

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de ciencias e ingenierías

Análisis tecno económico (TEA) para la producción de espumas de poliuretano a partir de bio-poliolos de cáscara de cacao

Gabriela Estefanía Morillo Amores

Camila Isabel Viveros Terán

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Química

Quito, 13 mayo de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Análisis tecno económico (TEA) para la producción de
espumas de poliuretano a partir de bio-poliol de cáscara
de cacao**

**Gabriela Estefanía Morillo Amores
Camila Isabel Viveros Terán**

Nombre del profesor, Título académico

José Álvarez, PhD

Sebastián Ponce, Dr-Ing

Juan Sebastián Proaño, PhD

Quito, 13 mayo de 2022

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Gabriela Estefanía Morillo Amores

Camila Isabel Viveros Terán

Códigos: 00204011

00202425

Cédulas de identidad: 1727447375

1003064928

Lugar y fecha: Quito, 13 mayo de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos a las personas que fueron parte de mi carrera universitaria, a mi familia por su apoyo, consejos y experiencias de vida en toda esta etapa, a quienes forman parte del Programa de Diversidad Étnica de la Universidad San Francisco de Quito en especial a Belén Campaña quién hizo esto posible con su asesoría, sus consejos, su ayuda y su amistad. A Camila Viveros con quién viví la experiencia de este proyecto por su paciencia y dedicación. Finalmente, a la persona que estuvo presente en los últimos 10 años de mi vida mostrándome que esto era posible.

Gabriela Morillo

Al culminar esta etapa quiero agradecer a la vida por permitirme alcanzar esta meta tan anhelada junto al gran apoyo de mis padres por su gran sacrificio y dedicación; familiares de manera especial a mi abuelita Judicita Cáceres por su gran entrega y cariño en mi formación al motivarme y acompañarme en los momentos más importantes de mi vida. Agradezco a los amigos que fueron parte de estos años de estudio, a Gabriela Morillo por su gran dedicación y trabajo en equipo para el desarrollo de este proyecto.

Camila Viveros

Queremos agradecer de forma especial al departamento de Ingeniería Química de la Universidad San Francisco de Quito por permitirnos el uso de sus instalaciones y por los conocimientos brindados. Agradecemos a nuestros profesores Sebastián Ponce, Juan Sebastián Proaño y José Álvarez por el tiempo dedicado y la guía en el desarrollo de este proyecto. Agradecemos a nuestra gran amiga Carolina Rueda que ha sido parte de momentos increíbles en clase, por su apoyo, motivación y consejos.

Gabriela y Camila

RESUMEN

Las tecnologías para la obtención de químicos y polímeros a partir de biomasa son innovadoras, ya que requieren mínima energía y disminuyen la contaminación ambiental. En la actualidad el poliuretano (PU) se utiliza en productos cotidianos como colchones, estropajos de cocina, asientos de vehículos, mueblería y zapatería. Este estudio propone la introducción en el mercado nacional de láminas de espumas de poliuretano con una sustitución parcial del 20% de bio-poliololes extraídos de la cáscara de cacao con una densidad de 23 kg/m³ y de dimensiones de [200 x 100 x 20 cm], para lo cual se realizó el respectivo estudio de prefactibilidad. Además, experimentalmente, se extrajo con éxito lignina de la cáscara de cacao en un porcentaje de 49,9% y bio-poliololes por licuefacción con un rendimiento de 53,43%. A través del análisis FTIR se demostró la presencia de grupos hidroxilo característicos de los bio-poliololes. Para el análisis tecno-económico el caudal de producción es de 325 láminas de espuma de PU al día que requiere de 280 T de materia prima. Acorde a los balances de masa y energía de cada operación del proceso se dimensionaron los equipos para el diseño de la planta y se determinó los requerimientos energéticos. Mediante el análisis económico se determinó un beneficio neto para el proyecto de \$4,04 millones con una inversión inicial de \$17, 68 millones recuperada en un periodo de 4 años, con un porcentaje de retorno de inversión ROI de 22,88%. Debido a que el solvente de licuefacción (PEG 400) debe ser importado se presenta como alternativa el uso de metanol, que tiene menor punto de ebullición y está disponible en el Ecuador. A través del análisis económico, se concluyó que el proyecto es rentable, viable y factible independiente del tipo de solvente o rango de sustitución de bio-poliololes en la formulación de las espumas. En los dos casos los ingresos son mayores a los egresos.

Palabras clave: Biomasa, espuma de poliuretano, bio-poliololes, cacao, licuefacción, bio-espumas, análisis tecno-económico.

ABSTRACT

Technologies for obtaining chemicals and polymers from biomass are innovative since they require minimal energy and reduce environmental pollution. Polyurethane (PU) is currently used in everyday products such as mattresses, kitchen scouring pads, vehicle seats, furniture, and shoemaking. This study proposes the introduction in the national market of polyurethane foam sheets with a partial replacement of 20% of bio-polyols extracted from cocoa shells with a density of 23 kg/m³ and dimensions of [200 x 100 x 20 cm], for which the respective pre-feasibility study was carried out. In addition, experimentally, lignin was successfully extracted from the cocoa shell in a percentage of 49.9% and bio-polyols by liquefaction with a yield of 53.43%. Through FTIR analysis, the presence of hydroxyl groups characteristic of bio-polyols was demonstrated. For the techno-economic analysis, the production flow is 325 sheets of PU foam per day, which requires 280 T of raw material. According to the mass and energy balances of each operation of the process, the equipment for the design of the plant was dimensioned and the energy requirements were determined. Through the economic analysis, a net benefit for the project of \$4.04 million was determined with an initial investment of \$17.68 million recovered over a period of 4 years, with a ROI percentage return on investment of 22.88%. Because the liquefaction solvent (PEG 400) must be imported, the use of methanol, which has a lower boiling point and is available in Ecuador, is presented as an alternative. Through the economic analysis, it was concluded that the project is profitable, viable and feasible regardless of the type of solvent or range of substitution of bio-polyols in the formulation of foams. In both cases, revenues are greater than costs.

Keywords: Biomass, polyurethane foam, bio-polyols, cocoa, liquefaction, bio-foams, techno-economic analysis

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Antecedentes	14
1.2 Propuesta de proyecto	15
1.3 Objetivos	16
1.4 Justificación	16
1.5 Resultados esperados	18
2. MÉTODOS EXPERIMENTALES	19
2.1 Caracterización de materia prima	19
2.1.1 Contenido de humedad.....	20
2.1.2 Contenido de cenizas	20
2.1.3 Contenido de lignina	21
2.2 Caracterización de bio-polioles.....	21
2.2.1 Rendimiento de licuefacción.....	21
2.2.2 Análisis FTIR.....	22
3. BASES DE DISEÑO	22
3.1. Fundamentos teóricos	22
3.2. Descripción del producto	23
3.3. Descripción de materias primas	24
3.4. Normas y limitaciones	27
3.5. Ubicación de planta.....	28
3.6. Selección del proceso.....	29
4. DISEÑO DE PROCESO.....	31

4.1 Caudal de producción	31
4.2 Balance de masa.....	32
5. DISEÑO DE PLANTA	34
5.1 Selección de equipos.....	34
5.2 Dimensionamiento de equipos y balance de energía	35
6. ANÁLISIS ECONÓMICO	39
6.1 Métodos de estimación	39
6.2 Inversión de capital fijo y capital de trabajo	40
6.3 Costos de producción.....	40
6.4 Componentes de los ingresos del proyecto	41
6.5 Tiempo de recuperación y ROI.....	42
7. ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD	43
8. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	45
8.1 Diseño de procesos	45
8.2 Diseño de la planta.....	48
8.3 Análisis tecno-económico.....	49
8.4 Análisis de flexibilidad	49
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
11. ANEXOS	62
Anexo A: Bases del diseño	62
A.1 Componentes de las espumas de poliuretano.....	62
A.2 Fichas de seguridad de los reactivos del proceso.....	63

Anexo B: Metodología.....	66
B.1.1 Caracterización de cáscara de cacao y extracción de bio-poliolos	66
B.1.2 Caracterización de bio-poliolos	67
B.2 Diseño de planta	68
B.2.1 Diagrama de bloque y de flujo	68
B.2.2 Balance de masa y de energía.....	70
B.2.3 Dimensionamiento de equipos	71
B.2.4 Simulación.....	75
B.3 Análisis económico	75
B.3.1 Métodos de estimación de costos	75
B.3.2 Inversión de capital fijo.....	78
B.3.3 Capital de trabajo.....	79
B.3.4 Ingresos de planta.....	81
B.3.5 Análisis de recuperación de capital	82
Anexo C: Cálculos	83
C.1 Diseño de planta.....	83
C.1.1 Balance de masa	83
C.1.2 Dimensionamiento de equipos	87
C.1.3 Balance de energía.....	94
C.2 Análisis económico	95
C.2.1 Métodos de estimación de costos	95
C.2.2 Inversión de capital fijo.....	98
C.2.3 Capital de trabajo.....	100

C.2.4 Ingresos de la planta	106
C.2.5 Análisis de recuperación de capital	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de biomasa y bio-poliolos	22
Tabla 2. Composición química de la cascara cacao	25
Tabla 3. Normas ISO y ASTM para fabricación y testeo espumas de PU	27
Tabla 4. Balance de masa del proceso de licuefacción	34
Tabla 5. Dimensionamiento de los equipos	38
Tabla 6. Estimación de costos de proyecto por el método de Lang, Hand y Factorial Detallado	40
Tabla 7. Inversión de capital fijo y capital de trabajo	40
Tabla 8. Costo fijos y variables de la producción anual	41
Tabla 9. Ingresos por ventas anuales de láminas de poliuretano	41
Tabla 10. Margen del proyecto	42
Tabla 11. Inversión total y beneficio neto anual de la planta	42
Tabla 12. Indicadores económicos.....	42
Tabla 13. Inventario de materia prima para un reemplazo de 20% y 30% de bio-poliolos	44
Tabla 14. Costos variables para un reemplazo de 20% y 30% de bio-poliolos	44
Tabla 15. Costos fijos para un reemplazo de 20% y 30% de bio-poliolos.....	44
Tabla 16. Efectivo en caja.....	44
Tabla 17. Cuentas por cobrar	44
Tabla 18. Cuentas pendientes	45
Tabla 19. Capital de trabajo total para un reemplazo de 20% y 30% de bio-poliolos.....	45
Tabla 20. Indicadores económicos.....	45

Tabla 21. Componentes de la espuma de poliuretano.....	62
Tabla 22. FDS polietilenglicol PEG 400	63
Tabla 23. FDS Ácido sulfúrico	64
Tabla 24. FDS TDI	65
Tabla 25. Metanol	66
Tabla 26. Tiempos de secado.....	67
Tabla 27. Diámetro y espesor mínimo	73
Tabla 28. Factor de Lang según el tipo de procesamiento.....	77
Tabla 29. Metodología para el cálculo de los costos de capital de trabajo	79
Tabla 30. Datos conocidos tanque de lavado.....	87
Tabla 31. Datos conocidos del secador.....	89
Tabla 32. Datos conocidos tanque extractor 1	90
Tabla 33. Datos conocidos tanque extractor 2	92
Tabla 34. Costo de equipos.....	96
Tabla 35. Costos de equipos de oficina	99
Tabla 36. Costos de capital fijo.....	100
Tabla 37. Inventario de materia prima	100
Tabla 38. Inventario de materia prima	101
Tabla 39. Requerimiento de energía eléctrica por equipo	101
Tabla 40. Requerimiento de energía eléctrica por equipo	101
Tabla 41. Requerimiento de agua potable planta.....	102
Tabla 42. Requerimiento de agua potable del proceso	102
Tabla 43. Costo del servicio de internet y teléfono	102
Tabla 44. Costo del transporte	103
Tabla 45. Costos variables	103

Tabla 46. Costos labor de operación.....	104
Tabla 47. Costo de licencias	105
Tabla 48. Costos fijos	105
Tabla 49. Efectivo en caja.....	105
Tabla 50. Cuentas por cobrar	106
Tabla 51. Crédito cuentas pendientes	106
Tabla 52. Capital de trabajo total.....	106
Tabla 53. Ingresos por ventas anuales del costo del producto	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cantidad y costos de importación de polioles	17
Figura 2. Cantidad y costos de importación de poliuretano.....	18
Figura 3. Vista satelital de la ubicación de la planta.....	29
Figura 4. Diagrama de bloque de la metodología experimental caracterización de materia prima y extracción de bio-polioles	30
Figura 5. Dimensiones lámina de poliuretano	32
Figura 6. Diagrama de bloque del proceso	33
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de producción de espumas de poliuretano a partir de bio-polioles	37
Figura 8. Análisis FTIR	47
Figura 9. Reacción para la obtención de espumas de poliuretano	70
Figura 10. Simulación planta de producción de espumas de poliuretano.....	75
Figura 11. Tabla de impuesto a la renta de personas naturales para el año 2022	82

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Según la Asociación Ecuatoriana de Plásticos ASEPLAS, la producción total de poliuretano en el 2017 fue de 348 984 T [1]. La demanda mundial de espumas de PU actualmente ocupa la sexta posición de polímeros más vendidos con un crecimiento anual del 4,7%. Su matriz productiva es dependiente del petróleo lo cual genera una excesiva contaminación ambiental por la emisión de sustancias tóxicas como CO₂, CO, CH₄ y NO₂ al medio ambiente [2]. Es así, que en los últimos años la producción de químicos a partir de biomasa por procesamiento termoquímico o bioquímico es una alternativa prometedora para el desarrollo de nuevos materiales que minimizan la dependencia de los derivados del petróleo y disminuyen el impacto ambiental [3].

Las investigaciones más recientes sobre la producción de espumas de PU tienen como objetivo el cambio de su matriz productiva a través del uso de residuos agrícolas para la obtención de bio-poliolios [4]. Las espumas de PU que incorporan fibras lignocelulósicas mejoran las propiedades físico-mecánicas, al contener celulosa, lignina y grupos hidroxilo que interactúa con los isocianatos mejorando la adhesión fibra matriz. La fuente principal de bio-poliolios es la lignina, un material poli fenólico natural que representa del 5 al 45% de la biomasa lignocelulósica.

La cáscara de cacao es un material del tipo madero rígido, por lo que en comparación a otra biomasa posee más lignina; la estructura rígida de la cáscara de cacao brinda mayor resistencia y forma una barrera con la celulosa para una extracción más pura de lignina [5]. El principal método para la obtención de bio-poliolios en la licuefacción en presencia de alcoholes

poli hídricos que conduce a la obtención de polioles aromáticos como sustitutos de polioles convencionales.

Poliol convencional

En la producción de poliuretano, los polioles son compuestos orgánicos utilizados como dadores de grupos hidroxilo [6]. Los polioles tienen como origen productos derivados del petróleo mediante la polimerización por apertura de anillo de éteres cíclicos (óxido de etileno) que reaccionan en presencia de un catalizador (glicerol) [7]. Para la formación de espumas de PU los agentes espumantes que se utilizan para la reacción entre poliol e isocianato utilizan químicos que al momento de la expansión producen CO₂ y clorofluorocarbonos CFC generando una mayor destrucción a la capa de ozono [8].

Bio-poliol

Los polioles de base biológica (bio-polioles) se producen a partir de la conversión de la biomasa por métodos termoquímicos como la licuefacción. La biomasa lignocelulósica brinda propiedades prometedoras para ser utilizadas en la preparación de espumas de poliuretano con características comparables a los derivados del petróleo; por lo cual se presentan como una alternativa eficiente que reduce la contaminación ambiental en el proceso de producción de espumas de PU [9]. Existen tres tipos de bio-polioles: poliéster polio extraídos de aceites vegetales (lípidos), poli éter polioli que se obtiene de microalgas (polisacáridos) y polioles aromáticos de material lignocelulósico (lignina). La estructura de los bio-polioles tiene efecto significativo en la reactividad de los sistemas de poliuretano [9].

1.2 Propuesta de proyecto

Con el fin de reducir el costo de importación y la huella de carbono generada por los polioles y poliuretanos derivados del petróleo se estudia la posibilidad de diseñar una planta de producción de espumas de poliuretano a partir de bio-polioles extraídos de material

lignocelulósico [3]. Los bio-poliolos serán extraídos principalmente de la cáscara de cacao que corresponde a la biomasa más abundante a nivel nacional la cual genera una alta tasa de residuos aprovechables.

1.3 Objetivos

El objetivo general es realizar un estudio de prefactibilidad para una planta de producción de espumas de poliuretano a partir de bio-poliolos obtenidos de residuos de cacao en Ecuador [10]. Para alcanzar el objetivo general se plantearon tres objetivos específicos: El primero es desarrollar la metodología experimental de obtención y caracterización de bio-poliolos por el método de licuefacción a escala de laboratorio. El segundo, diseñar la planta de producción de espumas de poliuretano con sus respectivos balances de masa y energía facilitando el dimensionamiento de los equipos involucrados en el proceso y finalmente realizar el análisis técnico económico que incluye la alternativa de reemplazo parcial de los poliolos convencionales por bio-poliolos de residuos de cacao con el uso de polietilenglicol (PEG 400) para determinar la factibilidad económica de la planta [11].

1.4 Justificación

Según el INEC, en el Ecuador existen 525 empresas que utilizan espumas de poliuretano, las cuales deben importar sus materias primas como poliolos e isocianatos provenientes de países como Colombia y Panamá [2]. En el país la producción de espumas de poliuretano representa el 0,001% de las actividades económicas, la cual no logra cubrir la demanda del mercado de alrededor de 220 406,16 T de poliuretano. La poca cantidad de industrias de fabricación de PU brinda una oportunidad para la implementación del proyecto.

Beneficios ambientales

La fabricación de espumas de poliuretano a partir de biomasa representa un producto amigable con el medio ambiente [12] mejora sus propiedades brindándole una alta resistencia estructural a la espuma de PU [13]. El aprovechamiento de los residuos de la industria cacaotera

permiten la implementación del bioproceso reduce el uso de químicos contaminantes al ambiente [14].

Beneficios económicos

La sustitución parcial de poliols convencionales por bio-poliols en la producción de espumas de PU, reduce el costo de importación de aditivos y materias primas para su elaboración [15]. El precio del poliuretano se debe a su rendimiento y vida útil por lo que en términos de costos son muy competitivos en el mercado [16]. En la figura 1 y figura 2 se presenta las cantidad y costo de importación de poliols y poliuretanos.

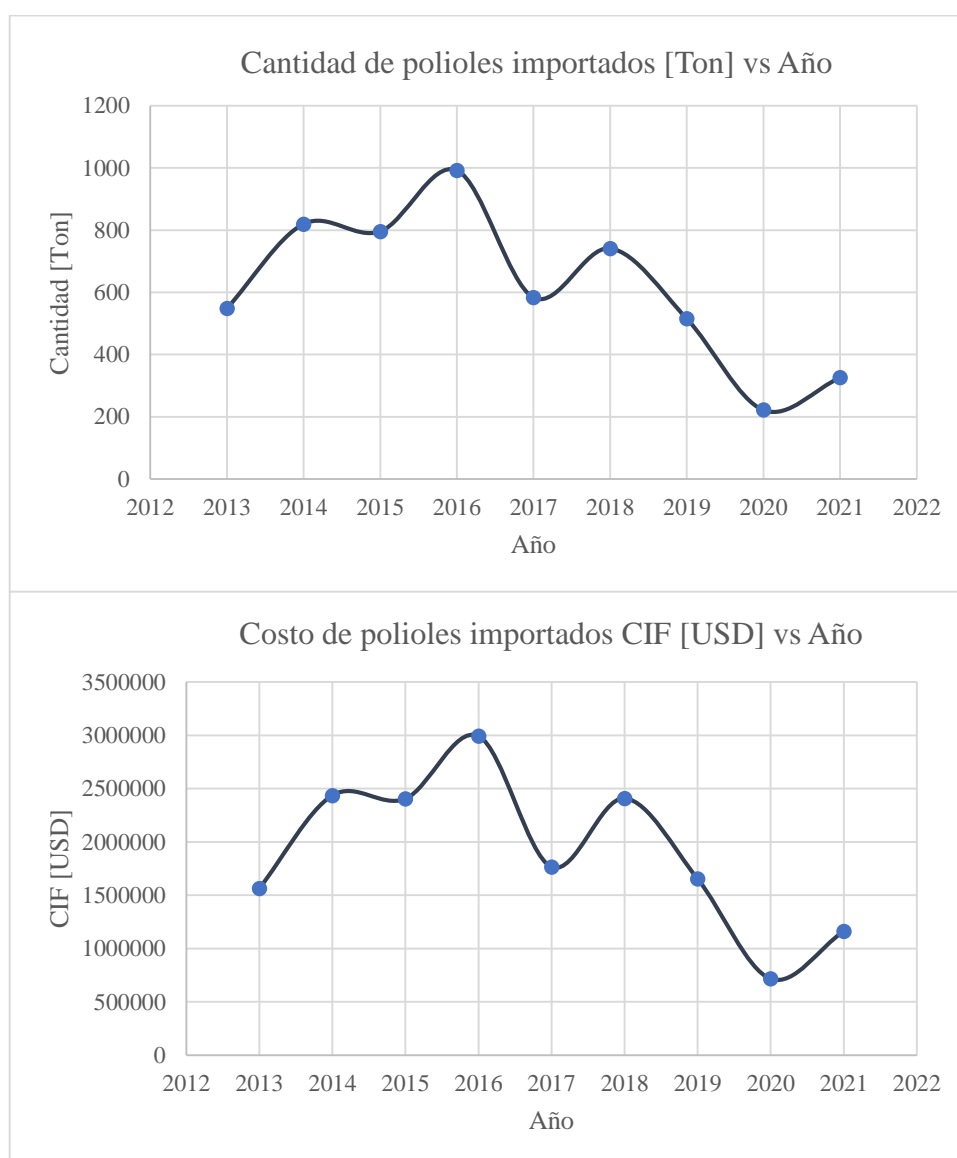


Figura 1. Cantidad y costos de importación de poliols

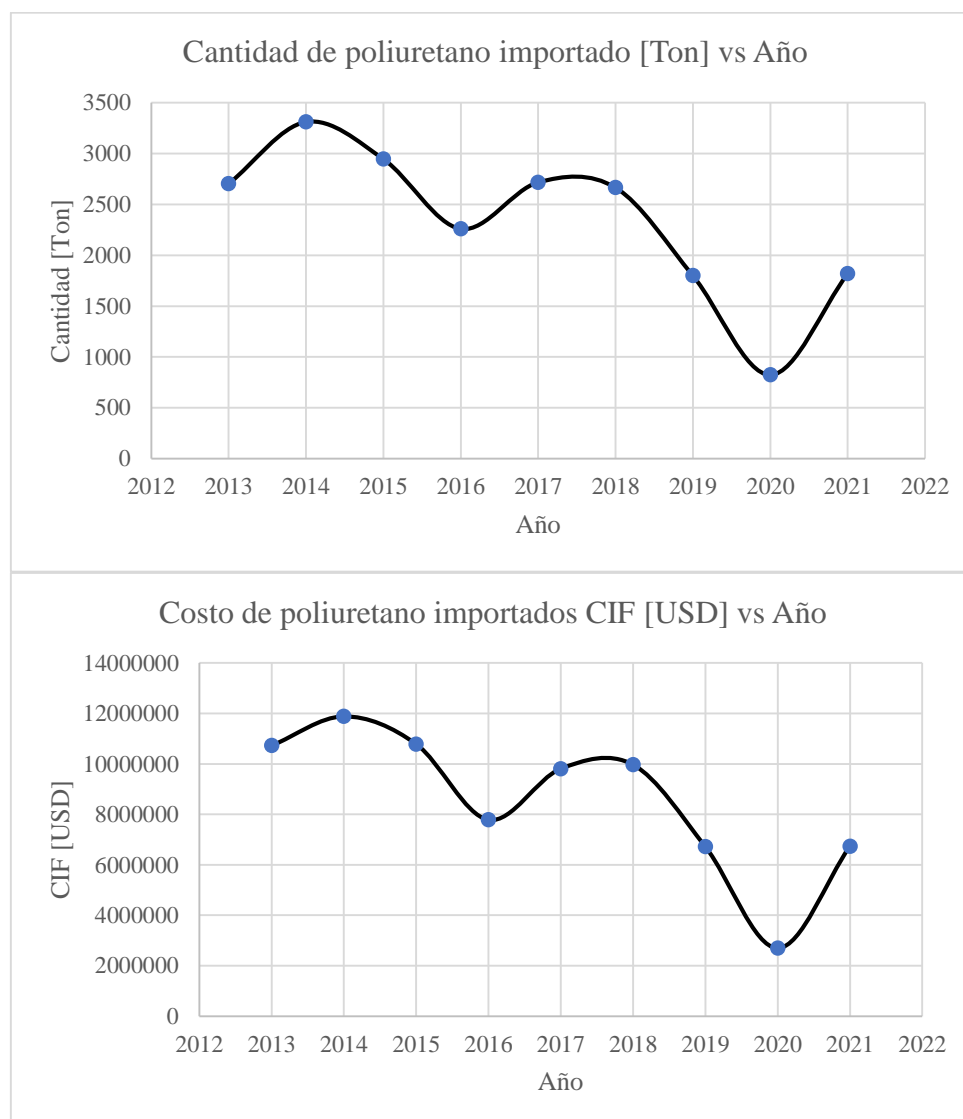


Figura 2. Cantidad y costos de importación de poliuretano

1.5 Resultados esperados

Al implementar el proyecto se espera consolidar el cambio de la matriz productiva de espumas de PU dependientes del petróleo por una matriz de aprovechamiento de los recursos renovables como la biomasa lignocelulósica [17]. Con lo cual se espera que las bio espumas de PU alcancen un mayor desarrollo y ventas respecto a los PU convencionales.

Expansión de línea de producto

Actualmente la producción de polímeros a partir de biomasa es un mercado competitivo y que se mantiene en constante innovación por lo que es fundamental que cumplan con los

estándares de calidad y propiedades físico-mecánicas [18]. A partir de los datos obtenidos a escala de laboratorio para la obtención de bio-poliololes por el método de licuefacción en el cual se caracteriza la materia prima (cáscara de cacao), se extrae lignina y posteriormente se analiza la presencia de grupos hidroxilo de los bio-poliololes con lo cual se plantea el diseño de planta [5]. Todos los productos serán eco-amigables y únicos dentro de su categoría compartiendo beneficios y propiedades de los poliuretanos tradicionales.

Expansión línea de producción

Para la formulación de las bio-espumas de poliuretano se utiliza como componentes principales biomasa residual, alcoholes poli hídricos, surfactantes y catalizadores. La planta implementará el proceso para la extracción y obtención de lignina y bio-poliololes a partir de la cáscara de mazorca de cacao, por lo que sería la primera empresa en ofrecer esta materia prima [9]. Este componente se utiliza en el proceso de producción de espumas de PU y se distribuirá los bio-poliololes extraídos de la cáscara de cacao a empresas con actividades afines.

2. MÉTODOS EXPERIMENTALES

2.1 Caracterización de materia prima

Ya que la biomasa posee una composición compleja se utilizan varias técnicas para tratar al material lignocelulósico antes de la extracción de los componentes de interés y hacerlos más accesibles con los reactivos a utilizar. Los pretratamientos de la biomasa pueden ser físicos, químicos o biológicos [19]. El tratamiento físico comprende el proceso de corte, molienda y triturado. Para la formación de espumas de PU mediante el uso de un bio-poliol a partir de material lignocelulósico, el tratamiento físico más importante es el proceso de reducción de tamaño de la materia. Este proceso disminuye la cristalinidad de los compuestos lignocelulósicos e incrementa la interacción con los reactivos [2].

Para la caracterización de la cáscara de cacao se realizó el método físico de corte, donde se divide las mitades de la cáscara y se las corta en pequeños trozos obteniendo una muestra húmeda de 299,0811 g. Posteriormente la biomasa se secó en una estufa a 40°C por 4 días, se trituró y tamizó por una malla de 20 - 40 μm obteniendo una muestra seca de 52,5019 g. Los parámetros que se determinaron de la materia prima son: contenido de humedad, cenizas, y lignina [20].

2.1.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad es la cantidad de agua que posee la biomasa expresada como un porcentaje de su peso, se la considera una característica determinante en términos de energía. El contenido de humedad se determinó por el método gravimétrico, obteniendo un porcentaje de 79,8% de humedad de la cáscara de cacao calculada por la ecuación (1).

$$\%Humedad = \frac{M_s - M_c}{M_o - M_c} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

M_s = Muestra seca con peso del crisol [g]

M_o = Muestra inicial con peso del crisol [g]

M_c = Peso del crisol [g]

2.1.2 Contenido de cenizas

Las cenizas de la biomasa corresponden a los residuos inorgánicos que se determinan mediante el proceso de incineración de la cáscara de cacao [19]. Los residuos inorgánicos corresponden a magnesio, potasio y sales de calcio producto de la incineración de proteínas, lípidos y carbohidratos de la biomasa. Se utilizó el método gravimétrico obteniendo un porcentaje de 7,15% al aplicar la ecuación (2).

$$\%Cenizas = \frac{M_s - M_c}{M_o - M_c} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

M_s = Peso del crisol con muestra calcinada [g]

M_o = Muestra inicial con peso del crisol [g]

M_C = Peso del crisol [g]

2.1.3 Contenido de lignina

La lignina que se encuentra en el cacao es una macromolécula de alta complejidad unida a diferentes tipos de enlaces como: alquil-arilo, alquil-alquilo y aril-arilo. La caracterización de la lignina es necesaria para la optimización de los parámetros de pretratamiento en el proceso de producción de espumas de poliuretano [21]. La lignina tiene dos funciones principales: transporte de agua, metabolitos, nutrientes y endurecimiento de las fibras de polisacáridos para brindar rigidez a la pared celular [22]. La determinación del contenido de lignina se lleva a cabo por el método gravimétrico, obteniendo un porcentaje de 49,9% por medio de la ecuación (3).

$$\%Lignina = \frac{M_s}{M_o} \times 100\% \quad (3)$$

Donde:

M_s = Peso de la muestra seca [g]

M_o = Peso muestra inicial [g]

2.2 Caracterización de bio-polioles

2.2.1 Rendimiento de licuefacción

El proceso de licuefacción es esencial para el uso de la lignina para lograr una reacción uniforme maximizando su utilidad química en la conversión de bio-productos. A través del método one-shot se determinó el rendimiento del proceso de licuefacción para la obtención de bio-polioles por la ecuación 4. Del proceso se obtiene un rendimiento de 53,43%.

$$\text{Rendimiento de licuefacción} = \frac{\text{Peso de biomasa} - \text{Peso de residuo}}{\text{Peso de biomasa}} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

Peso de biomasa = peso muestra seca de cáscara de cacao antes del proceso

Peso de residuo = residuo sólido del proceso de licuefacción después de ser secado

A continuación, se presentan un resumen de los parámetros de caracterización de la biomasa y bio-poliolos obtenidos a escala de laboratorio

Tabla 1. Caracterización de biomasa y bio-poliolos

Parámetro	Material	Valor [%]
Humedad	Biomasa	79,8
Ceniza	Biomasa	7,15
Lignina	Biomasa	49,9
Rendimiento de licuefacción	Bio-poliolos	53,43

2.2.2 Análisis FTIR

Las muestras obtenidas de bio-poliolos se analizaron mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para determinar sus cambios de funcionalidad en el rango de longitud de onda de $655 - 4003 \text{ cm}^{-1}$. Se aplica el análisis FTIR para la caracterización de los bio-poliolos obtenidos de la licuefacción de los residuos del cacao, esta técnica permitió la interpretación de los datos numéricos observando en el espectro de la muestra la presencia de los grupos OH característicos de los bio-poliolos [23]. El análisis se llevó a cabo con el uso del FTIR Agilent Cary 360 con el cual se compararon tres muestras siguiendo la metodología de espectroscopia infrarroja.

3. BASES DE DISEÑO

3.1. Fundamentos teóricos

La formulación de espumas de poliuretano es una asociación compleja entre poliolos, isocianatos, catalizadores, tensioactivos y aditivos. La cantidad requerida para la formulación de PU se expresa por peso del polioliol [24]. Industrialmente se llevan a cabo varios procesos

como moldeo, vertido, espumado en el lugar y planchas. El proceso de espumado está basado en el método one-shot en donde el polioliol e isocianato se mezclan, separándose los componentes en dos partes: Parte A contiene el polioliol, catalizador, tensioactivos y aditivos los cuales se agitan para integrar las burbujas de aire y obtener una emulsión [2]. La parte B está compuesta por isocianato, las dos partes se mezclan bajo agitación, esta se vierte en la maquina espumadora para la obtención de bloques y su corte de acuerdo con los requerimientos de espesor. Finalmente se obtienen un material celular compuesto por celdas poliméricas que atrapan gas [1].

Los polioles son líquidos viscosos que contiene al menos dos o más grupos hidroxilo (OH) en su molécula, su densidad se expresa en mg KOH/g. Los principales tipos de polioles son los oligómeros de poli-éter y poliéster. Los poli-éteres se producen por la oxidación de propileno a partir de una molécula iniciadora simple que contiene varios grupos OH [6] Los poliésteres se producen por la policondensación o poli adición entre ácido dicarboxílico o un anhídrido; este tipo de polioles presente una baja viscosidad y alta dispersión de sus enlaces de éter flexibles [5]

La actividad catalítica favorece a la formación de redes de uretano, los catalizadores de PUF están atrapados dentro de la matriz polimérica y se liberan con el tiempo [25]. El uso de surfactantes en la formulación de las espumas tiene dos funciones principales: 1) la emulsificación de los reactivos aumentando su miscibilidad y reduciendo el tamaño de la partícula de emulsión y 2) la estabilización de las células en crecimiento y la formación de burbujas en el proceso de polimerización para la formación de la espuma. El surfactante posee funciones críticas en las propiedades del material por lo que la cantidad de tensioactivo debe ser optimizada para un buen rendimiento y precio [9]

3.2. Descripción del producto

Características del producto

El producto obtenido del proceso será por bloques, mismos que posteriormente serán cortados para obtener la presentación comercial del producto, que corresponde a láminas de [200 x 100 x 20 cm] de acuerdo con los requerimientos del mercado [26]. Después del proceso de mezcla, cremado, crecimiento y gelificación de la espuma se formará una masa uniforme la cual será cortada en bloques y transportada por montacargas al área de curado en la cual se mantendrá por 24 horas, el área mencionada debe ser un lugar ventilado ya que en esta etapa se eliminarán las partículas de isocianatos, metileno y catalizadores, los bloques se deberán mantener separados [27].

Almacenamiento del producto

Una vez transcurridas las 24 horas los bloques serán almacenados y transportados con montacargas a un lugar amplio hasta ser cortados en láminas de [200 x 100 x 20 cm]. Ya que son espumas eco amigables no se utilizará plástico para su envoltura, el producto terminado se almacenará hasta su distribución final [27].

3.3. Descripción de materias primas

Obtención de Bio-poliolés

Cacao

La cáscara de cacao es un desecho importante en el cultivo de cacao y posee lignina que puede convertirse en poliols aromáticos a través de procesos termoquímicos [26]. En cuanto el peso del fruto de cacao, el 75% corresponde a la cáscara y el 25% corresponde a pulpa mucilaginosa y granos de cacao. En el país se cultiva dos tipos de cacao el CCN-51 y cacao fino de aroma. Para el desarrollo del proyecto es importante conocer la composición química de la cáscara de cacao ya que esta biomasa lignocelulósica se usará como sustituto parcial de la matriz polimérica para la obtención de espumas de PU [28]. La composición química de la cáscara de cacao se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química de la cascara cacao

Componente	%p/p
Humedad	85
Proteína	11,5
Celulosa	9
Fibra	5,45
Agua	5
Azúcares	1
Grasa	0,002

Fuente: [2]

Lignina

La lignina es uno de los tres componentes más importantes de la biomasa lignocelulósica, es un biopolímero característico en estructura vegetales [29]. La cáscara de cacao como residuo de la industria cacaotera contiene en su composición agua, celulosa y lignina lo que lo le brinda características para la obtención de bio-polioles con potencial para procesos manufactureros, además esta biomasa corresponde a un material maderero rígido por lo que en comparación con otros materiales posee más cantidad de lignina que le otorga resistencia y forma [8].

Solventes de licuefacción

PEG 400

Es un polímero termoplástico que se obtiene mediante la polimerización de óxido de etileno, hay varios tipos de PEG según su peso molecular, para fines de este proyecto se utilizara PEG 400 [30]. Este compuesto es soluble en agua y en disolventes orgánicos, si su peso molecular aumenta, la solubilidad y la higroscopia disminuyen, no se considera un reactivo peligroso, pero puede ser tóxico si se ingiere y puede causar irritación en la piel al contacto prolongado, se debe almacenar en lugares ventilados [31].

Metanol

El metanol es un solvente orgánico que posee temperaturas y presiones críticas bajas de 239°C y 8,09 MPa. Químicamente es un solvente donador de hidrogeno por lo que en el

proceso de licuefacción mejora la calidad de los bio-polióles [32]. El metanol posee muchas ventajas respecto a otros solventes como bajo costo, baja toxicidad y puede ser sintetizado fácilmente a partir de monóxido de carbono e hidrogeno por procesos térmicos de biomasa. El metanol caliente contribuye a la degradación de la degradación de la lignina [33]. En procesos de licuefacción el metanol no solo actúa como solvente sino también como reactivo durante la reacción. Los productos licuados en diferentes solventes pueden aumentar el rendimiento de los productos ya que la biomasa posee una composición y estructura compleja [34].

Producción de espumas de PU

Para la producción de espumas es necesaria la polimerización y mezcla de componentes como isocianatos siendo los más usados los que contienen dos grupos isocianatos como el Diisocianato de tolueno (TDI) y el Diisocianato de Difenilmetano (MDI), el TDI por ser el más económico ya que presenta dos isómeros importantes el 2,4 y 2,6, comercialmente se encuentra en proporciones TDI 80/20 y TDI 65/35 [15]. Como agente de expansión en la reacción de PU se usa agua, este determinara la densidad de las espumas. Las espumas flexibles poseen una densidad menor a 24 Kg/m^3 . Se usan agentes de expansión secundarios que son líquidos con puntos de ebullición bajos como fluorocarburo-11, fluorocarburo-12 y el más usado el Cloruro de Metileno (CH_2Cl_2) [35].

Se requieren surfactantes de silicona los cuales son agentes tensioactivos es decir que reducen la tensión superficial en la mezcla, por lo tanto, mejoran la homogeneización, regulan la estructura de las celdas en la espuma dándole mayor estabilidad para controlar la gelificación y la expansión de las espumas. Se usan catalizadores de aminas, de estos dependen los perfiles de crecimiento y tiempos de reacción [36]. Para un mejor balance en la reacción de expansión y gelificación se usan catalizadores de estaño, para la producción de bloques de PU el catalizador más usado es el octato de estaño [35].

3.4. Normas y limitaciones

Normas

La fabricación de polímeros está sujeto a normas y legislaciones para el tipo de proceso de producción que se llevara a cabo (ver Tabla 3). Este tipo de productos se basa en normativas establecidas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) la cual es utilizada para mejorar la calidad del producto, aumentar la seguridad y facilitar el acceso a los mercados al fortalecer la confianza de cada uno de los consumidores [37]. También se toma en cuenta las normas de la organización internacional de normalización (ISO) que corresponde a los estándares de aseguramiento de calidad y eficiencia del producto. A continuación, se resumen las principales normas para fabricación y testeo de las espumas de PU [38].

Tabla 3. Normas ISO y ASTM para fabricación y testeo espumas de PU

Prueba	Estándar
Prueba estándar para materias primas de poliuretano – Contenido de isocianato	ASTM D 5155-01
Determinación del número de hidroxilo de polioles	ASTM D4274-99
Materiales poliméricos celulares flexibles, espuma de poliuretano para uso laminado.	ISO 6915:2019
Densidad	ASTM D3574-91
Examen microestructural	ASTM E2015-04
Comportamiento químico	ASTM D543
Requisitos y ensayos a los que deben someterse las espumas flexibles de poliuretano	NTE INEN 2021

Limitaciones

Uno de los limitantes para este proceso es la cantidad de solvente de licuefacción a base de petróleo como es el caso del alcohol poli hídrico PEG-400 para la producción de bio-poliol, debido a que no se produce ni distribuye en el Ecuador. Esta materia prima tendrá que ser importada, implicando una dificultad al momento de su adquisición y falta de disponibilidad [39]. Para mantener un stock de reserva de materia prima, se almacenará un suministro de 6 meses de polietilenglicol en bodega. En caso de que no sea posible adquirirlo por trámites

aduaneros o alto costo de importación, se estudia la posibilidad de trabajar con metanol como solvente de licuefacción ya que posee una distribución y venta regular en el Ecuador. Se lo puede conseguir a través de varias empresas que lo comercializan como NOVACHEM del Ecuador y Agripac [39].

Para llevar a cabo una producción exitosa de un producto de calidad, se debe tomar en cuenta las características fisicoquímicas de la materia prima [40]. Para determinar las condiciones de operación de los equipos es necesario conocer los puntos de ebullición, fusión e inflamación que determinaran la temperatura a las culés se va a trabajar en el proceso. El contenido de residuos decrece con el incremento de la temperatura de licuefacción de 130°C a 180°. Si se cambia la temperatura de licuefacción de 170°C a 180°C causa una descomposición de los carbohidratos que componen el material lignocelulósico [41] Otra de las propiedades críticas es el número de hidroxilo que deben alcanzar los bio-polioles ya que permite la extensión de la cadena brindándole a la espuma un alto nivel de funcionalidad y buena estabilidad térmica [9].

3.5. Ubicación de planta

Debido a que la materia prima del proceso son los residuos del cacao, a través de datos obtenidos por el atlas bioenergético del Ecuador, se determinó que en la región costa específicamente en la provincia de Guayas se produce alrededor de 718.018,43 T/año de residuos de cacao [42] Su cercanía e influencia al puerto marítimo le brinda una ubicación privilegiada como mecanismo logístico de exportación e importación en el comercio exterior. Su principal efluente de agua es el río guayas el cual consiste en una vía de transporte ideal para las cosechas de cacao desde los diferentes cantones hasta Guayaquil [43].

Por temas de logística y transporte la planta se ubicará en Guayaquil, en el parque industrial de Durán. El catón Durán se localiza a orillas del río Guayas y está conectado a Guayaquil por el puente de la unidad Nacional [44]. Posee una altitud de 4 m sobre el nivel del

mar. La temperatura media anual es de 24,2°C presentando un clima lluvioso tropical. La mayor plantación de cacao en la provincia de las guayas se encuentra en el cantón Milagro. El catón Milagro está a 38 km (20 minutos) del parque industrial de Guayaquil; ubicado en la vía panamericana facilitando el acceso a parroquias aledañas como a la capital de la provincia. La planta se construirá en el sector estratégico del parque industrial mismo que se encuentra alejado de la ciudad y posee una población de 230 839 habitantes. En cuanto a transporte y movilización entre estos dos cantones y la ciudad de Guayaquil cuentan con alrededor de 14 compañías de transporte pesado que cubren estas rutas.



Figura 3. Vista satelital de la ubicación de la planta

3.6. Selección del proceso

Existen dos vías de extracción de bio-poliololes a partir de biomasa lignocelulósica. Actualmente la demanda de bio-poliololes crece de forma acelerada ofreciendo nuevas oportunidades para valorizar la biomasa en la industria del poliuretano [15].

Proceso de licuefacción

Estos disolventes conducen a la obtención de poliololes aromáticos utilizados en la síntesis de espumas de PU [45]. La reacción principal de este proceso da como resultado la división de los enlaces β -1,4-glucosídicos, separando la celulosa de las fracciones de lignina.

Para la caracterización de los bio-poliolés el valor final del grupo hidroxilo (OH) está relacionada con la masa molar del solvente. Las condiciones de licuefacción que se plantean son: 150°C y tiempo de reacción de 90 minutos, contenido de catalizador al 3% en peso y 20% en peso de cascara de cacao [19].

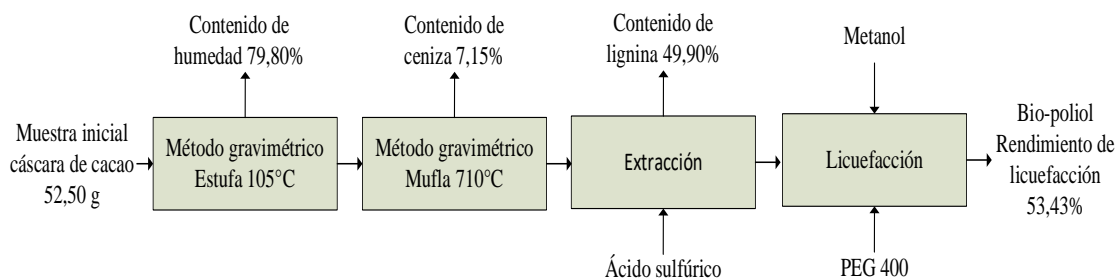


Figura 4. Diagrama de bloque de la metodología experimental caracterización de materia prima y extracción de bio-poliolés

Desventajas del proceso de licuefacción

A pesar de que los bio-poliolés obtenidos a partir de este proceso poseen características comparables a los poliolés petroquímicos [46]. Las desventajas que presenta esta vía de extracción de bio-poliolés es que sus disolventes presentan un alto costo, requiere de un pretratamiento de secado de la biomasa generando un mayor consumo energético, posee puntos críticos más altos con condiciones severas para el proceso [39]. El rendimiento de los bio-poliolés puede disminuir.

Proceso de oxipropilación

Otra estrategia común para la producción de poliolés aromáticos a partir de material lignocelulósico se basa en la oxipropilación. El solvente utilizado en este proceso es el óxido de propileno [47]. Las condiciones de operación del reactor para este proceso son de 150°C a 180°C a baja presión. La relación entre lignina y PO puede variar entre 10/90 (p/v) para la generación de poliolés aromáticos. Una alternativa de este proceso es el uso de óxido de butileno que posee menor toxicidad respecto a PO [48]. A escala industrial permite obtener

cadena injertadas de poliéster flexible con grupos hidroxilo terminales muy activos que disminuyen las variaciones inherentes a los orígenes botánicos de la biomasa.

4. DISEÑO DE PROCESO

4.1 Caudal de producción

Estudio de mercado

A partir de la información recolectada fue posible determinar las aplicaciones que poseen las espumas de poliuretano a escala nacional, principalmente son utilizadas en la fabricación de objetos de uso cotidiano como la fabricación de colchones, asientos de carros y mueblería. El precio de las láminas de espuma de poliuretano depende del espesor con un valor que oscila entre 1,12 hasta 5,70 por cm de espesor [1]. Ya que la lámina cuenta con un espesor de 20 cm y una densidad de 23 kg/m³ el valor por cm es de 3,85 dándole un valor por lamina de \$ 77,00. Al ser una bio-espuma se diferencia de los poliuretanos convencionales y sería la primera empresa en la producción de bio-espumas a partir de bio-polioles extraídos de la cáscara de cacao colocándolo como un producto innovador y eco-amigable [50].

Reactivo limitante

Para determinar el caudal de producción se debe tomar en cuenta cual es el reactivo o materia prima limitante en el proceso. Para el proceso de licuefacción que involucra el uso de PEG 400 como solvente, se debe tomar en cuenta que este reactivo requiere de importación ya que no se produce ni se distribuye en Ecuador. Se sugiere abastecer a la planta con una provisión de 6 meses para evitar la discontinuidad del proceso [9].

Caudal de producción

Basado en los datos de la demanda insatisfecha de poliuretano y una vez determinado el reactivo limitante del proceso se establece el caudal en 123 m³/día con un proceso continuo durante todo el año teniendo como producción anual 47450 m³/año, se considera la producción de una espuma con una densidad de 23 Kg/m³. Según el INEN a esta densidad la

principal aplicación de la espuma es para la fabricación de colchones de alta calidad y asientos de vehículos. La presentación del producto final será en planchas de [200 x 100 x 20 cm] de acuerdo con las necesidades del cliente como se muestra en la Figura 5.

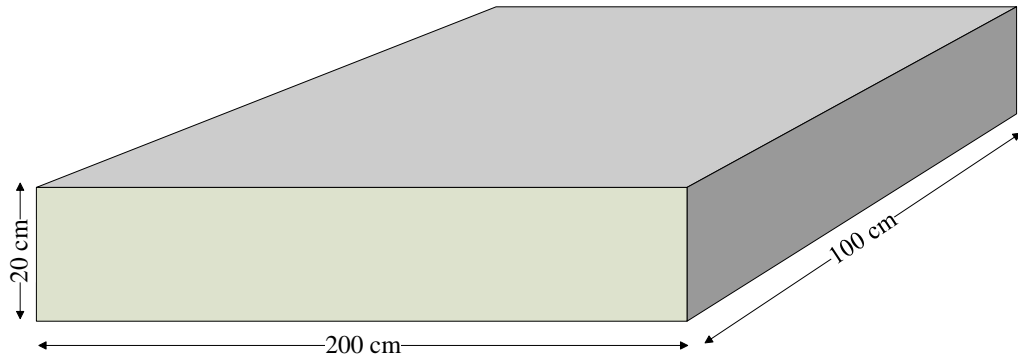


Figura 5. Dimensiones lámina de poliuretano

4.2 Balance de masa

Para el diseño de la planta es necesario establecer los caudales y composiciones de cada corriente del proceso de acuerdo con el diagrama de bloque presentado en la Figura 6 que corresponden al proceso de licuefacción y producción de espumas de PU respectivamente [51]. Una vez establecido el caudal de producción se realiza el balance de masa según la metodología detallada en el Anexo B.2.2 En la tabla 3 se presenta las operaciones y corrientes del proceso.

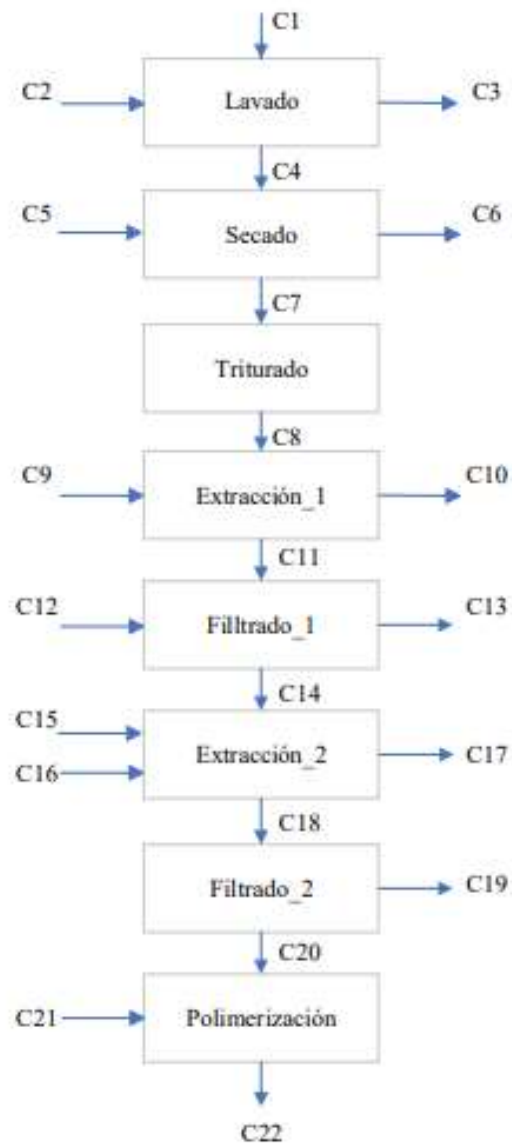


Figura 6. Diagrama de bloque del proceso

Tabla 4. Balance de masa del proceso de licuefacción

Operación Unitaria	Corriente	Materia prima	Cantidad (kg)
Lavado	C1	Cáscara de cacao + impurezas	28088,27
	C2	Agua	28088,27
	C3	Agua + impurezas	28492,74
	C4	Cáscaras de cacao	27683,80
Secado	C5	Aire	11006855,24
	C6	Aire + agua	110028992,34
	C7	Cáscara de cacao seca	5546,69
Trituración	C8	Cáscara de cacao triturada	5546,69
Extracción 1	C9	Ácido sulfúrico 72%	100,00
	C10	Ácido sulfúrico 72% + cáscara de cacao	2258,68
	C11	Ácido sulfúrico 72% + cáscara de cacao	3388,02
Filtración 1	C12	Agua	100,00
	C13	Ácido sulfúrico 72% + cáscara de cacao + agua	2805,20
	C14	Lignina	682,82
Extracción 2	C15	PEG400	3387,31
	C16	Ácido sulfúrico 5%	1000,00
	C17	Lignina + ácido sulfúrico 5% + PEG400	2387,26
	C18	Bio-poliol + PEG400	2682,86
Filtración 2	C19	Lignina + ácido sulfúrico 5%	1009,69
	C20	Bio-poliol + PEG400	1673,17
Polimerización	C21	TDI	1677,21
	C22	Espuma de PU	3350,38

Se utilizan 28088,27 kg de materia prima (cáscara de cacao) para la extracción de 1673,17 kg de bio-poliol. Se producen 325 láminas diarias de espumas de poliuretano cada una con un peso de 9,2 kg.

5. DISEÑO DE PLANTA

5.1 Selección de equipos

El proceso de producción de espumadas poliuretano a partir de bio-poliol consta de 2 etapas: La primera consiste en el pretratamiento de la biomasa para la obtención de lignina,

aquí se lleva a cabo las operaciones de lavado, secado, triturado extracción y filtrado. En la segunda etapa el proceso de licuefacción permite la obtención de los bio-polioles el cual consta de las operaciones unitarias de extracción, filtración y espumado [52]. El proceso involucra dos extracciones que se realizan con el mismo equipo y dos filtros; un filtro de vacío rotatorio y un filtro de tela con una corriente de agua caliente para el lavado en la obtención de lignina. Se realizó el dimensionamiento de los equipos de lavado, secado y extracción los cuales no poseen ni temperaturas ni presiones críticas con un material de acero al carbón ya que el proceso no involucra sustancias corrosivas.

Tomando en consideración que la producción de la planta es grande, se considera más efectivo adquirir los filtros, trituradora y la máquina espumadora con proveedores de equipos que cumplan con las características requeridas para el proceso. En la industria existe una gran variedad de filtros para varios propósitos, para este proyecto se utiliza un filtro de vacío rotatorio, que permite una filtración más eficiente y con mejores resultados eliminando las sustancias de desecho limitando la formación de espuma y la oxidación de los productos.

La máquina espumadora se utiliza para la elaboración de espumas de poliuretano la cual posee un molde en forma de cubo en donde se coloca la mezcla de los componentes químicos para la reacción. Los reactivos deben ser dosificados y mezclados en cantidades adecuadas manteniéndose a temperatura constante [53]. La reacción se inicia al cabo de un poco tiempo en el que los bio-polioles y el TDI entran en contacto generando un desprendimiento de calor ya que corresponde a una reacción exotérmica.

5.2 Dimensionamiento de equipos y balance de energía

A partir del caudal obtenido y del balance de masa es posible determinar la capacidad de cada uno de los equipos. La metodología seguida para el dimensionamiento de los equipos se encuentra en el Anexo C.1.2. Los requisitos energéticos se obtienen a partir del balance de energía y requerimiento de calor de cada uno de los equipos [54]. Las unidades de lavado,

triturado y máquina espumante requieren de la impulsión de un motor; el equipo de secado es un equipo de calentamiento que requiere de calor. El desarrollo del balance de energía se lleva a cabo en el Anexo C.2.2 y sus cálculos en el Anexo C.1.3.

Diagrama de flujo

En el diagrama de flujo se presenta las operaciones unitarias y las corrientes que se llevan a cabo en el proceso de producción espumas de poliuretano a partir de bio-poliol. Se presenta la Tabla 4 que resume las características de los equipos a partir del dimensionamiento, balance de masa y energía.

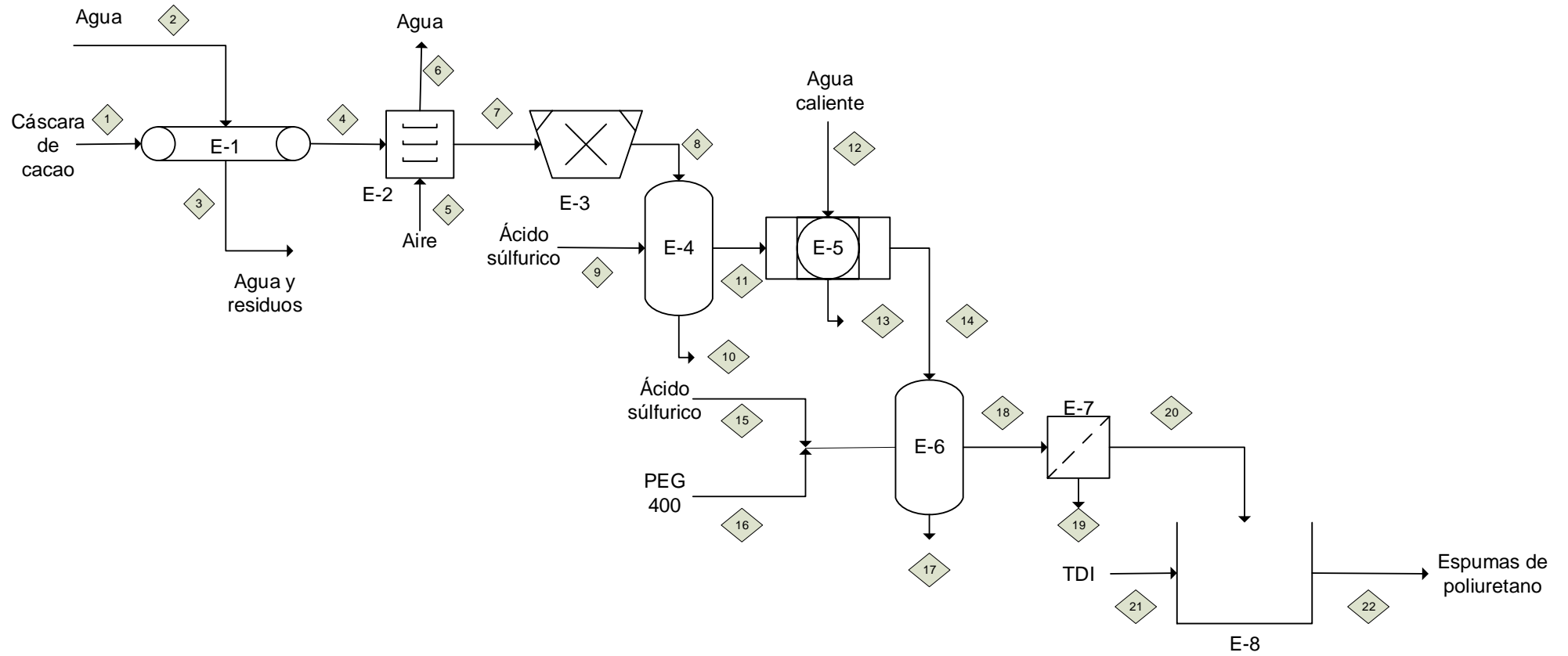


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de producción de espumas de poliuretano a partir de bio-poliol

Tabla 5. Dimensionamiento de los equipos

Equipo	Características principales	Valor	Unidad
E:1 Tanque de lavado	Capacidad /Volumen	0,096	m ³
	Diámetro del tanque	2,3	m
	Longitud del tanque	4,14	m
	Potencia de motor	15,76	kW
	Espesor de pared	9	mm
E:2 Secador	Capacidad /Volumen	0,08	m ³
	Diámetro del tanque	1,14	m
	Longitud del tanque	2,74	m
	Temperatura de entrada	25	°C
	Temperatura de salida	70	°C
	Temperatura interna	105	°C
E:3 Trituradora	Capacidad /Volumen	1,2	T/h
	Diámetro del tanque	1,2	m
	Longitud del tanque	2	m
	Potencia de motor	55	kW
E:4 Extractor 1	Capacidad /Volumen	0,16	m ³
	Diámetro del tanque	1,52	m
	Longitud del tanque	4,14	m
	Espesor de pared	7	mm
E:5 Filtro 1	Área de filtrado	13,83	m ²

E:6 Extractor 2	Capacidad /Volumen	0,017	m ³
	Diámetro del tanque	1,22	m
	Longitud del tanque	3,66	m
	Espesor de pared	7	mm
E:7 Filtro 2	Área de filtrado	24,45	m ²
E:8 Máquina espumante	Caudal de producción	15596,88	L/h
	Longitud del tanque	10	m
	Altura del tanque	3,5	m
	Potencia de motor	11	kW

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

En la implementación de la planta una dificultad que se presenta es la adquisición del solvente de licuefacción para la obtención de bio-poliol que corresponde a polietilenglicol PEG 400, este producto químico no se produce ni se comercializa en el país [55]. Ya que se requerirá de la importación de este reactivo, se plantea la posibilidad de reemplazarlo con otro alcohol poli hídrico como el metanol, abundante en el mercado nacional [39]. Para la formulación de las espumas de poliuretano se requiere de la combinación de bio-poliol y polio convencional (PEG 400) que corresponde a un derivado del petróleo, por lo que aumenta el costo de producción de los bio-poliol y podría representar un problema para su comercialización [56].

6.1 Métodos de estimación

La estimación del costo de la inversión se considera como el primer paso para determinar el presupuesto para la implementación de la planta y su viabilidad [52]. Los métodos para la estimación de costos serán: método de Lang, método de Hand y método

factorial detallado; cada uno de ellos considera factores correctivos y de instalación de equipos dentro de la industria química que se encuentran detallados en el Anexo C.2.1. Los costos obtenidos por los distintos métodos son:

Tabla 6. Estimación de costos de proyecto por el método de Lang, Hand y Factorial Detallado

Métodos de estimación de costos		
Método de Lang C_L [\$]	Método de Hand C_H [\$]	Método factorial detallado C_{FD} [\$]
616 544	385.340	400 753

6.2 Inversión de capital fijo y capital de trabajo

La inversión de capital fijo representa el costo del diseño de la planta, construcción e instalación. Esta determina por los costos ISBL, OSBL, de ingeniería, construcción y gastos imprevistos [52]. El capital de trabajo corresponde a una inversión adicional para poner en marcha la planta hasta que empiece a retornar el capital invertido.

Inversión de capital de trabajo

Incluye los costos de inventario de materia prima, inventario de productos y subproductos, efectivo en caja, cuentas por cobrar, créditos o cuentas pendientes e inventario de repuestos [52]. Los costos de inversión de capital fijo y de trabajo se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7. Inversión de capital fijo y capital de trabajo

C_{ISBL} [\$]	C_{OSBL} [\$]	$C_{INGyCONST}$ [\$]	Gastos imprevistos [\$]	Inversión de capital fijo [\$]	Capital de trabajo [\$]
420 076,90	168 030,76	176 432,30	58 810,77	823 350,73	16 860 90,08

6.3 Costos de producción

A partir de los costos de capital de trabajo se deriva el rubro de valor de inventario de productos y subproductos que se calcula a partir de los costos de producción variables y fijos.

Los costos variables son proporcionales al rendimiento y caudal de producción de la planta que incluye el costo de materias primas, servicios básicos, almacenamiento y transporte del producto terminado. Los costos fijos no son susceptibles a cambios incluyendo costos de operación, supervisión, salarios de los trabajadores, mantenimiento, impuestos de la propiedad, alquiler de tierra, gastos medioambientales y licencias. El costo de producción anual representa la suma de los costos fijos y variables. En la siguiente tabla se presentan los costos de producción

Tabla 8. Costo fijos y variables de la producción anual

Costos de producción variable VCOP [\$]	Costos de producción fijos FCOP [\$]	Costo en efectivo de producción CCOP [\$]
71 669,01	59984,01	131653,02

6.4 Componentes de los ingresos del proyecto

Ingresos

Se determina los ingresos anuales a partir de la venta del producto terminado que corresponde a láminas de espumas de poliuretano de dimensiones de 200 x 100 x 20 cm, ya que la espuma de poliuretano que se obtiene es de base biológica posee un precio de venta superior generando mayores ingresos [1].

Tabla 9. Ingresos por ventas anuales de láminas de poliuretano

Caudal de producción anual Láminas de espuma de poliuretano [200 x 100 x 20 cm]	Costo lámina incluido IVA [\$]	Ingresos por ventas anuales [\$]
78 000,00	77,00	6 000 000,00

Margen bruto

Son los ingresos por ventas menos el costo de materia prima

Tabla 10. Margen del proyecto

Lámina de poliuretano	Costo de producción de lámina [\\$]	Precio de venta al público [\\$]	Margen Bruto [%]
[200 x100 x 20]	20,24	77,00	73,71

Beneficios

Para determinar la rentabilidad del proyecto se calcula una inversión inicial total que corresponde a la suma de capital fijo y capital de trabajo. El beneficio neto anual de planta es el ingreso por la venta del producto menos los costos de producción e impuesto. El costo de inversión inicial y el beneficio neto se resume en la siguiente tabla

Tabla 11. Inversión total y beneficio neto anual de la planta

Inversión inicial total [\\$]	Beneficio neto [\\$]
17 683 940,81	4 047 459,72

6.5 Tiempo de recuperación y ROI

El tiempo en el que se recupera el capital invertido para el desarrollo del proyecto corresponde al tiempo de recuperación. El periodo de recuperación es un factor importante que determina la factibilidad del proyecto. Un tiempo de recuperación extenso puede significar pérdidas en cuanto a inversión. Por otra parte, el ROI o inversión de retorno es un indicador financiero que permite la medición y proyecciones de resultados económicos de la inversión y viabilidad de un proyecto [52]. Es la relación entre inversión inicial y el beneficio bruto que indica el porcentaje de lo invertido que se ha recuperado.

Tabla 12. Indicadores económicos

Flujo de caja [\\$]	Tiempo de recuperación [años]	ROI [%]	VAN [M\\$]	TIR [%]
4 070 838,60	4,34	22,88	7,59	12,3

Con los datos que se presentan en la tabla # el tiempo de recuperación es de aproximadamente 4 años. Ya que es un valor positivo el porcentaje de retorno de inversión indica cuanto de lo invertido se ha recuperado y está generando ingresos.

7. ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD

La licuefacción es una de las rutas de conversión termoquímica más utilizada para la transformación de biomasa lignocelulósica en sustancias químicas valiosas. A través de este proceso los componentes de un mayor peso molecular se descomponen en residuos gaseosos, líquidos y sólidos de menor peso molecular [56]. Con el fin de incrementar la utilidad y rentabilidad del proyecto se proponen las siguientes alternativas. El producto gaseoso de la licuefacción es insignificante en el rendimiento del proceso mientras que la fase líquida es el producto de licuefacción más utilizado el cual puede tener varias aplicaciones adicionales a la formulación de espumas de poliuretano como adhesivo para madera y levulinato de etilo [34].

Ya que se desea obtener bio-espumas amigables con el ambiente y reducir la dependencia de los derivados del petróleo se sigue presentando un gran inconveniente ya que se utiliza una gran cantidad de disolvente de licuefacción a base de petróleo como PEG 400, etilenglicol o glicerol para la obtención de bio-poliol. Esto incrementa el costo de producción afectando su futura comercialización. En reemplazo de PEG 400, se propone el uso de metanol como solvente de licuefacción el cual posee un bajo punto de ebullición facilitando su reciclaje, ya que es más sencillo separarlo del bio-poliol sin afectar sus propiedades y composición [51].

La tasa de sustitución de polioles convencionales por bio-polioles aplicada es del 20%. Según datos bibliográficos se recomienda una tasa de sustitución de bio-polioles derivados de la licuefacción de biomasa lignocelulósica para formulación de espumas de PU en un rango de 8 a 32% [57]. Para el análisis de flexibilidad se presenta como alternativa una sustitución del 30% de bio-poliol lo cual reducirá los costos de materia prima. Este porcentaje de sustitución

no requiere del aumento de la proporción de biomasa en el sistema de licuefacción evitando que se comprometa el rendimiento de conversión de la biomasa.

Con un reemplazo del 30% se reducen los costos de materia prima en un 13,44%

Tabla 13. Inventario de materia prima para un reemplazo de 20% y 30% de bio-poliolés

Materia prima	Cantidad [T] 20%	Cantidad [T] 30%	Costo [\$] 20%	Costo [\$] 30%
Cáscaras de cacao	280,00	280,00	0,00	0,00
PEG400	16,00	14,00	57 600,00	50400,00
H2SO4	1,10	1.10	242,00	242,00
TDI	17,00	17,00	2890,00	2890,00
Total			60 732,00	53 532,00

Al disminuir el costo de la materia prima también se reducen los costos de variables, mientras que los costos de producción fijos se mantienen constantes.

Tabla 14. Costos variables para un reemplazo de 20% y 30% de bio-poliolés

Costos variables	
VCOP [\$] 20%	VCOP [\$] 30%
71669,01	64.469,01

Tabla 15. Costos fijos para un reemplazo de 20% y 30% de bio-poliolés

Costos de producción fijos [\$]	59 984,01
--	-----------

Por lo tanto, el valor del inventario de productos y subproductos es:

$$\text{Inventario de productos} = 124453,02$$

Efectivo en caja

Tabla 16. Efectivo en caja

Efectivo en caja
62 226,51

Cuentas por cobrar

Tabla 17. Cuentas por cobrar

Cuentas por cobrar
248 906,04

Créditos cuentas pendientes

Tabla 18. Cuentas pendientes

Crédito cuentas pendientes
107 064,00

Entonces, se calcula el capital de trabajo

Tabla 19. Capital de trabajo total para un reemplazo de 20% y 30% de bio-polióles

Capital de trabajo	
20%	30%
648 484,23	494 620,23

Se obtiene:

Tabla 20. Indicadores económicos

Flujo de caja [\$]	Tiempo de recuperación [años]	ROI [%]	VAN [M\$]	TIR [%]
4 075 374,60	3,37	29,61	7,60	12,2v

Como se observa en la Tabla 19, con un reemplazo del 30% de bio-polióles se obtienen un mayor flujo caja por la venta del producto y el tiempo de recuperación es un año menos respecto al reemplazo del 20% mejorando la rentabilidad del proyecto, el porcentaje de retorno de inversión también es favorable.

8. RESULTADOS Y DISCUSIONES

8.1 Diseño de procesos

Tras la selección del proceso de licuefacción como ruta de conversión termoquímica se obtiene de forma exitosa a escala de laboratorio los bio-polióles con el uso del solvente de licuefacción PEG 400 y como catalizador ácido sulfúrico al 5% para acelerar la reacción. Este solvente de licuefacción posee un peso molecular de 400 [Dalton] y se requiere de una gran proporción [58]. La formulación de bio-espumas reducen el porcentaje de solventes

petroquímicos en su proceso, sin embargo, el polietilenglicol solvente a base de petróleo es indispensable para la producción de espumas de poliuretano, ya que si la tasa de sustitución de bio-poliol es mayor al 40% respecto al polioliol convencional las espumas de poliuretano perderán sus propiedades aumentando los costos de producción y representando futuras dificultades de comercialización [13].

Ya que no se realizaron análisis cuantitativos de la cantidad de bio-poliol a través del uso del método de licuefacción one-shot y sus datos bibliográficos se asume una proporción 80/20, es decir 80% poliol convencionales y 20% bio-poliol [18]. La verdadera tasa de sustitución de poliol derivados del petróleo con bio-poliol obtenidos por licuefacción se encuentran en un rango de 8 a 32%, esta proporción se puede ver beneficiada por el aumento de la biomasa al sistema o por el reciclaje del solvente de licuefacción de los bio-poliol, sin embargo en el primer caso se puede ver comprometida la conversión de biomasa y en el segundo escenario se puede tener problemas por el alto punto de ebullición de los disolventes, tomando en cuenta estos problemas se podría utilizar como solventes de licuefacción metanol por su bajo punto de ebullición para superar el límite de extracción de bio-poliol [32].

Cabe mencionar que la licuefacción fue realizada después del pretratamiento de la cáscara de cacao para conseguir mejores rendimientos y para eliminar sustancia como metales o polvo que puedan interferir en el proceso [5]. Los datos de la caracterización de la biomasa (cáscara de cacao) siendo el más importante el contenido de lignina y de los bio-poliol el rendimiento del proceso de licuefacción fueron registrados en la Tabla 1.

A los productos de licuefacción se les realizó un análisis FTIR obteniendo las curvas presentadas en la Figura 8, las cuales corresponden al análisis del solvente de Licuefacción PEG400, al residuo líquido de la Licuefacción el cual contiene metanol y a los bio-poliol, respectivamente.

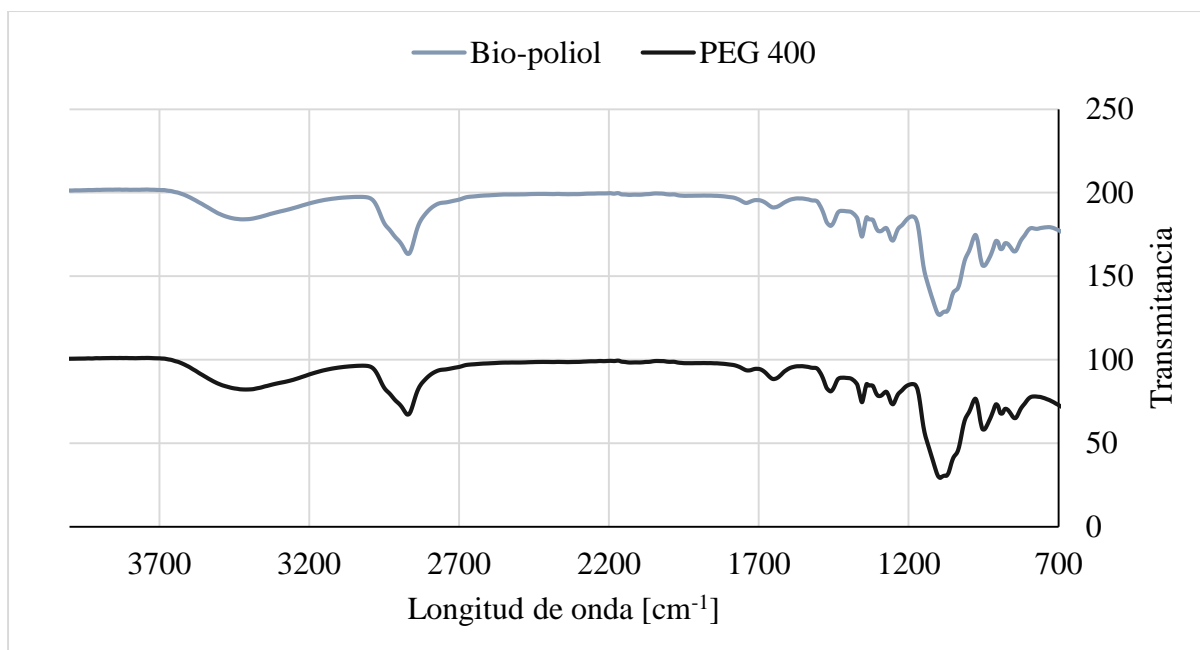


Figura 8. Análisis FTIR

Mediante el análisis FTIR se determina que no existe ningún cambio sustancial en términos de la estructura química del bio-poliol. En la Figura 8 se presentan los espectros del polietilenglicol (poliol convencional) y del bio-poliol obtenido mediante el método de licuefacción. Los picos que muestra la gráfica son bandas características de los alcoholes en las que se observa la presencia de: grupos OH, enlaces C-H stretching, C-H blending y enlaces C-O. Los grupos OH están en un rango de 3200-3400 cm^{-1} . Los enlaces C-H stretching se presentan en el rango de 2820 a 2960 cm^{-1} . El estiramiento simétrico de los enlaces C-H, se debe a la extensión de la reacción para los modos de estiramiento de C-H de los grupos alifáticos como CH_3 , CH_2 y CH , debido a la ruptura en la estructura química de la biomasa y la funcionalización de los grupos hidroxilo libres en la lignina.

En una menor proporción se observa en la banda de 1600 cm^{-1} la presencia de carbonilos los cuales pueden deberse a la lignina de la cáscara de cacao, la cual posee anillos aromáticos enlazados a carbonilos del tipo aldehídos o debido a la oxidación del PEG 400 durante la reacción. En la banda de 1420 cm^{-1} se observa el espectro correspondiente a los enlaces C-H blending. Los enlaces C-O característicos de los alcoholes representan la banda más grande en

un rango de 1020-1160 cm^{-1} . Por lo tanto, estos resultados indican que el proceso de licuefacción indujo con éxito la reacción de extensión de la cadena para la conversión de cáscara de cacao en bio-poliololes al compararlo con espectros y rangos de datos bibliográficos [40].

8.2 Diseño de la planta

Con los datos obtenidos a escala de laboratorio fue posible llevar a cabo el diseño de planta a escala industria simulando en el programa Superpro Designer. Se seleccionaron y dimensionaron las máquinas y equipos de acuerdo con el balance de masa y energía. Los equipos involucrados en el proceso son 8, el tanque de lavado, secador, triturador, 2 extractores, 2 filtros y una máquina espumadora. Del balance de masa se obtuvieron las corrientes de ingreso y salida de cada equipo presentadas en la Tabla 4, de acuerdo con los valores requeridos de materia prima se realizó el dimensionamiento del tanque de lavado, secador y de los 2 extractores, los equipos restantes, el triturador, los 2 filtros y la máquina espumadora fueron cotizados en el mercado según el requerimiento del proceso. Los datos de capacidad, diámetro, altura, espesor, volumen y potencia requerida son presentados en la Tabla 5.

El balance de energía determina que la potencia requerida en los equipos para alcanzar las temperaturas del proceso es alta, lo cual aumenta los gastos de energía eléctrica y a su vez eleva los costos del proyecto, para minimizar los requerimientos de energía se puede analizar la instalación de corrientes de reutilización de vapor [59]. Por otro lado, el balance de masa determinó que el requerimiento de PEG400 es elevado por lo cual se propone el reciclaje constante de los residuos líquidos del proceso de filtración mediante una corriente de reciclo conectada al proceso de licuefacción [46].

De la simulación de la planta se obtuvo el caudal de producción diario establecido en $130 \text{ m}^3/\text{día}$, la máquina espumadora está configurada para obtener bloques de espuma de poliuretano de densidad $23 \text{ kg}/\text{m}^3$ con dimensiones de $[100 \times 200 \times 10 \text{ cm}]$ es decir con un

volumen de $2 m^3$, por lo tanto, la producción diaria consiste en 65 bloques los cuales serán cortados en láminas de $[100 \times 200 \times 20 \text{ cm}]$ para su distribución, es decir se producen 325 láminas por día de trabajo.

8.3 Análisis tecno-económico

Para determinar la factibilidad del proyecto se realizó el análisis económico para el cual se toma en cuenta la inversión de capital fijo, el capital de trabajo y los costos de producción, dentro de estos puntos se consideran valores importantes tales como el transporte, materia prima, servicios básicos, consumo de energía por equipo, labor de operación, etc. Datos que se pueden observar en las Tablas C.2.3.3 a la C.2.3.10 de la sección Anexos C.2.3. Se estableció el costo de cada lámina de acuerdo con el mercado. Se consideró un valor de \$3,85 por cada cm de espesor dando como precio final para una lámina de $[100 \times 200 \times 20 \text{ cm}]$ un valor de \$77,00 precio establecido de acuerdo a los costos de industrias nacionales de PU como Ecuaspumas y colchones Paraíso [1], con todo esto se obtiene un margen de utilidad de \$4 426 968,00 con una inversión de capital fijo de \$823 350,73 y un capital de trabajo de \$16 860 590,08 es decir, la inversión inicial para el proyecto es de \$17 683 940,81, valores anuales. El análisis económico determina un tiempo de recuperación de la inversión de 4 años con un porcentaje de recuperación de 22,88% anual, con los resultados obtenidos se establece que el proyecto es rentable a través de los diferentes métodos de estimación e indicadores financieros tales como el VAN y TIR [52].

8.4 Análisis de flexibilidad

A través del análisis de flexibilidad se considera el cambio del solvente de licuefacción, el PEG400 por metanol puesto que el segundo tiene un menor punto de ebullición lo cual permite un reciclaje óptimo del solvente y reduce costos. Con el uso de metanol se puede reciclar el solvente ya que es posible separarlo del bio-poliol sin afectar sus propiedades. Con el cambio de solvente se tiene un calor de inversión inicial de \$13 683 476,63 con un tiempo

de recuperación 3 años y un porcentaje de recuperación del 29,61% anual, con lo cual se observar una reducción de costos del 22,6% para el proyecto.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó un estudio de prefactibilidad técnica y económica de una planta de producción de espumas de poliuretano a partir de bio-poliolios obtenidos de residuos de cacao en el Ecuador. Para la obtención de bio-poliolios se seleccionó como método experimental la licuefacción, la cual fue desarrollada a escala de laboratorio. La cáscara de cacao fue sometida a un pretratamiento para mejorar los resultados experimentales, fue lavada, secada, triturada y se analizó su contenido de humedad y lignina para comprobar los rendimientos del proceso, los cuales fueron utilizados como base de cálculo para los balances de masa de los que se obtuvo el caudal de producción, dato necesario para la simulación realizada en el software SuperPro Designer.

La simulación presenta una idea gráfica de la planta de producción de espumas de poliuretano de esta se obtienen los datos del balance de masa para cada equipo y los requerimientos de energía con los que se analiza la potencia de las máquinas, para los 8 equipos del proceso se configuraron las condiciones de operación y se establecieron los caudales de cada una de las corrientes del sistema, se consideran los 2 extractores y la máquina espumadora como los equipos principales de la planta, los cuales fueron dimensionados con una geometría cilíndrica con cabeza toriesférica y utilizando como material de construcción acero al carbón, con esto fue posible conocer el volumen de cada extractor, el diámetro y longitud de ambos, datos presentados en la Tabla 5, por otro lado, la máquina espumadora para obtención de las bio-espumas fue seleccionada después de analizar varios proveedores, el criterio de selección se basó en el tamaño de los bloques de PU que se desean obtener y la capacidad del equipo establecido en 3,35 T/día.

Mediante un análisis económico se determinó la rentabilidad del proyecto, en este se establecieron los costos aplicando métodos de estimación como el método de Hand, método de Lang y el método factorial detallado. Este análisis contempló costos variables como costos de materia prima, requerimiento de energía y servicios básicos además los costos fijos donde se toman en cuenta los costos de labor de operación, mantenimiento, alquiler de tierra entre otros gastos, se determinó una inversión inicial del proyecto de \$17,68 millones con un tiempo de recuperación de 4 años aproximadamente y un retorno de la inversión de 22,89% anual, lo que permite comprobar la viabilidad económica de la planta de producción de poliuretano. A partir de estos cálculos se planteó un análisis de flexibilidad económica en el cual se considera un cambio del solvente de licuefacción, es decir, el PEG 400 por metanol de grado industrial al 99%; con este cambio se analiza nuevamente los valores de la inversión inicial siendo esta de \$13,68 millones con un tiempo de recuperación de 3 años y un porcentaje de recuperación de capital anual de 29,61%, estableciendo que esta vía también es factible, reduciendo costos y aumentando el porcentaje de sustitución de bio-polióles a 70/30 a diferencia del proceso con PEG 400 en el que se obtienen bio-polióles 80/20.

Es un proyecto viable para promover el cambio de la matriz productiva de espumas de PU que actualmente depende del petróleo. Los recursos renovables como los residuos de cacao serán aprovechados en el desarrollo de industrias nacionales y consecuentemente se tendrá una expansión de la línea de producción de poliuretano, obteniendo productos únicos y eco-amigables los cuales comparten propiedades con poliuretanos tradicionales. Se recomienda el uso de solventes de bajo punto de ebullición en el proceso de licuefacción para su reciclaje y reducción de costos del proceso. Se debe también considerar la instalación de corrientes de recirculación de vapor disminuyendo el requerimiento de energía en los procesos de extracción. Finalmente se plantea el aprovechamiento de los residuos líquidos de licuefacción para

producir adhesivos para madera o levulinato de metilo y los residuos sólidos como relleno para reforzar compuestos poliméricos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. De *et al.*, ““ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA ELABORACIÓN DE ESPUMAS.”
- [2] “EVALUACIÓN DEL USO DE LA CÁSCARA DE CACAO COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA MATRIZ POLIMÉRICA EN LA OBTENCIÓN DE ESPUMAS DE POLIURETANO (1)”.
- [3] H. Li, Y. Liang, P. Li, and C. He, “Conversion of biomass lignin to high-value polyurethane: A review,” *Journal of Bioresources and Bioproducts*, vol. 5, no. 3. KeAi Communications Co., pp. 163–179, Aug. 01, 2020. doi: 10.1016/j.jobab.2020.07.002.
- [4] X. Huang, C. F. de Hoop, J. Xie, Q. Wu, D. Boldor, and J. Qi, “High bio-content polyurethane (PU) foam made from bio-polyol and cellulose nanocrystals (CNCs) via microwave liquefaction,” *Materials & Design*, vol. 138, pp. 11–20, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.MATDES.2017.10.058.
- [5] M. Alinejad *et al.*, “polymers Lignin-Based Polyurethanes: Opportunities for Bio-Based Foams, Elastomers, Coatings and Adhesives,” 2019, doi: 10.3390/polym11071202.
- [6] A. Guo, D. Demydov, W. Zhang, and Z. S. Petrovic, “Polyols and Polyurethanes from Hydroformylation of Soybean Oil,” 2002.
- [7] E. Ranzi *et al.*, “Polyol and Foam Production from Lemon Bagasse Liquefaction,” in *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 2018, vol. 65. [Online]. Available: www.aidic.it/cet

- [8] J. Sternberg, O. Sequerth, and S. Pilla, "Green chemistry design in polymers derived from lignin: review and perspective," *Progress in Polymer Science*, vol. 113. Elsevier Ltd, Feb. 01, 2021. doi: 10.1016/j.progpolymsci.2020.101344.
- [9] N. Rastegarfar, R. Behrooz, and M. Barikani, "Characterization of polyurethane foams prepared from liquefied sawdust by crude glycerol and polyethylene glycol," *Journal of Polymer Research*, vol. 25, no. 7, Jul. 2018, doi: 10.1007/s10965-018-1516-4.
- [10] S. Kormin, A. Z. M. Rus, M. S. M. Azahari, H. Onn Malaysia, and B. Pahat, "SOLVOLYSIS LIQUEFACTION AND CHARACTERIZATION OF BIOPOLYOL PREPARED FROM LIQUEFIED OIL PALM FRUIT WASTE," *J Fundam Appl Sci*, vol. 10, no. 2S, pp. 701–721, 2018, doi: 10.4314/jfas.v10i2s.52.
- [11] K. Kirtania, "Thermochemical Conversion Processes for Waste Biorefinery," *Waste Biorefinery: Potential and Perspectives*, pp. 129–156, Jan. 2018, doi: 10.1016/B978-0-444-63992-9.00004-5.
- [12] H. Beneš *et al.*, "Multifunctional and fully aliphatic biodegradable polyurethane foam as porous biomass carrier for biofiltration," *Polymer Degradation and Stability*, vol. 176, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2020.109156.
- [13] A. Kairyte, M. Kirpluks, A. Ivdre, U. Cabulis, S. Vaitkus, and I. Pundienė, "Cleaner production of polyurethane foam: Replacement of conventional raw materials, assessment of fire resistance and environmental impact," *Journal of Cleaner Production*, vol. 183, pp. 760–771, May 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.164.
- [14] A. Prociak, M. Kurá, K. Uram, M. Wójtowicz, I. Velasco, and P. Lee, "Bio-Polyurethane Foams Modified with a Mixture of Bio-Polyols of Different Chemical Structures," 2021, doi: 10.3390/polym13152469.

- [15] N. v. Gama, A. Ferreira, and A. Barros-Timmons, “Polyurethane foams: Past, present, and future,” *Materials*, vol. 11, no. 10. MDPI AG, Sep. 27, 2018. doi: 10.3390/ma11101841.
- [16] A. Mazuelos, N. Iglesias-Gonzalez, C. Montes-Rosua, A. Romero-Garcia, R. Romero, and F. Carranza, “Polyurethane foam as biomass support for removal of thiosalts from flotation process water,” *Minerals Engineering*, vol. 169, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.mineng.2021.106940.
- [17] H. Sardon, D. Mecerreyes, A. Basterretxea, L. Avérous, and C. Jehanno, “From Lab to Market: Current Strategies for the Production of Biobased Polyols,” 2021, doi: 10.1021/acssuschemeng.1c02361.
- [18] S. Zhu, K. Chen, J. Xu, J. Li, and L. Mo, “Bio-based polyurethane foam preparation employing lignin from corn stalk enzymatic hydrolysis residues †,” 2018, doi: 10.1039/c8ra01089g.
- [19] J. Carlos and B. Bassante, “Evaluación de diferentes pretratamientos químicos a la biomasa de la cáscara de cacao para procesos de fermentación alcohólica Proyecto de investigación.”
- [20] E. Terrell, L. D. Dellon, A. Dufour, E. Bartolomei, L. J. Broadbelt, and M. Garcia-Perez, “A Review on Lignin Liquefaction: Advanced Characterization of Structure and Microkinetic Modeling,” *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 59, no. 2, pp. 526–555, Jan. 2020, doi: 10.1021/acs.iecr.9b05744.
- [21] M. Alinejad *et al.*, “Lignin-based polyurethanes: Opportunities for bio-based foams, elastomers, coatings and adhesives,” *Polymers*, vol. 11, no. 7. MDPI AG, Jul. 01, 2019. doi: 10.3390/polym11071202.

- [22] J. Xie, J. Qi, C.-Y. Hse, and T. F. Shupe, “Effect of Lignin Derivatives in the Bio-Polyols from Microwave Liquefied Bamboo on the Properties of Polyurethane Foams.”
- [23] A. Prociak *et al.*, “Effect of bio-polyols with different chemical structures on foaming of polyurethane systems and foam properties,” 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.04.046.
- [24] M. Kirpluks, E. Vanags, A. Abolins, S. Michalowski, A. Fridrihsone, and U. Cabulis, “High functionality bio-polyols from tall oil and rigid polyurethane foams formulated solely using bio-polyols,” *Materials*, vol. 13, no. 8, Apr. 2020, doi: 10.3390/MA13081985.
- [25] H. Li *et al.*, “Preparation and characterization of bio-polyol and bio-based flexible polyurethane foams from fast pyrolysis of wheat straw,” *Industrial Crops and Products*, vol. 103, pp. 64–72, 2017, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.03.042.
- [26] A. Marson, M. Masiero, M. Modesti, A. Scipioni, and A. Manzardo, “Life Cycle Assessment of Polyurethane Foams from Polyols Obtained through Chemical Recycling,” vol. 6, pp. 1718–1724, 2021, doi: 10.1021/acsomega.0c05844.
- [27] E. Javier and A. Avilés, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EMPRESA REENCAVI COMPAÑÍA ANÓNIMA.”
- [28] A. Prociak *et al.*, “Effect of bio-polyols with different chemical structures on foaming of polyurethane systems and foam properties,” *Industrial Crops and Products*, vol. 120, pp. 262–270, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.INDCROP.2018.04.046.

- [29] B. L. Xue, J. L. Wen, and R. C. Sun, "Producing lignin-based polyols through microwave-assisted liquefaction for rigid polyurethane foam production," *Materials*, vol. 8, no. 2, pp. 586–599, 2015, doi: 10.3390/ma8020586.
- [30] Y. Shi *et al.*, "Solvolysis kinetics of three components of biomass using polyhydric alcohols as solvents," *Bioresource Technology*, vol. 221, pp. 102–110, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.biortech.2016.09.008.
- [31] R. Briones, L. Serrano, R. Llano-Ponte, and J. Labidi, "Polyols obtained from solvolysis liquefaction of biodiesel production solid residues," *Chemical Engineering Journal*, vol. 175, no. 1, pp. 169–175, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.cej.2011.09.090.
- [32] A. Yerrayya, A. K. Shree Vishnu, S. Shreyas, S. R. Chakravarthy, and R. Vinu, "Hydrothermal liquefaction of rice straw using methanol as co-solvent," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 10, May 2020, doi: 10.3390/en13102618.
- [33] Y. P. Zhao *et al.*, "Synergic effect of methanol and water on pine liquefaction," *Bioresource Technology*, vol. 142, pp. 504–509, 2013, doi: 10.1016/j.biortech.2013.05.028.
- [34] X. Wang, X. an Xie, J. Sun, and W. Liao, "Effects of liquefaction parameters of cellulose in supercritical solvents of methanol, ethanol and acetone on products yield and compositions," *Bioresource Technology*, vol. 275, pp. 123–129, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2018.12.047.
- [35] B. Esteves *et al.*, "Cork liquefaction for Polyurethane foam production," *BioResources*, vol. 12, no. 2, pp. 2339–2353, May 2017, doi: 10.15376/biores.12.2.2339-2353.

- [36] C. Kim and J. R. Youn, "Environmentally friendly processing of polyurethane foam for thermal insulation," *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, vol. 39, no. 1, pp. 163–185, 2000, doi: 10.1081/PPT-100100022.
- [37] ASTM, "Norma," 2021.
- [38] ISO, "Norma ISO 6915:2019," 2021.
- [39] E. Terrell, L. D. Dellon, A. Dufour, E. Bartolomei, L. J. Broadbelt, and M. Garcia-Perez, "A Review on Lignin Liquefaction: Advanced Characterization of Structure and Microkinetic Modeling," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 59, no. 2, pp. 526–555, Jan. 2020, doi: 10.1021/acs.iecr.9b05744.
- [40] S. Kormin, A. Z. M. Rus, M. S. M. Azahari, H. Onn Malaysia, and B. Pahat, "SOLVOLYSIS LIQUEFACTION AND CHARACTERIZATION OF BIOPOLYOL PREPARED FROM LIQUEFIED OIL PALM FRUIT WASTE," *J Fundam Appl Sci*, vol. 10, no. 2S, pp. 701–721, 2018, doi: 10.4314/jfas.v10i2s.52.
- [41] R. Choowang, J. Lin, and G. Zhao, "Effects of liquefaction temperature and time on 2 characterization of liquefied oil palm trunk residue in 3 the presence of polyhydric alcohols 4," 2018, doi: 10.20944/preprints201804.0385.v1.
- [42] G. Grillo *et al.*, "Analytical dataset of Ecuadorian cocoa shells and beans," *Data in Brief*, vol. 22, pp. 56–64, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.dib.2018.11.129.
- [43] G. Grillo *et al.*, "Cocoa bean shell waste valorisation; extraction from lab to pilot-scale cavitation reactors," *Food Research International*, vol. 115, pp. 200–208, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.foodres.2018.08.057.
- [44] SNI, "Plan Nacional de Espumas evitará 46 858 toneladas de CO2 a la atmósfera," 2021.

- [45] S. Ghoreishi, T. Barth, and H. Derribsa, “Formic acid assisted liquefaction of lignin in water and ethanol, investigated for a 0.025 and a 5 L batch reactor: Comparison of yields and compositions of the products,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 124, pp. 1–12, May 2019, doi: 10.1016/j.biombioe.2019.03.004.
- [46] Q. Wang and N. Tuohedi, “Polyurethane foams and bio-polyols from liquefied cotton stalk agricultural waste,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 10, May 2020, doi: 10.3390/su12104214.
- [47] A. Prociak, E. Malewska, M. Kurańska, S. Bąk, and P. Budny, “Flexible polyurethane foams synthesized with palm oil-based bio-polyols obtained with the use of different oxirane ring opener,” *Industrial Crops and Products*, vol. 115, pp. 69–77, May 2018, doi: 10.1016/J.INDCROP.2018.02.008.
- [48] J. D’Souza, B. George, R. Camargo, and N. Yan, “Synthesis and characterization of bio-polyols through the oxypropylation of bark and alkaline extracts of bark,” *Industrial Crops and Products*, vol. 76, pp. 1–11, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2015.06.037.
- [49] Pérez, D, “Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de espumas flexibles de poliuretano”, 2017
- [50] C. Lisbeth, A. García, A. Por, I. Jorge, and A. Soto Bran, “Implementación del sistema de controles de producción para la elaboración de la espuma de poliuretano, para la industria manufacturera.”
- [51] O. Ajao, M. Benali, A. Faye, H. Li, D. Maillard, and M. T. Ton-That, “Multi-product biorefinery system for wood-barks valorization into tannins extracts, lignin-based polyurethane foam and cellulose-based composites: Techno-economic evaluation,” *Industrial Crops and Products*, vol. 167, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113435.

- [52] G. Towler *et al.*, “CHEMICAL ENGINEERING DESIGN Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design,” 2008. [Online]. Available: <http://elsevier.com>
- [53] Z. Yuan, C. Charles Xu, N. Mahmood, and J. Schmidt, “Valorization of Hydrolysis Lignin for Polyols/Polyurethane Foam VALORIZATION OF HYDROLYSIS LIGNIN FOR POLYOLS AND RIGID POLYURETHANE FOAM,” 2013. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/264655151>
- [54] X. Huang, C. F. de Hoop, J. Xie, Q. Wu, D. Boldor, and J. Qi, “High bio-content polyurethane (PU) foam made from bio-polyol and cellulose nanocrystals (CNCs) via microwave liquefaction,” *Materials and Design*, vol. 138, pp. 11–20, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.matdes.2017.10.058.
- [55] J. Sternberg, O. Sequerth, and S. Pilla, “Green chemistry design in polymers derived from lignin: review and perspective,” *Progress in Polymer Science*, vol. 113. Elsevier Ltd, Feb. 01, 2021. doi: 10.1016/j.progpolymsci.2020.101344.
- [56] X. Huang, C. F. de Hoop, J. Xie, Q. Wu, D. Boldor, and J. Qi, “High bio-content polyurethane (PU) foam made from bio-polyol and cellulose nanocrystals (CNCs) via microwave liquefaction,” *Materials and Design*, vol. 138, pp. 11–20, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.matdes.2017.10.058.
- [57] A. Hasan Faris, M. Nasir Mohamad Ibrahim, A. Rahim, M. Hazwan Hussin, N. Brosse, and N. Brosse, “Preparation and Characterization of Lignin Polyols from the Residues of Oil Palm Empty Fruit Bunch Preparation and Characterization of Lignin Polyols from the Residues of Oil Palm Empty Fruit,” vol. 10, no. 4, pp. 7339–7352, 2015, doi: 10.15376/biores.10.4.7339-7352i.
- [58] P. Furtwengler and L. Avérous, “Renewable polyols for advanced polyurethane foams from diverse biomass resources,” 2018. doi: 10.1039/C8PY00827B.

[59] Perry, R. Green, D. Maloney, J, "Manual del ingeniero químico", Volumen II

11. ANEXOS

Anexo A: Bases del diseño

A.1 Componentes de las espumas de poliuretano

A continuación, se presenta las tablas que resumen los reactivos utilizados para la formulación de las espumas de poliuretano, la función de cada ingrediente, cantidad, proveedor y precio de producción de una lámina de espuma de PU.

Tabla 21. Componentes de la espuma de poliuretano

Componentes para la formulación de espumas de poliuretano						
Componente	Función	% [w/w] [kg]	Proveedor	Precio al por mayor [\$/kg] [\$/ml]	Precio por unidad [\$/kg] [\$/ml]	Precio de producción [\$]
Cáscara de cacao	Biomasa	90	Plantación de cacao milagro	\$ 3,50/0,016 kg	\$0,016/kg	\$1,48
Ácido sulfúrico	Extracción de lignina: Solvente de extracción Extracción de bio-poliolos: Catalizador	0,3	Novachem	\$220/1000 kg	\$0,22/ kg	\$0,06
Polietilenglicol PEG 400	Solvente de licuefacción	5	Produquimic	\$3600/1000 kg	\$3,60/kg	\$18,00
Isocianato TDI	Permite la reacción con los poliolos para la formación de grupos uretano	5	Produquimic	\$170/1000 kg	\$0,17/kg	\$0,85
Metanol	Solvente de licuefacción	5	Novachem	\$2000/1000 kg	\$2,00/kg	\$8,00
Precio de base de una lámina de espuma de poliuretano utilizando PEG 400 [\$]						\$20,39
Precio de base de una lámina de espuma de poliuretano utilizando metanol [\$]						\$10,39

El precio base para la elaboración de una lámina de espumas de poliuretano a partir de los componentes principales del proceso es de \$28,39. En la tabla se considera el precio por mazorca de cacao que posee un peso de 0,02195 kg del cual se debe tomar el 75% de su peso

que corresponde a la cáscara de cacao; sin embargo, en el análisis económico ya que la biomasa corresponde a residuos de plantaciones de cacao su valor está determinado por el costo de transporte hasta la planta de producción. Uno de los ingredientes más caros del proceso es el polietilenglicol PEG 400 el cual es importado por Produquimic el cual posee un valor \$18,00. Como se observa en la tabla el costo con el solvente PEG 400 es de \$20,39 y utilizando metanol como solvente de licuefacción se reduce a la mitad con un valor de \$10,39.

A.2 Fichas de seguridad de los reactivos del proceso

Se presenta las fichas técnicas de seguridad de la materia prima del proceso para determinar las condiciones de operación y las condiciones de manejo, transporte y almacenamiento.

Tabla 22. FDS polietilenglicol PEG 400

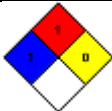
Nombre común	Polietilenglicol-400
Nombre químico	PEG 400
Fórmula química	$\text{OHCH}_2-(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_n-\text{CH}_2\text{OH}$ n: 8-10
Usos	Solvente
Presentación	Líquido
Color	Incoloro
Peso molecular	Aprox. 400
pH	Solución acuosa 5% 4-7
Punto de ebullición	205,7 °C
Punto de fusión	< -14,08°C
Punto de inflamación	238 °C
Densidad a 20°C	1,1227 g/cm ³
Solubilidad a 25°C	0,2561 g/cm ³
EPP	Gafas protectoras, guantes de protección resistentes a productos químicos
Almacenamiento	Mantener los envases cerrados herméticamente y en un lugar seco; almacenar en un lugar fresco
Información adicional	El producto es químicamente estable. Materiales y sustancias incompatibles: ácidos fuertes, bases fuertes, fuertes agentes oxidantes, químicos reactivos
Clasificación NFPA	

Tabla 23. FDS Ácido sulfúrico



Nombre común	Ácido sulfúrico 98%
Nombre químico	Ácido sulfúrico
Fórmula química	H ₂ SO ₄
Usos	Síntesis, producción de otros ácidos, fertilizantes, explosivos, pinturas, lacas, barnices, polímeros y dióxido de cloro.
Presentación	Líquido oleoso incoloro
Color	Incoloro
Peso molecular	98,08
pH a 20°C	< 1
Punto de ebullición	337 °C
Punto de fusión	10 °C
Punto de inflamación	No aplicable
Densidad a 20°C	1,83 g/cm ³
Solubilidad a 25°C	1 g/cm ³
EPP	Utilizar protección respiratoria para vapores inorgánicos (B) ácidos, usar guantes protectores impermeables de PVC o neopreno, gafas de seguridad
Almacenamiento	Almacenar en un área limpia, seca y bien ventilada, alejada de los rayos del sol. Mantener alejado de bases o álcalis y sustancias orgánicas.
Información adicional	<ul style="list-style-type: none"> • El material es estable bajo condiciones normales. Reacciona violentamente con agua, agentes reductores, bases, materia orgánica y combustibles • El material no desarrollará polimerización peligrosa. • Calentamiento en espacios confinados. • A raíz del calentamiento se pueden liberar vapores corrosivos y tóxicos
Clasificación NFPA	

Tabla 24. FDS TDI

Nombre común	2,4 disocianato de tolueno
Nombre químico	2,4 – disocianato – 1- metilbenceno
Fórmula química	$C_9H_6N_2O_2$
Usos	Fabricación de espumas de poliuretano, elastómeros y revestimientos
Presentación	Líquido con fuerte olor afrutado
Color	Amarillento claro
Peso molecular	174,2
Punto de ebullición	250 °C
Punto de fusión	22 °C
Punto de inflamación	126,6°C
Densidad a 20°C	1214 g/cm ³
EPP	Usar ventilación, extracción localizada, protección respiratoria, guantes de protección, traje de protección y pantalla facial
Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Debe almacenarse de manera tal que evite el contacto con agentes oxidantes como percloratos, peróxidos, permanganatos, nitratos, cloro y bromo. • Almacenar en recipientes cerrados en un área fresca y bien ventilada y lejos de aminas, plásticos, cobre y bases fuertes
Información adicional	<ul style="list-style-type: none"> • Reacciona con agua liberando dióxido de carbono gaseosos y calor que puede causar la rotura de los recipientes • Se polimerizará y romperá los recipientes a temperaturas superiores a 176,6°C
Clasificación NFPA	

Tabla 25. Metanol

Nombre común	Metanol
Nombre químico	Alcohol metílico
Fórmula química	CH ₃ OH
Usos	Disolvente industrial, es usado como materia prima para producción de formaldehído, anticongelante para autos
Presentación	Líquido incoloro
Color	Transparente
Peso molecular	32,04
Punto de ebullición	64,7 °C
Punto de fusión	-97,6 °C
Punto de inflamación	12 °C
Densidad a 20°C	0,79 g/cm ³
EPP	Ropa impermeable, guantes, gafas de seguridad
Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • En pequeñas cantidades se almacenan en botellas de vidrio o en latas de metal • Cantidades superiores a 200 L se transportan y almacenan en tanques de acero • Para grandes cantidades se utilizan tanques cilíndricos para tanques de lecho fijo se pueden adoptar atmósferas de nitrógeno para evitar la ignición
Información adicional	<ul style="list-style-type: none"> • Sustancia con una rápida volatilización en el aire a temperatura ambiente • Se degrada fácilmente en el medioambiente por procesos de foto oxidación y biodegradación • El calor contribuye a su inestabilidad, puede causar incendios y explosiones • Puede reaccionar con aluminio metálico a altas temperaturas
Clasificación NFPA	

Anexo B: Metodología

B.1.1 Caracterización de cáscara de cacao y extracción de bio-poliolés

Proceso de determinación del contenido de humedad

1. Se pesó 1 g de muestra corta en base humedad y se la coloco en el crisol.

2. Se llevo a cabo un proceso de secado en una estufa a 105°C a diferentes tiempos para que se evapore el agua libre y alcance un peso contante.

Tabla 26. Tiempos de secado

Medición	Tiempo [minutos]	Peso [g]
T=105°C	180	0,2379
T=105°C	90	0,2176
T=105°C	45	0,2125
T=105°C	25	0,2117
T=105°C	19	0,2111

Proceso de determinación del contenido de cenizas

1. Se colocó 1 g de la muestra tritura en los crisoles
2. Posteriormente se colocó en una estufa a 105°C por 5 horas para la eliminación de agua.
3. Para el proceso de calcinación se utilizó una mufla a 710°C durante 1 hora eliminado el porcentaje de materia orgánica de la muestra.

Proceso de extracción de lignina

1. Se pesó 1g de muestra seca y se colocó en un vaso de precipitación.
2. Se añadió 15 ml de (H₂SO₄) ácido sulfúrico al 72% y se lo agito en una plancha con agitación magnética por 2 horas.
3. Se colocó la mezcla en un balón de 250ml y se agregó 125ml de agua destilada.
4. Se realizó un sistema de reflujo por 4 horas.
5. Como último procedimiento se filtró y lavo los residuos con agua caliente.
6. Los residuos sólidos se secaron en una estufa a 105°C durante 3 hora para posteriormente pesarlos.

B.1.2 Caracterización de bio-polioles

Proceso de licuefacción para extracción de bio-polioles

1. Se colocan 20 g de muestra de cáscara seca y triturada
2. Se mezcla PEG 400 con ácido sulfúrico al 5% en una relación 1/3

3. La mezcla se coloca en un vaso de precipitación de 250 ml a baño de aceite sobre una plancha de calentamiento con agitación magnética a 150°C por un tiempo de 2 horas.
4. Posteriormente se deja enfriar la mezcla en agua fría
5. Los residuos licuados se disuelven en 100 ml de metanol por 4 h
6. Se filtra al vacío
7. De la fracción soluble se evapora el metanol a 70°C hasta eliminar el solvente con el uso de un evaporador rotatorio.
8. El líquido rojo que se obtiene son bio-poliolos en bruto
9. El residuo sólido se lavó en metano y se seca a 100°C en una estufa durante toda una noche para luego pesar la muestra seca.

Análisis FITR de bio-poliolos

1. Se colocó una gota de la muestra líquida de licuefacción
2. Se hace pasar una luz emitida por el interferómetro, dicha luz produce el espectro completo de longitudes de onda.
3. Se modificada la luz para conseguir el procesamiento de datos ya que las muestras absorben energía de la luz emitida
4. El haz de luz atraviesa la muestra detectado y enviado hacia el procesador la información para generar el espectro mediante la transformada de Fourier.

B.2 Diseño de planta

B.2.1 Diagrama de bloque y de flujo

Los diagramas de bloque y de flujo muestran el proceso de producción de una manera gráfica para un mejor entendimiento, además nos ayudan para realizar el balance de masa y energía, a continuación, se presenta el paso a paso del diseño de los diagramas mencionados

Diagrama de bloque

Está confirmado por una serie de rectángulos los cuales representan las operaciones unitarias que forman parte del proceso de producción, las líneas que conectan los bloques muestran las entradas y salidas y representan las tuberías, los pasos a seguir para el diseño de un diagrama de bloque son:

1. Se establecen las condiciones del proceso
2. Se coloca la primera entrada del proceso representada por una flecha hacia el primer bloque o primera operación unitaria
3. Las operaciones unitarias se colocan seguidas y en orden de izquierda a derecha unidos por flechas
4. Se coloca la última flecha que sale del proceso representando el producto del mismo
5. Se incluyen los nombres de las corrientes, caudales y composición, se sugiere que estos sean representados por símbolos definidos
6. El diagrama incluye condiciones de operación como presión y temperatura

Diagrama de flujo

1. Se seleccionan los símbolos aceptados de los equipos que representan las operaciones unitarias del proceso
2. Los equipos deben ser codificados
3. Los equipos son colocados en orden y se asigna la primera corriente de entrada que representa la materia prima que ingresa al proceso
4. Los equipos son unidos con líneas las cuales son las corrientes que deben ser identificadas y numeradas
5. Se coloca la última flecha en el último equipo para mostrar el producto final

6. El diagrama incluye las condiciones del proceso, composiciones, mismas que estarán resumidas en una tabla.

B.2.2 Balance de masa y de energía

Balance de masa

Se aplicó la ecuación general que representa el balance de masa

$$\text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} - \text{Consumo} = \text{Acumulación} \quad (5)$$

$$E - S + G - C = A$$

El proceso de obtención de bio-poliolios a partir de cáscara de cacao no implica una reacción el balance de masa se resume en:

$$E = S$$

Sin embargo, para el proceso de obtención de espumas de poliuretano si se consideró la reacción:

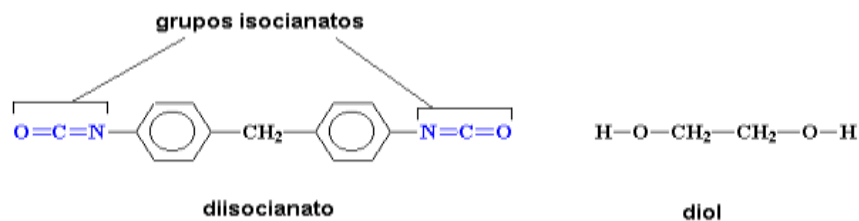


Figura 9. Reacción para la obtención de espumas de poliuretano

Fuente: [1]

Por lo tanto, para el balance se aplica la Ecuación (5)

Se siguió el procedimiento general para resolver el balance de masa

1. Se escogió una base de cálculo para uno de los caudales conocidos que puede ser el de la alimentación o del producto final. Para este caso el caudal conocido es el del producto final

2. El balance de masa fue basado en el diagrama de bloque diseñado en el cual se presentan las variables conocidas tales como caudales y composiciones
3. Se establecieron las incógnitas en términos de símbolos definidos
4. Se comprobó que las unidades de todos los caudales sean iguales
5. Se realizó el análisis de grados de libertad global y de los subsistemas
6. Se determinó las ecuaciones de balance global y por cada operación unitaria, estableciendo un sistema de ecuaciones con una única solución.
7. Se resolvió el sistema de ecuaciones planteado

Balance de energía

1. Se analizaron los equipos que requieren de un consumo energético para realizar el balance de energía respectivo
2. Se establecieron las variables conocidas tales como flujos másicos, temperaturas o entalpías
3. Se calculó el calor requerido (Q) en cada operación unitaria dependiendo de las variables conocidas

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T \quad (6)$$

$$Q = \dot{m}\Delta H \quad (7)$$

4. En el caso de los motores, se halló la potencia del equipo

B.2.3 Dimensionamiento de equipos

Para el dimensionamiento de los equipos se utiliza la información generada a partir del balance de masa y simulación del proceso en el programa Super Desing Pro. Las características de los principales equipos utilizados se detallan a continuación

Tanque de lavado

Para iniciar con el pretratamiento de la biomasa, se diseña un sistema de lavado por medio de un recipiente horizontal de geometría cilíndrica por el cual pasa agua para eliminar las impurezas de la cáscara. Se calcula el volumen del recipiente en función del caudal de agua y la cantidad de cascara de cacao.

Para ello se toma en cuenta el flujo volumétrico del equipo del cual se obtiene el volumen de este, se conoce la presión y la temperatura, se asumió la relación H/D la cual indica el volumen del líquido dentro del equipo y también la relación entre la longitud y el diámetro L/D. Se asumió una geometría cilíndrica con cabeza toriesferica y el material de construcción acero al carbón SA285A fue seleccionado de acuerdo con la norma ASME boiler & pressure vessel code.

Para calcular el volumen de la cabeza se requiere de la Ecuación (8), la cual se simplifica en la Ecuación (9).

$$V_{head} = V(V/V_o) \quad (8)$$

$$V_{head} = 2[0.0778D^3(2)\left(\frac{H}{D}\right)^2\left(1.5 - \frac{H}{D}\right)] \quad (9)$$

Para calcular el volumen del tanque se aplica la Ecuación (10)

$$V_s = V_o \left(\frac{V}{V_o}\right) = \frac{\pi D^2}{4} * L \left[\left(\frac{1}{2\pi}\right) (\theta - \text{sen}\theta) \right] \quad (10)$$

Ya que se cuenta con la relación L/D se calcula el diámetro, radio y longitud, por otro lado, el espesor del material del tanque y de la cabeza son definidos según la normativa.

Tabla 27. Diámetro y espesor mínimo

Diámetro del recipiente (m)	Espesor mínimo (mm)
1,0	5
1,0 a 2,0	7
2 a 2,5	9
2,5 a 3	10
3,0 a 3,5	11

Además, se calcula la superficie de las paredes y de la cabeza del tanque mediante la Ecuación (11) y (12) y finalmente se halla el volumen del tanque.

$$paredes = \pi DL \quad (11)$$

$$head = 0.84(2D^2) \quad (12)$$

Secador

Se establecieron los datos conocidos tales como el volumen del equipo obtenido de la simulación realizada con el Software SuperPro Designer, se conoce la presión en este equipo y la temperatura de ingreso y salida de la materia prima además la temperatura del aire para el secado. De acuerdo con los criterios establecidos en el manual del ingeniero químico de Perry el diámetro adecuado para un secador se encuentra en el rango de 1 m a 3 m.

Se procedió a realizar el cálculo mediante la Ecuación (13).

$$D = \sqrt[3]{\frac{2V}{\pi}} \quad (13)$$

La longitud del secador es calculada con un aumento del 20% por seguridad

$$L = 2D + 20\% \quad (14)$$

Se analiza el espesor de pared del equipo y el material de construcción.

Triturador

Según los requerimientos de nuestro proceso hemos seleccionado un molino de martillo crusher entre todas las opciones de equipos industriales disponibles en el mercado, para la selección de este se considera el flujo másico que debe ingresar al equipo, las condiciones de operación y el tamaño de partícula de ingreso y salida. La máquina trituradora seleccionada es ampliamente utilizada para tratamiento de biomasa en la industria química, la capacidad de la máquina y la eficiencia es alta y el modo de operación y mantenimiento es fácil.

Extractores

El proceso cuenta con dos extractores, ya que se seleccionó una geometría cilíndrica con cabeza toriesférica se repite el procedimiento para dimensionar un tanque ocupando las Ecuaciones (8), (9) y (10) definidas en la sección del tanque de lavado. Para este caso se establecieron diferentes condiciones de volumen, presión y temperatura para cada extractor.

Filtros

Para el proceso se requiere dos equipos de filtración, en el primer caso se selecciona un filtro de tela para separar el contenido de lignina de los residuos sólidos. Para el segundo proceso se selecciona un equipo de filtración al vacío, puesto que la mezcla a tratarse posee una viscosidad muy elevada. Para la selección de los equipos se considera el tipo de flujo definido por la viscosidad, el caudal másico de ingreso y las condiciones de operación.

Maquina espumadora

La última operación unitaria de la planta es la obtención de poliuretano la cual se lleva a cabo en una máquina espumadora que es seleccionada después de analizar varios proveedores, el criterio de selección se basa en la dimensión de los bloques de PU que se desean obtener y en la capacidad del equipo.

B.2.4 Simulación

Con los datos obtenidos a escala de laboratorio se establece el caudal de producción. Por medio del balance de masa se establece el caudal de entrada de materia prima para la simulación en el programa Súper Desing Pro.

1. Se crean los compuestos que no están disponibles en la biblioteca del programa que son: (lignina, hemicelulosa, cenizas, PEG 400, TDI)
2. Se establece las corrientes de entrada y salida de cada uno de los equipos
3. Se coloca cada uno de los parámetros de operación de los equipos como temperaturas y presiones.
4. En la simulación se colocó un reactor en lugar de una maquina espumadora, ya que el programa no cuenta con este equipo y así obtener el caudal de salida del proceso.

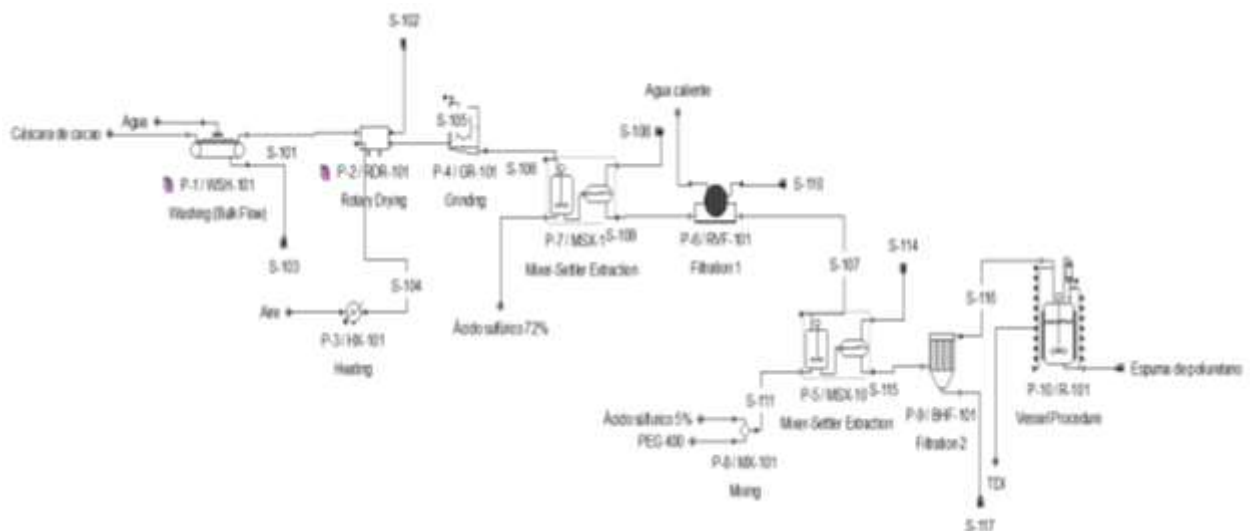


Figura 10. Simulación planta de producción de espumas de poliuretano

B.3 Análisis económico

B.3.1 Métodos de estimación de costos

A partir de la simulación y dimensionamiento de los equipos se obtiene la información de capacidad de trabajo de cada uno de los equipos para determinar su costo. Los equipos que

fueron diseñados no requieren de un cálculo de su costo aproximado, sino que se tomara en cuenta el costo de cotización por las empresas que proveerán los equipos. Para poner en marcha una planta se utilizan varios métodos de estimación de capital, en el proyecto se utilizan: el método de Lang, de Hand y el método factorial.

Estimación de costos por equipos

Costo por equipos

Para determinar el valor de cada uno de los equipos se utiliza la siguiente ecuación

$$C_e = a + bS^n \quad (15)$$

Donde:

C_e = costo del equipo

a b = constantes de costo

S = Tamaño o capacidad del equipo

n = exponente específico de cada equipo

Método de Lang

Con los costos por equipos se procede a realizar la estimación de costos por el método de Lang. Este método propone extrapolar el costo de un sistema completo (planta) a partir del costo de los principales equipos del proceso determinando una estimación de la inversión fija. Los factores de Lang están relacionado al tipo de procesamiento de la plata, si la producción es mayor el factor de Lang es menor. Este método permite determinar el costo ISBL de una planta en función del equipo total.

Tabla 28. Factor de Lang según el tipo de procesamiento

Tipo de procesamiento	Factor de Lang
Planta de procesamiento de sólidos	3
Planta de procesamiento sólido-líquido	4
Planta de procesamiento de fluidos	5

Al conocer el factor de Lang y el costo de los equipos se emplea la siguiente ecuación

$$C = F_L(\sum C_e) \quad (16)$$

Donde:

F = Factor de Lang o factor de instalación

Método de Hand

El método de Hand utiliza diferentes factores para cada tipo de equipo a diferencia del método de Lang que utiliza un factor por tipo de proceso. Este método incluye el factor de material y factor de instalación referente a cada equipo. Para determinar el costo total de cada equipo, se realiza la multiplicación entre el factor de material y el factor de Hand y se suma el costo de cada equipo para obtener el costo total de la planta

Se utiliza la siguiente ecuación

$$C_H = \sum(C_e \times f_m \times F_H) \quad (17)$$

Donde:

F_H = Factor de Hand dependiente de cada equipo

f_m = Factor de material utilizado

Método Factorial Detallado

Es uno de los métodos más detallado ya que calcula la contribución de los distintos costos relacionados al equipo en función del costo total del equipo multiplicado por un factor.

El proceso se divide en subunidades que depende de varios factores: factor de material (f_m), factor de instalación del equipo (f_{er}), factor de instrumento de control (f_i), factor eléctrico (f_{el}); factor civil (f_c); factor de estructuras (f_s) y factor de recubrimiento (f_l). La Ecuación (18) multiplica el costo de los equipos por el factor de material y los factores de instalación.

$$C = \sum C_e [(1 + f_p) f_m + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l)]$$

B.3.2 Inversión de capital fijo

Se define como el costo total del diseño de la planta, su construcción e instalación. Determina los costos OSBL, ISBL, de ingeniería, construcción y gastos imprevistos. Tiene 4 componentes principales

Costo ISBL (Inside battery limits)

Estos costos incluyen el costo de la adquisición e instalación de todos los equipos para el procesamiento de la nueva planta. Se calcula a partir de la estimación de los costos obtenidos del método de Hand y el método factorial detallado con una proporción del 30% de los costos obtenidos. Representa el promedio del límite superior del costo del método Hand y el límite inferior del costo del método factorial detallado

Costo OSBL (Outside battery limits)

Representa los costos de modificaciones o adiciones a la planta para una posible expansión, se calculan como una proporción del costo ISBL usualmente entre el 20% - 50% para la industria petroquímica. Se utilizar una proporción del 40% para una estimación inicial si se desconoce los detalles del sitio de la planta.

$$C_{OSBL} = 40\% C_{ISBL} \quad (19)$$

Costo de ingeniería, diseño y construcción

Son costos relacionado al diseño detallado y construcción del proyecto. Describen la ingeniería de procesos detallada para los equipos, sistema de tubería, sistema de control, diseño de la planta, estimación de costos, simulación e ingeniería civil. Incluye gastos administrativos como la gestión de proyecto, inspección y gastos de oficina. Se puede estimar como el 5-10% del costo ISBL.

$$C_{ING\ y\ CONST} = 30\%(C_{ISBL} + C_{OSBL}) \quad (20)$$

Gastos imprevistos

Son costos referentes a posibles variaciones como cambios en el alcance del proyecto, variaciones de precios del mercado y fluctuaciones monetarios. Son costos altos ya que son un respaldo para cambios dentro del proyecto; corresponden al 10% del costo ISBL mas OSBL.

$$C_{IMP} = 10\%(C_{ISBL} + C_{OSBL}) \quad (21)$$

B.3.3 Capital de trabajo

Es el valor adicional de construir la planta ponerla en marcha y empezar a generar ingresos. Incluye los costos de: inventario de materia prima, inventario de productos y subproductos, efectivo en caja, cuentas por cobrar, créditos o cuentas pendientes e inventario de repuestos.

Tabla 29. Metodología para el cálculo de los costos de capital de trabajo

Costos	Metodología
Inventario de materia prima	Materia prima utilizada en 2 semanas de producción
Inventario de productos y subproductos	Costo de productos producidos en 2 semanas
Efectivo en caja	Costo de producción de 1 semana
Cuentas por cobrar	Productos ya suministrados, costo de producción de 1 mes
Cuentas pendientes	Materiales y equipos recibidos, pero no pagados, costo total de los suministros utilizados en 1 mes
Repuestos	1-2% (ISBL + OSBL)

Costos de producción

Son costos variables o fijos

Costos variables

Son costos proporcionales al rendimiento y velocidad de producción de la planta, son dependientes y proporcionales al caudal de producción. Incluyen los costos de materias primas, servicios básicos (agua, luz, vapor), reactivos, tratamiento de agua, embalaje y transporte de productos.

Costos fijos

Son independientes del caudal de producción de la planta, estos costos no se reducen mejorando el diseño u operación ya que son susceptibles a nivel administrativo no a nivel de planta. Los costos fijos pueden llegar a ser muy significativos, al incrementar la relación producción/tamaño planta el costo fijo/kg de producto disminuye. Incluye los siguientes costos:

- **Labor de operación:** Toma en cuenta al personal que va a trabajar en la planta como operarios o empelados y personal administrativo. Se establece el valor de los salarios regido bajo las regulaciones del ministerio de trabajo.
- **Supervisión:** Se estima como el 25% del costo de labor de operación
- **Gastos salariales directos:** Incluye seguros de salud de los trabajadores. Se estima como el 40-60% de trabajo de operación más la supervisión
- **Mantenimiento:** incluye materiales y trabajo. Se estima como 3-5% de la inversión ISBL
- **Impuesto sobre propiedad y seguros:** se estima como 1-2% del ISBL
- **Alquiler de la tierra:** Se estima como 1-2% del (ISBL+ OSBL)
- **Gastos generales:** Se estima como el 65% del trabajo total más mantenimiento

- **Gastos medioambientales:** Se estima como 1% del (ISBL+ OSBL)
- **Licencias:** Permisos de funcionamiento y derechos de autor que no fueron considerado en la inversión del capital inicial
- **Gastos del capital:** Pago de interés por préstamos o deudas

B.3.4 Ingresos de planta

La fuente de ingresos de la planta es la venta de los productos primarios y subproductos. Se establece un precio fijo que incluye el IVA multiplicado por el caudal de producción de la planta.

Margen: Suma del valor de los ingresos de productos y subproductos menos el costo de materias primas

$$\text{Margen} = \sum(\text{Ingresos productos y subproductos}) - (\text{Costo de materia prima}) \quad (22)$$

Beneficios

Costo efectivo de producción (CCOP): Costo de fabricación del producto, es la suma de costos de producción variable y fijo

$$CCOP = C_v + C_f \quad (23)$$

Beneficio bruto: Representa el ingreso por la venta del producto principal menos el costo de producción. Incluye todos los costos variables y fijos no solo materias primas

$$\text{Beneficio bruto} = \text{Ingresos producto principal} - CCOP \quad (24)$$

Beneficio neto: Este valor está disponible como devolución de la inversión inicial, considera el impuesto a la renta

Fracción Básica	Exceso hasta	Impuesto sobre la fracción básica	% de impuesto sobre la fracción excedente
0	11.210	0,00	0%
11.210	14.430	0,00	0%
14.430	18.070	15,00	10%
18.070	21.330	31,50	12%
21.330	25.330	50,40	15%
25.330	31.800	74,640	20%
31.800	41.030	114,030	25%
41.030	51.810	164,310	30%
51.810	64.830	224,830	35%
64.830	998.000	9.343,30	15%
100.000		10.278,30	37%

Figura 11. Tabla de impuesto a la renta de personas naturales para el año 2022

Impuesto a la renta

$$= (\text{Impuesto fracción básica}) + (\text{Impuesto fracción excedente}) \quad (25)$$

Impuesto sobre la fracción excedente:

$$\text{Impuesto fracción excedente} = (\text{Beneficio bruto} - \text{Fracción básica}) \% \text{ impuesto} \quad (26)$$

B.3.5 Análisis de recuperación de capital

Tiempo de recuperación

A partir del costo de inversión final de la planta se determina el tiempo de recuperación del capital invertido a partir de la siguiente fórmula:

$$t_{\text{recuperación}} = \frac{\text{Inversión inicial total}}{\text{Flujo de caja neto anual promedio}} \quad (27)$$

$$\text{Inversión inicial total} = \text{Inversión de capital fijo} + \text{capital de trabajo}$$

$$\text{Flujo de caja neto anual promedio} = \text{beneficio neto anual}$$

A partir de este parámetro se puede observar desde que año se obtendrá una ganancia por la venta del producto determinando la viabilidad del proyecto.

ROI

Retorno de inversión se calcula a partir de la siguiente ecuación

$$\text{ROI} = \frac{\text{Beneficio neto anual}}{\text{Inversión inicial total}} \times 100 \quad (28)$$

Valor actual neto VAN

Es la suma de los valores actuales de los flujos de caja futuros, este valor indica la cantidad que el inversionista gana adicionalmente respecto al haber invertido en algo mas

$$VAN = \sum_{i=0}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i} \quad (29)$$

n = vida útil

i = año de operación

r = tasa de descuento COK costo de oportunidad del capital tasa de interés del mercado

FC = flujo de caja

Tasa interna de retorno TIR

En este punto el VAN = 0 es el nivel mínimo que permite la viabilidad del proyecto, es un indicador del porcentaje de rentabilidad al año del proyecto

Anexo C: Cálculos

C.1 Diseño de planta

C.1.1 Balance de masa

Tanque de lavado

$$C_1 = \text{cáscara de cacao} = 27683,7989 \text{ kg/batch}$$

$$C_1 = \text{impurezas} = 404,4709 \text{ kg/batch}$$

$$C_2 = \text{agua} = 28\,088,27 \text{ kg/batch}$$

$$C_3 = \text{agua con impurezas}$$

$$C_4 = \text{cáscara de cacao}$$

$$E = S$$

$$C_1 + C_2 = C_3 + C_4$$

$$(27683,7989 + 404,4709) + 28088,27 = C_4 + 404,4709 + C_4$$

$$C_4 = 27683,7989 \text{ kg/batch}$$

Secador

$$C_5 = \text{aire} = 11006855,2376 \text{ kg/batch}$$

$$C_6 = \text{aire y agua evaporada}$$

$$C_7 = \text{cáscara de cacao seca} = 5546,6942 \text{ kg/batch}$$

$$E = S$$

$$C_4 + C_5 = C_6 + C_7$$

$$27683,7989 + 1106855,2376 = C_6 + 5546,6942$$

$$C_6 = 11028992,3424 \text{ kg/batch}$$

Triturador

$$C_7 = \text{cáscara de cacao seca} = 5546,6942 \text{ kg/batch}$$

$$C_8 = \text{cáscara de cacao triturada}$$

$$E = S$$

$$C_7 = C_8$$

$$C_8 = 5546,6942 \text{ kg/batch}$$

Extractor 1

$$C_9 = H_2SO_4 \text{ 72\%} = 100 \text{ kg/batch}$$

$$C_{10} = H_2SO_4 \text{ 72\%} + \text{cáscara de cacao} = 2258,6777 \text{ kg/batch}$$

$$C_{11} = \text{Cáscara de cacao} + H_2SO_4 \text{ 72\%}$$

$$E = S$$

$$C_8 + C_9 = C_{10} + C_{11}$$

$$C_{11} = C_8 + C_9 - C_{10}$$

$$C_{11} = 5546,6942 + 100 - 2258,6777$$

$$C_{11} = 3388,0165 \text{ kg/batch}$$

Filtro 1

$$C_{12} = H_2O = 100 \text{ kg/batch}$$

$$C_{13} = H_2SO_4 \text{ 72\%} + \text{cáscara de cacao} + H_2O = 2805,1962 \text{ kg/batch}$$

$$C_{14} = \text{Lignina}$$

$$E = S$$

$$C_{11} + C_{12} = C_{13} + C_{14}$$

$$C_{14} = C_{11} + C_{12} - C_{13}$$

$$C_{14} = 3388,0165 + 100 - 2805,1962$$

$$C_{14} = 682,8203 \text{ kg/batch}$$

Extractor 2

$$C_{15} = PEG400 = 3387,3100 \text{ kg/batch}$$

$$C_{16} = H_2SO_4 \text{ 5\%} = 1000 \text{ kg/batch}$$

$$C_{17} = \text{Lignina} + \text{PEG400} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 5\%} = 2387,2645 \text{ kg/batch}$$

$$C_{18} = \text{Biopoliololes} + \text{PEG400}$$

$$E = S$$

$$C_{14} + C_{15} + C_{16} = C_{17} + C_{18}$$

$$C_{18} = C_{14} + C_{15} + C_{16} - C_{17}$$

$$C_{18} = 682,8203 + 3387,3100 + 1000 - 2387,2645$$

$$C_{18} = 2682,8658 \text{ kg/batch}$$

Filtro 2

$$C_{19} = \text{Lignina} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 5\%} = 1009,6922 \text{ kg/batch}$$

$$C_{20} = \text{Biopoliololes} + \text{PEG400}$$

$$E = S$$

$$C_{18} = C_{19} + C_{20}$$

$$C_{20} = C_{18} - C_{19}$$

$$C_{20} = 2682,8658 - 1009,6922$$

$$C_{20} = 1673,1736 \text{ kg/batch}$$

Maquina Espumadora

$$C_{21} = \text{TDI} = 1677,2100 \text{ kg/batch}$$

$$C_{22} = \text{Espumas de poliuretano}$$

$$E = S$$

$$C_{20} + C_{21} = C_{22}$$

$$C_{22} = 1673,1736 + 1677,2100$$

$$C_{20} = 2682,8658 + 1009,6922$$

$$C_{20} = 3350,3836 \text{ kg/batch}$$

C.1.2 Dimensionamiento de equipos

Tanque de lavado

Tabla 30. Datos conocidos tanque de lavado

Volumen del lote	494,40 ft^3
Presión	14,68 PSI
Temperatura	68 F
H/D	0,5
L/D	2
Geometría del tanque	Cilíndrico
Head	Cónica
Material	Acero al carbón SA285A

Cálculo de volúmenes del tanque de lavado

$$V_{head} = V(V/V_o)$$

$$V_{head} = 2[0.0778D^3(2)\left(\frac{H}{D}\right)^2\left(1.5 - \frac{H}{D}\right)]$$

$$V_{head} = 2[0.778D^3(2)(0.5)^2(1.5 - 0.5)]$$

$$V_{head} = 0.778D^3$$

Volumen del tanque (Shell)

$$V_s = V_o \left(\frac{V}{V_o}\right) = \frac{\pi D^2}{4} * L \left[\left(\frac{1}{2\pi}\right) (\theta - \text{sen}\theta) \right]$$

$$\theta = 2\arccos(1 - 2H/D)$$

$$\theta = 2\arccos(1 - 2 * (0.5))$$

$$\theta = 180^\circ \rightarrow 3.14 \text{ rad}$$

$$V_s = 0.39D^2L$$

$$V_{total} = 494,40 \text{ ft}^3 = 0.778D^3 + 0.39D^2L$$

Diámetro del tanque

$$\text{Si } \frac{L}{D} = 2 \rightarrow L = 2D$$

$$494,40 = 0.778D^3 + 0.39D^2(2D)$$

$$494,40 = 0.778D^3 + 0,78D^3$$

$$D = 6,82 \text{ ft} \approx 7 \text{ ft} = 2,13 \text{ m}$$

Longitud del tanque

$$L = 2(6,82)$$

$$L = 13,64 \approx 14.00 \text{ ft} = 168 \text{ in} = 4,14 \text{ m}$$

Espesor del tanque

$$T_s = 9 \text{ mm} = 0,03 \text{ ft}$$

Superficies

$$paredes = \pi DL = \pi(7 \text{ ft})(14 \text{ ft}) = 307,88 \text{ ft}^2$$

$$head = 0.84(2D^2) = 0.84(2)(7)^2 = 82,32 \text{ ft}^2$$

Volumen del tanque de lavado

$$V = 307,88 \text{ ft}^2 (0,03 \text{ ft}) + 82,32 \text{ ft}^2 (0,03 \text{ ft})$$

$$V = 3,39 \text{ ft}^3 = 0,096 \text{ m}^3$$

Secador**Tabla 31.** Datos conocidos del secador

Volumen del lote	81,93 <i>ft</i> ³
Presión	14,68 <i>PSI</i>
Temperatura del aire	221 <i>F</i>
Temperatura inicial	68 <i>F</i>
Temperatura final	158 <i>F</i>
Material	Acero al carbón SA285A

Diámetro del tanque

$$D = \sqrt[3]{\frac{2V}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{2 * 2,32}{\pi}}$$

$$D = 1,14 \text{ m} = 44,88 \text{ in} = 3,74 \text{ ft}$$

Longitud del tanque

$$L = 2D + 20\%$$

$$L = 2(1,14) + 20\%$$

$$L = 2,74 \text{ m} = 107,87 \text{ in} = 9 \text{ ft}$$

Espesor del tanque

$$T_s = 7 \text{ mm} = 0,022 \text{ ft}$$

Superficies

$$paredes = \pi DL = \pi(3,74 \text{ ft})(9 \text{ ft}) = 105 \text{ ft}^2$$

$$head = 0.84(2D^2) = 0.84(2)(3,74)^2 = 23,50 \text{ ft}^2$$

Volumen del secador

$$V = 105 \text{ ft}^2 (0,022 \text{ ft}) + 23,50 \text{ ft}^2 (0,022 \text{ ft})$$

$$V = 2,83 \text{ ft}^3 = 0,08 \text{ m}^3$$

Área del secador

$$A = \text{Volumen}/\text{Longitud}$$

$$A = \frac{0,08}{2,74}$$

$$A = 0,03 \text{ m}^2$$

Extractor 1**Tabla 32.** Datos conocidos tanque extractor 1

Volumen del lote	202,35 ft^3
Presión	14,68 PSI
Temperatura	68 F
H/D	0,7
L/D	3
Geometría del tanque	Cilíndrico
Head	Toriesférica
Material	Acero al carbón SA285A

Cálculo de volúmenes del tanque de lavado

$$V_{head} = V(V/V_0)$$

$$V_{head} = 2[0.0778D^3(2) \left(\frac{H}{D}\right)^2 \left(1.5 - \frac{H}{D}\right)]$$

$$V_{head} = 2[0.778D^3(2)(0.7)^2(1.5 - 0.7)]$$

$$V_{head} = 1,22D^3$$

Volumen del tanque (Shell)

$$V_s = V_o \left(\frac{V}{V_o} \right) = \frac{\pi D^2}{4} * L \left[\left(\frac{1}{2\pi} \right) (\theta - \text{sen}\theta) \right]$$

$$\theta = 2\text{arccos}(1 - 2H/D)$$

$$\theta = 2\text{arccos}(1 - 2 * (0.7))$$

$$\theta = 227.16^\circ \rightarrow 3.96 \text{ rad}$$

$$V_s = 0.59D^2L$$

$$V_{total} = 202,35 \text{ ft}^3 = 1,22D^3 + 0.59D^2L$$

Diámetro del tanque

$$\text{Si } \frac{L}{D} = 3 \rightarrow L = 3D$$

$$202,35 = 1,22D^3 + 0.59D^2(3D)$$

$$202,35 = 1,22D^3 + 1,77D^3$$

$$D = 4,81 \text{ ft} \approx 5 \text{ ft} = 1,52 \text{ m}$$

Longitud del tanque

$$L = 3(4,81)$$

$$L = 14,43 \approx 14.00 \text{ ft} = 168 \text{ in} = 4,14 \text{ m}$$

Espesor del tanque

$$T_s = 7 \text{ mm} = 0,022 \text{ ft}$$

Superficies

$$\text{paredes} = \pi DL = \pi(5 \text{ ft})(14 \text{ ft}) = 219,9 \text{ ft}^2$$

$$\text{head} = 0.84(2D^2) = 0.84(2)(5)^2 = 42 \text{ ft}^2$$

Volumen del extractor

$$V = 219,9 \text{ ft}^2 (0,022 \text{ ft}) + 42 \text{ ft}^2 (0,022 \text{ ft})$$

$$V = 5,76 \text{ ft}^3 = 0,16 \text{ m}^3$$

Extractor 2

Tabla 33. Datos conocidos tanque extractor 2

Volumen del lote	165,98 ft^3
Presión	14,68 PSI
Temperatura	68 F
H/D	0,7
L/D	3
Geometría del tanque	Cilíndrico
Head	Toriesférica
Material	Acero al carbón SA285A

Cálculo de volúmenes del tanque de lavado

$$V_{\text{head}} = V(V/V_0)$$

$$V_{\text{head}} = 2[0.0778D^3(2) \left(\frac{H}{D}\right)^2 \left(1.5 - \frac{H}{D}\right)]$$

$$V_{\text{head}} = 2[0.778D^3(2)(0.7)^2(1.5 - 0.7)]$$

$$V_{\text{head}} = 1,22D^3$$

Volumen del tanque (Shell)

$$V_s = V_o \left(\frac{V}{V_o} \right) = \frac{\pi D^2}{4} * L \left[\left(\frac{1}{2\pi} \right) (\theta - \text{sen}\theta) \right]$$

$$\theta = 2\text{arccos}(1 - 2H/D)$$

$$\theta = 2\text{arccos}(1 - 2 * (0.7))$$

$$\theta = 227.16^\circ \rightarrow 3.96 \text{ rad}$$

$$V_s = 0.59D^2L$$

$$V_{total} = 165,98 \text{ ft}^3 = 1,22D^3 + 0.59D^2L$$

Diámetro del tanque

$$\text{Si } \frac{L}{D} = 3 \rightarrow L = 3D$$

$$165,98 = 1,22D^3 + 0.59D^2(3D)$$

$$165,98 = 1,22D^3 + 1,77D^3$$

$$D = 3,81 \text{ ft} \approx 4 \text{ ft} = 1,22 \text{ m}$$

Longitud del tanque

$$L = 3(3,81)$$

$$L = 11,43 \approx 12,00 \text{ ft} = 144 \text{ in} = 3,66 \text{ m}$$

Espesor del tanque

$$T_s = 7 \text{ mm} = 0,022 \text{ ft}$$

Superficies

$$\text{paredes} = \pi DL = \pi(4 \text{ ft})(12 \text{ ft}) = 150,80 \text{ ft}^2$$

$$head = 0.84(2D^2) = 0.84(2)(4)^2 = 26,88 ft^2$$

Volumen del extractor

$$V = 150,80 ft^2 (0,022 ft) + 26,88 ft^2(0,022 ft)$$

$$V = 3,89 ft^3 = 0,11 m^3$$

C.1.3 Balance de energía

Tanque de lavado

Potencia del motor

Se considera un lavado de tres horas para el cálculo del caudal volumétrico

$$P_o = P \times Q \quad (30)$$

$$Q = \text{caudal volumétrico} = 9,35 m^3/h$$

$$P = \text{presión} = 101215,04 N/m^2$$

$$P_o = 101215,04 \frac{N}{m^2} \cdot 9,35 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1 h}{60 s}$$

$$P_o = 15,76 KW = 21,13 HP$$

Dado que la potencia requerida es de 21,13 HP es necesaria la adquisición de un motor de 25 HP

Secador

El tiempo de secado se establece en 96 horas para calcular el calor requerido se utiliza la Ecuación (30).

$$Q = mC\Delta T \quad (31)$$

$$Q = 288 Kg \cdot 1 \frac{Kcal}{^{\circ}C \cdot Kg} (70 - 25)^{\circ}C$$

$$Q = 12976,65 \text{ Kcal} \rightarrow 565,56 \text{ KW}$$

C.2 Análisis económico

C.2.1 Métodos de estimación de costos

Tanque de lavado:

El equipo de lavado corresponde a un tanque horizontal, por lo que para determinar su costo se tomara en cuenta el dimensionamiento de un tanque cónico

$$C_{eTanque \text{ de lavado}} = a + bS^n$$

$$C_{eTanque \text{ de lavado}} = (5700) + ((700) * ((0,096)^{0,7}))$$

$$C_{eTanque \text{ de lavado}} = 5835,73$$

Secador:

El secador utiliza aire caliente y electricidad como fuente de calor, en su interior circula una gran cantidad de aire caliente. Esto permite el efecto de transferencia de calor reduciendo gradualmente el contenido de humedad de los materiales en su interior. Todo el sistema de circulación está completamente cerrado por lo que la eficiente térmica máxima que puede alcanzar es del 70%.

$$C_{eSecador} = (5300) + ((2400) * ((0,03)^{0,5}))$$

$$C_{eTanque \text{ de lavado}} = 9456,92$$

Tanque de extracción 1:

En el tanque de extracción es de geometría cilíndrica de material acero al carbón en el cual ingresan sustancias no corrosivas para dicha extracción no se requiere de agitación solo un tiempo de reposo de la mezcla; por lo que se dimensiono como un tanque cónico

$$C_{eTanq\ extrc\ 1} = (5700) + ((700) * ((0,16)^{0,7}))$$

$$C_{eTanq\ extrc\ 1} = 5894,08$$

Tanque de extracción 2:

Se utilizó la misma metodología para el dimensionamiento del tanque de extracción 1

$$C_{eTanq\ extrc\ 1} = (5700) + ((700) * ((0,11)^{0,7}))$$

$$C_{eTanq\ extrc\ 1} = 5849,30$$

A continuación, se resumen los costos de los equipos

Tabla 34. Costo de equipos

Equipo	Cantidad	Capacidad de equipo (S)	Costos equipo C_e [S]
Tanque de lavado	1	Volumen Tanque de lavado = 0,096 m ³	5835,73
Secador	1	Área del secador = 0,08 m ²	9456,92
Triturador	1	Proforma	10500
Tanque extractor 1	1	Volumen Tanque de extracción 1= 0,16 m ³	5894,08
Tanque extractor 2	1	Volumen Tanque de extracción 2 = 0,11 m ³	5849,3
Filtro de vela	1	Proforma	2700
Filtro colador	1	Proforma	4500
Maquina espumadora	1	Proforma	120000
Total			164736,03

Estimación de costos según factor de Lang

A partir de los costos determinados para cada uno de los equipos se utiliza el método de Lang como estimación del costo total de la planta dependiendo del tipo de procesamiento. Para el proyecto se considera un proceso mixto que incluye sólidos y líquido con un valor de $F_L = 4$

$$C_L = F_L(\sum C_e)$$

$$C_L = F_L(C_{eTanque\ de\ lavado} + C_{eSecador} + C_{eTriturador} + C_{eExtractor1} + C_{eExtractor2} \\ + C_{eFiltro1} + C_{eFiltro2} + C_{e\ Maquina\ espumadora})$$

$$C_L = 658944,16$$

Estimación de costos según factor de Hand

El factor de Hand utiliza varios factores de acuerdo con el tipo de equipamiento, incluye el factor de material y el factor de instalación. Para el proyecto se considera como factor de instalación de Hand de $F_H = 2,5$ de equipos misceláneos. El factor de material $f_m = 1$ es igual para todos ya que el proceso no requiere de sustancias corrosivas tanto los equipos dimensionados como los adquiridos por distribuidores son hechos de acero al carbono.

$$C_H = \sum(C_e \times f_m \times F_H)$$

$$C_H = [(C_{eTanque\ de\ lavado} \times f_m \times F_H) + (C_{eSecador} \times f_m \times F_H) + (C_{eTriturador} \times f_m \times F_H) \\ + (C_{eExtractor1} \times f_m \times F_H) + (C_{eExtractor2} \times f_m \times F_H) + (C_{eFiltro1} \times f_m \times F_H) \\ + (C_{eFiltro2} \times f_m \times F_H) + (C_{e\ Maquina\ espumadora} \times f_m \times F_H)]$$

$$C_H = 411840,10$$

Estimación de costos según el método factorial

Este método determina el costo relacionado a cada equipo por subunidades que depende de varios factores:

- Factor de material (f_m) = 1
- Factor de instalación del equipo (f_{er}) = 0,5
- Factor eléctrico (f_{el}) = 0,2
- Factor de instrumento de control (f_i) = 0,3
- Factor civil (f_c) = 0,3
- Factor de estructuras (f_s) = 0,2
- Factor de recubrimiento (f_l) = 0,1

$$C_F = \sum C_e [(1)f_m + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l)]$$

$$C_F = 428313,71$$

C.2.2 Inversión de capital fijo

Costo ISBL

Incluye la adquisición e instalación de los equipos para la planta. A partir de los valores obtenidos de las estimaciones por el método de Hand y método factorial detallado se utiliza una proporción del 30% de los costos.

$$C_{ISBL} = \frac{(C_H + 30\%) + (C_F - 30\%)}{2}$$

$$C_{ISBL} = \frac{(411840,10 + 30\%) + (428313,71 - 30\%)}{2}$$

$$C_{ISBL} = 420076,90$$

Costo OSBL (Outside battery limits)

Presenta las modificaciones o adiciones a la planta para una posible expansión. Se utiliza una proporción del 40% del costo ISBL para una estimación inicial

$$C_{OSBL} = (40\%)C_{ISBL}$$

$$C_{OSBL} = 168030,76$$

Costos de ingeniería y construcción

Describen la ingeniería de proceso detalla para el diseño, equipos y construcción del proyecto

$$C_{ING\ y\ CONST} = 30\%(C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

$$C_{ING\ y\ CONST} = 176432,30$$

Se incluyen gastos para el equipamiento de oficina asumiendo un 5% del costo ISBL

Tabla 35. Costos de equipos de oficina

Equipos de oficina	
Equipos de oficina	Costo [\$]
Computadora de escritorio	600
Copiadora	520
Teléfono	129
Escritorio de oficina	300
Insumos	120
Total	1669

Gastos imprevistos

Son el capital de respaldo para cambios dentro del proyecto y corresponde al 10% de la suma de los costos ISBL y OSBL

$$C_{IMP} = 10\%(C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

$$C_{IMP} = 58810,77$$

Se determina la inversión de capital fijo

$$\text{Inversión de capital fijo} = C_{ISBL} + C_{OSBL} + C_{ING\ y\ CONST} + C_{IMP}$$

$$\text{Inversión de capital fijo} = 823350,73$$

Se presenta la siguiente tabla con los costos de capital fijo

Tabla 36. Costos de capital fijo

Costos de inversión de capital fijo				
C_{ISBL} [\$]	C_{OSBL} [\$]	$C_{ING\ y\ CONST}$ [\$]	Gastos imprevistos [\$]	Inversión de capital fijo [\$]
393046,91	157218,76	165079,70	55026,57	823350,73

C.2.3 Capital de trabajo

Para el cálculo del capital de trabajo se incluyen las inversiones

- **Valor inventario de materia prima de 2 semanas**

Dado que la principal materia prima es la cáscara de cacao, la cual es un residuo agrícola no se toma en cuenta como un costo de materia prima, pero si en el valor del transporte desde las plantaciones de cacao hacia la planta de procesamiento, por lo tanto:

Tabla 37. Inventario de materia prima

Materia prima	Cantidad [T]	Costo [\$]
Cáscaras de cacao	280,00	0,00
PEG400	16,00	57600
H2SO4	1,10	242,00
TDI	17,00	2890,00
Total		60732

Se considera la producción de láminas de espuma de poliuretano de 200 x 100 x 20 cm con una producción anual de 78000 láminas.

- Valor inventario producción y subproductos

Costos de producción variable

Son los costos de producción variable para 2 semanas

Materia prima

Tabla 38. Inventario de materia prima

Materia prima [S]	60732,00
--------------------------	----------

Servicios básicos

Energía eléctrica equipos

Se consideran los consumos energéticos de las máquinas de la planta:

Tabla 39. Requerimiento de energía eléctrica por equipo

Equipo	Potencia instalada [KW]	Tiempo de trabajo (h)	Tarifa [S]	Energía consumida día [KWh]	Costo por día [USD/día]	Costo por dos semanas [USD/semana]
Tanque de lavado	15.76	3	0.8	47.28	22.6944	226.944
Secador	15.09	96	0.8	1448.64	695.3472	6953.472
Triturador	55.00	2	0.8	110	52.8	528
Extractor 1	35.03	9	0.8	315.27	151.3296	1513.296
Extractor 2	62.68	2	0.8	125.36	60.1728	601.728
Maquina espumadora	11.00	1	0.8	11	5.28	52.8
Total						9876.24

Energía eléctrica planta

Tabla 40. Requerimiento de energía eléctrica por equipo

Equipo	Energía requerida [KW]	Horas de trabajo diarias	Horas de trabajo dos semanas	Tarifa [USD/KWh]	Energía consumida dos semanas [KWh]	Costo dos semanas [USD]
20 focos industriales	0.20	4	40	0.8	8	6.40
3 computadores	0.75	8	80	0.8	60	48.00
2 teléfono	0.0012	8	80	0.8	0.096	0.08
1 impresora	0.02	8	80	0.8	1.6	1.28
Total						55.76

*Agua potable planta***Tabla 41.** Requerimiento de agua potable planta

Empleados	Tarifa [USD/KWh]	Consumo diario por persona [m³]	Consumo dos semanas por persona	Costo por dos semanas
16	0.72	0.6	6	69.12

*Agua potable proceso de producción***Tabla 42.** Requerimiento de agua potable del proceso

Equipo	Cantidad diaria por proceso [m³]	Tarifa [USD/m³]	Consumo dos semanas por equipo [m³]	Costo por dos semanas [\$]
Tanque de lavado	28.24	0.72	20.3328	203.328
Extractor 1	0.018	0.72	0.01296	0.1296
Filtro 1	0.1	0.72	0.072	0.72
Extractor 2	0.933	0.72	0.67176	6.7176
Total				210.90

*Servicio de internet y teléfono***Tabla 43.** Costo del servicio de internet y teléfono

Servicio	Costo mensual [\$]	Costo por dos semanas [\$]
Plan corporativo	50	25

Transporte

El proceso de producción requiere de una carga diaria de 27 Ton de cáscaras de cacao las cuales son transportadas desde Milagro hasta el parque industrial de Guayaquil con una distancia de 38 Km, por lo que se necesita el uso de transporte pesado con capacidad de 30 Ton diarias.

Tabla 44. Costo del transporte

Costo diario [\$]	70
Costo dos semanas [\$]	700

Los costos variables de producción se presentan a continuación

Tabla 45. Costos variables

Materia prima [\$]	Servicios básicos [\$]	Transporte [\$]	VCOP [\$]
60732,00	10237.01	700,00	71669,01

Costos de producción fijos

Labor de operación

Se contará con un gerente de planta para la administración del proyecto; las funciones que va a cumplir son el pago de sueldos, declaración de impuestos, contacto con proveedores y distribuidores. 8 operadores de planta que se encargara del proceso de producción y distribución de las láminas de espumas de poliuretano. En el área de extracción de bio-poliololes se contará con 1 jefe y 2 analistas de laboratorios quienes deberán realizar pruebas de calidad a los productos obtenidos. Ya que se requiere el mantenimiento de los equipos se contará con personal especializado con 2 supervisores y 2 técnicos de mantenimiento. Cada empleado recibirá el pago del décimo tercero y décimo cuarto sueldo

Tabla 46. Costos Labor de operación

Empleados	Cantidad	Salario mensual [\\$]	Salario anual [\\$]	Sueldos a pagar [\\$]	Salario dos semanas [\\$]	Total, labor op. [\\$]
Gerente de planta	1	3000	36000	36000	1384.62	7984.62
Supervisor de mantenimiento	2	1800	21600	43200	1661.54	
Técnico de mantenimiento	2	1600	19200	38400	1476.92	
Jefe de laboratorio	1	1500	18000	18000	692.31	
Analista de laboratorio	2	800	9600	19200	738.46	
Operadores	8	550	6600	52800	2030.77	

Supervisión

$$C_{supervisión} = 25\%(7984.62)$$

$$C_{supervisión} = 1996.16$$

Gastos salariales

$$C_{salariales} = 50\%(7984.62 + 1996.16)$$

$$C_{salariales} = 4990.39$$

Mantenimiento

$$C_{mantenimiento} = 3\%(393046.91)$$

$$C_{mantenimiento} = 11791.40$$

Impuestos sobre la propiedad

$$C_{impuesto\ renta} = 1\%(393046.91)$$

$$C_{impuesto\ renta} = 3930.47$$

Alquiler de tierra

$$C_{alquiler\ tierra} = 1\%(393046.91 + 157218.76)$$

$$C_{alquiler\ tierra} = 5502.66$$

Gastos generales

$$C_{generales} = 65\%(7984.62 + 1996.16 + 4990.39 + 11791.40)$$

$$C_{generales} = 17395.67$$

Gastos medioambientales

$$C_{medioambientales} = 1\%(393046.91 + 157218.76)$$

$$C_{medioambientales} = 5502.66$$

Licencias

Tabla 47. Costo de licencias

Licencia	Costo [\$]	Vigencia
Manipulación de reactivos controlados	390	1 año
Ambiental	500	Indefinido

Costos de producción fijos

Tabla 48. Costos fijos

Costos de producción fijos [\$]	59984,01
--	----------

Valor del inventario de productos y subproductos

$$Inventario\ de\ productos = 131653,02$$

1. Efectivo en caja

Tabla 49. Efectivo en caja

Efectivo en caja [\$]
65826,51

2. Cuentas por cobrar

Tabla 50. Cuentas por cobrar

Cuentas por cobrar [\$]
263306,04

3. Créditos cuentas pendientes**Tabla 51.** Crédito cuentas pendientes

Crédito cuentas pendientes [\$]
121464,00

6. Inventario de repuestos

$$\text{InventarioRepuestos} = 1\%(\text{ISBL} + \text{OSBL})$$

$$\text{InventarioRepuestos} = 1\%(393046,91 + 157218,76)$$

$$\text{InventarioRepuestos} = 5502,66$$

El capital de trabajo total es:

Tabla 52. Capital de trabajo total

Capital de trabajo total [\$]
648484,23

C.2.4 Ingresos de la planta

Se determina los ingresos por la venta de las láminas de espumas de poliuretano de dimensiones 200 x 100 x 20 cm. Se considera que el valor por espesor es de 3,85 por lo que se obtiene un recio para la venta de láminas de espuma de poliuretano de 77 dólares

Tabla 53.Ingresos por ventas anuales del costo del producto

Caudal de producción anual Láminas [200 x 100 x 20 cm]	Costo lámina incluido IVA [\$]	Ingresos por ventas anuales [\$]
78000,00	77,00	6006000,00

Margen

Para la producción de láminas de espuma de poliuretano de [200 x 100 x 20 cm] el margen es

$$\text{Margen} = \sum(\text{Ingresos productos y subproductos}) - (\text{Costo de materia prima})$$

$$\text{Margen} = 4426968,00$$

Costo efectivo de producción

A partir de los costos anuales de producción variables y fijos solo se toma en cuenta los costos de materia prima

$$\text{CCOP} = \text{VCOP} + \text{FCOP}$$

$$\text{CCOP} = 131653,02$$

Beneficio bruto anual

Depende del costo de las láminas y de la materia prima que se utiliza para su producción

$$\text{Beneficio bruto} = \text{Ingresos producto principal} - \text{CCOP}$$

$$\text{Beneficio bruto} = 5874346,98$$

Impuesto a la renta

Para determinar el beneficio neto anual se debe considera el impuesto a la renta. En la figura # del Anexo # se presenta los valores del impuesto a la renta de personas naturales para el año 2022

Para la producción de láminas de poliuretano de \$77,00

$$\text{Impuesto fracción excedente} = (\text{Beneficio bruto} - \text{Fracción básica}) \% \text{ impuesto}$$

$$\text{Impuesto fracción excedente} = 1803508,38$$

Impuesto a la renta

$$= (\text{Impuesto fracción básica}) + (\text{Impuesto fracción excedente})$$

$$\text{Impuesto a la renta} = 1826887,26$$

Beneficio neto anual

$$\text{Beneficio neto} = \text{Beneficio bruto} - \text{impuesto a la renta}$$

$$\text{Beneficio neto} = 4047459,72$$

C.2.5 Análisis de recuperación de capital

Tiempo de recuperación

Para la producción de láminas de poliuretano de \$77,00 con dimensiones de [200 x 100 x 20 cm]

$$\text{Inversión inicial total} = \text{Inversión de capital fijo} + \text{Inversión capital de trabajo}$$

$$\text{Inversión inicial total} = 17683940,81$$

A partir del valor de la inversión inicial se determina el tiempo de recuperación

$$t_{\text{recuperación}} = \frac{\text{Inversión inicial total}}{\text{Flujo de caja neto anual promedio}}$$

$$t_{\text{recuperación}} = 4,34$$

ROI

Para la producción de láminas de poliuretano de \$77,00 con dimensiones de [200 x 100 x 20 cm]

$$\text{ROI} = \frac{\text{Beneficio neto anual}}{\text{Inversión inicial total}} \times 100$$

$$\text{ROI} = 22,88$$