterificación, que resulta en exceso de materia prima del etanol en planta. La conversión de 655 con una selectividad de acetato de etilo de 99% que puede ser obtenido a una temperatura de 240°C y 20 bar. La conversión de claves de etanol al producto de acetato de etilo en una fase de vapor de des hidrogenación de reacción, seguido por el pulido y el refinado para producir un producto de alta pureza.

- Tiene como reacción global:

$$2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3 + 2\text{H}_2$$
- Materia prima: Etanol.
- Catalizadores: Oxido de Cobre, Oxido de Zinc.
- Ventajas:
 - Ato rendimiento de producto.
 - Baja corrosividad.
 - Produce aguas residuales de baja acidez.
- Desventajas:

- El costo del catalizador es muy alto.

2.6.4. Alquilación de Etileno y ácido acético – Tecnología Avada

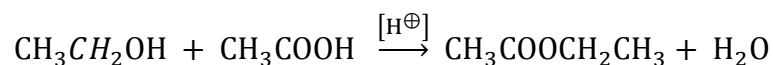
El proceso AVADA convierte etileno y ácido acético directamente a acetato de etilo, eliminando la etapa de esterificación intermedio y la necesidad de etanol. El proceso ofrece 99% de pureza acetato de etilo, Además, el diseño más simple requiere un menor número de operadores y ahorra un 20% en costos de energía en comparación con las rutas convencionales.

De los posibles caminos de síntesis del acetato de etilo, sólo se han empleado hasta ahora dos procedimientos industriales. La materia de partida, según el país, es el etanol o el acetaldehído.

Si la transformación tiene lugar en una columna de funcionamiento continuo, se obtiene un rendimiento del 99%. El acetato de etilo también se forma, junto a otros numerosos productos, en la oxidación de n-butano y se le puede aislar económicamente, como, por ejemplo, por la UCC en EE.UU.

En EE.UU, donde el alcohol es muy barato, se estatifica con ácido acético en presencia de un catalizador ácido.

- o Tiene como reacción global:



- o Materia prima: Etileno y Acido Acético.
- o Catalizadores: Ácidos sólidos
- o Ventajas:
 - La tasa de rendimiento de producto es alto y alternativo.

- Capaz de producir alta calidad de Acetato de Etilo.
- La innovación de procesos puede crear valor económico y beneficios ambientales.
- Desventajas:
 - La unidad de Acetato de Etilo se debe construir con la unidad de Etileno y esto resulta un alto costo para los países que no cuenta con la producción del Etileno.

2.7. Descripción de la tecnología seleccionada

Para la realización del presente proyecto se decide llevar a cabo el proceso AVADA.

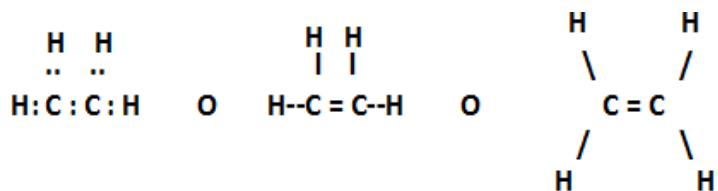
Las diversas razones que justifican esta elección se citan a continuación:

- AVADA ha sido ampliamente utilizado, de manera que se pueden verificar sus buenos resultados.
- Si se compara con otros procesos modernos de producción de acetato de etilo se puede observar que presenta menores costes de producción.
- Reduce los costos de energía casi en un 20%
- Presenta una buena conversión de acetato de etilo.

2.8. Descripción y especificaciones de materias primas y producto

2.8.1. Etileno

El etileno o eteno es un compuesto químico orgánico formado por dos átomos de carbono enlazados mediante un doble enlace.



Es uno de los productos químicos más importantes de la industria química, siendo el compuesto orgánico más utilizado en todo el mundo.

El etileno es conocido como un componente bajo para muchas industrias petroquímicas debido a su costo bajo y alta pureza. Además, el etileno reacciona con otros componentes de bajo costo como oxígeno, agua y produce los químicos útiles.

En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso, con un característico aroma no desagradable. Puede considerarse como uno de los compuestos químicos de mayor importancia para la industria.

- Es ligeramente soluble en agua.
- Arde con una llama brillante.
- Se produce comercialmente mediante "cracking" de petróleo y a partir del gas natural.
- En agricultura se utiliza como colorante y agente madurador de muchos frutos.

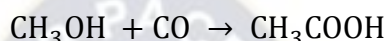
Es un gas incoloro e inflamable, con olor débil y agradable. Se usa mucho como materia prima en la industria química orgánica sintética. El etano es la materia prima para obtener etileno, este es producido por pirolisis del etano.

2.8.1.1. Usos y aplicaciones del etileno

El etileno ocupa el segmento más importante de la industria petroquímica y es convertido en una gran cantidad de productos finales e intermedios como plásticos, resinas, fibras y elastómeros (todos ellos polímeros) y solventes, recubrimientos, plastificantes y anticongelantes

2.8.2. Ácido acético

El ácido acético, se puede encontrar en forma de ion acetato. Éste es un ácido que se encuentra en el vinagre, siendo el principal responsable de su sabor y olor agrios. Su fórmula es $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$). El ácido acético es una de las sustancias alifáticas más importantes como producto intermedio. La combinación catalítica de metanol y monóxido de carbono es hoy día el procedimiento más utilizado en la producción de ácido acético:



2.8.2.1. Usos y aplicaciones del Acido Acético

Este producto se utiliza para esterificaciones y reacciones de diversos productos. También se utiliza en aplicaciones muy importantes en la industria alimenticia, textil y química, así como para la producción de diversos acetatos, tanto orgánicos como inorgánicos, Como agente neutralizante y para la formación de péricidos en industria química, Ingrediente de compuestos adhesivos.

2.8.3. Acetato de etilo

El etanoato de etilo según la IUPAC, también llamado acetato de etilo, es un éster de fórmula $\text{CH}_3 - \text{COO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$. Antiguamente nombrado éter de vinagre.

El acetato de etilo es un líquido incoloro con un aromático olor a fruta, es menos denso que el agua y ligeramente miscible con ella, pero sus vapores son más densos que el aire.

Además, es miscible con hidrocarburos, cetonas, alcoholes y éteres y poco soluble en agua. Se emplea en arte como disolvente universal, por otro lado, es estable a temperatura ambiente, en recipientes cerrados y bajo condiciones

normales, no se produce polimerización, y reaccionara fuertemente con ácido clorosulfónico, oleum, butóxido de potasio, hidruro de litio y aluminio.

2.8.3.1. Propiedades físicas

| | |
|-----------------------------|--|
| Densidad | 900 kg/m ³ ; 0,9 kg/cm ³ |
| Masa molar | 88,11 g/mol |
| Punto de fusión | 189 K (-84°C) |
| Punto de ebullición | 350 K (77°C) |
| Viscosidad | 0,45 cP a 20°C |
| Índice de refracción | 1,3724 a 20°C |

2.8.3.2. Propiedades termodinámicas

| | |
|--|---|
| Densidad de vapor (aire=1) | 3 |
| Presión de vapor | 100 mmhg a (27°C) |
| Punto de inflamación | -4°C |
| Temperatura de auto ignición | 426°C |
| Limite de explosividad (% de volumen de aire) | 2.5-11.5 |
| Solubilidad | 1 ml es soluble con 10ml de agua, la solubilidad aumenta al bajar la temperatura. |

2.8.3.3. Propiedades químicas

Estabilidad: El acetato de etilo es estable a temperatura ambiente en recipientes cerrados y bajo condiciones normales de manipuleo y almacenamiento.

El calor contribuye a la inestabilidad.

En presencia de agua puede hidrolizar lentamente el etanol y ácido acético.

Polimerización: No se produce polimerización.

Incompatibilidad química: El acetato de etilo reaccionará vigorosamente con ácido clorosulfónico, óleum, t-butoxido de potasio, hidruro de litio y aluminio y 2-clorometil furano.

El contacto con nitratos, ácidos, álcalis u oxidantes fuertes puede causar fuego o explosión.

Productos de descomposición: la descomposición térmica oxidativa del acetato de etilo puede producir vapores de

2.8.3.4. Manejo

Equipo de protección personal: para el uso de este producto químico es necesario en un área ventilada, utilizando bata, lentes de seguridad y, guantes de hule natural o neopreno (no usar PVC) para evitar un contacto prolongado de este producto con la piel.

Al trasvasar pequeñas cantidades con pipeta, utilizar propipetas, nunca aspirar con la boca.

2.8.3.5. Riesgos

Riesgos de fuego y explosión:

El Acetato de Etilo es un producto inflamable y volátil por lo que existen riesgos de fuego y explosión. Sus vapores pueden llegar a un punto de ignición, prenderse y transportar el fuego al lugar que los origina, además podrían explotar si se prenden en un área cerrada.

Puede generar mezclas explosivas con aire a temperatura ambiente.

Riesgos de salud:

- **Inhalación:** causa dolor de cabeza, náuseas e incluso, pérdida de la conciencia y puede sensibilizar las mucosas causando inflamación. En concentraciones altas causa convulsiones y congestión de hígado y riñones. Sin embargo, a concentraciones bajas puede causar anemia.
- **Contacto con los ojos:** una exposición prolongada causa el oscurecimiento de las corneas.
- **Contacto con la piel:** el contacto constante o prolongado a este compuesto, provoca resequedad, agrietamiento, sensibilización y dermatitis.
- **Ingestión:** irrita las membranas mucosas

2.8.4. Aplicaciones del Acetato de Etilo

El acetato de etilo es un líquido incoloro con un característico olor a fruta. Es ligeramente soluble en agua y soluble en la mayor parte orgánica disolventes, tales como alcohol, acetona, éter y cloroformo. Se encuentra uso como disolvente en una amplia gama de aplicaciones, a través de muchas industrias.

Revestimiento de la superficie y diluyentes: Acetato de etilo es uno de los más populares disolventes y encuentra amplio uso en la fabricación de nitrocelulosa lacas, barnices y diluyentes. Exhibe altas relaciones de dilución con ambos diluyentes aromáticos y alifáticos y es el menos tóxico de la industria disolventes orgánicos.

Productos farmacéuticos: El acetato de etilo es un importante componente en agentes de extracción para la concentración y purificación de antibióticos. También se usa como un intermedio en la fabricación de diversos fármacos.

Los sabores y esencias: Acetato de etilo se encuentra un amplio uso en la preparación de sintéticas esencias de frutas, sabores y perfumes.

Envases flexibles: Cantidades sustanciales de acetato de etilo se utilizan en la fabricación de envases flexibles y en la fabricación de películas de poliéster. También se utiliza en el tratamiento de láminas de aluminio.

En la industria del papel: Para la elaboración de papeles aprestados y para recubrir y decorar objetos de papel.

En la industria textil: Para la preparación de tejidos de lana para teñido. En procesos de limpieza y para la elaboración de textiles aprestados.

Reactivo para la manufactura de pigmentos.

Varios: Acetato de etilo se utiliza en la fabricación de adhesivos, líquidos de limpieza, tintas, papeles recubiertos, explosivos, cuero artificial, películas fotográficas y placas.

Aplicaciones en el laboratorio: es comúnmente usado en mezclas para cromatografía líquida y extracción.

Presencia en el vino: El acetato de etilo es uno de los componentes del vino, forma parte de uno de los disolventes también conocida como etérea.

Síntesis química: es un prometedor disolvente para la síntesis comercial de la vitamina E.

CAPITULO III

ESTUDIO DE MERCADO

3.1. Introducción

El Acetato de Etilo que pertenece al grupo de los ésteres; los ésteres fueron creados por primera vez en el año 1848, estos son una clase importante de productos químicos, que tiene aplicaciones en una variedad de áreas tales como disolventes, plastificantes, productos farmacéuticos y productos intermedios. El acetato de etilo es un líquido incoloro con un aromático olor a fruta, es menos denso que el agua y ligeramente miscible con ella, pero sus vapores son más densos que el aire. Además, es miscible con hidrocarburos, cetonas, alcoholes y éteres y poco soluble en agua. Se emplea en arte como disolvente universal.

Entre los disolventes orgánicos del acetato de etilo es considerado como uno de los que tienen el menor impacto ambiental. Es a la vez muy eficaz y al mismo tiempo se rompen fácilmente en el aire y el agua.

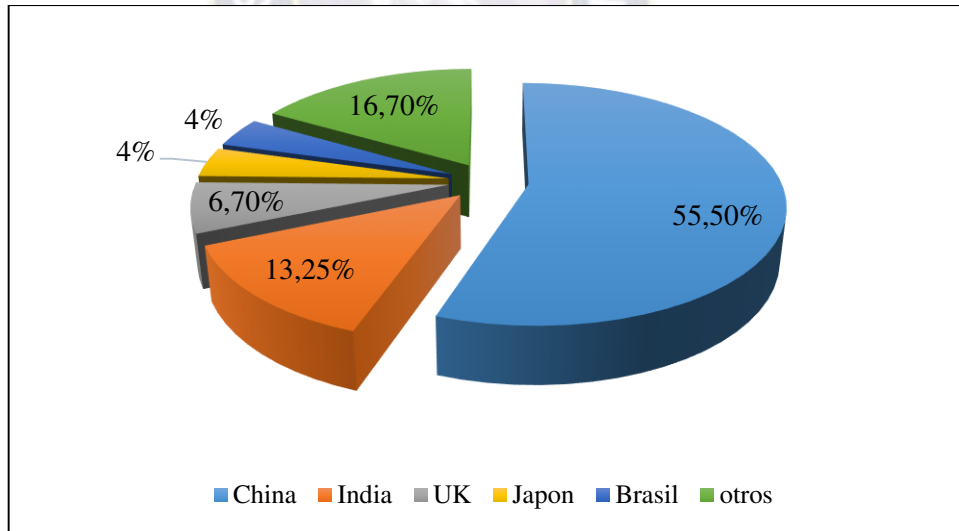
Al crecer la producción del acetato de etilo, fueron innovando nuevas tecnologías, el cual mejora el rendimiento del acetato de etilo, hay diferentes procesos para la obtención del acetato de etilo, una puede ser por la obtención por destilación lenta de una mezcla de ácido acético, alcohol etílico y ácido sulfúrico, o bien, a partir de acetaldehído anhidro en presencia de óxido de aluminio, otras nuevas tecnologías como Proceso Davy que es a partir del etanol otro el proceso Avada que se obtiene por adición directa del etileno y ácido acético, cada uno de estos procesos teniendo sus ventajas y desventajas, analizando estos factores se seleccionó la tecnología AVADA ya que reduce la contaminación al medio ambiente, los costos son menores y se puede obtener producto con mayor rendimiento.

3.2. Capacidad mundial del acetato de etilo

Durante el 2004-2011 la producción mundial del acetato de etilo creció por encima del 80% y más de 3 millones de toneladas en 2011.

En 2012, el Comité Asesor de suministro global registró un aumento interanual del 4% y toca la marca de 3,12 millones de toneladas. En el mismo año, Asia y el Pacífico han capturado la mayor parte del volumen de producción mundial más de 2,44 millones de toneladas. China es un líder indiscutible del mercado de ETAC en el mundo, lo que representa más de la mitad de la producción mundial de ETAC. Esta es seguida por la India, el Reino Unido, Japón y Brasil, el cual se apreciará en el Gráfico 3.1.

Gráfico 3.1. Producción Mundial del ETAC por países 2012



Fuente: Merchant Research & Consulting Ltd, 2018

La industria de los recubrimientos solventes fue el principal sector de ETAC uso final, que consume casi el 65% del volumen total de producción en el 2012¹.

¹Merchant Research & Consulting Ltd (2012)

Disponible URL: <https://mcgroup.co.uk/news/20131220/ethyl-acetate-supply-registered-4-yoy-increase.html>

Las tintas solventes estampados y la industria de procesos son también importantes sectores de uso final del ETAC.

En el 2013, Asia - El Pacífico llamo el 79% de la cuota de la producción mundial de ETAC con China por sí sola proporcionando cerca del 55,47% de oferta mundial de ETAC. Fue seguida por Europa y América Latina. Representaron el 83,29% del suministro total del mundo de la capacidad total de producción. A nivel mundial, la producción de ETAC está preparada para crecer alrededor de un 4,5 % anual en los próximos años, impulsando por el aumento de las tasas de utilización de la capacidad de las instalaciones existentes. El volumen de suministro de ETAC es probable que supere la marca de 3,5 millones de toneladas en 2036. Con el pasar del tiempo aumento la producción del acetato de etilo y los cuales se utilizan en diferentes sectores como se muestra en la Tabla 3.1 el consumo en ton/año y en el gráfico 2 la distribución porcentual².

Tabla 3.1. Distribución del consumo de Acetato de Etilo

| USOS | ton/año |
|--------------|----------------|
| Pinturas | 13750 |
| Adhesivos | 5500 |
| Envases | 13750 |
| Farmacéutico | 11000 |
| Laminados | 5500 |
| Electrónicos | 1650 |
| Varios | 3850 |

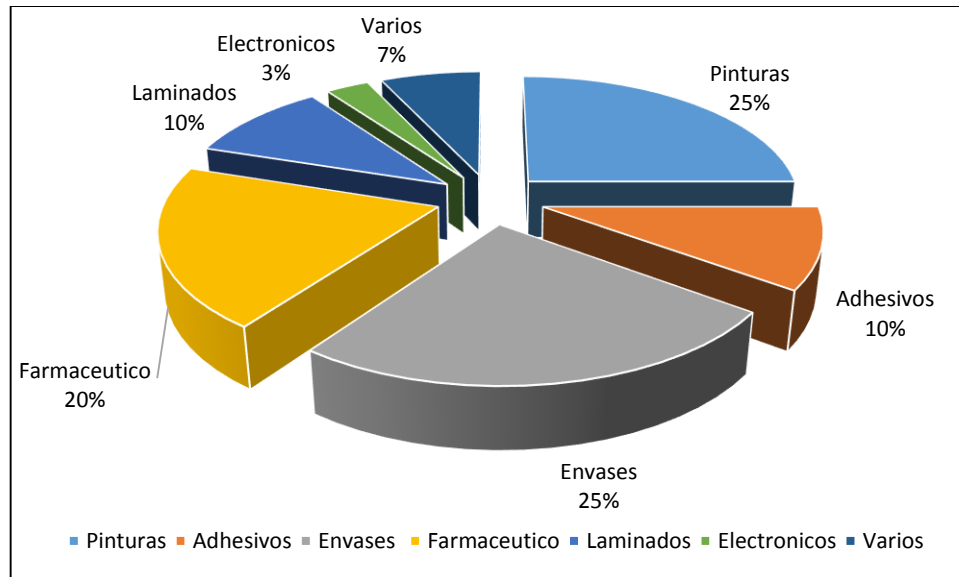
Fuente: Elaboración propia (extraído de University of Naples “Federico II”)

http://www.fedoa.unina.it/8734/1/Carotenuto_Giuseppina_24.pdf

² University of Naples Federico II

Disponibile URL: http://www.fedoa.unina.it/8734/1/Carotenuto_Giuseppina_24.pdf

Gráfico 3.2. Distribución porcentual del consumo de Acetato de Etilo



Fuente: Elaboración propia a partir de Merchant Research & Consulting ltd, 2018

En el año 2018, la producción mundial de ETAC llegó a los 4 millones de toneladas.

3.3. Estructura del mercado

3.3.1. Estructura del mercado nacional

Al igual que muchos productos petroquímicos, el acetato de etilo es una sustancia cuya demanda y oferta en Bolivia es reducida, debido a que Bolivia recién en los últimos años está ingresando a una etapa de industrialización de los hidrocarburos, a una etapa de la industria petroquímica, por lo tanto, este producto no encuentra aplicaciones en Bolivia. A pesar de situación el acetato de etilo en el territorio nacional tiene aplicaciones directas, lo cual ha sido determinante para generar la pequeña y una creciente demanda del acetato de etilo, tal y como lo muestran los datos del instituto nacional de estadística (INE), en la tabla 3.2, sobre la importación de acetato de etilo a Bolivia.

Tabla 3.2. Importación del acetato de etilo en Bolivia

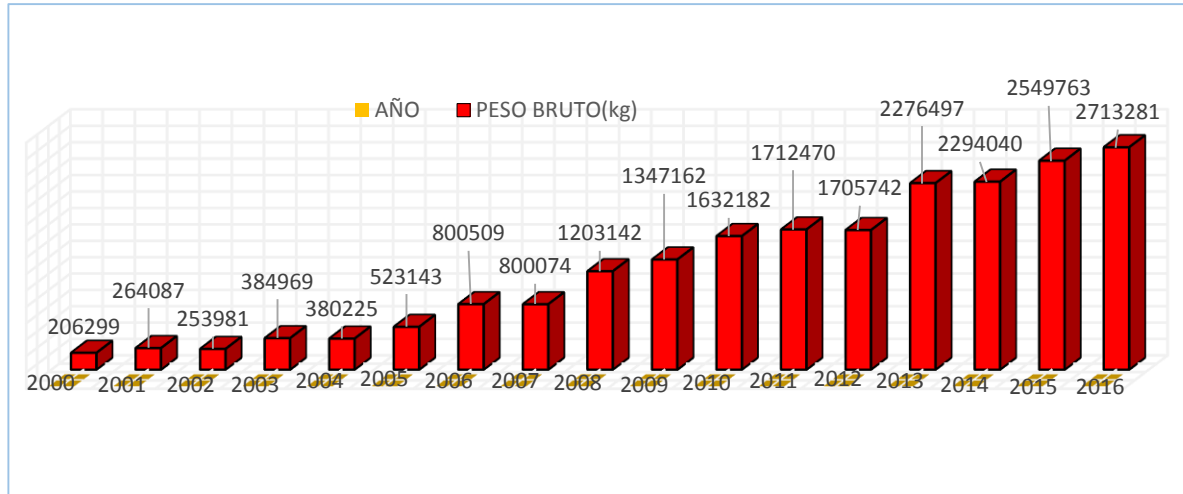
| AÑO | PESO BRUTO(kg) | VALOR CIF (\$us) |
|-------------|-----------------------|-------------------------|
| 2000 | 206.299 | 170.168 |
| 2001 | 264.087 | 212.967 |
| 2002 | 253.981 | 195.947 |
| 2003 | 384.969 | 308.662 |
| 2004 | 380.225 | 346.726 |
| 2005 | 523.143 | 622.961 |
| 2006 | 800.509 | 844.166 |
| 2007 | 800.074 | 926.578 |
| 2008 | 1.203.142 | 1.606.125 |
| 2009 | 1.347.162 | 1.543.552 |
| 2010 | 1.632.182 | 2.000.061 |
| 2011 | 1.712.470 | 2.406.070 |
| 2012 | 1.705.742 | 2.362.767 |
| 2013 | 2.276.497 | 2.961.072 |
| 2014 | 2.294.040 | 2.967.939 |
| 2015 | 2.549.763 | 2.882.602 |
| 2016 | 2.713.281 | 2.840.827 |

Fuente: Elaboración propia (extraído del INE, 2019)

http://www.ine.gob.bo:8082/comex/make_table.jsp

Claramente se puede apreciar la demanda del acetato de etilo en el gráfico y ver que con el pasar de los años la demanda es aún mayor.

Gráfico 3.3. Demanda de Acetato de Etilo en Bolivia



Fuente: Elaboración propia (extraído del INE)

http://www.ine.gob.bo:8082/comex/make_table.jsp

3.3.2. Estructura del mercado regional

La condición de ser un producto petroquímico que se disuelve en una amplia gama de compuestos. También se evapora rápidamente y es relativamente no tóxico en comparación con otros disolventes alternativos. Por lo tanto, se utiliza ampliamente como un disolvente en la industria de pinturas, como en adhesivos y especialmente como disolvente de extracción en productos farmacéuticos.

El acetato de etilo puede ser utilizado de forma directa en países que no cuentan con la industria petroquímica. En la tabla 3.4 se muestra datos de la importación de acetato de etilo en países latinoamericanos.

Tabla 3.3. Importación de Acetato de Etilo en Latinoamérica (ton/año)

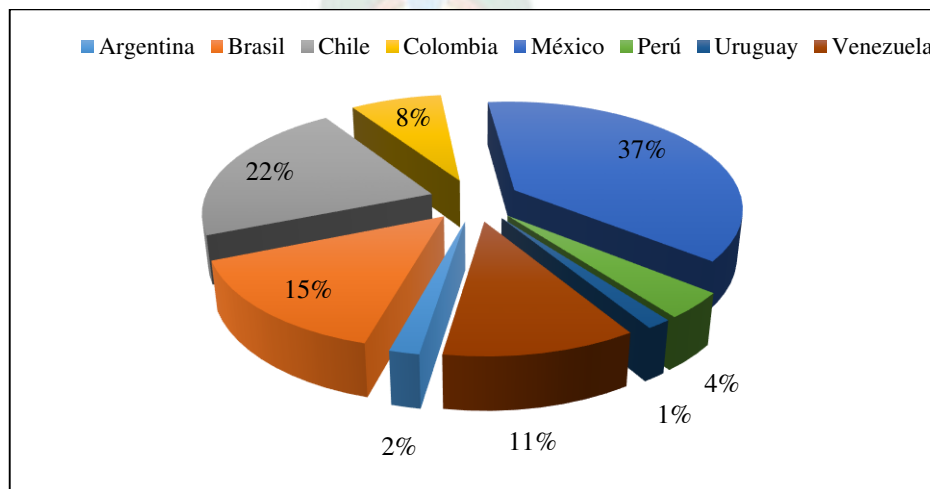
| Año | Argentina | Brasil | Chile | Colombia | México | Perú | Uruguay | Venezuela |
|------|-----------|--------|-------|----------|--------|-------|---------|-----------|
| 2007 | 600 | 4.943 | 7.359 | 2.581 | 12.708 | 1.311 | 497 | 3.845 |
| 2008 | 17 | 5.379 | 7.491 | 2.099 | 10.640 | 1.413 | 456 | 4.940 |
| 2009 | 838 | 3.492 | 5.582 | 2.414 | 5.177 | 1.155 | 378 | 2.655 |
| 2010 | 688 | 5.472 | 5.671 | 3.607 | 4.034 | 1.384 | 378 | 2.928 |
| 2011 | 236 | 3.352 | 5.870 | 2.414 | 3.416 | 1.542 | 399 | 3.265 |
| 2012 | 2.637 | 1.772 | 5.635 | 3.090 | 4.482 | 1.811 | 537 | 2.579 |

Fuente: elaboración propia (datos extraídos de APLA 2013/2014)

http://educommons.anahuac.mx:8080/eduCommons/ingenieria-quimica/petroleo-y-petroquimica/Tema01_Anuario_2013-2014.pdf

En el gráfico 3.4 se muestra la distribución porcentual de las importaciones de acetato de etilo en países latinoamericanos.

Gráfico 3.4. Distribución porcentual de importación de Acetato de Etilo en latinoamericana



Fuente: elaboración propia (datos extraídos de APLA 2013/2014)

En la tabla 3.4 se muestra la capacidad de producción de Brasil y Argentina

Tabla 3.4. Producción de Acetato de Etilo (ton/año)

| AÑO | ARGENTINA | BRASIL | MEXICO |
|-------------|------------------|---------------|---------------|
| 2007 | 26.520 | 146.697 | 64.534 |
| 2008 | 26.662 | 148.405 | 86.946 |
| 2009 | 21.277 | - | 125.482 |
| 2010 | 26.036 | - | 134.643 |
| 2011 | 20.472 | - | 133.491 |
| 2012 | 16.392 | - | 142.332 |

Fuente: elaboración propia (datos extraídos de APLA 2013/2014)

Como puede observarse en la tabla 3.5, en Brasil la producción de acetato de etilo cae desde el año 2009.

Tabla 3.5. Consumo de Acetato de Etilo en Latinoamérica (ton/año)

| Año | Argentina | Brasil | Chile | Colombia | México | Perú | Uruguay | Venezuela |
|-------------|------------------|---------------|--------------|-----------------|---------------|-------------|----------------|------------------|
| 2007 | 13.991 | 73.862 | 7.359 | 2.505 | 34.994 | 1.311 | 497 | 3.845 |
| 2008 | 14.238 | 69.620 | 7.491 | 2.040 | 21.373 | 1.413 | 456 | 4.940 |
| 2009 | 13.850 | - | 5.283 | 2.372 | 29.501 | 1.155 | 378 | 2.639 |
| 2010 | 15.862 | - | 5.621 | 3.508 | 24.217 | 1.286 | 378 | 2.928 |
| 2011 | 16.111 | - | 5.832 | 2.371 | 22.623 | 1.396 | 399 | 3.265 |
| 2012 | 17.976 | - | 5.467 | 3.021 | 33.690 | 1.729 | 537 | 2.579 |

Fuente: elaboración propia (datos extraídos de APLA 2013/2014)

En la tabla 3.5 se puede apreciar el consumo de acetato de etilo en varios países de América latina, resaltando el amplio mercado con el cual cuenta el acetato de etilo. Y en el gráfico 3.5 se muestra la distribución porcentual de la misma

3.4. Descripción geográfica del mercado y políticas de comercialización

3.4.1. Mercado nacional

Los mercados nacionales para la comercialización de Acetato de Etilo son los departamentos Cochabamba, La Paz, Santa Cruz y Tarija.

Según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Bolivia ha presentado importaciones de Acetato de etilo provenientes de diferentes países, como se demuestra en la tabla 3.4 con volúmenes de importación que llegaron a variar con los años.

Bolivia importa alrededor de 2.641.879 TMA provenientes de otros países. En la tabla 3.3 se demuestra que la mayor cantidad importada de acetato de etilo son por los departamentos de Tarija, seguidamente por Santa Cruz, de modo que implementando la planta de producción de acetato de etilo a partir de etileno podemos satisfacer la demanda del mercado interno y el excedente que será destinado para la exportación.

3.4.2. Precio de la materia prima y producto en el mercado Nacional

Los precios de la materia prima que se muestran a continuación han sido obtenidas del año 2018.

Tabla 3. 6. Precio de la materia prima

| Componentes | Peso molecular (g/mol) | Precio (US dolar/kg) |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Etileno | 46,07 | 0,626 |
| Ácido acético | 60,05 | 0,4 |
| Acetaldehído | 44,05 | 3,5 |
| Etanol | 28,05 | 0,834 |
| Acetato de etilo | 88,11 | 0,93 |

Fuente: ICIS LOR <https://www.quiminet.com/shr/es/icis-lor-43634842/productos/p2.htm>

3.4.3. Mercado internacional

En América latina los países productores de Acetato de Etilo son: Argentina, Brasil, México.

Los mercados internacionales para la exportación de Acetato de Etilo son: Perú, Venezuela, Colombia, Uruguay, Chile, Bolivia, cabe mencionar que Brasil, México y Argentina, así como son productores también son grandes consumidores de acetato de etilo, entonces también estarían incluidos a los países donde se podría exportar.

3.5. Proyecciones

3.5.1. Proyección de la demanda potencial en Bolivia del 2017 al 2036

En base a datos recolectados de la importación de Acetato de etilo en Bolivia, datos extraídos del instituto nacional de estadística (INE), se realizarán cálculos de regresión lineal para proyectar esta importación y así determinar la capacidad adecuada que debiera tener la planta a fin de ser autosuficientes y poder abastecer para del mercado internacional.

En la tabla 3.3, la importación del acetato de etilo no es muy significativo, por tal motivo, por si sola, no justifica la implementación de una planta de acetato de etilo, sin embargo, como puede observarse en la tabla 3.4 son varios los países latinoamericanos que requieren este producto, representando de esta manera un amplio mercado de acetato de etilo en Latinoamérica.

La demanda potencial de acetato de etilo se estimará mediante proyecciones que van desde el año 2017 al 2036. Puesto que se realizó las proyecciones en base al año de la puesta en marcha estimada del complejo de etileno y polietileno que corresponde a finales de la gestión 2022 a inicios del 2023.

Para llevar a cabo las proyecciones se recurre a la tabla 3.7 mediante la regresión lineal, se determina la constante de A y B, También se puede apreciar la Gráfica 3.5 donde se ve claramente la representación de la línea recta.

$$Y = A + B * (X) \text{ (Ec. 1)}$$

$$\sum Y = A * N + B * \sum X \text{ (Ec. 2)}$$

$$\sum X * Y = A * \sum X + B \sum X^2 \text{ (Ec. 3)}$$

Y= Es la importación estimado en el año X

X= Año de consideración

A= Es la ordenada de la recta para la proyección que representa la importación

B= Es la pendiente de la recta para su proyección que representa la tasa de crecimiento

Tabla 3.7. Proyecciones de la demanda insatisfecha de acetato de etilo en Bolivia

| AÑO | X | Y | X*Y | X2 |
|-------------|----------|----------|------------|-----------|
| 2007 | 1 | 800,074 | 800,074 | 1 |
| 2008 | 2 | 1203,142 | 2406,284 | 4 |
| 2009 | 3 | 1347,162 | 4041,486 | 9 |

| | | | | |
|--------------|-----------|------------------|-------------------|------------|
| 2010 | 4 | 1632,182 | 6528,728 | 16 |
| 2011 | 5 | 1712,47 | 8562,35 | 25 |
| 2012 | 6 | 1705,742 | 10234,452 | 36 |
| 2013 | 7 | 2276,497 | 15935,479 | 49 |
| 2014 | 8 | 2294,04 | 18352,32 | 64 |
| 2015 | 9 | 2549,763 | 22947,867 | 81 |
| 2016 | 10 | 2713,281 | 27132,81 | 100 |
| TOTAL | 55 | 18234,353 | 116941,850 | 385 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

Calculo de la proyección:

$$\Sigma y = aN + b\Sigma x \quad \Sigma xy = a\Sigma x + b\Sigma X^2$$

$$18234.353 = 10a + 55b$$

$$116941.850 = 55a + 385b$$

$$18234.353 = 10a + 55b \quad / \quad *(-55)$$

$$116941.850 = 55a + 385b \quad / \quad *(10)$$

$$-1002889.415 = -550a - 3025b$$

$$1169418.5 = 550a + 3850b$$

$$\hline 166529.035 = 0 + 825b$$

$$b = 201.853436$$

$$10a = 18234.353 - 55b$$

$$10a = 18234.353 - (55 * 201.853436)$$

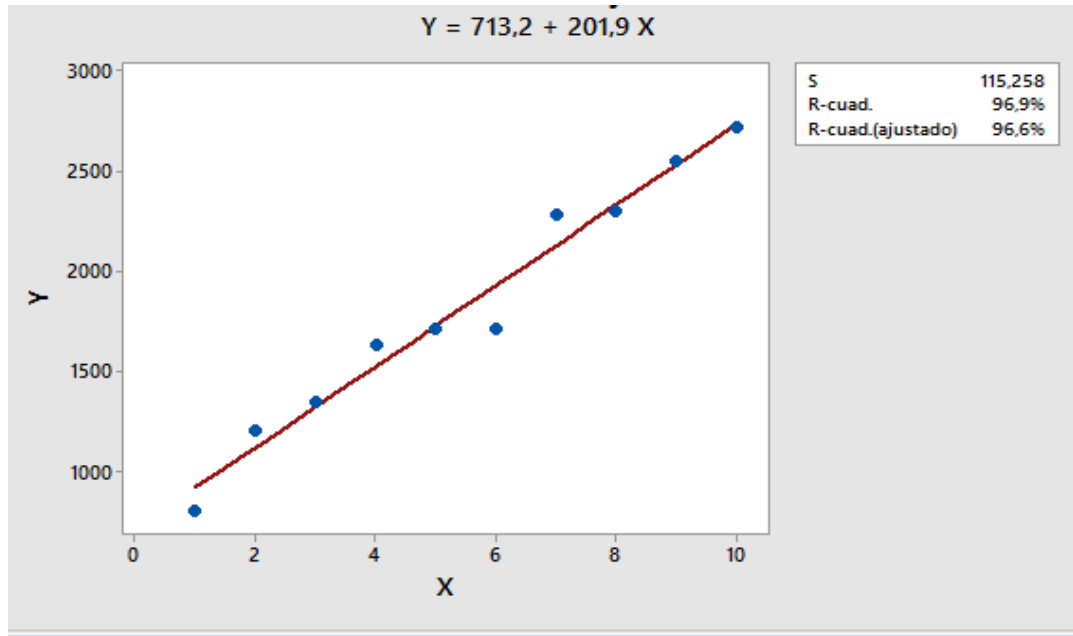
$$a = 713.2414$$

Una vez obtenidos los datos de a y b reemplazamos en la ecuación 1

$$y = a + bx$$

$$y = 713.2414 + 201.8534 * x$$

Gráfico 3.5. Representación Gráfica de la línea recta para realizar la regresión lineal



Fuente: Elaboración propia (programa Minitab17)

Tabla 3.8. Proyecciones del mercado nacional

| AÑO | Nro. | DEMANDA POTENCIAL DE BOLIVIA (TMA) |
|-------------|-------------|---|
| 2017 | 11 | 2.233,6238 |
| 2018 | 12 | 3.135,4822 |
| 2019 | 13 | 3.337,3556 |
| 2020 | 14 | 3.539,189 |
| 2021 | 15 | 3.741,0424 |
| 2022 | 16 | 3.942,8958 |
| 2023 | 17 | 4.144,7492 |
| 2024 | 18 | 4.346,6026 |
| 2025 | 19 | 4.548,456 |
| 2026 | 20 | 4.750,3094 |
| 2027 | 21 | 4.952,1628 |
| 2028 | 22 | 5.154,0162 |
| 2029 | 23 | 5.355,8696 |
| 2030 | 24 | 5.557,723 |

| | | |
|-------------|----|------------|
| 2031 | 25 | 5.759,5764 |
| 2032 | 26 | 5.961,4298 |
| 2033 | 27 | 6.163,2832 |
| 2034 | 28 | 6.365,1366 |
| 2035 | 29 | 6.566,99 |
| 2036 | 30 | 6.768,8434 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

Como se observa en la tabla 3.8 la proyección de la importación fue realizada hasta el año 2036, año en el cual se tomará como referencia las proyecciones de la importación para determinar la capacidad de producción de la planta.

3.5.2. Proyección de la demanda potencial en América latina

Con el fin de determinar la fracción que representa el mercado propuesto en relación con el total de Latinoamérica, se proyecta la demanda de acetato de etilo en América Latina, teniendo en cuenta los siguientes países importadores como: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú, Uruguay, Bolivia y Venezuela (Ver Tabla 3). Asimismo, tomando datos estadísticos del 2007 al 2012, para proyectar la demanda hasta el 2036. Los obtenidos de dicha proyección se presentan a continuación en la Tabla 3.9

Tabla 3.9. Proyección de la demanda insatisfecha de acetato de etilo en América Latina

| AÑO | X | DEMANDA INSATISFECHA (TMA) YD | X*YD | X2 |
|-------------|----------|--|-------------|-----------|
| 2007 | 1 | 2.561,75 | 2.561,75 | 1 |
| 2008 | 2 | 2.711,375 | 5.422,75 | 4 |
| 2009 | 3 | 2.817,875 | 8.453,625 | 9 |
| 2010 | 4 | 3.020,25 | 12.081 | 16 |

| | | | | |
|--------------|-----------|-------------------|------------------|-----------|
| 2011 | 5 | 4.054,375 | 20.271,88 | 25 |
| 2012 | 6 | 4.230,5 | 25.383 | 36 |
| TOTAL | 21 | 19.396,125 | 74.174 | 91 |

Fuente: Elaboración propia (Datos extraídos del APLA 2011/2012)

Reemplazando en la ecuación 2.2 y 2.3

$$19396.125 = 6a + 521b \quad *(-55)$$

$$74174 = 21a + 91b \quad *(10)$$

$$-407318.625 = -126a - 441b$$

$$445044 = 126a + 546b$$

$$\hline 37725.375 = 0 + 105b$$

$$B = 359.2892857$$

$$19396.125 = 6a + 21b$$

$$19396.125 = 6a + 21 \cdot 359.2892857$$

$$19396.125 = 6a + 7545.075$$

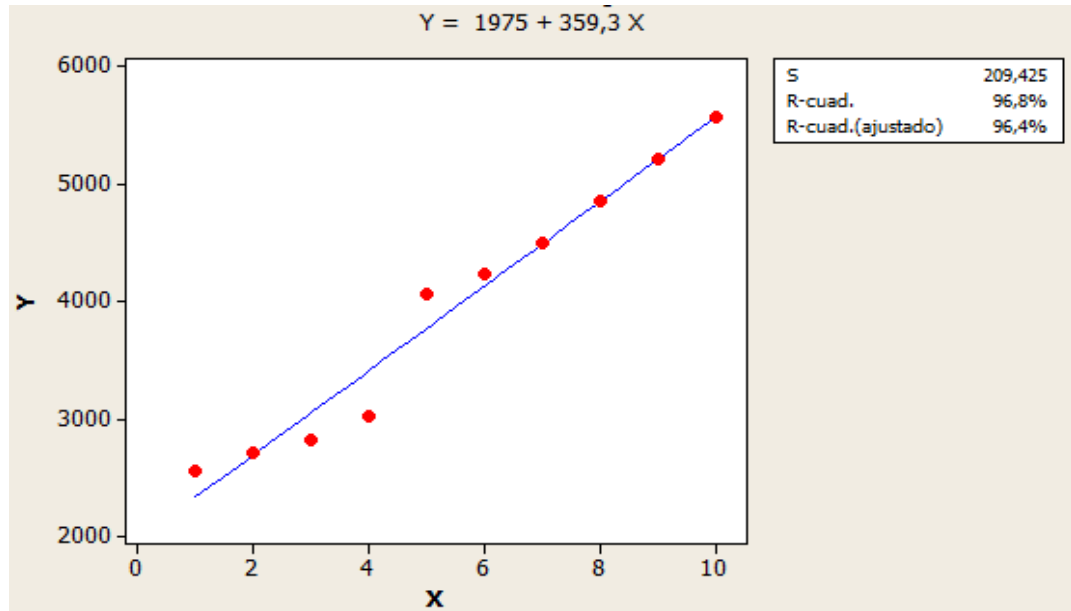
$$A = 1975.175$$

Una vez obtenidos los valores de a y b, se reemplazará en la Ec 1

$$Y = a + b \cdot X$$

$$Y = 1975.175 + 359.2893 \cdot x \dots \dots \dots \text{Ec...4}$$

Gráfico 3.6. Representación Gráfica de la línea recta para realizar la regresión lineal



Fuente: Elaboración propia (programa Minitab17)

A partir de la ecuación (4) podemos determinar la proyección de la demanda potencial en el mercado latinoamericano con un horizonte de análisis hasta el año 2036 (X=30), resultando igual a 12.753.854 TMA.

A partir de las Ec. 1, 2 y 3 se realizó la proyección de importación de Acetato de etilo para el año 2036, como se observa en la tabla 3.10.

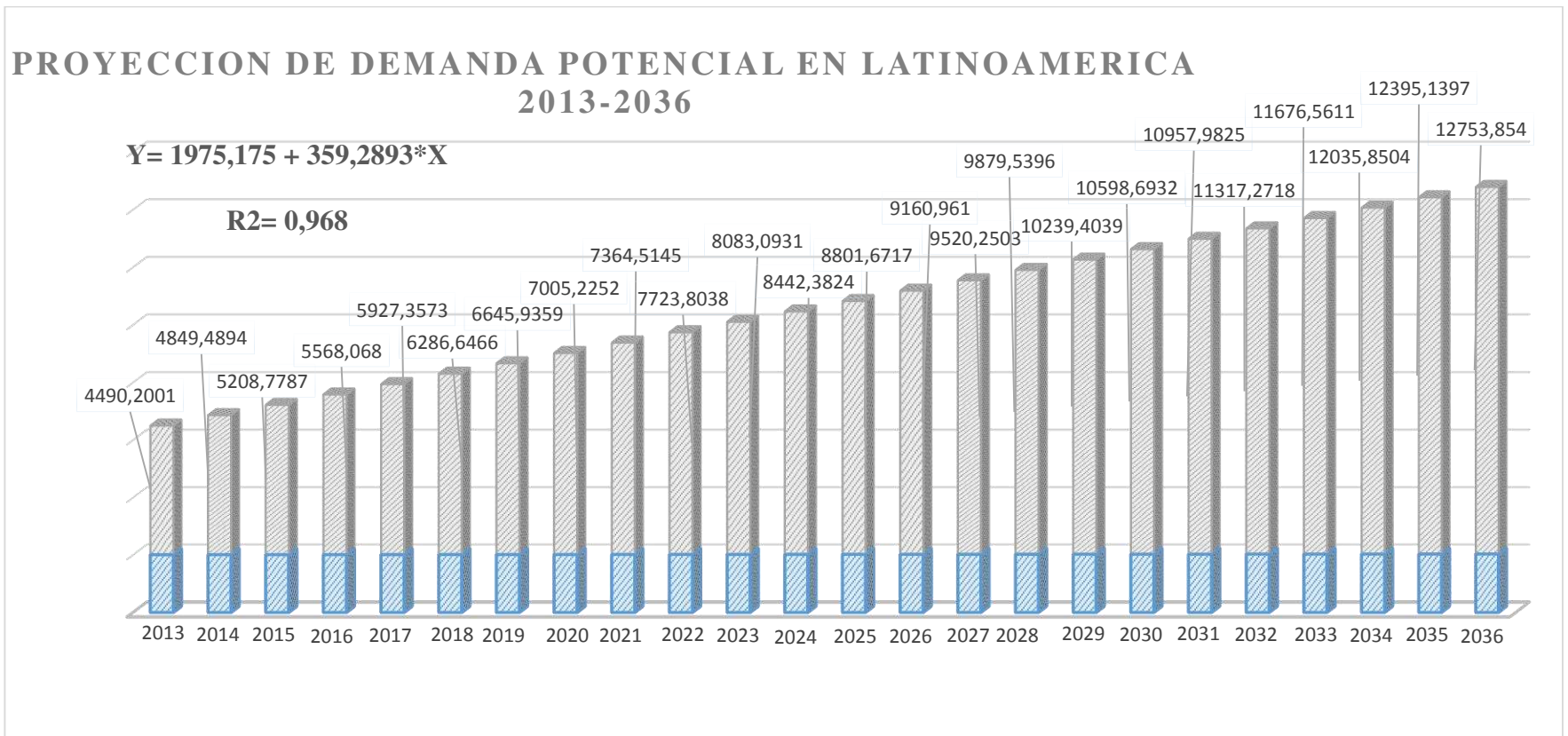
Tabla 3.10. Proyección del total de importación de Acetato de Etilo en Latinoamérica

| AÑO | Nro. | DEMANDA POTENCIAL EN AMERICA LATINA (TMA) |
|------|------|---|
| 2013 | 7 | 4490,2001 |
| 2014 | 8 | 4849,4894 |

| | | |
|-------------|----|------------|
| 2015 | 9 | 5208,7787 |
| 2016 | 10 | 5568,068 |
| 2017 | 11 | 5927,3573 |
| 2018 | 12 | 6286,6466 |
| 2019 | 13 | 6645,9359 |
| 2020 | 14 | 7005,2252 |
| 2021 | 15 | 7364,5145 |
| 2022 | 16 | 7723,8038 |
| 2023 | 17 | 8083,0931 |
| 2024 | 18 | 8442,3824 |
| 2025 | 19 | 8801,6717 |
| 2026 | 20 | 9160,961 |
| 2027 | 21 | 9520,2503 |
| 2028 | 22 | 9879,5396 |
| 2029 | 23 | 10239,4039 |
| 2030 | 24 | 10598,6932 |
| 2031 | 25 | 10957,9825 |
| 2032 | 26 | 11317,2718 |
| 2033 | 27 | 11676,5611 |
| 2034 | 28 | 12035,8504 |
| 2035 | 29 | 12395,1397 |
| 2036 | 30 | 12753,854 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

Gráfico 3.7. Proyección de demanda potencial en Latinoamérica



Fuente: Elaboración propia, 2021

3.6. Demanda potencial y tamaño de la planta

Para determinar la capacidad de producción de la planta industrial se debe proyectar la demanda potencial del mercado al que se quiere tener participación.

DEMANDA POTENCIAL= TAMAÑO DE LA PLANTA

Por tanto, se toma en cuenta la demanda potencial del mercado nacional y de Latinoamérica, para considerar la capacidad de producción o tamaño de la planta.

$$\begin{aligned} \text{TAMAÑO DE LA PLANTA} &= 6.768.8434 \text{ TMA} + 12.753.854 \text{ TMA} \\ &= 19.522.6974 \text{ TMA} \end{aligned}$$

Por lo que se considera la capacidad de producción de la planta de acetato de etilo será aproximadamente de 20.000 TMA.

En la tabla 3. 11 se pueden apreciar la proyección de la demanda para América Latina y el mercado nacional hasta el 2036.

También se muestra la capacidad de proyección de importación para el año 2036, el cual asciende a 20.000 TMA de acetato de etilo, que llegaría a ser la capacidad de la planta, ya con esta capacidad se pretende cubrir la demanda en Bolivia, de igual manera el excedente exportar a los países como Perú, Uruguay, Chile, Argentina, Brasil.

CAPITULO IV

TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

4.1. Justificación de tamaño

La demanda existente en el mercado, es el factor que condiciona el tamaño y la capacidad de la planta el cual tiene gran importancia en la ejecución del proyecto, tomando en cuenta los siguientes parámetros que son de gran importancia.

Se estima una capacidad de producción de la planta de 20.000 Ton/año, con esta capacidad se pretende cubrir la demanda interna y de la misma forma poder exportar a los países vecinos que son consumidores del Acetato de etilo.

4.2. Justificación de la localización de la planta

La ubicación de la planta juega un papel muy importante porque puede afectar el funcionamiento de la planta y su éxito. Además, también se debe tener en cuenta para maximizar la rentabilidad del proyecto, minimizar el costo de producción y distribución, así como para la futura expansión de la planta. Sin embargo, también se deben considerar otros factores, como el espacio de expansión y las condiciones de vida seguras para la operación de la planta, así como para la comunidad circundante. Por medio de los factores que se consideran para determinar la macro localización y la micro localización, estos factores son:

- Disponibilidad de materia prima
- Cercanía a mercados para la comercialización del producto
- Disponibilidad de mano de obra
- Disponibilidad de energía y agua
- Disponibilidad de terreno

Los factores mencionados determinaran una óptima ubicación de la planta, por lo que tomaremos en cuenta el método de ponderación, con el fin de determinar la mejor ubicación de la planta de Acetato de etilo.

4.3. Macro localización

Para la macro localización se tomó en cuenta la Provincia Gran Chaco, que tiene una superficie de 147.428km², ubicada al sur de Bolivia, en el departamento de Tarija.

La provincia Gran Chaco, cuenta con las condiciones necesarias para la ubicación de la planta debido a los factores favorables de la localización que tiene acceso a las vías de transporte hacia los departamentos de Santa Cruz, Tarija y también a los países del MERCOSUR, cercanías a mercados potenciales, cercanías a campos gasíferos, cercanía a la Termoeléctrica y a la planta de Separación de Líquidos Gran Chaco Carlos Villegas.

4.4. Micro localización

Para la micro localización, se determina por el método de ponderación, este método tiene mayor aceptación debido a su carácter técnico y a su sencillez, para ello se tomó el Municipio de Villa Montes y Yacuiba como referencia; como se observa en la tabla 11, que muestran las alternativas más favorables debido a su integración caminera, férrea y fluvial con países vecinos como Argentina y Paraguay, cercanía a mercados potenciales para la exportación del producto. Además, cuenta con el suministro de energía, agua y combustibles. A continuación se muestra la aplicación del método, comparando dos posibles sitios de localización de la planta.

Tabla 4.11. Localización de la planta

| Factores | Peso | Calificación | Ponderación | Calificación | Ponderación |
|---------------------------------------|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Disponibilidad de materia prima | 0,31 | 6 | 1,86 | 8 | 2,48 |
| Disponibilidad de mano de obra | 0,17 | 8 | 1,36 | 9 | 1,53 |
| Disponibilidad de terreno | 0,10 | 8 | 0,8 | 8 | 0,8 |
| Vía de comunicación y acceso | 0,10 | 6 | 0,6 | 6 | 0,6 |
| Mercados potenciales para el producto | 0,12 | 7 | 0,84 | 7 | 0,84 |
| Servicios básico | 0,20 | 7 | 1,4 | 8 | 1,6 |
| Total | 1 | | 6,86 | | 7,85 |

Fuente: Elaboración Propia, basado en la distribución geográfica de la zona 2021

Como resultado de la comparación entre Yacuiba y Villa Montes, se determinó que Yacuiba es la localización más adecuada para implementar la planta de producción de Acetato de etilo, como se muestra el resultado de la tabla 4.11.

4.5. Factores que determinan la ubicación de la planta en Yacuiba

Como se puede observar la ubicación de la planta por el método ponderado se determinó Yacuiba, los factores determinantes que han sido considerados para

la determinación de la planta fueron: materia prima, cercanía del mercado, clima y mano de obra.

4.5.1. Materia prima

La planta de Acetato de Etilo estará ubicada al lado del complejo petroquímico de etileno y polietileno. La materia prima debe ser identificada y considerada. Se debe prestar atención a la distancia entre el sitio y la fuente de suministro, ya que, si la materia prima está lejos del sitio, debe exportarse a esa distancia, considerando que en la actualidad se tiene en producción la planta separadora de líquidos Carlos Villegas Quiroga donde se separa el GLP, además se tiene en ingeniería conceptual la implementación de una planta de etileno-polietileno en la misma región, considerando estos aspectos se determinó que la mejor ubicación de la planta sería en Yacuiba.

Resaltando que de aquí a futuro no muy lejano será una zona potencial de producción e industrialización de hidrocarburos como complejo petroquímico de importancia en Bolivia y Sudamérica.

4.5.2. Cercanía a los mercados

Este factor de igual manera es uno de los más influyentes para el éxito de localización de una planta industrial debido a que este determina el costo de transporte del producto.

Yacuiba es una zona fronteriza por el cual ofrece grandes ventajas en cuanto a cercanías de los mercados locales e internacionales de América latina, ya que en los últimos años hubo un alza en cuanto a la demanda de acetato de etilo, debido a la no disponibilidad de la materia prima.

4.6. Disponibilidad de mano de obra

La planta debe colocarse en un área donde haya disponibilidad suficiente de mano de obra. La mano de obra disponible de los institutos técnicos locales brindará una contribución beneficiosa para que la planta funcione sin problemas, teniendo en cuenta que la zona del Chaco Tarijeño cuenta con la carrera de ingeniería petroquímica. Además de eso, la mano de obra del área circundante contribuirá a reducir el costo de operación.

4.7. Transporte

Dado que los costos de flete de las materias primas y productos terminados entran en el costo de producción, por lo tanto, las instalaciones de transporte se están convirtiendo en el factor principal en la ubicación económica de la planta. Dependiendo del volumen de las materias primas y los productos terminados, se considera un método de transporte adecuado, como ferrocarriles, carreteras y el transporte aéreo, por lo que se decide la ubicación de la planta.

Vale mencionar que al seleccionar la localización de la planta se optó por localizarla cerca a nuestra fuente de abastecimiento de materia prima, reduciendo los costos por transportes.

4.8. Disponibilidad de terreno

Suficiente tierra debe estar disponible para el propósito de la planta y la expansión futura. El costo de la tierra y el local también deben incluirse en la selección del sitio porque afectará el costo final del proyecto. El costo de la tierra depende de la ubicación y debe ser lo más económico posible para reducir la inversión total y el costo de construcción. Además, la ubicación geográfica de la tierra debería ser, idealmente, plana, con características de carga adecuadas, una estructura bien drenada y contorneada de la tierra.

Yacuiba cuenta con terreno disponible para la ubicación de la planta de Acetato de etilo, las autoridades del municipio de Yacuiba deberán brindar mejores

condiciones para el desarrollo de la planta, ya este traerá grandes inversiones que beneficiaran de manera directa e indirecta a la región.

4.9. Suministro de energía y agua

En la planta industrial, se requieren grandes cantidades de agua y suministro eléctrico para la operación de la planta. Por lo tanto, estas dos utilidades son muy importantes y su fuente debe estar disponible cerca de la ubicación del sitio para minimizar el costo.

Para el suministro de agua, el agua de proceso puede extraerse del río Pilcomayo que discurre por territorio Bolivia, Argentina y Paraguay, sirviendo de frontera en parte de su curso. Tiene una longitud nominal de 2.426 km² y drena una cuenca de 270.000 km².

En cuanto a la energía eléctrica, se dispone de la termoeléctrica del Sur, que está ubicada en la localidad de YAGUACUA, entre el municipio de Yacuiba y Villa Montes, la cual genera una potencia de 160 megavatios para cubrir la demanda nacional de energía eléctrica, esta abastecerá el suministro a las plantas que se van a instalar en la provincia Gran Chaco.

4.10. Proceso avada de etileno y ácido acético

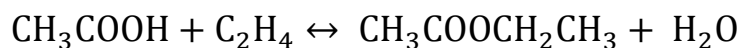
El proceso AVADA convierte etileno y ácido acético directamente a acetato de etilo, eliminando la etapa de esterificación intermedio y la necesidad de etanol. El proceso ofrece 99% de pureza acetato de etilo, Además, el diseño más simple requiere un menor número de operadores y ahorra un 20% en costos de energía en comparación con las rutas convencionales.

El diagrama de flujo básico de la unidad se muestra en la figura 4.1. La unidad consta de sección de alimentación, la sección de reacción, y el producto. La alimentación de nueva aportación que contiene etileno, ácido acético y agua se

alimenta en el vaporizador E-100-2. El vaporizador E-100-2 se utiliza para cambiar la alimentación de la fase líquida en fase de vapor como la reacción se lleva a cabo preferiblemente en la fase de vapor. También incluye un sistema de reciclaje para ambas alimentaciones sin reaccionar y todos los principales subproductos. La corriente de vapor de alimentación combinada se alimenta al Reactor CRV-100-2. El reactor se encuentra con la inyección de ácido / agua en la corriente de salida. Esto es para facilitar el control independiente de las temperaturas de entrada del reactor y para mantener la relación de etileno deseado ácido, y se logra una conversión a acetato de etilo. La corriente de producto bruto que sale del reactor se enfría antes de entrar al tambor de expansión (V-100-2) súbita donde se produce la separación de no condensables (gas) y las fases condensables (líquido).

El gas recuperado se recicla de nuevo, mientras la corriente de líquido entra en el sistema de separación (Destilador 1) T-103 de producto y purificación. En este sistema, la serie de columnas de destilación diseñada para recuperar y purificar el producto final (Destilador 2) T-104 Y T-105. También es recuperar el ácido acético sin reaccionar, agua, etanol y termina productos livianos para el reciclado de vuelta al vaporizador E-103.

El proceso ofrece 99 % de pureza acetato de etilo. Además, el diseño más simple requiere un menor número de operadores y ahorra un 20 % en costos de energía en comparación con las rutas convencionales.



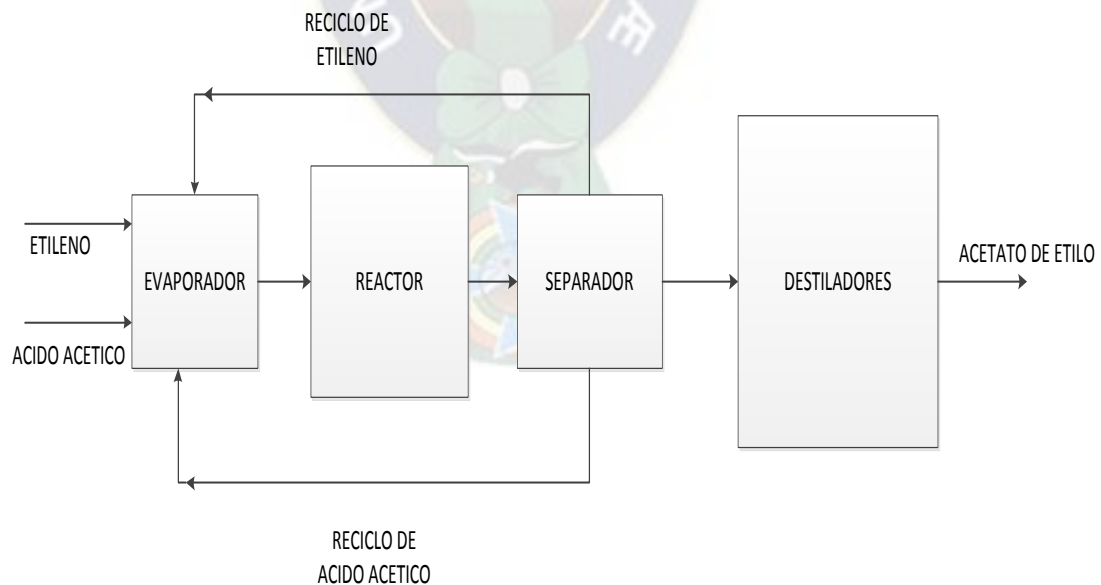
| | | | | |
|---------|-------|--------|---|---|
| Inicial | 0.25 | 0.33 | 0 | 0 |
| Final | 0.25x | 0.33-x | x | x |

$$k = \frac{[CH_3COOCH_2CH_3] * [H_2O]}{[CH_3COOH] * [C_2H_4]} = 3.77 = \frac{x^2}{(0.25 - x)(0.33 - x)}$$

| | | | | |
|-------|------|------|------|------|
| Final | 0.06 | 0.14 | 0.19 | 0.19 |
|-------|------|------|------|------|

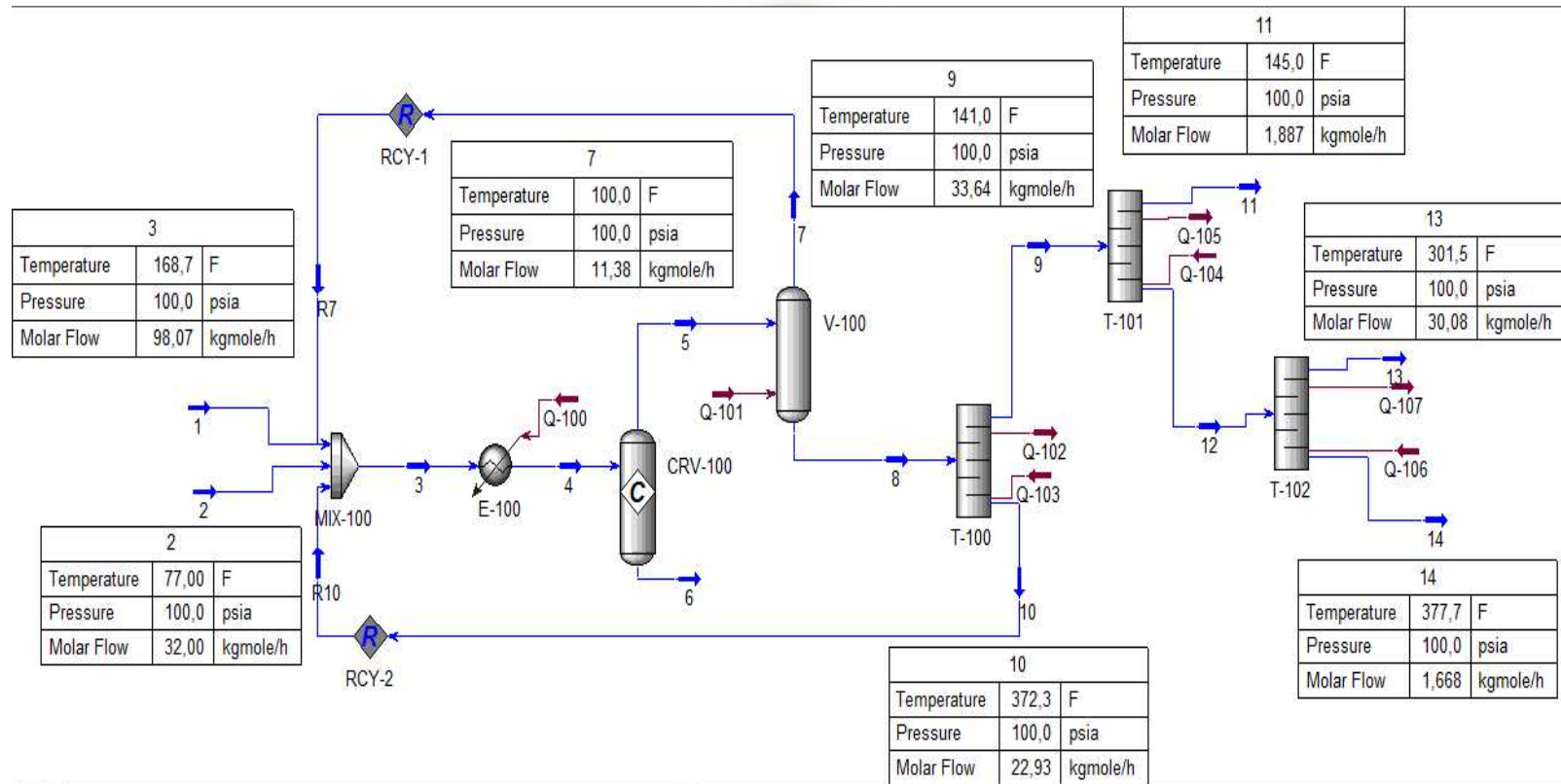
$$\begin{aligned} \%CH_3COOCH_2CH_3 &= \frac{0.19}{2 * 0.19 + 0.14 + 0.06} * 100 \\ &= \frac{0.19}{0.58} * 100 = 32.76\% \end{aligned}$$

Figura 4.1. Diagrama de Bloques del proceso



Fuente: datos extraídos de <https://www.sciencedirect.com>

Figura 4.1. Diagrama de flujo del proceso alquilación del etileno y ácido acético



Fuente: Elaboración propia en Hysys V9 (datos extraídos de Catálisis PDF)

Este proceso de un solo paso tiene la ventaja de partir de reactivo, que son mucho menos costosos que los alcoholes correspondientes y ácidos o anhídridos, halogenuros, y nitrilos. Las reacciones se producen selectivamente, la mezcla producida que sale del reactor consiste en productos deseados y compuestos.

4.11. Balance de materia y energía

El balance de masa es el factor de base que debe considerarse para diseñar una planta química. Durante nuestro diseño, el balance de masa consta de dos partes: calculado manualmente y llevado a cabo mediante el programa de simulación. El concepto básico que se aplica para el cálculo manual se basa en la ecuación de equilibrio general.

La ecuación general del balance de masas es:

$$\textit{Entrada} + \textit{Generacion} - \textit{salida} - \textit{consumo} = \textit{Acumulacion}$$

El diseño de esta planta se basa en una producción de 20,000 MTA de Acetato de etilo.

Los días de operación para la planta son 330 días, 24 horas al día.

Balance de Materiales Manual

$$20.000 \frac{\text{Ton}}{\text{año}} * \frac{1.000\text{Kg}}{1\text{ton}} * \frac{1\text{año}}{330\text{días}} * \frac{1\text{ dia}}{24\text{hr}} * \frac{1\text{kmol}}{88\text{kg}}$$
$$= 28.6961 \text{ kmol/hr EA}$$

La producción del acetato de etilo es 28.6961 Kmol/hr.

Masa consumida de Etileno, Ácido Acético y Agua:

➤ Para el Etileno

2525.25kg/hr EA produce 88 kg/hr EA

28 Kg/hr de C_2H_4

$$m_{C_2H_4} = 2525.25 \frac{kg}{hr} EA * \frac{28 \frac{Kg}{hr} C_2H_4}{88 \frac{kg}{hr} EA} = 803.4886 \frac{Kg}{hr} C_2H_4$$

➤ Para el Ácido Acético

60kg/hr CH_3COOH

2525.25kg/hr EA

$$m_{CH_3COOH} = 2525.25 \frac{kg}{hr} C_3COOH * \frac{60 \frac{Kg}{hr} CH_3COOH}{88 \frac{kg}{hr} EA} = 1721.7614 \frac{kg}{hr} CH_3COOH$$

➤ Para el agua

18kg/hr H_2O

2525.25kg/hr EA

$$m_{H_2O} = 2525.25 \frac{kg}{hr} EA * \frac{18 \frac{Kg}{hr} H_2O}{88 \frac{kg}{hr} EA} = 516.53 \frac{kg}{hr} H_2O$$

Cálculo del flujo molar del etileno:

$$2525.25 \frac{kg}{hr} C_2H_4 * \left(\frac{1 \text{Kmol } C_2H_4}{28.05 \text{ Kg}} \right)$$

$$32.03 \frac{\text{Kmol } C_2H_4}{\text{Kg}}$$

Cálculo del flujo molar del ácido acético:

$$2525.25 \frac{kg}{hr} CH_3COOH * \left(\frac{1Kmol CH_3COOH}{60.05 Kg} \right)$$

$$40.05 \frac{Kmol CH_3COOH}{Kg}$$

Cálculo del flujo molar del agua:

$$2525.25 \frac{kg}{hr} H_2O * \left(\frac{1Kmol H_2O}{18 Kg} \right)$$

$$140.29 \frac{Kmol H_2O}{Kg}$$

4.11.1. Balance de materia y energía en los equipos

Teniendo en cuenta que la ecuación general del balance de masas es:

$$\mathbf{Entrada + Generacion - salida - consumo = Acumulacion}$$

$$\mathbf{Entrada = salida}$$

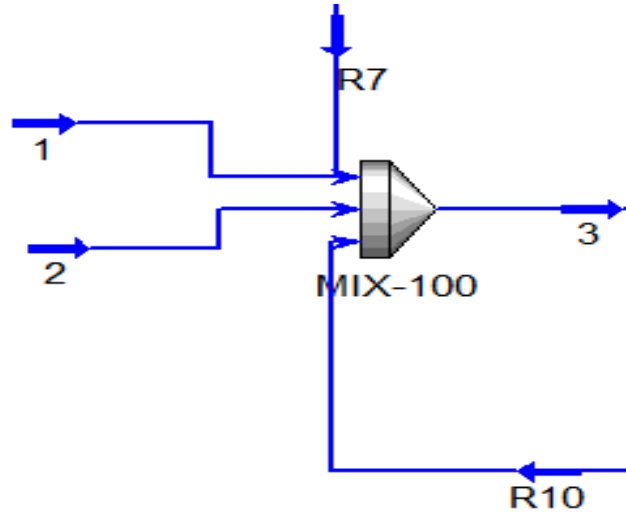
Por tanto, se toma en cuenta esta expresión para realizar el balance de materia para un proceso continuo como es el caso de la planta de producción de acetato de etilo y poder desarrollar las ecuaciones de balance dentro del proceso.

Una vez calculados los flujos máxicos y molar del etileno, agua y ácido acético que ingresan a la alimentación del proceso se realiza el balance de materia y energía.

4.11.1.1. Balance del mixer

Este instrumento será el que se encargue de hacer re circular los residuos del proceso.

Figura 4.5. Balance del mixer



Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 4.12. Propiedades calculadas de las corrientes de entrada y salida

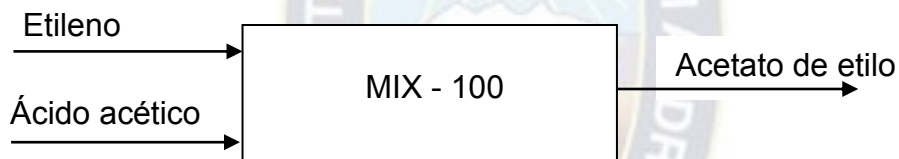
| Nombre de la corriente | Unit | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | | Entrada | Entrada | Salida |
| Fracción de vapor | | 1 | 0 | 0,45453163 |
| Temperatura | F | 77 | 77 | 168,667276 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo molar | kgmole/h | 32 | 32 | 98,0651216 |
| Flujo másico | lb/hr | 1979,11708 | 4236,47933 | 10035,7313 |
| Caudal liq condición ideal | barrel/day | 353,61834 | 275,876108 | 958,584142 |
| Flujo de calor | Btu/hr | 1577264,61 | -13968764,8 | -21536015,2 |

Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 4.12. Composición molar de los componentes

| | <i>Unit</i> | 1 | 2 | 3 |
|---|-------------|---|---|------------|
| Fracción molar del Etileno | | 1 | 0 | 0,43871684 |
| Fracción molar del ácido acético | | 0 | 1 | 0,54680228 |
| Fracción molar de acetato de etilo | | 0 | 0 | 0,01448088 |

Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)



Balance de materia

$$Entrada - Salida + Generación = Acumulacion \quad [1]$$

Consideraciones:

- Estado estacionario (Acumulación = 0).
- No existe reacción química (Generación = 0).
- Mezcla de fluidos líquidos incompresibles.

$$Entrada = salida$$

$$F_{A0} + F_{B0} = Mezcla \quad [2]$$

Siendo:

$$F_{A0}: \text{Etileno}, 165.11 \text{ lbmol} / h$$

F_{Bo} : Ácido acético, 110.07 lbmol /h

Cálculo de la corriente mezcla:

Reemplazando los valores anteriores en mezcla de componentes [2]:

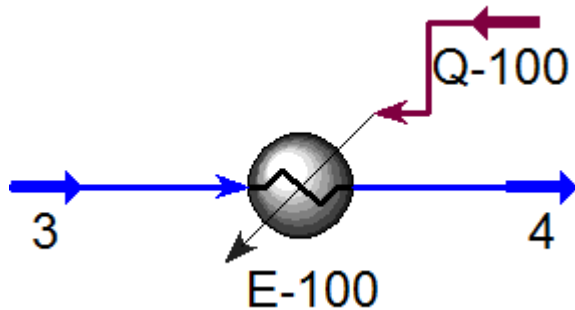
$$F_{Ao} + F_{Bo} = \text{Mezcla}$$

$$\text{Mezcla} = 275.18 \text{ mol/h}$$

4.11.1.2. Balance en el calentador (e-100)

Vaporiza toda la mezcla y la lleva a su punto de rocío.

Figura 4.6. Balance en el calentador (e-100)



Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 4.14. Propiedades de corriente de entrada y salida del enfriador

| Nombre de corrientes | Unit | 3 | 4 |
|----------------------|------|------------|------------|
| Fracción fase vapor | | 0,45453163 | 1 |
| Temperatura | F | 168,667276 | 327,721736 |
| Presión | Psia | 100 | 100 |

| | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------|-------------|
| Flujo molar | kgmole/h | 98,0651216 | 98,0651216 |
| Flujo másico | lb/hr | 10035,7313 | 10035,7313 |
| Caudal liq condición ideal | barrel/day | 958,584142 | 958,584142 |
| Flujo de calor | Btu/hr | -21536015,2 | -19787386,6 |

| Fracción molar de los componentes | | | |
|-----------------------------------|------|------------|------------|
| | Unit | 3 | 4 |
| Etileno | | 0,43871684 | 0,43871684 |
| Ácido acético | | 0,54680228 | 0,54680228 |
| Acetato de etilo | | 0,01448088 | 0,01448088 |

Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

VARIABLES.

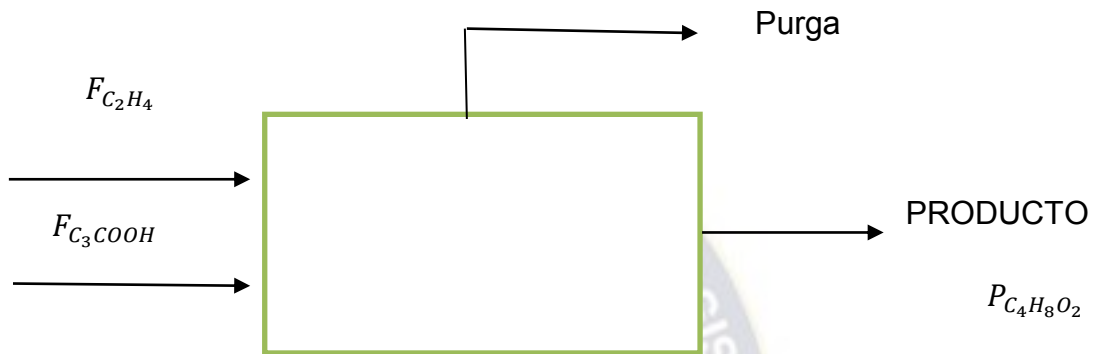
Conversión (N-butano): $X=0.64$

Selectividad: $S=0.4$

Relación molar de alimentación:

$$\frac{F_{C_2H_4}}{F_{C_3COOH}} = 1.5$$

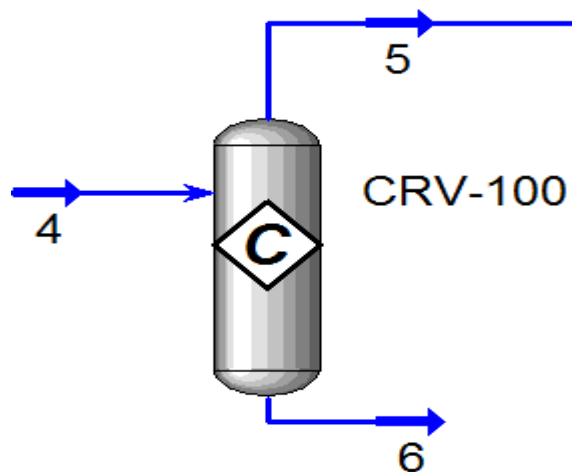
Diagrama de flujo.



4.11.1.3. Balance en el reactor de conversión (crv-100)

La reacción exotérmica(4) tiene lugar en el reactor. Se elimina calor del reactor generando una corriente de vapor en el lado de la carcasa de los tubos. Las reacciones son irreversibles y las expresiones de las velocidades de dichas reacciones vienen dadas por las ecuaciones a continuación:

Figura 4.7. Balance en el reactor de conversión (crv-100)



Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 4.135. Propiedades de las corrientes de entrada y salida en el Reactor

| | Unit | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| | | Entrada | Salida | Salida |
| Fracción fase vapor | | 1 | 1 | 0 |
| Temperatura | F | 327,721736 | 701,676734 | 701,676734 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo Molar | kgmole/h | 98,0651216 | 67,9491471 | 0 |
| Flujo másico | lb/hr | 10035,7313 | 10035,831 | 0 |
| Caudal liq condición ideal | barrel/day | 958,584142 | 808,817456 | 0 |
| Flujo de calor | Btu/hr | -19787386,6 | -19787208,8 | 0 |

| Fracción Molar de los componentes | | | | |
|-----------------------------------|------|------------|------------|------------|
| | Unit | 4 | 5 | 6 |
| Etileno | | 0,43871684 | 0,18994861 | 0,04059992 |
| Ácido acético | | 0,54680228 | 0,34593897 | 0,39192157 |
| Acetato de etilo | | 0,01448088 | 0,46411242 | 0,56747851 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

| Componente | Peso molecular |
|-------------------------|----------------|
| Etileno | 28.054 |
| Ácido acético | 60.052 |
| Acetato de etilo | 88.107 |

Ecuación del balance de energía:

$$\Delta E_C + \Delta P_p + \Delta H = Q + W$$

Para el proceso adiabático: $Q = 0$: $W = 0$

$$\Delta H = 0$$

El cambio de energía cinética y energía potencial se consideran despreciables por lo que el balance de energía se reduce a:

$$\Delta H = \sum_{salida} n_i * H_i - \sum_{entrada} n_i * H_i$$

Para resolver el balance de energía se utilizarán las entalpías de formación de los compuestos que intervienen en la reacción.

Ecuaciones de capacidades caloríficas:

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

$$\int_{T_{ref}}^{T_{ent}} C_p dT = \int_{T_{ref}}^{T_{ent}} (a + bT + cT^2 + dT^3) dT$$

$$\int_{T_{ref}}^{T_{ent}} C_p dT = a(T_{ent} - T_{ref}) + b \frac{(T_{ent}^2 - T_{ref}^2)}{2} + c \frac{(T_{ent}^3 - T_{ref}^3)}{3} + d \frac{(T_{ent}^4 - T_{ref}^4)}{4}$$

Etileno C_2H_4 :

Del apéndice C del libro Smith Van Ness se tiene los siguientes datos:

$$\Delta H_{25^\circ}^0 C_2H_4 = 52283 \text{ J/mol}$$

$$A = 1.424$$

$$B = 14.394$$

$$C = -4.392$$

Remplazando datos en la siguiente ecuación se tiene:

$$\int_{25}^{164.3} C_p dT = a(T_{ent} - T_{ref}) + b \frac{(T_{ent}^2 - T_{ref}^2)}{2} + c \frac{(T_{ent}^3 - T_{ref}^3)}{3} + d \frac{(T_{ent}^4 - T_{ref}^4)}{4}$$

$$\int_{25^\circ C}^{164.3} C_p dT = -7.92 * 10^{12} \text{ J/mol}$$

$$H_i = \Delta H_{C_2H_4} + \int_{T_{ref}}^{T_{ent}} C_p dT$$

Etileno en la entrada:

$$H_{C_2H_4} = 52283 \frac{\text{J}}{\text{mol}} - 7,6733E12 \frac{\text{J}}{\text{mol}} = -7.91 * 10^{11} \text{ KJ/mol}$$

Etileno en la salida:

$$\int_{25}^{371.2} C_p dT = a(T_{ent} - T_{ref}) + b \frac{(T_{ent}^2 - T_{ref}^2)}{2} + c \frac{(T_{ent}^3 - T_{ref}^3)}{3} + d \frac{(T_{ent}^4 - T_{ref}^4)}{4}$$

$$\int_{25^\circ C}^{371^\circ C} C_p dT = -2.34 * 10^{12} \text{ J/mol}$$

$$H_i = \Delta H_{C_2H_4} + \int_{T_{ref}}^{T_{ent}} C_p dT$$

$$H_{C_2H_4} = 52283 \frac{J}{mol} - 2.34 * 10^{12} \frac{J}{mol} = -2.34 * 10^1 KJ/mol$$

4.11.1.4. Diseño del reactor (crv-100)

Datos técnicos

Se han obtenido los siguientes datos para estudiar el funcionamiento del reactor adiabático.

| | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|
| Presión de entrada (Psi.) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Conversión | 0.61 | 0.63 | 0.77 | 0.82 |
| Velocidad de reacción | 33 | 62 | 119 | 177 |

Leyes de reactividad

$$r_1 = K_1 C_{C_2H_4}^\alpha C_{H_2O}^\beta$$

Ecuación de diseño para un reactor de lecho fijo

$$F_{AO} = \frac{dx}{dw} = -a$$

$$W = F_{AO} \int_0^x \frac{dx}{-r_a}$$

La velocidad de flujo molar de alimentación es:

$$F_{AO} = V_O C_{AO} = \frac{V_O Y_{AO} P_O}{RT_O}$$

Del balance realizado en el reactor tenemos:

$$F_{C_2H_4} = 28.6 \frac{KJ}{mol}$$

$$W = F_{AO} \int_0^x \frac{dx}{-r_a}$$

Datos de velocidad de reacción

| x | -r_a (mol/m³min.) | -r_a (mol/m³seg.) |
|----------|---|---|
| 0.61 | 33 | 0.57 |
| 0.63 | 67 | 1.22 |
| 0.77 | 130 | 2.39 |
| 0.82 | 180 | 2.97 |

Fuente: <file:///C:/Users/Mary/Documents/cinetica%20de%20acetato%20de%20etilo.pdf>

La masa del catalizador varia por el reciproco de la velocidad

| | | | | |
|---|-------|------|------|------|
| x | 0.61 | 0.63 | 0.77 | 0.82 |
| -r_a (mol/m³seg.) | 0.57 | 1.22 | 2.39 | 2.97 |
| 1/r_a (m³seg/mol) | 1.75 | 0.82 | 0.42 | 0.34 |
| F_{AO}/-r_a (m3) | 15.20 | 7.15 | 4.21 | 2.32 |

Mediante un integral se evalúa el área sombreada bajo la curva para hallar el volumen del reactor.

Del balance realizado en el reactor se tiene:

$$F_{AO} = 28.6 \text{ KJ/mol} * 0.96 = 24.456 \text{ KJ/mol}$$

$$F_{AO} = 7.49 \times 10^{-3} \text{ KJ/seg.} \cdot 1000 \text{ mol/KJ}$$

$$F_{AO} = 7.49 \text{ mol/seg.}$$

La regla de Simpson 3 octavos (de cuatro pruebas)

$$W = \frac{3}{8} h (f_1(x_0) + 3f_2(x_1) + 3f(x_2) + f(x_3))$$

Dónde:

$$h = \frac{x_3 - x_0}{3}$$

$$x_1 = x_0 + h$$

$$x_2 = x_0 + 2h$$

$$W = \frac{3}{8} \left(\frac{0.82 - 0.61}{3} \right) (15.20 + 3 \cdot 7.15 + 3 \cdot 4.21 + 2.32)$$

El volumen del reactor es:

$$W = 1.3545 \text{ m}^3 = 1354.5 \text{ lt.}$$

Parámetros de diseño “Datos del catalizador y el reactor”

Tabla 4.16. Parámetros de diseño

| Parámetro | Valor |
|----------------------------------|-------|
| Densidad (Kg/m ³) | 1.800 |
| Longitud de reactor (m) | 8,011 |
| Densidad de lecho de catalizador | 1.123 |

| | |
|--|---------|
| (Kg/m ³) | |
| Diámetro interior del tubo (m) | 0.038 |
| Diámetro exterior del tubo (m) | 0.042 |
| Número de tubos | 4,900 |
| Fracción de huecos Capacidad de calor (KJ/KgK) | 0.40 |
| Diámetro de partículas | 6,02E-7 |

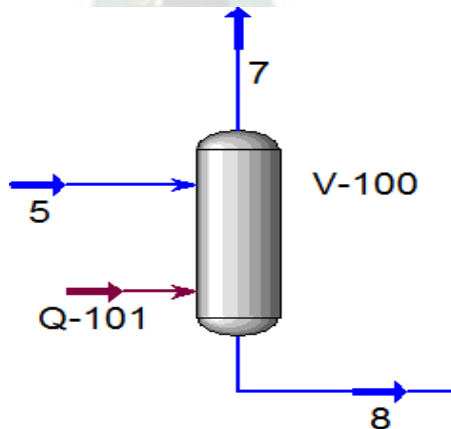
Fuente: Núñez, 2011, Comportamiento dinámico de un reactor de acetato de etilo

Como subproductos del proceso de obtención del acetato de etilo se obtienen bajos porcentajes de acetato de butilo y aldol que fácilmente se deshidratan, obteniéndose así porcentajes de 95 a 98% de acetato de etilo.

4.11.1.5. Balance en el separador (v-100)

Se cuenta con un separador que consta de una chaqueta para enfriar Q-101 donde el flujo molar en el tope es de 11.38 kgmol/hora.

Figura 4.8. Balance en el separador (v-100)



Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 4.17. Propiedades de la corriente de entrada y salida

| | Unit | 5 | 7 | 8 |
|----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | | Entrada | Salida | Salida |
| Fracción fase vapor | | 1 | 1 | 0 |
| Temperatura | F | 701,676734 | 100 | 100 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo Molar | kgmole/h | 67,9491471 | 11,3780047 | 56,5711425 |
| Flujo másico | lb/hr | 10035,831 | 744,152913 | 9291,67808 |
| Caudal liquido | barrel/day | 808,817456 | 126,682727 | 682,134729 |
| Flujo de calor | Btu/hr | -19787208,8 | 415557,378 | -24252538,3 |

| Fracción molar de los componentes | | | | |
|-----------------------------------|------|------------|------------|------------|
| | Unit | 5 | 7 | 8 |
| Etileno | | 0,18994861 | 0,97159233 | 0,03273867 |
| Ácido Acetico | | 0,34593897 | 0,00332468 | 0,41484807 |
| Acetato de etilo | | 0,46411242 | 0,025083 | 0,55241325 |

Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

Balance del separador:

$$F_5 = F_7 + F_8$$

- **Balance de materia por componentes:**

Balance de materia para el etileno ($X_{C_2H_4}$):

$$X_{C_2H_4} + F_5 = X_{C_2H_4} * F_7 + X_{C_2H_4} * F_8$$

Balance de materia para el agua (X_{H_2O}):

$$X_{H_2O} + F_5 = X_{H_2O} * F_7 + X_{H_2O} * F_8$$

Balance de materia para el ácido acético (CH_3COOH):

$$X_{CH_3COOH} + F_5 = X_{CH_3COOH} * F_7 + CH_3COOH * F_8$$

De las corrientes de salida 7 y 8 se obtienen las siguientes fracciones molares del proceso.

Fracción molar en la corriente de salida 7

Etileno $X_{C_2H_4}$ 0.9716

Ácido acético X_{CH_3COOH} 0.0033

Acetato de etilo $X_{C_4H_8O_2}$ 0.0251

Fracción molar en la corriente de salida 8

Etileno $X_{C_2H_4}$ 0.0294

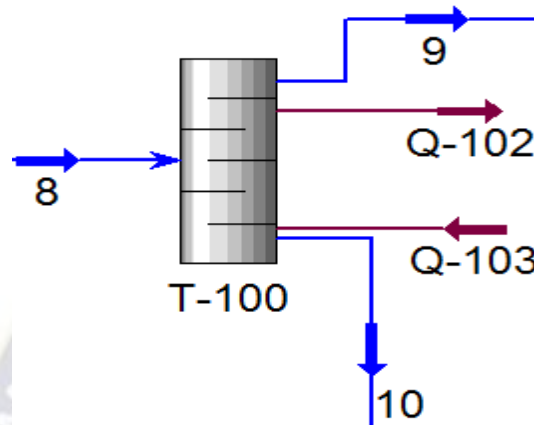
Ácido acético X_{CH_3COOH} 0.4624

Acetato de etilo $X_{C_4H_8O_2}$ 0.5082

4.11.1.6. Balance en la columna 1, corto y riguroso (T-100, T-103)

El proceso se obtendrá en fase líquida donde el componente más ligero será el acetato de etilo y el más pesado el ácido acético.

Figura 4.8. Balance en la columna 1



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

| T-100 | | |
|----------------|-------------|--------|
| Minimum Reflux | 0,4622 | |
| Minimum Trays | 4,703 | |
| Actual Trays | 8,576 | |
| Optimal Feed | 3,993 | |
| Condenser Duty | -2,622e+006 | Btu/hr |
| Reboiler Duty | 3,099e+006 | Btu/hr |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Balance en la columna 1:

$$F_8 = F_9 + F_{10}$$

- Balance de materia por componentes:

Balance de materia para el etileno ($X_{C_2H_4}$):

$$X_{C_2H_4} * F_8 = X_{C_2H_4} * F_9 + X_{C_2H_4} * F_{10}$$

Balance de materia para el agua (X_{H_2O}):

$$X_{H_2O} + F_8 = X_{H_2O} * F_9 + X_{H_2O} * F_{10}$$

Balance de materia para el ácido acético (CH_3COOH):

$$X_{CH_3COOH} + F_8 = X_{CH_3COOH} * F_9 + CH_3COOH * F_{10}$$

De las corrientes de salida 9 y 10 se obtienen las siguientes fracciones molares del proceso.

Fracción molar en la corriente de salida 9

Etileno $X_{C_2H_4}$ 0.0551

Ácido acético X_{CH_3COOH} 0.0500

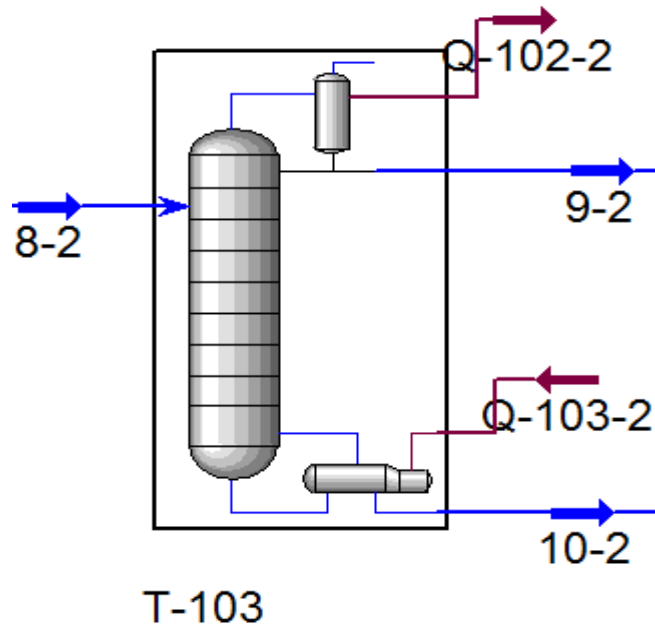
Acetato de etilo $X_{C_4H_8O_2}$ 0.8949

Fracción molar en la corriente de salida 10

Etileno $X_{C_2H_4}$ 0.0000

Ácido acético X_{CH_3COOH} 0.9500

Acetato de etilo $X_{C_4H_8O_2}$ 0.0500



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 4.18. Propiedad de la corriente de entrada y salida en la columna 1

| | Unit | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Fracción de Vapor | | 0 | 0 | 0 |
| Temperatura | F | 100 | 141,048199 | 372,303278 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo Molar | kgmole/h | 56,5711425 | 33,637951 | 22,9331915 |
| Flujo másico | lb/hr | 9291,67808 | 6184,63161 | 3107,04646 |
| Caudal liq condición ideal | barrel/day | 682,134729 | 477,455832 | 204,678897 |
| Flujo de calor | Btu/hr | -24252538,3 | -14127177,2 | -9648560,89 |
| | Unit | 8 | 9 | 10 |
| Etileno | | 0,03273867 | 0,05505877 | 8,52E-14 |

| | | | | |
|-------------------------|--|------------|------------|------|
| Ácido acético | | 0,41484807 | 0,05 | 0,95 |
| Acetato de Etilo | | 0,55241325 | 0,89494123 | 0,05 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Dimensionamiento de la columna 1

Tabla 4.19. Dimensionamiento columna de destilación

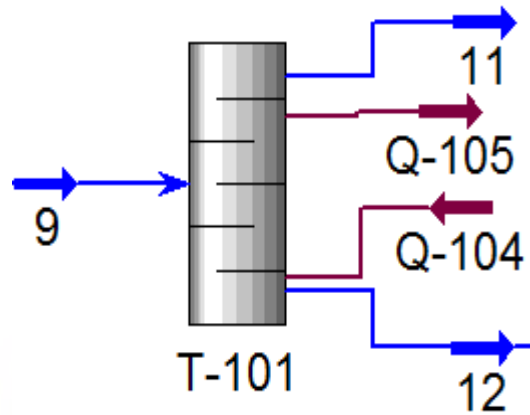
| | |
|--------------------------------|----------|
| Altura (m) | 8 |
| Número de platos | 12 |
| plato de alimentación | 6 |
| razón de reflujo | 1 |
| eficiencia de platos | 50% |
| separación entre platos | 0,613 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

4.11.1.7. Balance en la columna 2, corto y riguroso (T-101, T-104)

Donde se destilan los componentes más ligeros, el componente más ligero será el etileno y posteriormente el acetato de etilo. La obtención será en fase vapor ya que para poder condensar el etileno se requiere de temperaturas muy bajas, si se quisiera obtener en fase líquida se necesitaría de refrigerantes, por tal motivo la obtención de fase vapor es la más adecuada.

Figura 4.9. Balance en la columna 2



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 4.20. Balance en la columna 2

| T-101 | | |
|----------------|-------------|--------|
| Minimum Reflux | 0,1176 | |
| Minimum Trays | 2,703 | |
| Actual Trays | 4,178 | |
| Optimal Feed | 1,102 | |
| Condenser Duty | -8,408e+004 | Btu/hr |
| Reboiler Duty | 6,217e+005 | Btu/hr |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Balance en la columna:

$$F_9 = F_{11} + F_{12}$$

- Balance de materia por componentes:

Balance de materia para el etileno ($X_{C_2H_4}$):

$$X_{C_2H_4} + F_9 = X_{C_2H_4} * F_{11} + X_{C_2H_4} * F_{12}$$

Balance de materia para el agua (X_{H_2O}):

$$X_{H_2O} + F_9 = X_{H_2O} * F_{11} + X_{H_2O} * F_{12}$$

Balance de materia para el ácido acético (CH_3COOH):

$$X_{CH_3COOH} + F_9 = X_{CH_3COOH} * F_{11} + CH_3COOH * F_{12}$$

De las corrientes de salida 11 y 12 se obtienen las siguientes fracciones molares del proceso.

Fracción molar en la corriente de salida 11

Etileno $X_{C_2H_4}$ 0.9799

Ácido acético X_{CH_3COOH} 0.0001

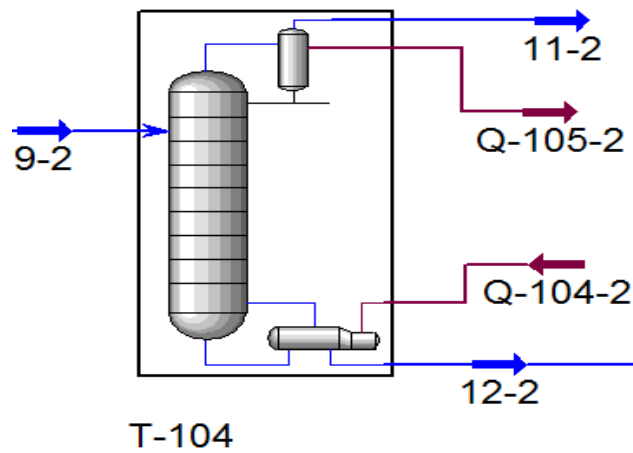
Acetato de etilo $X_{C_4H_8O_2}$ 0.0200

Fracción molar en la corriente de salida 12

Etileno $X_{C_2H_4}$ 0.0001

Ácido acético X_{CH_3COOH} 0.0530

Acetato de etilo $X_{C_4H_8O_2}$ 0.9469



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 4.14. Propiedades de la corriente de entrada y salida

| | Unit | 9 | 11 | 12 |
|----------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Fracción fase vapor | | 0 | 1 | 0 |
| Temperatura | F | 141,048199 | 145 | 303,52382 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo Molar | kgmole/h | 33,637951 | 1,88678333 | 31,7511676 |
| Flujo Másico | lb/hr | 6184,63161 | 121,699828 | 6062,93178 |
| Caudal liquido | barrel/day | 477,455832 | 20,9873191 | 456,468512 |
| Flujo de calor | Btu/hr | -14127177,2 | 78433,3962 | -13664600,6 |
| Composición molar | Unit | 9 | 11 | 12 |
| Etileno | | 0,05505877 | 0,97991592 | 1,00E-04 |
| Ácido acético | | 0,05 | 8,38E-05 | 0,05296622 |
| Acetato de etilo | | 0,89494123 | 0,02000024 | 0,94693378 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Dimensionamiento de la columna 2

Tabla 4.15. Dimensionamiento columna de destilación 2

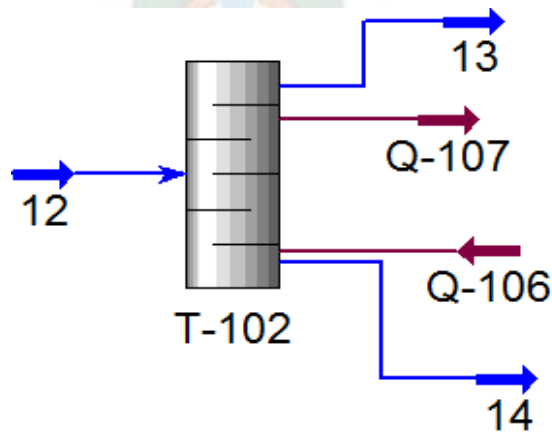
| | |
|-------------------------|-------|
| Altura (m) | 7 |
| Número de platos | 5 |
| plato de alimentación | 2 |
| razón de reflujo | 1 |
| eficiencia de platos | 50% |
| separación entre platos | 0,613 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

4.11.1.8. Balance en la columna 3, corto y riguroso (T-102, T-105)

La destilación se llevará a cabo para la obtención en fase líquida donde el componente ligero será el acetato de etilo obtenido en el tope, por otro lado, el componente pesado será el ácido acético.

Figura4.10. Balance en la columna 3



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

| T-102 | | |
|----------------|-------------|--------|
| Minimum Reflux | 1,176 | |
| Minimum Trays | 18,42 | |
| Actual Trays | 31,36 | |
| Optimal Feed | 13,80 | |
| Condenser Duty | -2,217e+006 | Btu/hr |
| Reboiler Duty | 2,217e+006 | Btu/hr |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Balance en la columna:

$$F_{12} = F_{13} + F_{14}$$

- Balance de materia por componentes:

Balance de materia para el etileno ($X_{C_2H_4}$):

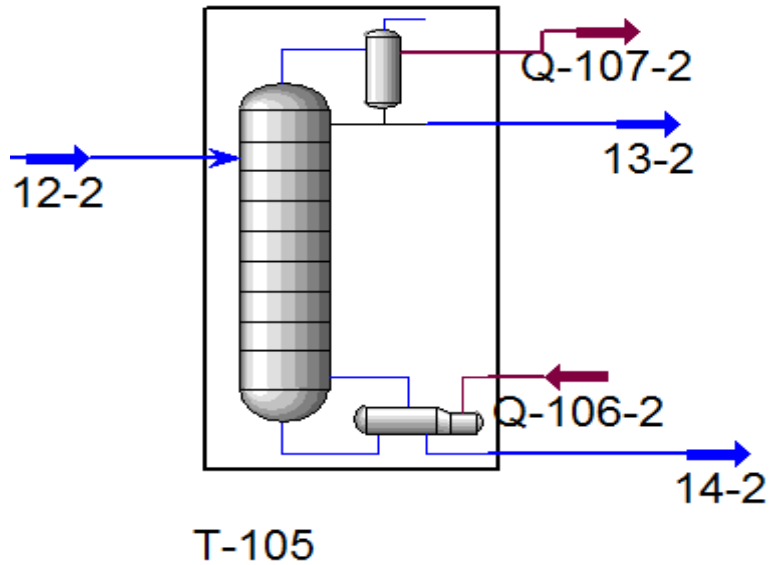
$$X_{C_2H_4} + F_{12} = X_{C_2H_4} * F_{13} + X_{C_2H_4} * F_{14}$$

Balance de materia para el agua (X_{H_2O}):

$$X_{H_2O} + F_{12} = X_{H_2O} * F_{13} + X_{H_2O} * F_{14}$$

Balance de materia para el ácido acético (CH_3COOH):

$$X_{CH_3COOH} + F_{12} = X_{CH_3COOH} * F_{13} + CH_3COOH * F_{14}$$



Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Tabla 4.16. Propiedades de las corrientes de entrada y salida

| | Unit | 12 | 13 | 14 |
|----------------------------|------------|-------------|-----------------|------------|
| | | Entrada | Salida | Salida |
| Fracción fase vapor | | 0 | 0 | 0 |
| Temperatura | F | 303,52382 | 301,517332 | 377,650555 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 |
| Flujo Molar | kgmole/h | 31,7511676 | 30,0828277 | 1,66833993 |
| Flujo másico | lb/hr | 6062,93178 | 5841,02842 | 221,903369 |
| Caudal liquido | barrel/day | 456,468512 | 441,984145 | 14,4843673 |
| Flujo de calor | Btu/hr | -13664600,6 | - 12962889,1 | -701243,9 |
| Composición molar | Unit | 12 | 13 | 14 |
| | | | | |

| | | | | |
|-------------------------|--|------------|------------|------|
| Etileno | | 1,00E-04 | 0,00010555 | 0 |
| Ácido acético | | 0,05296622 | 0,001 | 0,99 |
| Acetato de etilo | | 0,94693378 | 0,99889445 | 0,01 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

Dimensionamiento de la columna 3

Tabla 4.17. Dimensionamiento columna de destilación 3

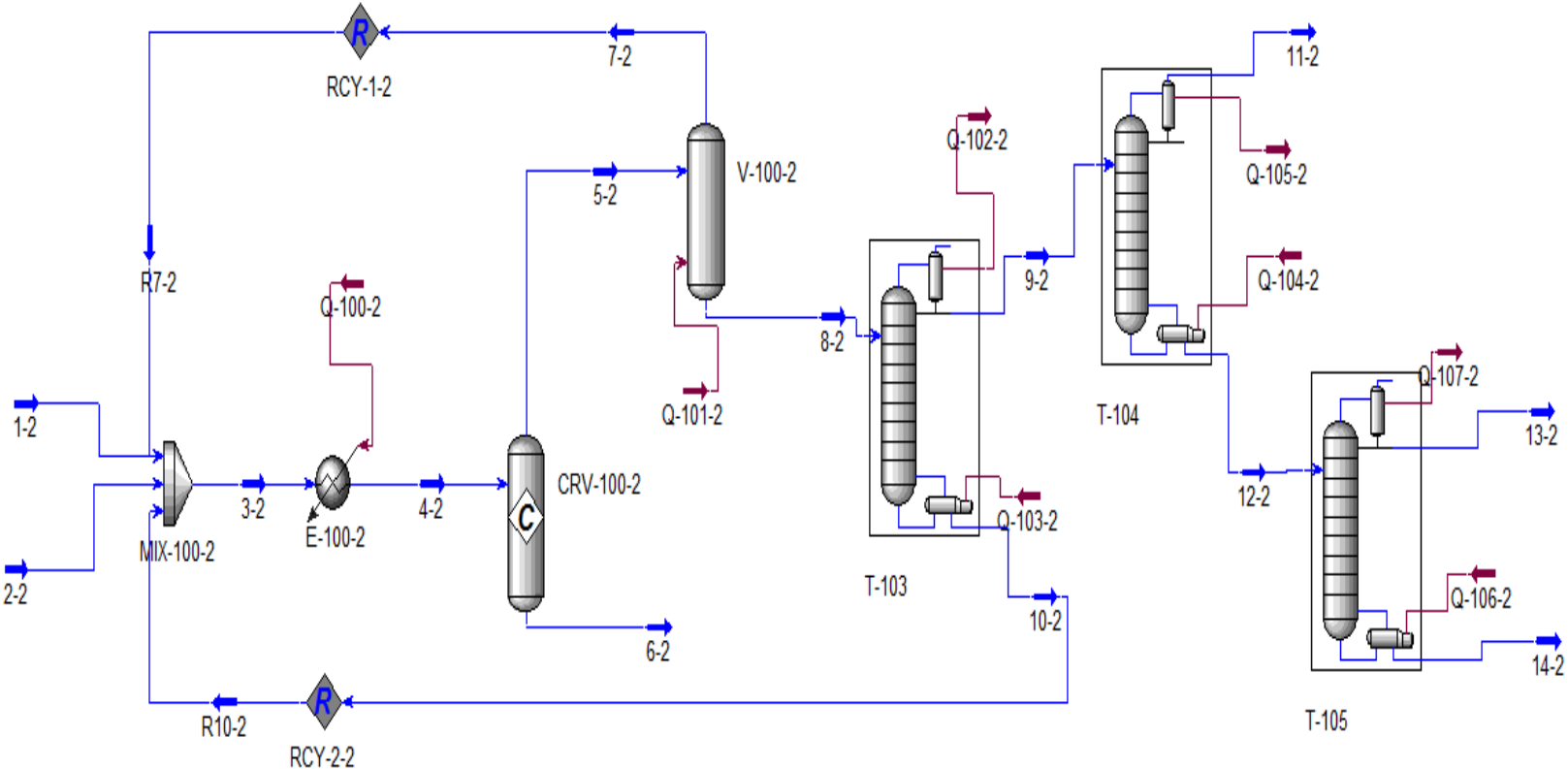
| | |
|--------------------------------|-----------|
| Altura (m) | 18 |
| Número de platos | 32 |
| plato de alimentación | 14 |
| razón de reflujo | 2 |
| eficiencia de platos | 50% |
| separación entre platos | 0,613 |

Fuente: propia (ASPEN HYSYS V9)

4.11.2. Diagrama de flujo del proceso

El proceso de producción de acetato de etilo, consta de la recepción de la materia prima, sistema de reacción, separación etileno y ácido acético, en la gráfica a continuación se muestra el diagrama de flujo del proceso.

Figura 4.11. Diagrama de flujo, simulación de producción de acetato de etilo a partir de etileno (Modelo riguroso)



Fuente: Elaboración propia (ASPEN HYSYS V9)

En el diagrama anterior se puede observar que se cuenta con un separador V-100 que separará los componentes más ligeros (Etileno), el mismo que cuenta con una chaqueta para enfriar el flujo de 701 a 100 F que es lo que se desea, de no usar el separador sería necesario un destilador más, lo que implicaría un gasto adicional innecesario. Seguidamente en el proceso se tiene un destilador T-100 que se destilará el ácido acético, por el tope se tendrá acetato de etilo (componente ligero) y por el fondo saldrá el ácido acético (componente más pesado) en fase líquida, el flujo que sale de fondo se hará recircular. Se utiliza un segundo destilador para separar los componentes más ligeros, ahí se podría usar un separador también pero no es lo más recomendable por el tope se tiene flujo de etileno que es el componente ligero, este destilador estará en fase vapor porque para poder condensar el etileno es necesario tener temperaturas muy bajas, si se quisiera condensar en estado líquido serán necesarios refrigerantes costosos que implicaran más costo en la producción. La última columna de destilación se tendrá en fase líquida donde se obtendrá en el tope el acetato de etilo que es el componente ligero y en el fondo ácido acético que dan resultados adecuados.

4.11.3. Balance de energía

Los balances de energía tienen gran importancia y utilización amplia en procesos industriales donde es preciso, calentar, enfriar o aislar térmicamente, lo que ocurre en la mayoría de los casos. A partir de la ecuación de conservación de energía se analizan las diferentes formas de energías que un sistema puede poseer, así como también distintas formas en que éstas se pueden transferir, a continuación, se plantea el balance de energía para el sistema:

En cuanto a términos de energía en los procesos químicos tanto la energía potencial y la energía cinética son valores despreciables que la mayoría de las veces es igual a cero a diferencia de los valores del trabajo y calor.

Por lo que en la ecuación de balance de energía tendremos términos que tenderán a cero, debido a que la planta estará regida a un proceso de estado estacionario.

Entrada de calor + Calor generado + Salida de calor

Por tanto, se tendrá:

$$\text{Calor} = \text{Entalpia (1)} - \text{Entalpia (2)}$$

$$Q = H_1 - H_2$$

Por tanto, se tendrá la ecuación principal para el balance de energía:

$$\sum_{i=1} me(i) * he(i) = \sum_{i=1} ms(f) * hs(f)$$

Balance para la entalpia

$$F_{10} * H_{10} + Q_{12} = F_{11} * H_{11} + Q_{13} + Q_{11} + Q_p$$

Tabla 4.25. Balance global de materia y energía de acetato de etilo

| | Unit | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Fracción fase vapor | | 1 | 0 | 0,45453163 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Temperatura | F | 77 | 77 | 168,667276 | 327,721736 | 701,676734 | 701,676734 | 100 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Flujo molar | kgmole/h | 32 | 32 | 98,0651216 | 98,0651216 | 67,9491471 | 0 | 11,3780047 |
| Flujo másico | lb/hr | 1.979,11708 | 4.236,47933 | 10.035,7313 | 10.035,7313 | 10.035,831 | 0 | 744,152913 |
| Caudal liquido | barrel/day | 353,61834 | 275,876108 | 958,584142 | 958,584142 | 808,817456 | 0 | 126,682727 |
| Flujo de calor | Btu/hr | 1.577.264,61 | - | - | - | - | 0 | 415.557,378 |
| | | | | | | | | |
| | Unit | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| | | | | | | | | |
| Fracción fase vapor | | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Temperatura | F | 100 | 141,048199 | 372,303278 | 145 | 303,52382 | 301,517332 | 377,650555 |
| Presión | Psia | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Flujo molar | kgmole/h | 56,5711425 | 33,637951 | 22,9331915 | 1,88678333 | 31,7511676 | 30,0828277 | 1,66833993 |
| Flujo másico | lb/hr | 9.291,67808 | 6.184,63161 | 3.107,04646 | 121,699828 | 6.062,93178 | 5.841,02842 | 221,903369 |
| Caudal liquido | barrel/day | 682,134729 | 477,455832 | 204,678897 | 20,9873191 | 456,468512 | 441,984145 | 14,4843673 |
| Flujo de calor | Btu/hr | -24252538,3 | -14127177,2 | -9648560,89 | 78433,3962 | -13664600,6 | -12962889,1 | -701243,9 |

Fuente: Elaboración propia 2021

En la tabla anterior se puede apreciar el balance global de materia de los 14 pasos que son necesarios para el proceso que el presente Proyecto propone tomando en cuenta los aspectos más importantes como las temperaturas, fracción de la fase vapor, presión, flujo molar, flujo másico, caudal. Estos datos son de profunda relevancia para el desarrollo correcto de la planta, por tanto si los datos que se tienen son correctos la simulación será efectiva, de lo contrario el simulador ASPEN HYSYS no proveerá los resultados esperados. Para el presente proyecto los datos simulados son correctos y la simulación es efectiva.

4.12. Distribución general de la planta

El objetivo es encontrar la mejor organización de las áreas de trabajo y de los equipos para conseguir la máxima economía en el trabajo además de mayor seguridad y satisfacción de los trabajadores.

La distribución en la planta significa la ordenación de espacios necesarios para el movimiento de material, equipos industriales, equipos o líneas de producción, administración, servicios para el personal y entre otros.

4.12.1. Objetivos de la distribución de la planta

- ✓ Movimiento de material según distancias mínimas.
- ✓ Facilidad de circulación de trabajo en la planta.
- ✓ Utilización efectiva de todo el espacio.
- ✓ Esfuerzo mínimo de los trabajadores.
- ✓ Máxima seguridad en los trabajadores.
- ✓ Flexibilidad en la ordenación para facilitar reajustes o posibles ampliaciones.

4.12.2. Principios básicos en la distribución de la planta

➤ Principio de la satisfacción y seguridad

La igualdad de condiciones en los trabajadores y una buena distribución de la planta, proveerá de seguridad a la planta para ello se debe tomar en cuenta las normas internacionales como la ISO 45000:2018 referida a la seguridad y salud ocupacional.

➤ Principio de la integración de conjunto

La mejor distribución es la que integra a los trabajadores, materiales, maquinaria, actividades auxiliares y cualquier otro factor, de modo que resulte el compromiso mejor entre todas estas partes.

➤ Principio de la mínima distancia recorrida

Es siempre mejor que la distribución permita recorrer la menor distancia posible del material.

➤ Principio de flujo de materiales

Es mejor aquella distribución que distribuya las áreas de trabajo de modo que cada operación este en el mismo orden en que se transformen.

➤ Principio del espacio cubico

La economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto en horizontal como en vertical.

El esquema general de la distribución de la planta se muestra en el siguiente diagrama de bloques.

Figura 4.12. Distribución de la planta de producción de Acetato de Etilo



Fuente: Elaboración propia, basado en distribución de normas ISO 2021

4.13. Servicios auxiliares

Los sistemas de servicios auxiliares en una planta industrial son primordiales para lograr una operación confiable.

Los servicios auxiliares comprenden las siguientes funciones: agua de refrigeración, agua de drenajes, equipos anti incendios, aire comprimido, servicios de agua potable, sistemas de lubricación, tratamiento de aguas residuales, sistemas de ventilación o aire acondicionado, servicios eléctricos, mecánicos.

Los sistemas de servicios auxiliares se consideran cuidadosamente en la etapa de diseño de la planta, porque desde su concepción misma se está determinando la confiabilidad y flexibilidad de la operación.

4.14. Aspectos medioambientales

La Ficha Ambiental, es un documento que da inicio al proceso técnico y administrativo de realizar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y es un instrumento que determina la categoría del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EEIA) relacionado a las actividades o proyectos. Toda Ficha Ambiental, debe tener un contenido mínimo de información que refleje una idea general del proyecto, es decir: Identificación y ubicación del proyecto, explicar qué actividades se van a desarrollar y el tiempo que dure la obra, la tecnología que se va a utilizar, la inversión total, descripción de la calidad y cantidad de recursos humanos a emplear, debe explicar qué recursos naturales del área serán aprovechados como materia prima, los insumos y la producción que demande la obra, la generación de residuos, los posibles accidentes y contingencias, se debe indicar los impactos que se ocasionará en las medidas de mitigación y prevención que se emplearan para evitar o minimizar los

impactos negativos, es por tal razón que dicha ficha ambiental deberá ser llenada por un profesional especializado.



CAPITULO V
ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. Evaluación técnica

Teniendo en cuenta el estudio realizado en el capítulo de estudio del mercado entendemos que la demanda de acetato de etilo es creciente ya que Bolivia importa alrededor de 2.641.879 TMA provenientes de otros países. donde la mayor cantidad importada de acetato de etilo son por los departamentos de Tarija, seguidamente por Santa Cruz, de modo que implementando la planta de producción de acetato de etilo a partir de etileno podemos satisfacer la demanda del mercado interno y el excedente que será destinado para la exportación.

Tabla 5.26. Precios de componentes en el mercado (expresados en USD)

| Componentes | Peso molecular (g/mol) | Precio (US dolar/kg) |
|---|------------------------|----------------------|
| Etileno (C ₂ H ₅ OH) | 46.07 | 0.626 |
| Acid acetic (CH ₃ COOH) | 60.05 | 0.4 |
| Acetaldehido (CH ₃ CHO) | 44.05 | 3.5 |
| Étileno (C ₂ H ₄) | 28.05 | 0.834 |
| Acetato de etilo (CH ₃ COOC ₂ H ₅) | 88.11 | 0.93 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

Teniendo en cuenta el precio de acetato de etilo de la tabla anterior, definimos cuál es el gasto que se realiza para satisfacer el mercado interno, por tanto, se tiene:

$$2641.879 \frac{T\text{M}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1T\text{M}} * \frac{0.93 \text{ \$us}}{1\text{KgAcetatodeetilo}}$$

$$= 2456947.47 \frac{\text{\$us}}{\text{Año}}$$

Teniendo en cuenta que la planta tendrá una capacidad de producción de 20.000 TMA se estima una ganancia económica total de:

$$20.000 \frac{T\text{M}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1T\text{M}} * \frac{0.93 \text{ \$us}}{1\text{KgAcetatodeetilo}}$$

$$= 18.600.000,00 \frac{\text{\$us}}{\text{Año}}$$

5.2. Evaluación económica

El estudio económico dentro de la elaboración de un proyecto es muy importante ya que a partir del resultado de éste estudio depende la factibilidad económica del proyecto. En el presente capítulo se hace un análisis económico partiendo de las inversiones a realizar, equipos, transporte, instalación. Analizando estas inversiones e ingresos anuales que producirá el nuevo sistema a implementar se realiza un análisis de flujo de caja para determinar si es conveniente o no la realización de este proyecto.

5.2.1. Análisis de inversiones

Los costos a analizar en este subtítulo son los correspondientes a las inversiones a realizar sobre equipos, transporte, instalación y otros.

Los equipos necesarios para la implementación y puesta en marcha de la planta de producción de acetato de etilo a partir de etileno se muestran a continuación.

Tabla 5.27. Costos de equipos (expresados en USD)

| Detalle | Cantidad | Costo Unitario \$us | Total \$us |
|---------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------|
| Separador | 3 | 6.442.000 | 19,326.000 |
| Reactor de conversión | 1 | 2.450.000 | 2.450.000 |
| Intercambiadores de calor | 1 | 82.000 | 82.000 |
| Válvulas de manipulación | 4 | 10.950 | 43.800 |
| Total | | | 21.901.800 |

Fuente: Bollandy Cia S.A.

En la tabla a continuación se muestran los costos de los equipos, incluyendo los costos de transporte e instalación. Se consideran los costos de transporte como el 10% de los costos unitarios y se consideran los costos de instalación como el 25% de los costos unitarios.

Tabla 5.28. Costos de implementación de equipo (expresados en USD)

| Detalle | Cantidad | Costo Unitario | Total \$us | Transporte \$us | Instalación \$us |
|---------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| Separador | 3 | 6.442.000 | 19.326.000 | 1.932.600 | 4.831.500 |
| Reactor de conversión | 1 | 2.450.000 | 2.450.000 | 245.000 | 612.500 |
| Intercambiadores De calor | 1 | 82.000 | 82.000 | 8.200 | 20.500 |
| Válvulas de Manipulación | 4 | 10.950 | 43.800 | 4.380 | 10.950 |
| Total | | | 21.901.800 | 2.190.180 | 5.475.450 |

Fuente: Bollandy Cia S.A.

Por tanto, el costo total del equipo asciende a **29.567.430 \$us**.

Tabla 5.29. Depreciación de equipos (expresados en USD)

| Detalle | Cantidad | Costo Unitario | Total \$us | Vida Útil \$us | Depreciación \$us/año |
|---------------------------|----------|----------------|-------------------|----------------|-----------------------|
| Separador | 3 | 6.442.000 | 19.326.000 | 10 años | 1.932.600 |
| Reactor de conversión | 1 | 2.450.000 | 2.450.000 | 10 años | 245.000 |
| Intercambiadores De calor | 1 | 82.000 | 82.000 | 10 años | 8.200 |
| Válvulas de Manipulación | 4 | 10.950 | 43.800 | 10 años | 4.380 |
| Total | | | 21.901.800 | | 2.190.180 |

Fuente: Bollandy Cia S.A.

Tabla 5.18. Costo total (expresado en USD)

| Detalle | Monto \$us |
|--|-------------------|
| Equipos | 29.567.430 |
| Transporte e Instalación de equipos | 7.665.630 |
| Instrumentos de control | 250.000 |
| Obras civiles y planchadas | 200.000 |
| Costos administrativos e Imprevistos (10%) | 2.190.180 |
| Total | 39.873.240 |

Fuente: Elaboración propia, basado en datos de la ANH 2021

Los costos totales del proyecto propuesto son de **39.873.240\$us**, como se puede apreciar en la tabla anterior.

5.2.2. Flujo de caja

Para el análisis del estado financiero del proyecto se realizó un flujo de caja proyectado, posteriormente se generan ratios financieras para el análisis de viabilidad del mismo, así mismo se deberá tener en cuenta las proyecciones realizadas en el capítulo de estudio del mercado (interno y externo) evaluados a 5 años a partir de la puesta en marcha de la planta proyectado para el año 2023.

Tabla 5.19. Demanda interna

| DEMANDA INTERNA | | |
|------------------------|---|-----------------------|
| AÑOS | | CANTIDAD (TMA) |
| 2023 | 1 | 4.092,8214 |
| 2024 | 2 | 4.290,7802 |
| 2025 | 3 | 4.488,7390 |
| 2026 | 4 | 4.686,6978 |
| 2027 | 5 | 4.884,6566 |

Fuente: Elaboración propia, basado en datos del INE 2021

Tabla 5.20. Demanda externa

| DEMANDA EXTERNA | | |
|------------------------|---|-----------------------|
| AÑOS | | CANTIDAD (TMA) |
| 2023 | 1 | 8.083,0931 |
| 2024 | 2 | 8.442,3824 |
| 2025 | 3 | 8.801,6717 |
| 2026 | 4 | 9.160,9610 |
| 2027 | 5 | 9.520,2503 |

Fuente: Elaboración propia, basado en datos del INE 2021

A continuación, realizando conversiones se estiman los ingresos por ventas pertenecientes a los 5 años de estudio para el flujo de caja que sirve para el estudio de ratios financieros y estudio de factibilidad de la planta de acetato de etilo.

Demanda interna:

Año 2023

$$4.092,82 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93 \$us}{1 \text{ Kg}} = 3.806.322,60 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2024

$$4.290,78 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93 \$us}{1 \text{ Kg}} = 3.990.425,40 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2025

$$4.488,74 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93 \$us}{1 \text{ Kg}} = 4.174.528,20 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2026

$$4.686,70 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93 \$us}{1 \text{ Kg}} = 4.358.631,00 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2027

$$4.884,66 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93 \$us}{1 \text{ Kg}} = 4.542.733,80 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Demanda externa:

Año 2023

$$8.083,09 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 7.517.273,70 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2024

$$8.442,38 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 7.851.413,40 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2025

$$8.801,67 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 8.185.553,10 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2026

$$9.160,96 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 8.519.692,80 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Año 2027

$$9.520,25 \frac{\text{TM}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{0.93\$us}{1 \text{ Kg}} = 8.853.832,50 \frac{\$us}{\text{Año}}$$

Tabla 5.21. Ingresos por ventas

| Demanda Interna | Demanda externa | Total |
|----------------------------|----------------------------|--------------|
| 3.806.323 | 7.517.274 | 11.323.596 |
| 3.990.425 | 7.851.413 | 11.841.839 |
| 4.174.528 | 8.185.553 | 12.360.081 |
| 4.358.631 | 8.519.693 | 12.878.324 |
| 4.542.734 | 8.853.833 | 13.396.566 |

Fuente: Elaboración propia, 2021



Tabla 5.22. Flujo de caja

| Flujo de Caja | Año base | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
|---------------------------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Ingresos | | | | | | |
| Ingresos por ventas | | 11.323.596 | 11.841.839 | 12.360.081 | 12.878.324 | 13.396.566 |
| IT 3% | | 339.647,88 | 355.255,17 | 370.802 | 386.350 | 401.897 |
| Costos Operativos | | | | | | |
| Gastos en materia prima | | -8.038.588 | -8.038.588 | -8.038.588 | -8.038.588 | -8.038.588 |
| Gastos de operación | | -10.000 | -11.000 | -12.100 | -13.310 | -14.641 |
| Depreciación | | | | | | |
| Depreciación activo fijo | | -2.190.180 | -2.190.180 | -2.190.180 | -2.190.180 | -2.190.180 |
| Utilidad antes de Impuestos | | 343.180 | 1.246.816 | 1.748.411 | 2.249.896 | 2.751.260 |
| Impuesto a las utilidades (IUE) 25% | | 85.795 | 311.704 | 437.103 | 562.474 | 687.815 |
| IVA 13% | | 44.613 | 162.086 | 227.293 | 292.486 | 357.664 |
| Utilidad después de impuestos | | 212.772 | 773.026 | 1.084.015 | 1.394.936 | 1.705.781 |
| Inversión | 39.873.240 | | | | | |
| Flujo de caja de utilidad neta | -39.873.240 | 212.772 | 773.026 | 1.084.015 | 1.394.936 | 1.705.781 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

5.3. Cálculo de ratios financieros

5.3.1. Valor actual neto (VAN)

También llamado Valor Presente Neto (VPN), Valor Neto Descontado (VND), Beneficio Neto Actual (BNA) y en varias calculadoras financieras como Net Present Value (NPV), se calcula como:

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Dónde:

$-I$ = Inversión inicial

F_t = Flujo de caja en el instante

n = Último flujo de caja

r = Costo de oportunidad del capital

$$\begin{aligned} VAN &= 39.873.240 + \frac{212.772}{1+r} + \frac{773.026}{(1+r)^2} + \frac{1.084.015}{(1+r)^3} + \frac{1.394.936}{(1+r)^4} + \frac{1.705.781}{(1+r)^5} \\ &= 36.214.594,85 Bs \end{aligned}$$

El VAN mide la riqueza equivalente que aporta el proyecto medido en dinero del período inicial ($t=0$), calculando el valor presente de los flujos futuros de caja proyectados para el plan de negocios. Por tanto, para el proyecto de creación de una planta de acetato de etilo a partir de etileno, nos permite determinar si el flujo proyectado a 5 años es rentable.

El resultado del VAN para el proyecto considerando los flujos de efectivo a 5 años, proporciona un valor de **Bs. 36.214.594,85** indicando que la implementación del Proyecto es factible.

5.3.2. Tasa interno de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno de un proyecto mide la rentabilidad promedio anual que genera el capital que permanece invertido en él, esta tasa iguala el valor presente de los flujos (VAN) a cero.

Si la TIR es mayor que el coste de oportunidad del capital, entonces el capital del proyecto evaluado genera una rentabilidad mayor que la que puede ser generada por la mejor alternativa de inversión. En ese caso es recomendable apostar por el proyecto.

$$TIR = -I + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Para el presente proyecto el valor de la **TIR es de 67%** lo que implica que es altamente rentable.

5.4. Resumen de la evaluación económica

Realizado el estudio técnico económico para el proyecto de grado se puede Teniendo en cuenta que la planta tendrá una capacidad de producción de 20.000 TMA regenerando una ganancia aproximada de 18.600.000,00 \$U\$/año, se pudo establecer a través de los resultados de los ratios financieros que el proyecto tiene resultados factibles y rentables dando resultados del VAN =36.214.594,85 bs y una TIR de 67%.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- ✓ La implementación de esta planta se desarrollará mediante la visión de cubrir la demanda insatisfecha de acetato de etilo del mercado interno, así también como en el mercado internacional.
- ✓ De acuerdo al estudio realizado de la demanda potencial se pudo determinar que el proyecto podrá satisfacer la demanda potencial hasta el año 2036, llegando al máximo de la capacidad real instalada en la planta.
- ✓ Tomando en cuenta los datos de la demanda potencial se determinó el tamaño de la planta de acetato de etilo de 20.000TMA.
- ✓ Realizada el estudio de la localización de la planta, la locación se determinó en el municipio de Yacuiba, Provincia Gran Chaco, departamento de Tarija, por tener disponibilidad de Materia prima mediante la Planta Separadora de Líquidos, lugar en el cual se establecerá el complejo petroquímico.
- ✓ La tecnología más favorable es el proceso AVADA de BP Chemical, debido a las ventajas que ofrece. De acuerdo al desarrollo de la simulación del proceso se probó y corroboró el funcionamiento y los cálculos realizados, del cual se Obtiene la composición deseada del acetato de etilo.
- ✓ Así mismo se realizó una comparación entre Yacuiba y Villa Montes, donde se determinó que Yacuiba es la localización más adecuada para implementar la planta.
- ✓ En el proceso de producción del Acetato de etilo la alimentación del etileno a suministrarse a la planta es será de un flujo molar $90.03 \frac{Kmol}{Kg}$

(flujo másico de $803.4886 \frac{Kg}{hr}$), y el ácido acético con el flujo molar de $40.05 \frac{Kmol}{Kg}$ (flujo másico de $1721.7614 \frac{kg}{hr}$).

- ✓ En el estudio de análisis económico del proyecto se observa que el VAN es de 36.214.594,85 y TIR es 67%, ambos sinodo positivos para el proyecto donde se demuestra la factibilidad del mismo.

6.2. Recomendaciones

En base a los criterios formados durante la realización del presente estudio, se recomienda lo siguiente:

- ✓ Se recomienda realizar un estudio de impacto ambiental basada en el presente trabajo.
- ✓ Del presente trabajo además se recomienda realizar un estudio más exhaustivo en cuanto a un estudio de mercado que pueda englobar de manera explícita a fin de tener la certeza de tener comprometido un mercado para el acetato de etilo.
- ✓ Una vez puesta en marcha la planta y cumplida la demanda interna del país es recomendable realizar un análisis para una posible exportación de acetato de etilo para contribuir con la demanda externa.

Bibliografía

Hernandez, S. (2006). Metodología de la Investigación. Mexico.

Kerlinge, F. (2002). INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉCNICAS Y METODOLOGÍA. MÉXICO: INTERAMERICANA.

LAGUÍA. (13 de Abril de 2010). La Guía . Recuperado el 21 de Octubre de 2019, de La Guía : <https://quimica.laguia2000.com/general/la-petroquimica>

OPINIÓN. (18 de Marzo de 2014). Planta de gran Chaco. Recuperado el 21 de Octubre de 2019, de <https://www.opinion.com.bo/content/print/septiembre-estara-lista-planta-gran-chaco/20140318004600483131>

YPFB. (17 de Agosto de 2018). YPFB inicio pruebas de la planta Gran Chaco. Recuperado el 21 de Octubre de 2019, de <https://www.ypfb.gob.bo/en/14-noticias/239-ypfb-alista-inicio-de-pruebas-de-la-planta-gran-chaco-para-el-27-de-septiembre.html>

YPFB. (14 de Septiembre de 2019). La era petroquímica se inicia en Bolivia. Recuperado el 21 de Octubre de 2019, de <https://www.ypfb.gob.bo/en/14-noticias/792-la-era-petroqu%c3%admica-se-inicia-en-bolivia-con-la-operaci%c3%b3n-de-la-planta-de-amoniaco-y-urea.html>

Anuario Petroquímico Latinoamericano 2013/2014 (APLA | ASOCIACIÓN PETROQUÍMICA Y QUÍMICA LATINOAMERICANA | www.apla.com.ar). Fecha de consulta (12/04/16)

Comercio Exterior INE (Instituto Nacional y Estadística. Fecha de consulta (12/03/17)

Disponible en: http://www.ine.gob.bo:8082/comex/make_table.jsp)

Acetato de etilo Usos y Datos de Mercado (2007). Fecha de consulta (20/03/17)

Disponible en:

<http://www.icis.com/resources/news/2007/11/02/9075320/ethyl-acetate-uses-and-market-data/>

http://www.chemicalweekly.com/Profiles/Ethyl_Acetate.pdf

Acetato de etilo mediante la adición directa de etileno y ácido acético (2007). Fecha de consulta (15/03/17)

Disponible en:

<https://translate.google.com.bo/translate?hl=es&sl=en&u=https://www.ihs.com/products/chemical-technology-pep-reviews-ethyl-acetate-by-direct-addition-2007.html&prev=search>

Acetate Technology Using Reactive Distillation (2001) (PDF)

Disponible en:

https://www.google.com.bo/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiA1b3s3_3MAhXCMSYKHSKjC2sQFgggMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sulzer.com%2Fes%2F-%2Fmedia%2FDocuments%2FCross_Division%2FSTR%2F2001%2F2001_03_12_moritz_e.pdf&usg=AFQjCNEe0qMvRxEV_f2_Au3E5lvTgbK6cA

BP_Frontiers_magazine_issue_4_Leaps_of_innovation.pdf (2002). Fecha de consulta (5/06/16)

Disponible en:

http://www.wyotec.co.uk/PDFs/BP_Frontiers_magazine_issue_4_Leaps_of_innovation.pdf

Balance de materia y energía (2014). Obtenidos de los apuntes realizados en clase con el Ing. Marcelo Salgado

Carotenuto_Giuseppina_24.pdf. Fecha de consulta (5/04/16)

Disponible en:

http://www.fedoa.unina.it/8734/1/Carotenuto_Giuseppina_24.pdf

Chemical Profile: Ethyl Acetate (2006). Fecha de consulta (4/04/16)

Disponible

en:

<http://www.icis.com/resources/news/2006/07/25/2015325/chemical-profile-ethyl-acetate/>

Chematur Engineering

Disponible en:

<http://chematur.se/process-areas/bio-chemicals/ethyl-acetate/>

Capacidad de Planta separadora de líquido. Fecha de Consulta (15/06/17)

<http://hoybolivia.com/Noticia.php?IdNoticia=157605>

<http://simulacionprocesosindustriales.blogspot.com/2016/02/obtencion-de-etileno-apartir-de-etano.html>

Ethyl Acetate Design Project. Fecha de consulta (6/04/16)

Disponible en: http://ideengine.com/Ethyl_Acetate_Design_Project.pdf

Generalidades de la materia prima. Fecha de consulta (26/03/17)

Disponibles en:

<http://www.ecured.cu/Etanol>

<http://www.ecured.cu/Etileno>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Etileno>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Acetaldeh%C3%ADdo>

<http://www.ecured.cu/Etanal>

http://www.ecured.cu/%C3%81cido_ac%C3%A9tico

https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_ac%C3%A9tico

Generalidades del producto. Fecha de consulta (26/03/17)

Disponible en:

https://es.wikipedia.org/wiki/Etanoato_de_etilo

<http://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-del-acetato-de-etilo-2685559.htm>

<http://www.americanchemical.com.bo/index.php/acetato-de-etilo>

Overall Ethyl Acetate Supply Registered 4% YoY Increase in 2012. (2013, December 20).

Disponible en: <http://mcgroup.co.uk/news/20131220/ethyl-acetate-supply-registered-4-yoy-increase.html>

<http://incolors.club/collectionedwn-ethyl-acetate.htm>

La producción de acetato de etilo y el proceso de fabricación (2007).

Fecha de acceso (1/04/17)

Disponible en: <http://www.icis.com/resources/news/2007/11/02/9075322/ethyl-acetate-production-and-manufacturing-process/>

http://chemindustry.ru/Ethyl_Acetate.php

Carotenuto_Giuseppina_24.pdf (2011). Fecha de consulta (5/04/17)

Disponible en:

http://www.fedoa.unina.it/8734/1/Carotenuto_Giuseppina_24.pdf

Johnson Matthey, Davy technology. Fecha de consulta (10/05/17)

Disponible en: <http://davyprotech.com/what-we-do/licensed-processes-and-core-technologies/licensed-processes/ethyl-acetate/specification/>

Singh, D., Gupta, R.K., Kumar, V. (2014) Experimental studies of industrial-scale reactive distillation finishing column producing ethyl acetate. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 53, 10448–10456.

W. Tishenko, J. Russ. Phys. Chem. Soc., 38, 398 (1906). W. C. Child and H. Adkins, J. Am. Chem. Soc., 45, 3013 (1923)

Disponible en:

<http://davyprotech.com/what-we-do/licensed-processes-and-core-technologies/licensed-processes/ethyl-acetate/specification/>

Proceso de producción de acetato de etilo

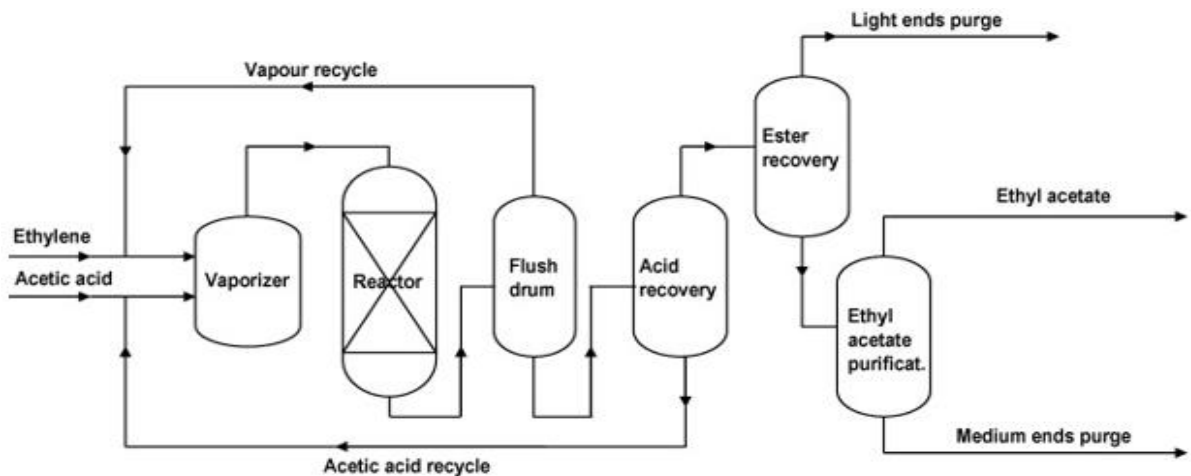
<https://www.ukessays.com/essays/biology/introduction-to-ethyl-acetate-biology-essay.php>

cinetica de reaccion

<file:///C:/Users/Mary/Documents/cinetica%20de%20acetato%20de%20etilo.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de flujo del proceso AVADA



Fuente: datos extraídos de <https://www.sciencedirect.com>

Anexo 2. Identificadores químicos de acetato de etilo



Inflamabilidad 3: líquidos y sólidos que pueden encenderse en casi todas las condiciones de temperatura ambiental.



Salud 1: materiales que causan irritación, pero solo daños residuales menores aun en ausencia de tratamiento médico.



Reactividad 0: materiales que por si son normalmente estables aun en

condiciones de incendio y que no reaccionan con agua.

Anexo 3. Estabilidad y reactividad

Estabilidad: Estable en condiciones normales de uso. Reacciona con agentes oxidantes fuertes. Reacciona con ácidos fuertes.

Condiciones a evitar: Calor, llamas y chispas, acumulación de vapores.

Productos a evitar: Agentes oxidantes fuertes Ácidos fuertes.

Productos peligrosos de la descomposición: La descomposición térmica depende en gran medida de las condiciones. Una mezcla compleja de sólidos, líquidos y gases suspendida en el aire, incluyendo monóxido de carbono, dióxido de carbono y otros compuestos orgánicos se liberará cuando este material experimenta combustión o degradación térmica u oxidativa.

Productos peligrosos de la combustión: Durante la combustión se puede formar Monóxido de carbono y otros compuestos, como resultado de la combustión incompleta. Polimerización peligrosa: No se produce.

El calor y luz solar pueden contribuir a la inestabilidad. Cuando se calienta hasta la descomposición puede formar dióxido y monóxido de carbono.

Anexo 4. Riesgos

| | |
|-----------|---|
| Ingestión | Somnolencia, inconsciencia, y hasta muerte. A veces dolor gastrointestinal, calambres, náuseas, vómitos, y diarrea. La dosis mortal para un adulto humano está cerca de 250 ml. |
|-----------|---|

| | |
|------------|--|
| Inhalación | En altas concentraciones puede causar problemas en el sistema nervioso central: dolor de cabeza, vértigo, inconsciencia y hasta coma. La inhalación del vapor puede causar la irritación de la zona respiratoria y efectos narcóticos. |
| Piel | Sensibilidad, reacción alérgica, irritación con dolor y picazón. El contacto prolongado o repetido puede causar el desengrase de la piel y dermatitis. |
| Ojos | Irritación (ardor, rojez), rasgado, inflamación, y lesión córnea |

Anexo 5. Aplicaciones de Acetato de Etilo

El acetato de etilo es un líquido incoloro con un característico olor a fruta. Es ligeramente soluble en agua y soluble en la mayor parte orgánica disolventes, tales como alcohol, acetona, éter y cloroformo. Se encuentra uso como disolvente en una amplia gama de aplicaciones, a través de muchas industrias.

Revestimiento de la superficie y diluyentes: acetato de etilo es uno de los más populares disolventes y encuentra amplio uso en la fabricación de nitrocelulosa lacas, barnices y diluyentes. Exhibe altas relaciones de dilución con ambos diluyentes aromáticos y alifáticos y es el menos tóxico de la industria disolventes orgánicos.

Productos farmacéuticos: El acetato de etilo es un importante componente en agentes de extracción para la concentración y purificación de antibióticos. También se usa como un intermedio en la fabricación de diversos fármacos.

Los sabores y esencias: Acetato de etilo se encuentra un amplio uso en la preparación de sintéticas esencias de frutas, sabores y perfumes.

Envases flexibles: Cantidades sustanciales de acetato de etilo se utilizan en la fabricación de envases flexibles y en la fabricación de películas de poliéster. También se utiliza en el tratamiento de láminas de aluminio.

En la industria del papel: Para la elaboración de papeles aprestados y para recubrir y decorar objetos de papel.

En la industria textil: Para la preparación de tejidos de lana para teñido. En procesos de limpieza y para la elaboración de textiles aprestados.

Reactivo para la manufactura de pigmentos.

Varios: Acetato de etilo se utiliza en la fabricación de adhesivos, líquidos de limpieza, tintas, papeles recubiertos, explosivos, cuero artificial, películas fotográficas y placas.

Aplicaciones en el laboratorio: es comúnmente usado en mezclas para cromatografía líquida y extracción.

Presencia en el vino: El acetato de etilo es uno de los componentes del vino, forma parte de uno de los disolventes también conocida como etérea.

Síntesis química: es un prometedor disolvente para la síntesis comercial de la vitamina E.

ANEXO 6. REACTORES

REACTOR DE ENFRIAMIENTO (QUENCH REACTOR)

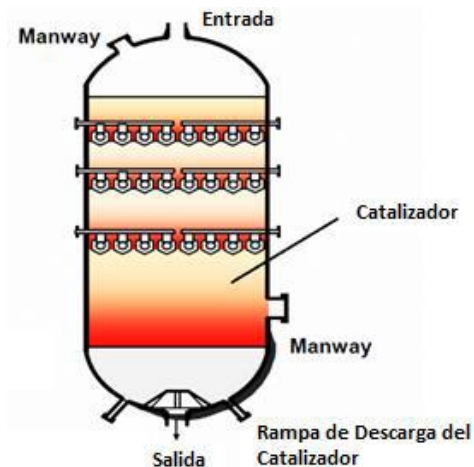
Un reactor de enfriamiento se compone de un número de lechos de catalizador adiabáticos instalados en serie en una carcasa de presión común. La alimentación del reactor se divide en varias fracciones y se distribuye al reactor de síntesis entre los lechos de catalizador individuales. Es decir, en lugar de

eliminar el calor del sistema de la temperatura de reacción es controlada por adición gradual de materia prima del reactor.

El diseño del reactor que se obtiene es muy simple y por lo tanto cuenta con una baja inversión. Sin embargo, la utilización de catalizador es pobre ya que no todos los reactivos pasan a través del volumen de catalizador entero instalado. La naturaleza adiabática del diseño implica que la temperatura de equilibrio es de resultado alto en una conversión baja por paso. La falta de resultados internos o refrigeración entre etapas en una recuperación de calor ineficiente. La mayor parte del calor generado debe ser eliminado por refrigeramiento por aire o agua.

Hoy en día, el diseño del reactor de enfriamiento se considera obsoleto y no es adecuado para plantas de gran capacidad. En la figura 5.4 se muestra una ilustración del reactor de enfriamiento de ICI ARC.

Figura. Ilustración del reactor de enfriamiento de ICI ARC



Fuente: SYNTHANOL SDN. BHD

REACTOR ADIABÁTICO

Un sistema de reactor adiabático normalmente consta de un número de reactores de síntesis de lecho fijo colocados en serie. El calor se elimina aguas abajo de cada reactor por la generación de vapor de media presión.

Un sistema de reactor adiabático dispone de una buena economía de escala. Simplicidad mecánica proporciona un bajo costo de inversión. El diseño del reactor de lecho fijo que se puede expandir a una sola línea la capacidad de 10.000 MTPD. Sin embargo, debido a la naturaleza del sistema adiabático la temperatura de equilibrio es alta resultando en una baja conversión por paso y de alta relación de recirculación. La alta relación de recirculación diluye los reactantes resultantes de los volúmenes de catalizador altas. Así, la eficiencia del sistema del reactor adiabático es baja en comparada a los sistemas con refrigeración interna. Se hace referencia a [HOLM-LARSEN 1994].

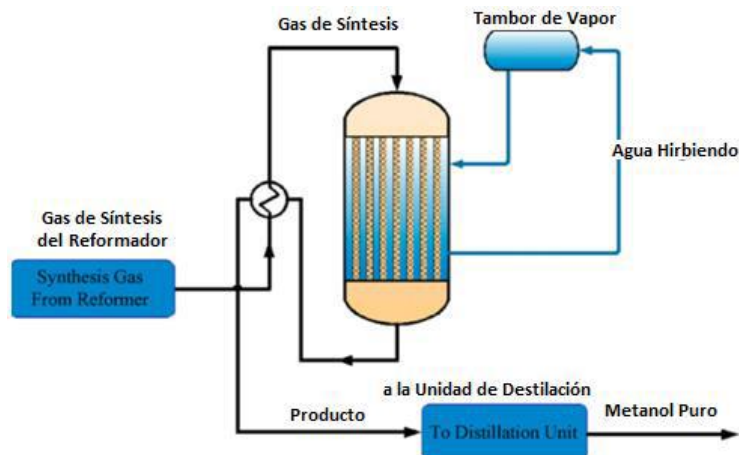
REACTOR DE AGUA EN EBULLICIÓN (BOILING WATER REACTOR)

El reactor de agua en ebullición es, en principio, una carcasa y un intercambiador de calor de tubería con el catalizador en el lado de la tubería. El enfriamiento del reactor se proporciona mediante la circulación de agua hirviendo en el lado de la carcasa. Al controlar la presión del agua que circula ebullición la temperatura de reacción puede controlarse y optimizarse fácilmente.

La naturaleza aproximadamente isotérmica del diseño del reactor da una conversión elevada en comparación con la cantidad de catalizador instalado. Sin embargo, para asegurar una velocidad de reacción adecuada el reactor funcionará a temperaturas intermedias – es decir, entre 240 ° C y 260 ° C - y por consiguiente la relación de recirculación todavía puede ser significativa.

Los diseños mecánicos complejos resultan en un costo de inversión relativamente alto. Además, la lámina de la tubería limita el tamaño máximo del reactor de síntesis. Así, para plantas de gran escala varios reactores de agua en ebullición deben estar instalados en paralelo, eliminando así de la economía de escala. La ilustración del reactor de agua en ebullición se muestra en la figura 5.5.

Figura. Ilustración del reactor de agua en ebullición



Fuente: SYNTHANOL SDN. BHD

REACTOR REFRIGERADO POR GAS (GAS-COOLED REACTOR)

El diseño del reactor refrigerado por gas se diseña a menudo en una alimentación / intercambiador de calor alrededor de un efluente del reactor de agua hirviendo. Es decir, un lado del intercambiador de calor mientras que la alimentación del reactor de agua en ebullición se precalienta en el otro lado del catalizador intercambiador de calor que está instalado y el efluente del reactor de agua en ebullición se pone en equilibrio a una temperatura más baja. Con un reactor refrigerado por gas en serie con un reactor de agua en ebullición muy alto por las conversiones de paso se puede lograr. Sin embargo, debido a la

baja temperatura en el reactor refrigerado por gas la velocidad de reacción es baja y la cantidad de catalizador necesario para que la reacción ocurra es correspondientemente alto.

REACTOR REFRIGERADO POR GAS INTEGRADO

Un diseño integrado del reactor de agua en ebullición y el reactor refrigerado por gas también está disponible. El diseño es similar a la del reactor de agua en ebullición excepto que el gas de alimentación se calienta en las tuberías colocadas en el centro de la tubería de catalizador en el reactor de agua en ebullición. En términos de eficiencia, el diseño es un intermedio entre el diseño de reactor de agua en ebullición y el diseño exterior con un reactor refrigerado por gas. Sin embargo, el refrigerado integral por gas reacción es mecánicamente complejo y por consiguiente presenta un alto costo de inversión.

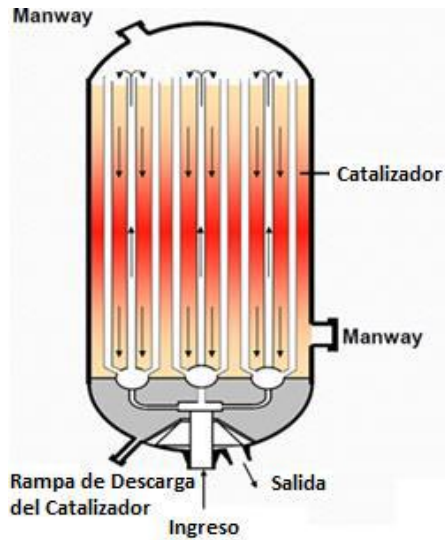
REACTOR TUBE COOLED

En el reactor tube-cooled, el catalizador se envasa en la lado de la carcasa del reactor. El gas de síntesis de alimentación ingresa en el reactor en la parte inferior del reactor y se distribuye a través de los tubos y precalentado por el calor de reacción desarrollada en el lado de la carcasa del reactor. El gas de síntesis a continuación, llega a la parte superior del reactor y desviado al lado de la carcasa Figura 5.6.

El reactor tube-cooled fue diseñado inicialmente por ICI y adaptado por Lurgi como un sistema integrado con un reactor tube-cooled y dos reactores de agua en ebullición. De acuerdo con Uhde (sf), este tipo de reactor tiene requisito bajo de catalizador y el costo de capital para este reactor es bajo. Además se requiere menos partes de equipo para este reactor, así como más calor de recuperación en comparación con el reactor de enfriamiento. GBH Enterprise (nd) señaló que

este diseño del reactor resultó evidente en la región fría y caliente dentro del reactor lo que conduce a una rápida desactivación del catalizador y el alto nivel de los subproductos. Esto conduce a la desactivación del catalizador antes de alcanzar su vida útil y por lo tanto la sustitución de catalizador se requiere. Este problema no sólo causa un aumento significativo del coste de producción, pero también obliga a la planta un paro abruptamente.

Figura. Diseño reactor tube cooled (GBH ENTERPRISISE, N.D.)



Fuente: SYNTHANOL SDN. BHD