

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estudio de factibilidad de una planta de producción de bioetanol a partir
de residuos varios**

Evelyn Johana Juiña Jaime

Ingeniería Química

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

Quito, 20 de diciembre de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Estudio de prefactibilidad de una planta de producción de bioetanol a
partir de residuos varios**

Evelyn Johana Juiña Jaime

Nombre del profesor, Título académico

José Álvarez, Ph.D.

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca, Ph.D.

Quito, 20 de diciembre del 2021

© 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:	Evelyn Johana Juiña Jaime
Código:	00203790
Cédula de identidad:	1750602771
Lugar y fecha:	Quito, 20 de diciembre del 2021

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UNPUBLISHED DOCUMENT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>.

RESUMEN

En este proyecto se diseñó una planta de producción de bioetanol usando residuos mixtos provenientes de una comunidad en la provincia de Pichincha, con el fin de ofrecer una alternativa para su tratamiento y también darles un valor agregado. El bioetanol será empleado como un aditivo al combustible común y como un desinfectante para los miembros de la comunidad. Se procesará una tonelada de materia prima, valor que puede ser modificado según los residuos producidos mensualmente por la comunidad. Se determinó el proceso más adecuado usando un pretratamiento alcalino, seguido de sacarificación y fermentación simultáneas para una posterior destilación azeotrópica con el fin de obtener una pureza del 99.5% v/v. Se dimensionarán los equipos usados durante el proceso en base a los balances de masa y energía, para luego realizar un análisis económico del proceso y la planta. Se va a estimar la inversión inicial considerando la cantidad variable de residuos producidos y a partir de ello, se obtendrá el margen de ganancia. La implementación de esta planta representa una excelente oportunidad para la comunidad para adquirir productos de desinfección y gasolina más económicos, generando un ahorro que puede ser usado para mejorar el estilo de vida de sus miembros.

Palabras clave: celulosa, biomasa, lignina, sacarificación y fermentación simultánea

ABSTRACT

In this project, a bioethanol production plant was designed using mixed waste from a community in the province of Pichincha, in order to offer an alternative for its treatment and also to give it added value. The bioethanol will be used as an additive to common fuel and as a disinfectant for community members. One ton of raw material will be processed, a value that can be modified according to the waste produced monthly by the community. The most suitable process was determined using an alkaline pretreatment, followed by simultaneous saccharification and fermentation (SSF) for a subsequent azeotropic distillation to obtain a purity of 99.5% v/w. The equipment used during the process will be dimensioned based on mass and energy balances, and then an economic analysis of the process and the plant will be carried out. The initial investment will be estimated considering the variable amount of waste produced and from this, the profit margin will be obtained. The implementation of this plant represents an excellent opportunity for the community to acquire cheaper disinfection and gasoline products, generating savings that can be used to improve the lifestyle of its members.

Key words: cellulose, biomass, lignin, Simultaneous saccharification and fermentation

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Antecedentes	14
1.1.1. Importancia de los pequeños agricultores en Ecuador.....	14
1.1.2. Residuos producto de la agricultura en la sociedad.....	15
1.1.3. Producción de bioetanol como combustible y alcohol	16
1.2. Presentación del proyecto	17
1.2.1. Objetivos del proyecto	17
1.2.2. Justificación en el mercado.....	18
1.2.3. Justificación económica.....	18
1.2.4. Resultados esperados	20
2. BASES DEL DISEÑO	21
2.1. Descripción del producto	21
2.2. Descripción de materias primas	22
2.3. Descripción del proceso.....	24
2.3.1. Selección de operaciones unitarias	24
2.3.2. Descripción del proceso.....	27
2.4. Ubicación.....	28
2.5. Limitaciones y normas	29
3. DISEÑO DEL PROCESO.....	30
3.1 Base de cálculo para la producción.....	30
3.2. Condiciones de operación	31
3.3. Balance de masa.....	33
3.4. Balance de energía	35
4. DISEÑO DE LA PLANTA.....	36
4.1. Selección y dimensionamiento de los equipos para la preparación de la materia prima.....	36
4.2. Selección y dimensionamiento de equipos usados en pretratamiento, SSF, separación y purificación.....	37
4.3. Dimensionamiento de equipos auxiliares	38
5. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	39

5.1. Estimación de costos de la planta	39
5.2. Estimación de ingresos	42
5.3. Análisis de la recuperación y rentabilidad del proyecto	42
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
8. ANEXOS.....	50
8.1 Anexo A: Metodología	50
8.1.1. Objetivo específico 1- Escoger el método más adecuado de la producción de bioetanol a partir de residuos mixtos obtenidos en una comunidad.	50
8.1.2. Objetivo específico 2- Diseñar la planta de producción de bioetanol mediante la selección y dimensionamiento de equipos.	51
8.1.3. Objetivo específico 3 - Realizar un análisis económico para determinar la factibilidad del proyecto según la cantidad de residuos producidos.....	59
8.2. Anexo B: Cálculos y resultados	63
8.2.1. Pérdidas de masa en operaciones unitarias	63
8.2.2. Materias primas usadas en el balance de masa	64
8.2.3. Balance de masa.....	64
8.2.4. Dimensionamiento del horno secador.....	67
8.2.5. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento 1.....	68
8.2.6. Dimensionamiento del tanque de pretratamiento	69
8.2.7. Dimensionamiento del biorreactor de sacarificación y fermentación simultánea .	70
8.2.8. Dimensionamiento de la 1 ^{ra} Columna de Destilación	71
8.2.9. Dimensionamiento de la 2 ^{da} Columna de Destilación.....	73
8.2.10. Dimensionamiento de la Columna de adsorción	75
8.2.11. Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento 2	76
8.2.12. Selección de bombas.....	77
8.2.13. Vapor generado por la caldera	77
8.3. Anexo C: Cotización de Equipos	78
8.3.1. Balsa de lavado	78
8.3.2. Trituradora	78
8.3.3. Molino de bolas.....	79
8.3.4. Centrifugadora	80

8.3.5.	Transportadora	81
8.3.6.	Filtro de prensa	81
8.3.7.	Destilador de agua.....	82
8.3.8.	Caldera	83
8.4.	Anexo D: Cálculos del análisis económico	84
8.4.1.	Cálculo del costo de los equipos.....	84
8.4.2.	Método de Lang	84
8.4.3.	Método de Hand.....	85
8.4.4.	Método del factor detallado	86
8.4.5.	Costo de la inversión de capital fijo.....	87
8.4.6.	Costos de materias primas	87
8.4.7.	Costos de producción.....	88
8.4.8.	Costos de capital de trabajo	88
8.4.9.	Precio de venta del producto.....	89
8.4.10.	Ingresos a la planta y análisis de recuperación de la inversión.....	89
8.4.11.	Cotizaciones de equipos adicionales.....	89
8.5.	Anexo E: fichas de seguridad de las materias primas	92
8.5.1.	Componentes del pretratamiento	92
8.5.2.	Medio para la sacarificación y fermentación simultáneas	92
8.5.3.	Solvente de la destilación azeotrópica	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis económico breve de un barril de bioetanol de 200 litros.....	19
Tabla 2. Análisis económico breve de un frasco de bioetanol de 4 litros.....	19
Tabla 3. Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en los residuos mixtos.....	22
Tabla 4. Materias primas para la producción de bioetanol.....	23
Tabla 5. Selección de operaciones unitarias mediante diversos criterios.....	25
Tabla 6. Balance de masa de un ciclo de producción de bioetanol.....	33
Tabla 7. Balance y consumo de energía semanal de los equipos	35
Tabla 8. Especificaciones de los equipos para la preparación de los residuos.....	37
Tabla 9. Especificaciones de los equipos para la segunda sección del proceso.....	38
Tabla 10. Dimensiones del destilador de agua.....	39
Tabla 11. Estimación del costo ISBL de la planta con diferentes aproximaciones.....	40
Tabla 12. Resumen de la inversión de capital fijo.....	40
Tabla 13. Estimación de los costos de producción.....	41
Tabla 14. Estimación del capital de trabajo.....	41
Tabla 15. Estimación de ingresos.....	42
Tabla 16. Análisis de recuperación de inversión.....	43

ÍNDICE DE TABLAS (En anexos)

Tabla A-1. Relación del diámetro con el espaciamiento entre platos de una columna de destilación.....	57
Tabla A-2. Pérdida de masa en operaciones unitarias seleccionadas del proceso.....	63
Tabla A-3. Cantidad de materias primas usadas.....	63
Tabla A-4. Balance de masa completo del proceso.....	63
Tabla A-5. Cálculos del dimensionamiento del horno secador.....	67
Tabla A-6. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento 1.....	68
Tabla A-7. Cálculos del dimensionamiento del tanque de pretratamiento.....	69
Tabla A-8. Cálculos del dimensionamiento del biorreactor SSF.....	70
Tabla A-9. Cálculos del dimensionamiento de la 1 ^{ra} columna de destilación.....	73
Tabla A-10. Cálculos del dimensionamiento de la 2 ^{da} columna de destilación.....	75
Tabla A-11. Cálculos del dimensionamiento de la columna de adsorción.....	75
Tabla A-12. Cálculos del dimensionamiento del tanque de almacenamiento 2.....	76

Tabla A-13. Cálculos de las bombas.....	77
Tabla A-14. Cálculos para la caldera.....	77
Tabla A-15. Cálculo del costo de los equipos usando la ecuación del libro de Sinnott.....	84
Tabla A-16. Cálculo del costo ISBL mediante el Método de Lang.....	84
Tabla A-17. Cálculo del costo ISBL con el método de Hand.....	85
Tabla A-18. Cálculo del costo ISBL con el método del factor detallado.....	86
Tabla A-19. Cálculo del costo de inversión de capital fijo.....	87
Tabla A-20. Cálculo del costo de las materias primas.....	87
Tabla A-21. Cálculo de los costos de producción.....	88
Tabla A-22. Cálculo del capital de trabajo.....	88
Tabla A-23. Cálculo del precio de venta del producto final.....	89
Tabla A-24. Flujo de caja, cálculo del TIR, VAN y el tiempo de recuperación.....	89
Tabla A-25. Tabla de seguridad de componentes peligrosos en el pretratamiento.....	92
Tabla A-26. Tabla de seguridad de componentes peligrosos en SSF.....	92
Tabla A-27. Tabla de seguridad de componentes peligrosos en la destilación.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secciones principales del proceso de obtención de bioetanol.....	25
Figura 2. Diagrama de bloque del proceso de obtención de bioetanol.....	28
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso	32
Figura 4. Comparación del precio de un barril de 200 litros en función del caudal de producción.....	44
Figura 5. Comparación del precio de un frasco de 4 litros en función del caudal de producción.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS (En anexos)

Figura A-1. Tipo de aspas.....	55
Figura A-2. Gráfico para calcular el N_p	55
Figura A-3. Elección del paquete termodinámico.....	71
Figura A-4. Composiciones de la corriente de entrada.....	71
Figura A-5. Determinación del heavy & light key.....	72
Figura A-6. Resultados de la simulación.....	72
Figura A-7. Resultados del diseño de la columna.....	73
Figura A-8. Características de las corrientes de destilado.....	73
Figura A-9. Composiciones de la corriente de entrada.....	73
Figura A-10. Características de la corriente de entrada.....	74
Figura A-11. Simulación de una columna de destilación.....	74
Figura A-12. Resultados de la simulación.....	75
Figura A-13. Características de las corrientes de destilado.....	75
Figura A-14. Detalles del costo de adquisición de la balsa de lavado.....	78
Figura A-15. Detalles del costo de adquisición de la trituradora.....	79
Figura A-16. Detalles del costo de adquisición del molino de bolas.....	80
Figura A-17. Detalles del costo de adquisición de la centrifugadora.....	80
Figura A-18. Detalles del costo de adquisición de la transportadora.....	81
Figura A-19. Detalles del costo de adquisición del filtro.....	82
Figura A-20. Detalles del costo de adquisición del destilador de agua.....	83
Figura A-21. Detalles del costo de adquisición de la caldera.....	83

Figura A-22. Detalles del costo de adquisición del horno secador.....	89
Figura A-23. Detalles del costo de adquisición del tanque de almacenamiento.....	90
Figura A-24. Detalles del costo de adquisición del tanque de pretratamiento.....	90
Figura A-25. Detalles del costo de adquisición del biorreactor.....	91
Figura A-26. Detalles del costo de adquisición de la columna de destilación.....	91
Figura A-27. Detalles del costo de adquisición de la columna de adsorción.....	91
Figura A-28. Detalles del costo de adquisición de una bomba centrífuga.....	92

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

1.1.1. Importancia de los pequeños agricultores en Ecuador

En la actualidad, la agricultura representa una de las actividades más importantes para varios países, contribuyendo con el 48% del producto interno bruto (PIB) en Centroamérica. El comercio generado por esta actividad radica en la fuerza de trabajo agrícola que está disponible en la región. Por ello, Ecuador al ser un país megadiverso cuenta con grandes áreas para la producción agrícola, siendo la agricultura una de las actividades que más ingresos genera. La agricultura representa el 9% del Producto Interno Bruto, garantiza autosuficiencia en alimentos y con 26.8%, es donde más concentración de empleo existe por parte de la población del Ecuador (Fiallo, J., 2017). La estructura agraria ecuatoriana tiene una gran división que es importante considerar. Primero, se tiene a la Agricultura Empresarial (AE) que concentra el 80% de las tierras, representa aproximadamente el 15% de las Unidades de Producción Agrícolas y consume una gran cantidad de agroquímicos y energía para potencializar la producción y exportación de productos alimenticios. Luego, se tiene a la Agricultura Familiar Campesina (AFC) que concentra el 20% de la tierra, representa el 84.5% de las Unidades de Producción Agrícolas y su principal objetivo es suplir con las necesidades básicas de la población.

Aproximadamente, el 27-67% de los alimentos consumidos por parte de la población ecuatoriana provienen de los pequeños agricultores (AFC). De esta manera, se observa que los pequeños agricultores juegan un papel muy importante para la economía y supervivencia de la población ecuatoriana. Los agricultores pequeños son tan necesarios como el agua y el sol, ya que proveen de una gran variedad de productos de calidad para una alimentación saludable y al mismo tiempo se convierten en una fuente de ingreso para el país, ya que muchos de sus

productos son exportados. Los pequeños agricultores generan entre el 57-77% del empleo agrícola en la región, lo cual ayuda a reducir la pobreza en el sector rural (Martínez, L., 2013).

1.1.2. Residuos producto de la agricultura en la sociedad

El aumento del consumo de alimentos por parte de la población ecuatoriana gracias al crecimiento poblacional, ha generado un importante aumento en la demanda de la agricultura, por ende, ha existido un aumento significativo de residuos alimenticios que representan un gran desafío ya que pueden generar problemas ambientales y son un peligro para los seres humanos y animales (Moneruzzaman, K., et al, 2020). El 40% de los residuos alimenticios pueden ser generados en las etapas de post cosecha o por la industria de procesamiento y fabricación de alimentos, en donde se producen pérdidas y desperdicios por daños durante el transporte o sistemas de transporte inadecuados, pérdidas durante el procesamiento o contaminación, problemas durante el almacenamiento o por envases inadecuados (Seadi & Holm-Nielsen, 2004) (Giroto, A, & Cossu, 2015). Además, la falta de voluntad de los consumidores de comprar alimentos que no sean óptimos o agradables al ojo humano, es decir, que no sean estéticamente apetecibles, genera otra fuente de desechos alimenticios que podrían ser muy valiosos (Pfeiffer, Sundar, & Deval, 2021).

En la actualidad, la mayoría de residuos de biomasa se depositan en vertederos o se queman abiertamente, lo que hace que no solo se conviertan en un gran desperdicio para los agricultores, sino que se generan gases contaminantes para el medio ambiente que pueden traer graves consecuencias a largo plazo (Kang, H., Yang, Y., & Chen, 2020). La quema de residuos es una actividad muy aplicada y aceptada por los agricultores debido al bajo costo y la cadencia de inversión que requiere. Además, la escasez de trabajadores, la falta de disponibilidad de compradores de residuos y la escasez de tiempo entre cosecha y siembra, ha provocado que los agricultores pequeños se conformen con la quema de residuos orgánicos como una forma de

tratarlos y eliminarlos. Gracias a la problemática existente de contaminación ambiental y visual por parte de estos residuos, se han realizado varias investigaciones con el fin de darle un valor agregado y evitar la contaminación por quema de desechos. Los residuos orgánicos pueden ser usados en varios procesos como una materia prima para la generación de energía térmica como combustión directa de biomasa, para la producción de biocombustibles de primera generación como el bioetanol o biodiesel, para la producción de biocombustibles avanzados como el biogás, el carbón o el gas de síntesis, para producir bioquímicos con fines industriales o en general, para la producción de una serie de bioproductos mediante el aprovechamiento de materiales lignocelulósicos (Gallezot, P., 2007). A pesar de la gran variedad de usos de los residuos orgánicos, el área de mayor estudio es para la producción de biocombustibles por la gran expectativa existente.

1.1.3. Producción de bioetanol como combustible y alcohol

El etanol es un compuesto líquido transparente, biodegradable y de baja toxicidad, que causa poca contaminación ambiental al momento de ser derramado. La producción de etanol tiene dos propósitos, la primera es la síntesis de etanol de una manera rentable y respetuosa con el medio ambiente y la segunda es la minimización de residuos biodegradables (Mohammed, Dari, & Mohsin, 2019). Es así como, puede ser generado por residuos de primera, segunda y tercera generación.

El 80% del bioetanol actual se genera a partir de materiales comestibles como el almidón y el azúcar obtenidos de diversas fuentes entre ellas se encuentran los residuos alimenticios (Moneruzzaman K., et al., 2020). Los residuos cuentan con 30-60% de celulosa, 20-40% de hemicelulosa, 25-15% de lignina (Kang, H., Yang, Y., & Chen, 2020). Esto puede variar dependiendo del residuo; existen casos en los que el porcentaje de lignina es muy alto y el de celulosa muy bajo, por lo que es necesario analizar la composición del azúcar para la elección

del proceso más adecuado. La producción de bioetanol derivado de la biomasa es de mucha importancia para la sociedad, tanto así que contribuyó del 10 al 14% del suministro total de energía mundial y resolvió la crisis mundial como el calentamiento global y el agotamiento de los combustibles fósiles. Es por ello que, el principal uso de la biomasa derivada de residuos agrícolas es para la producción de biocombustibles como el bioetanol y biodiesel, junto con otros productos químicos obtenidos del mismo bioetanol como el alcohol.

El bioetanol es un combustible con un número de octanaje de 108, que permite reemplazar al plomo como potenciador de octanaje en la gasolina (Sindhu, R., et al., 2019). Es así como, el bioetanol mezclado con gasolina, aumenta el número de octanaje y mejora la combustión, permitiendo que disminuyan las emisiones contaminantes al ambiente lo que lo convierte en la mejor alternativa para ser usado como combustible. Además, la implementación de este combustible no requiere de la modificación del motor de los autos, por lo que es una gran alternativa hoy en día (Cruz, A. & et al., 2011). Por otro lado, el bioetanol también puede ser usado como un desinfectante al ser elaborado como alcohol. Gracias a la pandemia del COVID 19, la demanda de alcohol a nivel nacional se ha ampliado significativamente, es por ello, que generar alcohol a partir de un proceso que busca disminuir las emisiones contaminantes a la atmósfera, es una gran opción para evitar desperdicios.

1.2. Presentación del proyecto

1.2.1. Objetivos del proyecto

En este proyecto se evaluará la posibilidad de aprovechar las posibilidades descritas en la sección 1.1, para ello se planteó el siguiente objetivo general:

Evaluar la factibilidad técnica económica de la producción de bioetanol, a partir de residuos agrícolas mixtos en una comuna productora con potencial como una fuente de ingresos para la misma.

Para el cumplimiento de este objetivo, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Escoger el método más adecuado de la producción de bioetanol a partir de residuos mixtos obtenidos en una comunidad.
2. Diseñar la planta de producción de bioetanol mediante la selección y dimensionamiento de equipos.
3. Realizar un análisis económico para determinar la factibilidad del proyecto según la cantidad de residuos producidos.

1.2.2. Justificación en el mercado

Ecuador se ha planteado la idea de producir bioetanol como un aditivo del combustible a partir de la caña de azúcar, como es el caso de ecopaís, el cual tiene una composición de 5% de etanol y 95% gasolina premezclada (Pacheco, M., 2019). Sin embargo, no se ha planteado la idea de producir bioetanol a partir de los residuos mixtos generados por una comunidad de pequeños agricultores. Es por ello que, el proyecto busca aprovechar los residuos generados en una comunidad y darles un valor agregado de manera que se conviertan en una fuente de ingresos adicional para los miembros de la comunidad. Como se mencionó en la sección 1.1, los pequeños agricultores se encargan de satisfacer la mayor parte de las necesidades alimenticias del país, pese a ello, las grandes pérdidas por generación de residuos hacen que su ganancia anual disminuya. Además, el uso de gasolina generado por combustibles fósiles como el petróleo, genera gases de efecto invernadero que promueven el cambio climático. Para disminuir este efecto, se producirá bioetanol con una pureza del 99.5% v/v, en donde el 80% será usado como aditivo al combustible común y el 20% como alcohol.

1.2.3. Justificación económica

La producción de bioetanol a partir de residuos mixtos, beneficiará significativamente a la comunidad ya que se generarán ingresos adicionales a partir de la gasolina y desinfectantes

producidos. Además, representa una buena oportunidad de inversión en donde se usa la materia prima barata que no se comercializa para generar un producto con valor agregado.

Se realizó un breve análisis económico en donde se obtuvo el valor aproximado del bioetanol generado, asumiendo que el precio final será el doble del costo de las materias primas que estén presentes en el proceso. En la Tabla 1, se presenta el análisis económico breve para un barril de 200 litros de bioetanol en un envase de polietileno que será usado como aditivo para la gasolina.

Tabla 1. Análisis económico breve de un barril de bioetanol de 200 litros

Materia prima	Composición [v/v]	Valor
Residuos mixtos	99.5%	USD \$ 38.00
Agua	0.5%	USD \$ 4.00
Barril de polietileno	Envase	USD \$ 22.00
Hidróxido de sodio	No presente en el producto final	USD \$ 13.00
Levadura	No presente en el producto final	USD \$ 10.00
Celulasa	No presente en el producto final	USD \$ 11.00
Sales Buffer	No presente en el producto final	USD \$ 1.80
Extracto de levadura	No presente en el producto final	USD \$ 56.00
Ciclohexano	No presente en el producto final	USD \$ 0.22
Carbón activado	No presente en el producto final	USD \$ 30.00
Valor total	-	USD \$ 186.02*2=372.04

A partir del análisis económico breve, se tiene que el precio del barril de bioetanol de 200 litros debería tener un costo de USD \$372.04. Si se analiza el mercado actual para la venta de bioetanol anhidro se tiene que el precio puede variar alrededor de USD \$311 (Alibaba, 2021) y USD \$ 2600 (Mercado libre, 2021). Por lo que el precio obtenido puede llegar a ser competitivo. Por otro lado, en la Tabla 2, se presenta el análisis económico breve para un frasco de 4 litros de bioetanol el cual será usado como desinfectante.

Tabla 2. Análisis económico breve de un frasco de bioetanol de 4 litros

Materia prima	Composición [v/v]	Valor
Residuos mixtos	70%	USD \$ 0.80

Agua	30%	USD \$ 0.08
Barril de polietileno	Envase	USD \$ 0.69
Hidróxido de sodio	No presente en el producto final	USD \$ 0.26
Levadura	No presente en el producto final	USD \$ 0.20
Celulasa	No presente en el producto final	USD \$ 1.12
Sales Buffer	No presente en el producto final	USD \$ 0.84
Extracto de levadura	No presente en el producto final	USD \$ 0.30
Ciclohexano	No presente en el producto final	USD \$ 0.04
Carbón activado	No presente en el producto final	USD \$ 0.60
Valor total	-	USD \$ 4.93*2=9.86

El precio obtenido del frasco de bioetanol de 4 litros al 70% v/v es de USD \$9.86. Si se analiza el valor comercial, se tiene que el precio del alcohol está alrededor de los USD \$8.00 por lo que no se puede doblar al costo de las materias primas, sino que se debe buscar un valor que se adapte a las necesidades del mercado. Es así como, el valor de final para el frasco de bioetanol al 70% v/v debería estar alrededor de USD \$7.00.

1.2.4. Resultados esperados

La producción de bioetanol como combustible y alcohol es un proceso innovador para el país el cual tendría un impacto directo en la vida de los agricultores pertenecientes a la comunidad. Además, la construcción de una nueva planta generará nuevas fuentes de empleo que permitirá mejorar la vida de muchos ecuatorianos. El aumento de la población en la comunidad gracias a esta fuente de empleo, permitirá que el gobierno se preocupe en proveer de servicios básicos, mejore carreteras, construya centros médicos o escuelas en caso de ser necesario.

Por otro lado, se espera que se disminuya la cantidad de gases emitidos hacia la atmósfera por el uso de combustibles fósiles en un pequeño porcentaje, ya que la cantidad de bioetanol usado como aditivo no supera el 5% v/v de la composición total. Esto generará un aire más puro y agradable para las personas y animales que se encuentren cerca de estos

sectores. Además, se espera que este proyecto genere grandes ganancias con el fin de que otras comunidades sean motivadas a seguir invirtiendo en esta clase de proyectos.

BASES DEL DISEÑO

2.1. Descripción del producto

El producto que se desea obtener en el proyecto propuesto es bioetanol con una concentración del 99.5% v/v el cual será usado como desinfectante y como un aditivo a la gasolina. La materia prima principal que son los residuos orgánicos mixtos, serán obtenidos de una comunidad a un precio de USD \$1.00 por quintal. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que este valor puede ir variando dependiendo de la cantidad de residuos generados por época, por lo tanto, existirá un impacto en el análisis económico futuro. Por otro lado, para la producción de bioetanol es necesaria la otra materia prima esencial que es el agua destilada. Esta puede ser adquirida por diferentes fábricas a un precio aproximado de USD \$2.30 por 3.8 litros del compuesto. Sin embargo, para disminuir el precio de comercialización del producto final se va a adquirir una máquina dispensadora de agua destilada que será usada en la planta. Tomando en cuenta esto, se obtiene bioetanol con una composición de 99.5% v/v alcohol y 0.5% v/v de agua.

Una vez finalizado el proceso de obtención del bioetanol con la pureza deseada, se lo almacenará en un tanque de acero inoxidable para su posterior proceso de envasado y distribución. El producto final tendrá dos presentaciones para su comercialización, la primera será en barriles de polietileno de 200 litros que será usado como aditivo a la gasolina. La segunda presentación será en frascos plásticos de 4 litros con bioetanol al 70% v/v para ser usado como desinfectante. Para obtener esta concentración, se realizará una dilución con agua del bioetanol obtenido previamente hasta obtener la concentración deseada.

2.2. Descripción de materias primas

Las materias primas usadas en el proceso de obtención de bioetanol, pueden categorizarse en dos grupos. Primero, se tiene a las materias primas presentes en el producto final que son los residuos orgánicos mixtos y el agua destilada para obtener bioetanol con una concentración alcohólica de 99.5% v/v y 0.5% v/v de agua. Los residuos orgánicos que van a ser usados, son una mezcla entre una variedad de cultivos de la región Interandina como el frijol, haba, choclo, entre otros. Estos residuos serán comprados a una comunidad de pequeños agricultores. La mayoría de estos residuos son compuestos bajos en lignina, pero altos en celulosa por lo que el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa que va a usarse para este análisis se encuentra plasmado en la Tabla 3. Por otro lado, el agua destilada será recolectada de un dispensador para evitar gastos adicionales.

Tabla 3. Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en los residuos mixtos

	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Maíz (Laltha, M., 2021)	38-45 %	26-35 %	8-19 %
Soja (Liu, H., 2017)	29-51 %	10-25 %	1-4 %
Rastrojo de maíz (Zhao, Y. 2020)	36 %	23 %	19 %
Valor final	39 %	28 %	13 %

Segundo, se tiene a las materias primas que no forman parte del producto final, pero participan en el proceso de obtención de bioetanol que son las siguientes: hidróxido de sodio que es capaz de modificar o eliminar la lignina y la hemicelulosa presentes en la biomasa por saponificación de los ésteres intermoleculares en el pretratamiento seleccionado (Goshadrou, A., 2019), la celulasa que se encarga de la degradación enzimática de la celulosa a glucosa en la hidrólisis (Salcedo, J., López, J. & Florez, L., 2011), la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*)

que ayuda en la fermentación de azúcares, las sales buffer que son los nutrientes necesarios para la fermentación, el extracto de levadura que mejora el rendimiento de la fermentación, el ciclohexano que es un solvente con un alto punto de ebullición que permite la separación azeotrópica para obtener bioetanol con la pureza requerida (Fontana, M., et al, 2021), y el carbón activado que se encarga de adsorber el ciclohexano presente en el producto final. En la Tabla 4, que se muestra a continuación, se ve el costo de adquisición de cada materia prima presente en el proceso, las consideraciones de manejo y transporte y los principales proveedores de los mismos.

Tabla 4. Materias primas para la producción de bioetanol

Materia prima	Costo de adquisición por unidad	Consideraciones de seguridad, manejo y transporte	Proveedores
Residuos alimenticios	USD \$0.99 por quintal	N/A	Productores de la comunidad
Agua destilada	USD \$2.30 por galón 3.8 litros	N/A	Novachem S.A Relubquim C.A
NaOH	USD \$0.31 por kilogramo	Usar equipos de protección personal. Almacenar en lugares frescos y secos	Novachem S.A Relubquim C.A
Levadura	USD \$3.60 por kilogramo	Almacenar en un lugar seco y fresco.	Tagshan Topnutri Yeast Bio-Tech
Celulasa	USD \$7 por kilogramo	Almacenar en un lugar seco y fresco.	Ab Enzymes Importación
(NH ₄) ₂ SO ₄	USD \$0.11 por kilogramo	Usar guantes, mandil y lentes. Almacenar en un lugar seco y fresco.	Novachem S.A Relubquim C.A
K ₂ HPO ₄	USD \$0.50 por kilogramo	Usar guantes, mandil y lentes. Almacenar en un lugar seco y fresco.	Novachem S.A Relubquim C.A
MgSO ₄	USD \$3 por kilogramo	Usar guantes, mandil y lentes. Almacenar en un lugar seco y fresco.	Novachem S.A Relubquim C.A
CaCl ₂	USD \$300 por tonelada	Usar guantes, mandil y lentes. Almacenar en un lugar seco y fresco.	Novachem S.A Relubquim C.A

Buffer de citrato de sodio	USD \$ 800 por tonelada	Usar guantes, mandil y lentes. Almacenar en un lugar seco y fresco.	Novachem S.A Relubquim C.A
Extracto de levadura	USD \$1 por kilogramo	Almacenar en lugares frescos, secos y bien ventilados.	Importación
Ciclohexano	USD \$600 por tonelada métrica	Usar guantes, mandil y lentes. Almacenar en lugares frescos, secos y bien ventilados. Temperatura de almacenamiento recomendada: 15-25 °C	Provequim C.A
Carbón activado	USD \$56 por 25 kilogramos	Almacenar en lugares frescos, secos y bien ventilados.	Relubquim C.A Manuarte Ecuador

2.3. Descripción del proceso

2.3.1. Selección de operaciones unitarias

El proceso de la elaboración de bioetanol consiste en tres secciones principales, la preparación de la biomasa, el pretratamiento, y finalmente la hidrólisis, fermentación y purificación del bioetanol como se muestra a continuación.

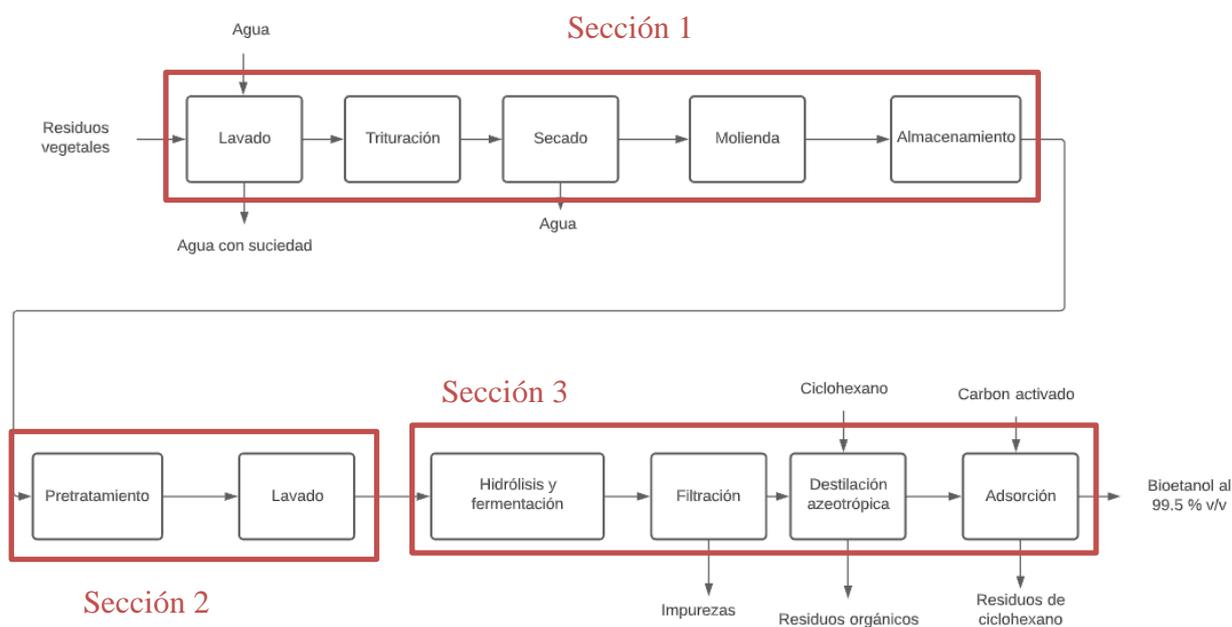


Figura 1. Secciones principales del proceso de obtención de bioetanol

Dentro de estas secciones existen varias operaciones unitarias que tuvieron que ser seleccionadas tomando en cuenta diferentes criterios con el fin de seleccionar el proceso más óptimo y rentable. Para la elección del mejor proceso, se usaron matrices de decisión en donde cada criterio considerado para la selección del mejor proceso se muestra a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5. Selección de operaciones unitarias mediante diversos criterios

Operaciones Unitarias	Opciones disponibles	Ventajas	Desventajas	Opción seleccionada
Molienda	1.Molienda húmeda 2.Molienda seca	1.Adecuado para materias con alto contenido de almidón 2.Genera un alto rendimiento y baja contaminación	1.Se requiere de compuesto químicos 2.En biomazas duras se aumenta el requerimiento energético	Molienda seca
Pretratamiento	1.Pretratamiento alcalino 2.Pretratamiento ácido 3.Pretratamiento térmico	1.Tratamiento más efectivo para mejorar la digestibilidad de la biomasa 2.La lignina se altera en un alto grado 3.Eliminación de aditivos químicos y menor generación de desechos	1.En altas concentraciones de lignina no es un proceso efectivo. 2. Es uno de los procesos más costosos 3. Genera costos energéticos excesivos	Pretratamiento alcalino
Hidrólisis y fermentación	1.Sacarificación y fermentación separadas (SHF) 2.Sacarificación y fermentación	1. Facilidad de manejo de temperaturas en cada etapa 2. Reduce costos de inversión	1. Mayor tiempo de operación 2.Las condiciones de operación	Sacarificación y fermentación simultáneas (SSF)

	simultáneas (SSF)	inicial y se tiene un mayor rendimiento	deben ser a temperaturas y pH intermedios	
Agua destilada	1.Compra de agua destilada 2.Producción de agua destilada	1.Ahorro de compra del dispensador de agua destilada 2.Ahorro a largo plazo	1.A largo plazo puede resultar muy costoso 2. Mayor costo de inversión inicial	Producción de agua destilada

En la primera sección como se muestra en la Figura 1, se tienen operaciones unitarias como el secado y la molienda. En esta sección fue importante definir si se iba a realizar una molienda húmeda o una molienda seca, dependiendo de esto se definiría la posición del secado para la materia prima. Se eligió la molienda seca ya que se genera un mayor rendimiento y una menor contaminación de la biomasa residual presente. Por otro lado, no requiere de sustancias químicas ni un requerimiento energético adicional, por lo que genera un pequeño ahorro.

En la segunda sección se tiene el pretratamiento. El pretratamiento es uno de los pasos más importantes para el proceso, ya que este definirá el rendimiento final de bioetanol obtenido en la fermentación. Se tuvieron que analizar tres posibles pretratamientos hasta hallar el mejor para el proceso mostrado. El pretratamiento ácido es considerado uno de los mejores, sin embargo, es muy costoso y solo es capaz de solubilizar la hemicelulosa pero no la lignina. Además, se forman algunos inhibidores como el furfural y el HMF lo que son un gran problema ya que reducen el rendimiento final (Amin, F. et al.2017). El pretratamiento térmico puede eliminar la adición de químicos, sin embargo, a nivel energético es excesivamente costoso lo que no lo vuelve atractivo a las industrias (Liu, C. & Wyman, C., 2003). Por todo lo mencionado anteriormente, se eligió el pretratamiento alcalino, el cual es un método muy efectivo para mejorar la digestibilidad de la biomasa y gracias a que la cantidad de lignina en la biomasa residual no es alta, puede ser considerada como una excelente opción (Amin, F. et al.2017). Además, se genera un ahorro ya que la materia prima no es muy costosa.

En la tercera sección se tiene el proceso de sacarificación y fermentación. En este caso se eligió la sacarificación y fermentación simultánea (SSF) sobre la sacarificación y fermentación separadas (SHF) ya que se tiene una menor inversión inicial. Además, este método (SSF) genera un mayor rendimiento de bioetanol lo que lo vuelve muy atractivo a nivel industrial. Finalmente, se analizó la forma de obtención de agua destilada al proceso. Tomando en cuenta las dos opciones presentes en la Tabla 5, se optó por la compra del dispensador de agua destilada, el cual representa una inversión inicial mayor pero un gran ahorro a largo plazo.

2.3.2. Descripción del proceso

Una vez conocida las operaciones unitarias que estarán presentes en el proceso de obtención de bioetanol, se lo puede describir a detalle. El proceso consiste en el lavado de la biomasa residual para eliminar la suciedad e impurezas presentes. Luego, se trituran los residuos hasta tener un tamaño adecuado para el secado y una posterior molienda. Las partículas de biomasa obtenidas en la molienda pasan a ser almacenadas para su uso posterior. La biomasa almacenada pasa a un proceso de pretratamiento alcalino en donde se elimina parte de la lignina y queda la celulosa al descubierto. Luego, se realiza un lavado con agua simple para neutralizar el pH de la biomasa. Esta biomasa pretratada pasa a un reactor en donde se realizará el proceso de sacarificación y fermentación simultáneas para obtener el bioetanol. Posteriormente, pasa a una centrifugadora y una destilación azeotrópica para obtener bioetanol con la pureza deseada en donde se usa el ciclohexano como solvente. Finalmente, para eliminar el exceso de ciclohexano se realiza una adsorción con carbón activado. Una vez obtenido el bioetanol con la pureza deseada, pasa al proceso de envasado y almacenamiento para su posterior comercialización. El proceso descrito puede verse en la Figura 2 que se muestra a continuación.

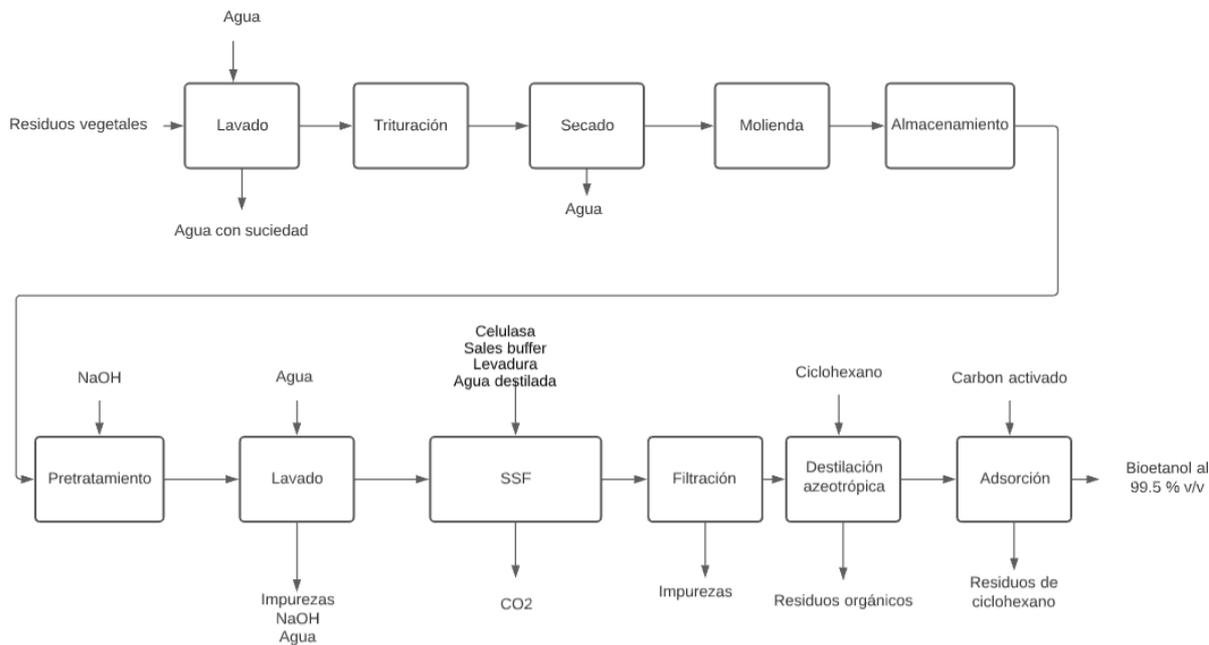


Figura 2. Diagrama de bloque del proceso de obtención de bioetanol

2.4. Ubicación

Para la ubicación de la planta, se tomó en cuenta el lugar de obtención de los residuos mixtos y de la materia prima presente en el proceso. Los residuos mixtos serán obtenidos a través de una comunidad que se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha. Por ello, la planta será ubicada en las afueras de esta provincia en donde no exista mucha población aledaña por el riesgo existente al ser una planta que maneja sustancias químicas. Se requerirá de un terreno muy amplio para que toda la maquinaria puede ser ubicada adecuadamente. El hecho de que la planta se encuentre cerca de la comunidad permitirá que los costos de transporte de los residuos no sean tan elevados. Además, como el objetivo es que los miembros de la comunidad compren el bioetanol a un precio más cómodo, el costo de transporte del producto final hacia la comunidad será bajo si la planta se encuentra cerca.

2.5. Limitaciones y normas

El proyecto planteado tiene algunas limitaciones que son importantes tomar en cuenta antes de su desarrollo. La producción de bioetanol está sujeto a una serie de normas y leyes que limitan su producción y comercialización. En primer lugar, se tiene que los productos obtenidos en la agricultura deben ser usados para la alimentación de la población exclusivamente y no para la producción de biocombustibles debido a la competencia que puede existir entre alimentos y combustibles, es por ello que, se usarán únicamente aquellos residuos orgánicos que no son aptos para el consumo humano (Hassan, K. et al., 2021). En segundo lugar, se debe tomar en cuenta la norma INEN 2478 que establece los requisitos que debe cumplir el etanol anhidro de grado carburante para su comercialización en el país. Esta menciona que la concentración mínima del bioetanol usado como aditivo en la gasolina debe ser de 5% v/v y el resto es gasolina premezclada (99.5% v/v) (INEN, 2009). Además, esta misma norma establece que para ser usado como desinfectante corporal debe tener una concentración del 63 al 70% v/v. Existen otras normas importantes a tomar en cuenta antes de la comercialización del producto final, como el envasado y rotulado el producto.

Por otra parte, al ser un proceso que trabaja con sustancias químicas, se debe tener en cuenta la norma INEN 2266, la cual establece los requisitos que se deben cumplir para el etiquetado, transporte, almacenamiento y el adecuado manejo de los materiales peligrosos presentes en el proceso. Esta norma recalca que debe existir un adecuado etiquetado y clasificación de todas las sustancias presentes sean gases, sólidos o líquidos inflamables, y mostrar el grado de peligro que representan. Además, indica las precauciones que deben tener los transportistas al momento de movilizar sustancias peligrosas y la rotulación respectiva del vehículo a usar (INEN, s.f.).

El funcionamiento de una planta química también tiene ciertos requisitos que son importantes tomar en cuenta como los permisos iniciales antes de su construcción que son los siguientes:

- Permiso de funcionamiento del establecimiento
- Permiso del cuerpo de bomberos
- Patente municipal
- Licencia Ambiental
- Permiso de uso del suelo

DISEÑO DEL PROCESO

En el presente capítulo, se fijará el caudal de producción del proceso, el modo de operación del mismo y se mostrará el balance de masa y energía para conocer cuánto bioetanol se genera a partir del caudal y la cantidad de energía requerida para el mismo.

3.1 Base de cálculo para la producción

En la sección 1.2.2 se especifica que la producción de bioetanol representa una gran oportunidad para el aprovechamiento de los residuos generados en una comunidad ecuatoriana. El proyecto pretende generar un ganancias para la comunidad al momento de producir desinfectantes y gasolina para vehículos de uso diario. Además, se pretende reducir la contaminación por la quema de residuos, por ende, se reduce la cantidad de residuos que no tienen ningún uso. En vista de que el número de residuos generados puede variar dependiendo de la época, se realizó un documento en Excel en donde se puede ir variando el caudal de entrada para ver cuánto bioetanol se produce. Esto puede ser de gran ayuda a la empresa productora de bioetanol, ya que podrá realizar una comparación de las ganancias generadas en función del caudal de producción. A pesar de que el caudal de entrada puede ser modificado,

se realizó el análisis de la planta tomando en cuenta el cuadal proporcionado por la comuna que es una tonelada de residuos mixtos por día.

Tomando en cuenta que el tiempo de producción de bioetanol (Bay, M. et al., 2020), incluyendo el tiempo de limpieza de cada equipo, se calculó que un ciclo de producción durará 72 horas. Por ello, se decidió colocar 3 rectores SSF que permitirán producir bioetanol sin para la planta, de esta manera, se realizarán 23 ciclos de producción de bioetanol al 99.5 % v/v cada mes. El 80% del bioetanol producido equivale a 2157.31 litros de bioetanol por mes, lo cual representa 11 barriles de 200 litros. El 20% de bioetanol, que representa 539.33 litros, será diluido a una concentración del 70% v/v para ser usado como desinfectante en donde se obtiene 766.62 litros de bioetanol al mes; lo que representa 192 frascos plásticos de 4 litros.

3.2. Condiciones de operación

Una vez definido el mejor proceso para la producción de bioetanol, se establecen las condiciones de procesamiento de bioetanol. Para ello, se dividió al proceso en dos etapas principales. En la primera etapa que comprende desde las corrientes 1-10 como se muestra en la Figura 3, los residuos mixtos pasan por la balsa de lavado (L-101), seguido de una trituradora (TR-101) y un horno secador (S-101) donde permanece durante 7 horas a 80°C (Córdova, H. et al., 2021). Luego, pasa a un molino de bolas (M-101) en donde se obtiene un tamaño de partícula de 0.84 mm, para finalmente ser almacenados en un tanque (TK-101) y poder usarlos en la segunda etapa. El ciclo de producción de esta primera etapa es de 24 horas, incluyendo el tiempo de limpieza de cada equipo. Por otra parte, se tiene que la segunda etapa está conformada por las corrientes 11-39 como se ve en la Figura 3, en donde se tiene que la materia prima almacenada pasa a un tanque (TK-102) en donde se realizará el pretratamiento durante 2 horas a 93 °C para eliminar parte de la lignina y usar la celulosa presente en los procesos siguientes. Luego, pasa por un filtro (F-101) y se realiza una recirculación para realizar un

lavado en el mismo tanque y neutralizar el pH. La biomasa pretratada pasa al biorreactor SSF (R-101) durante 72 horas a una temperatura de 37 °C, luego se usa una centrifugadora decantadora (C-101) para eliminar las impurezas del bioetanol (Bay, M. et al., 2020). El producto resultante pasa a dos columnas de destilación (T-101/T-102) para obtener la pureza deseada y una columna de adsorción (T-103) para eliminar el solvente presente. Finalmente, se tiene que el bioetanol obtenido pasa a un tanque de almacenamiento (TK-103) en donde se quedará hasta su distribución. El ciclo de producción de esta etapa es de 72 horas, ya que incluye la fermentación que es el paso limitante.

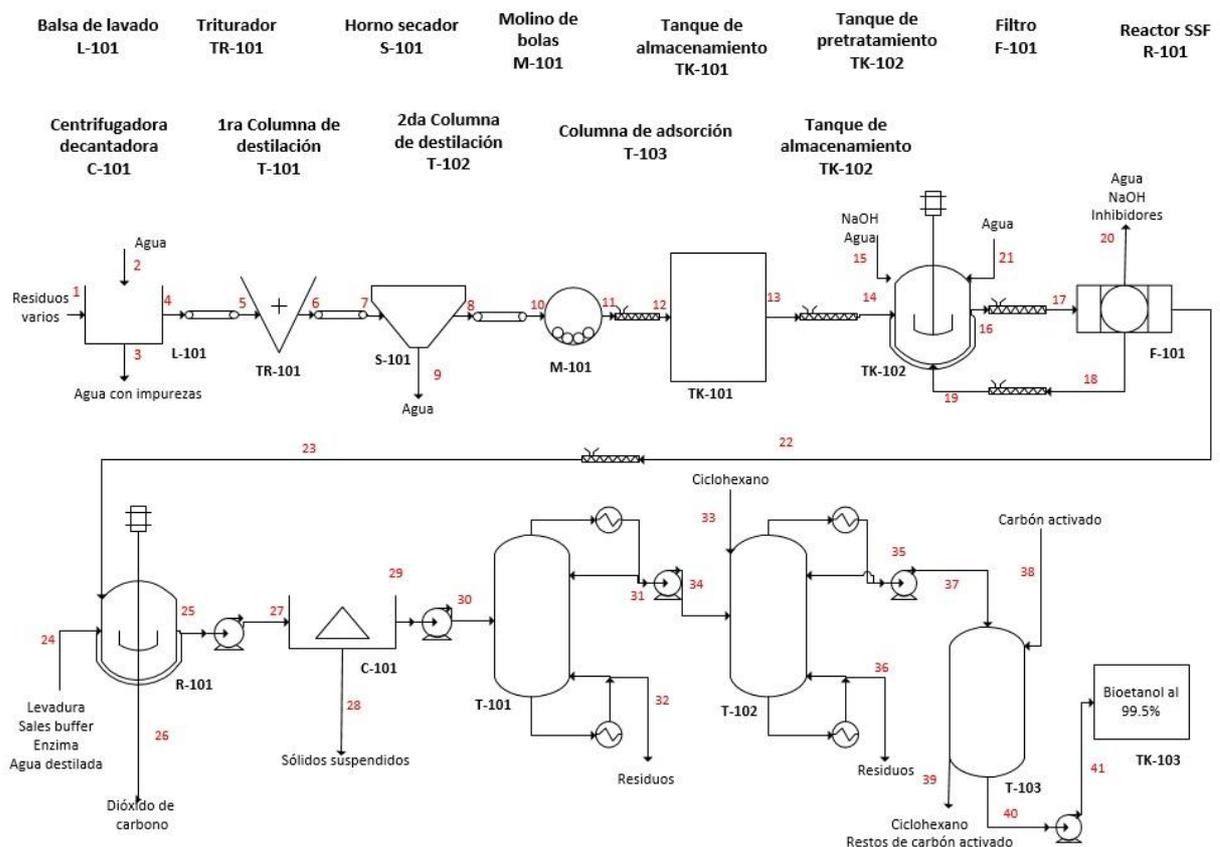


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso

3.3. Balance de masa

El balance de masa del proceso se realizó tomando en cuenta el caudal de generación diaria de residuos mixtos por la comunidad, es decir una tonelada por día, para conocer cuánto bioetanol se generará mensualmente. Para ello, se trabajó de adelante hacia atrás y se tomó en cuenta el rendimiento de cada equipo así como las pérdidas de masa de cada operación unitaria, las cuales se encuentran detalladas en la Tabla A-3. El balance de masa permitió conocer el flujo másico de cada corriente del proceso y la composición de las corrientes principales, las cuales vienen detalladas en kilogramo por ciclo de producción. Para el balance de masa se dividió al proceso en algunas etapas. En la Tabla 6 se mostrará el balance de masa de etapas específicas, mientras que en el Anexo B se mostrará el balance completo.

Tabla 6. Balance de masa de un ciclo de producción de bioetanol

	PREPARACIÓN DE MATERIA PRIMA		PRETRATAMIENTO ALCALINO CON RECIRCULACIÓN				
	Entrada	Salida	Entrada			Salida	
Corriente [kg]	1	13	14	15	19	21	16
Biomasa	1000	873.18	873.18	-	-	-	-
Agua	-	-	-	1693.97	84.70	5003.77	6697.74
Biomasa pretratada	-	-	-	-	501.38	-	501.38
Celulosa solubilizada	-	-	-	-	-	-	79.18
Hemicelulosa solubilizada	-	-	-	-	-	-	183.37
Lignina solubilizada	-	-	-	-	-	-	109.26
NaOH	-	-	-	52.39	2.62	-	52.39
Total	1000	873.18	873.18	1746.36	588.70	5003.77	7623.31

Carbón activado	-	-	-	-	-	0.24	0.24	-
Total	1763.14	2.95	80.68	17.19	80.68	0.24	0.25	80.67

3.4. Balance de energía

Se calculó el consumo individual de energía de cada equipo presente en el proceso. A partir de esto, se obtuvo el consumo semanal de los equipos, multiplicando por el número de horas a la semana durante las cuales el equipo esté en funcionamiento. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Balance y consumo de energía semanal de los equipos

Equipo	Número de equipos	Potencia [kW]	kW/semana
Balsa de lavado	1	4	40
Triturador	1	5.5	27.5
Horno secador	2	22.06	1764.8
Molino de bolas	1	15	75
Tanque de pretratamiento	2	75	1500
Filtro de prensa	1	2.2	4.4
Tanque para SSF	3	50	14400.8
Centrifugadora decantadora	1	2.75	5.5
1ra Columna de destilación	1	17.35	561
2da Columna de destilación	1	0.72	33.12
Destilador de agua	1	7.1	14.2
Caldera	1	519.04	2595.2
Cintas transportadoras	8	22	44
Bomba 1	1	0.008	0.016
Bomba 2	1	0.0119	0.024
Bomba 3	1	0.0008	0.0016
Bomba 4	1	0.00078	0.0016
Bomba 5	1	0.00024	0.00048

Total	-	-	21065.56
--------------	---	---	----------

A partir del balance de masa, se pudo conocer que una tonelada de residuos mixtos producen 80.67 kg de bioetanol al 99.5 % v/v y mediante el balance de energía se logró estimar que se requerirá 21,065.56 kW semanales para producir bioetanol.

DISEÑO DE LA PLANTA

En el capítulo presente, se dimensionarán los equipos presentes en la Figura 3, tomando en cuenta el caudal de producción y la forma en la que cada equipo va a operar. Para ello, se dividió este capítulo en dos secciones. Primero, se mostrará el dimensionamiento de los equipos que se encuentran antes del pretratamiento, y en la segunda sección se mostrará el dimensionamiento de los equipos usados en el pretratamiento, sacarificación y fermentación simultáneas, destilación azeotrópica y adsorción.

4.1. Selección y dimensionamiento de los equipos para la preparación de la materia prima

Esta sección está compuesta por cinco operaciones principales que se encargan de tratar la materia prima hasta su primer tanque de almacenamiento. Primero, se lava la materia prima para eliminar las impurezas presentes, para ello, se usó una balsa de lavado que va a funcionar en un proceso continuo para tratar 1000 kg de residuos por día. Posteriormente, los residuos pasan a un triturador para reducir su tamaño y facilitar la molienda. Luego, se pasa a tres hornos secadores rectangulares en donde se elimina el agua de y la humedad de los residuos. La materia prima seca pasa al molino de bolas en donde se obtiene el tamaño deseado de 0.84 mm. Finalmente, el polvo fino obtenido se almacena en un tanque de acero inoxidable 304. La mayoría de los equipos de esta sección no requieren un dimensionamiento detallado, por lo que

sus especificaciones se obtienen por cotización tomando en cuenta el caudal de entrada. En la Tabla 8, se encuentran las dimensiones de cada equipo. Por otro lado, la metodología y cálculos para equipos dimensionados se encuentra en los anexos A y B respectivamente.

Tabla 8. Especificaciones de los equipos para la preparación de los residuos

Equipo	Capacidad	Dimensionamiento	
Balsa de lavado	500-5000 [kg/h]	6000*1500*1800 [mm] (l*w*h)	
Triturador	200-1000 [kg/h]	900*700*1440 [mm] (l*w*h)	
Horno secador	1.92 [m ³]	4460*2200*2290 [mm] (l*w*h)	
Molino de bolas	500-2000 [kg/h]	900*1800 [mm] (d*h)	
Tanque de almacenamiento	2.69 [m ³]	1125*2701 [mm] (d*h)	
		Espesor del tanque	5 [mm]
		Espesor de los terminales	12.15 [mm]

4.2. Selección y dimensionamiento de equipos usados en pretratamiento, SSF, separación y purificación.

Una vez que el polvo de los residuos está almacenado, se pasa a la segunda sección del proceso en donde se tiene como primer paso al pretratamiento alcalino. El pretratamiento es realizado en un tanque cilíndrico de acero inoxidable 304, el cual operará a 93 °C por 2 horas con agitación continua. Para la agitación, se seleccionaron las aspas Rushton con cuatro hojas ya que son sencillas y pueden intercambiarse fácilmente en caso de ser necesario. Posteriormente, para la sacarificación y fermentación simultáneas, la materia prima pretratada pasará por un biorreactor de acero inoxidable 304 con agitación y calentamiento, el cual operará a 37 °C. Se eligió el biorreactor que opera de manera discontinua porque permite que exista una buena mezcla entre los componentes y se evita el taponamiento inherente que puede darse al usarse varios reactores continuos (Sawai, O., Nunoura, T., & Yamamoto, K., 2013).

Además, se seleccionaron las aspas Rushton porque aseguran una agitación adecuada y permiten trabajar con microorganismos. Una vez que ha terminado la fermentación, la mezcla pasa por una centrifugadora de acero inoxidable 304 para eliminar las impurezas del bioetanol. A continuación, se diseñó un proceso de destilación en dos columna de acero inoxidable 304 para separar el bioetanol del agua presente. En la primera columna de destilación se elimina un gran porcentaje de agua y en la segunda columna de destilación, se agrega un solvente para lograr la pureza deseada (99.5 % v/v). Finalmente, se purificó el fluido usando una columna de acero inoxidable 304 con carbón activado. El bioetanol obtenido pasó a un tanque de almacenamiento de acero inoxidable 304 en donde permanecerá hasta su envasado. Las dimensiones de cada equipo se muestran en la Tabla 9 y la metodología junto a los cálculos realizados se encuentran en los anexos A y B.

Tabla 9. Especificaciones de los equipos para la segunda sección del proceso

Equipo	Capacidad	Dimensiones
Tanque de pretratamiento	6.89 [m ³]	1541*3697 [mm] (d*h)
Filtro de prensa	6487-10479 [kg/h]	2600*1550*2350 [mm] (l*w*h)
Tanque de SSF	4.21 [m ³]	1307*3136 [mm] (d*h)
Centrifugadora	2-10 [m ³ /h]	355*1460 [mm] (d*h)
1ra Columna de Destilación	0.88 [m ³]	540*3840 [mm] (d*h)
2da Columna de Destilación	0.35 [m ³]	299*4940 [mm] (d*h)
Columna de adsorción	0.12 [m ³]	405*971 [mm] (d*h)
Tanque de almacenamiento	0.12 [m ³]	404*970 [mm] (d*h)

4.3. Dimensionamiento de equipos auxiliares

Adicionalmente, se tienen equipos auxiliares al proceso como la caldera de acero inoxidable 304, la cual alimenta de calor a las chaquetas de calentamiento de los tanques del pretratamiento y de SSF. Se diseñó la caldera de tal forma que pueda producir 106.11 kg de vapor por hora, valor que es suficiente para los tanques de pretratamiento y los tanques de SSF. De la misma forma, se tiene a la máquina dispensadora de agua destilada necesaria para el uso

de la planta. Se eligió el equipo por cotización, tomando en cuenta el volumen de agua requerido para el proceso que era de 2510 litros. Las especificaciones de la columna de destilación se encuentran en la Tabla 10, que se muestra a continuación.

Tabla 10. Dimensiones de destilador de agua

Equipo	Capacidad	Dimensiones
Destilador de agua	30 [m ³ /h]	2100*800*1560 [mm] (l*w*h)

ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se identifican los componentes de costos de la planta, a partir de ello, se procede a estimar el flujo de caja de la playa y la estimación de los ingresos. Finalmente, se muestra el tiempo de recuperación de la inversión y el ahorro generado para los miembros de la comunidad. Los resultados obtenidos de la estimación de costos de la planta, se calculan en base a tres métodos de estimación que usan factores de instalación como el de Lang, Hand y el método factorial detallado.

5.1. Estimación de costos de la planta

Para la estimación total de la planta, fue necesario estimar los costos de inversión de capital fijo, el costo de capital de trabajo y el costo de producción. Para ello, lo primero que se hizo fue estimar el costo ISBL de la planta tomando en cuenta el costo de los equipos mostrados en la sección anterior por cotización. Los costos ISBL abarcan los costos de adquisición e instalación de todos los equipos presentes en el proceso.

Para la estimación del costo ISBL, se utilizan tres aproximaciones. La primera corresponde al factor de Lang, el cual realiza una estimación en función del costo del equipo total adquirido; la segunda aproximación corresponde al factor de Hand, el cual realiza una estimación en función de cada equipo y el material, es así como, se usan diferentes factores para los diferentes equipos (Sinnott, R., 2014); finalmente, se tiene el método factorial

detallado el cual realiza la estimación tomando en cuenta factores de instalación y tipo de proceso (fluido, sólido o mixto). En la Tabla 11, se muestran los resultados de la estimación para los costos teóricos y reales de los equipos, tomando en cuenta las diferentes aproximaciones. Además, la metodología y los cálculos respectivos se muestran en los Anexos A y D.

Tabla 11. Estimación del costo ISBL de la planta con diferentes aproximaciones

Aproximación	Costos ISBL teórico [USD \$]	Costos ISBL real [USD \$]
Factor de Lang	1,389,367.26	311,011.14
Factor de Hand	1,187,291.28	273,934.25
Método factorial detallado	1,324,802.11	296,789.30

Para los cálculos posteriores, se usó el costo ISBL obtenido por el método factorial detallado de los costos reales, ya que representa una buena aproximación. A partir de este valor, se calculan los costos de inversión de capital fijo que abarcan al costo ISBL, el costo OSBL, los gastos imprevistos y los costos de ingeniería. El costo OSBL, hace referencia al coste de las adiciones que se pueden hacer en una infraestructura para aumentar la capacidad o dar cabida a la planta; los gastos imprevistos pueden darse por variaciones en el proyecto y los costos de ingeniería incluyen el diseño detallado y otros servicios de ingeniería (Sinnott, R. (2014). A continuación, se tiene la Tabla 12 con el resumen de los costos de inversión de capital fijo; en el Anexo D, se encuentra los respectivos cálculos.

Tabla 12. Resumen de la inversión de capital fijo

Costo	Valor [USD \$]
Costo ISBL	296,789.30
Costo OSBL	118,715.72
Costo de ingeniería	44,518.40
Gastos imprevistos	41,550.50

Total	501,573.92
--------------	------------

Luego, se calcularon los costos de producción variables y fijos del proceso. Para el cálculo de los costos de producción variables, se tomó en cuenta los costos de las materias primas mostrados en la Tabla 4 y los costos de operación. Por otro lado, para el cálculo de los costos de producción fijos se tomó en cuenta el salario de 12 operadores, los cuales irán cambiando de turnos. A estos cálculos se les incluye los seguros, impuestos de propiedad y alquiler de la tierra. A continuación, se muestran los resultados obtenidos; en la Tabla A-21 del anexo D se muestran los cálculos respectivos.

Tabla 13. Estimación de los costos de producción

Costos	Valor [USD \$]
Costos de producción variables	156,971.46
Costos de producción fijos	44,460.35
Total	201,431.81

Finalmente, se realizó una estimación de los costos del capital de trabajo que representan un dinero adicional al costo de la construcción de una planta puesta en marcha y en operación hasta que la misma empiece a ganar sus propios ingresos. En la Tabla 14, se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 14. Estimación del capital de trabajo

Costos	Valor [USD \$]
Inventario materia primas	1,864.52
Inventario productos y subproductos	13,205.49
Efectivo de caja	9,227.75
Cuentas a cobrar	26,410.98
Créditos pendientes	4,684.57
Inventario repuestos	4,155.05
Total	59,548.36

5.2. Estimación de ingresos

Para la estimación de los ingresos de la planta, se toman en cuenta los ingresos generados por la venta de los productos principales, que en este caso sería el bioetanol como aditivo para el combustible y como desinfectante. El valor de venta del producto fue calculado, tomando en cuenta los costos de producción mensuales y el margen de ganancia deseado en cada industria. Una vez obtenido esto, se realizó la estimación de ingresos a la planta tomando en cuenta el caudal de producción propuesto. Para ello, se calculó el margen bruto que es la suma de los ingresos del producto menos los costos de las materia primas; el costo en efectivo de producción que es la suma de costos de producción fijos y variables; el beneficio bruto que incluye todos los costes variables y el beneficio neto que es la diferencia entre el beneficio bruto y los impuestos. El resumen de los cálculos realizados se encuentra en la Tabla 15.

Tabla 15. Estimación de ingresos

Ingresos	Valor [USD \$]
Margen bruto	75,017.35
Costo en efectivo de producción	316,931.81
Beneficio bruto	115,500.00
Beneficio neto	105,652.59

5.3. Análisis de la recuperación y rentabilidad del proyecto

Para conocer si el proyecto es rentable, es necesario conocer el tiempo de recuperación de la inversión en base al capital fijo, capital de trabajo y el beneficio bruto que fueron calculados anteriormente. A partir de ello, se tuvo que el tiempo de recuperación del capital invertido es de 4 años. Además, se calcularon los valores del VAN (Valor Actual neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno). El VAN nos permite conocer el costo de oportunidad del capital, es decir, la cantidad que el inversionista gana versus la inversión realizada. Por otro lado, el TIR permite conocer la viabilidad de un proyecto.

Tabla 16. Análisis de recuperación de inversión

Tasa de interés [%]	12
VAN [USD \$]	322,690.93
TIR	21%
Tiempo de recuperación (años)	4.75

A partir de la Tabla 16, se ve que el proyecto es teóricamente rentable ya que el TIR es mayor a la tasa de interés, sin embargo, el tiempo de recuperación es un poco largo para un inversionista. Además, el precio calculado al que deberían ser vendidos los productos finales para tener un TIR del 21% es de \$1,567.05 el barril de polietileno de 200 litros y \$22.05 los frascos de 4 litros. Estos precios son excesivamente altos en comparación con los que se encuentran en el mercado, por lo que no son competitivos. Tomando en cuenta esto, se realizó un análisis de flexibilidad en donde se varió el caudal de producción y se comparó los precios calculados para los productos finales como se puede ver en la Figura 4 y 5. Mediante este análisis, se determinó que a un caudal de producción mayor, el precio de los productos finales pueden ser menores, por ejemplo, para un caudal de producción de 7 toneladas de residuos vegetales, el barril de polietileno de 200 litros puede ser vendido a un valor de \$440.45 y el frasco de 4 litros a un valor de \$6.20, valores que son competitivos para el mercado.

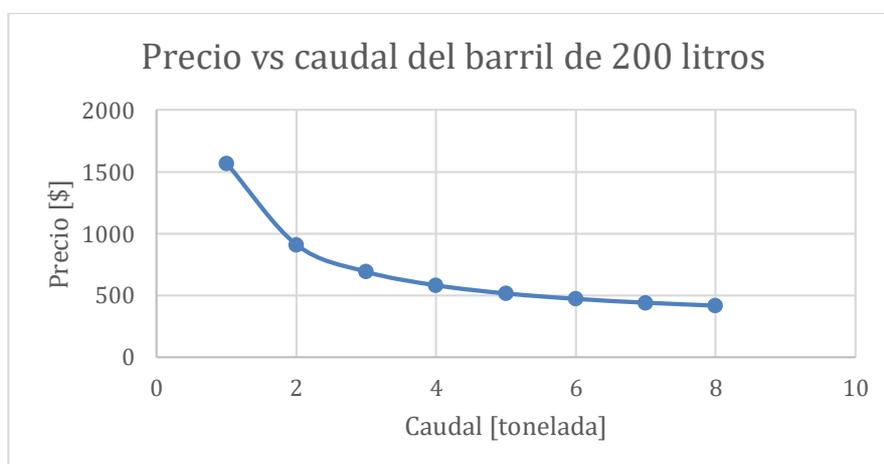


Figura 4. Comparación del precio de un barril de 200 litros en función del caudal de producción

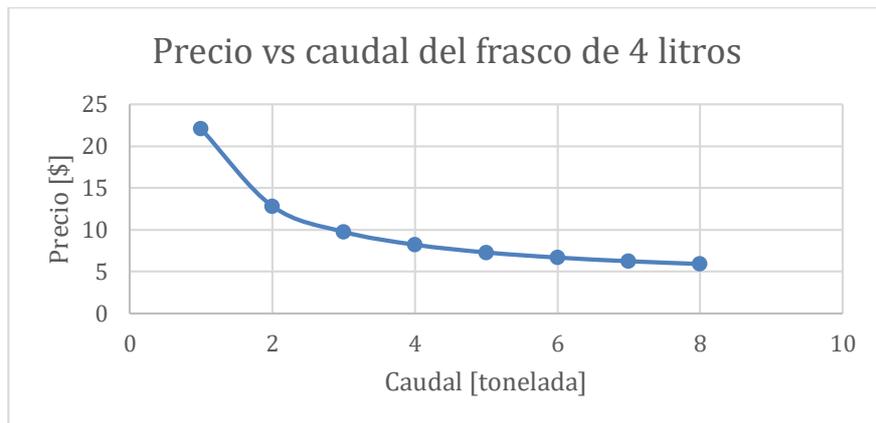


Figura 5. Comparación del precio de un frasco de 4 litros en función del caudal de producción

A partir de esto, se concluye que el proyecto no es rentable porque los precios de los productos finales no son competitivos y el tiempo de recuperación es un poco largo, sin embargo, si el caudal de producción fuera mayor, el proyecto podría tener mejores ganancias y ser más atractivo para un inversionista.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este proyecto se realizó exitosamente el estudio de factibilidad de la planta de bioetanol a partir de residuos mixtos obtenidos en una comunidad que se encuentra en la provincia de Pichincha. El bioetanol obtenido será usado como aditivo al combustible normal y como un desinfectante para los hogares. Se procesará una tonelada de residuos mixtos por ciclo de producción para producir 2,157.31 litros de bioetanol al 99.5 % v/v por mes que será usado como aditivo a los combustibles y 766.62 litros de bioetanol al 70 % v/v al mes que será usado como desinfectante. A partir de ello, se genera un ingreso mensual de USD \$ 26,410.98 para la planta.

Para la producción de bioetanol, se seleccionó un pretratamiento alcalino en donde se eliminó parte de la lignina presente en los residuos. La lignina disminuye el rendimiento de la producción de bioetanol, por ello, es importante tratar la materia prima. Además, se decidió llevar a cabo la sacarificación y fermentación como procesos simultáneos ya que mejora el rendimiento y permite un ahorro en la inversión inicial. Esta operación unitaria será realizada durante 72 horas hasta lograr una conversión de glucosa a bioetanol aceptable. Adicionalmente, fue necesario agregar dos columnas de destilación para realizar una destilación azeotrópica y lograr producir bioetanol al 99.5 % v/v y una columna de adsorción para eliminar el solvente usado (ciclohexano) en la destilación.

Se seleccionaron los equipos necesarios en base al diagrama de flujo mostrado en la Figura 3. Una vez seleccionados los equipos, se realizó el dimensionamiento de la mayoría de ellos como los tanques de pretratamiento, SSF y almacenamiento, así como el horno secador, las columnas de destilación y la torre de adsorción. Mientras que, los equipos que no pudieron ser dimensionados, fueron cotizados tomando en cuenta el caudal de ingreso. Los equipos

cotizados fueron la balsa de lavado, el triturador y el molino de bolas en donde se tomó en cuenta el volumen de la materia prima a procesar.

Posteriormente, se realizó un análisis económico basado en métodos teóricos para determinar si el proyecto es rentable o no. A partir de ello, se obtuvo que el tiempo estimado para empezar a recuperar lo invertido es de 4 años y el TIR es 21%. Pese a que teóricamente el proyecto es rentable, el tiempo de recuperación es un poco largo para ser atractivo. Además, el precio de venta de los productos finales calculado es significativamente alto, en comparación a los precios del mercado actual. Es por ello que, el análisis de flexibilidad nos mostró que al aumentar el caudal de producción, el proyecto puede llegar a ser rentable y atractivo para un inversionista. Por esto, se recomienda replantear el proyecto para obtener los residuos mixtos de un conjunto de comunidades de pequeños agricultores, de esta manera, el caudal de producción será mayor y los productos finales podrán ser vendidos a precios más competitivos para el mercado.

Por último, es importante mencionar que el tratamiento de los efluentes como el NaOH producto del pretratamiento, el carbón activado usado en la columna de adsorción y el ciclohexano, pueden generar gastos adicionales a la planta, por lo que es necesario considerarlos. El transporte de materias primas y del producto final también es un valor que debe considerarse, por lo que, antes de poner en marcha el proyecto, es necesario considerar varios aspectos que no fueron analizados en este informe para evitar problemas futuros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alibaba. (2021). *Etanol/bioetanol/alcohol etílico bio combustible etanol anhidro absoluto con 99.9%*. Recuperado de: https://spanish.alibaba.com/product-detail/bioethanol-bio-ethanol-bio-fuel-ethyl-alcohol-absolute-anhydrous-ethanol-with-99-9--60814884514.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.70ca9b03sWuVWh
- Amin, F. R., Khalid, H., Zhang, H., Rahman, S. u, Zhang, R., Liu, G., & Chen, C. (2017). *Pretreatment methods of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion*. *AMB Express*, 7(1). doi:10.1186/s13568-017-0375-4
- Bay, M. S., Karimi, K., Nasr Esfahany, M., & Kumar, R. (2020). *Structural modification of pine and poplar wood by alkali pretreatment to improve ethanol production*. *Industrial Crops and Products*, 152, 112506. doi:10.1016/j.indcrop.2020.112506
- Córdova-Noboa, H. A., Oviedo-Rondón, E. O., Matta, Y., Ortiz, A., Buitrago, G. D., Martínez, J. D., ... Sorbara, J. O. B. (2021). *Corn kernel hardness, drying temperature and amylase supplementation affect live performance and nutrient utilization of broilers*. *Poultry Science*, 100(10), 101395. doi:10.1016/j.psj.2021.101395
- Cruz, A. & et al. (2011). *Aprovechamiento del bagazo de piña para obtener celulosa y bioetanol*. 68 (55), 38-43.
- Fiallo, J. (2017). *Importancia del Sector Agrícola en una Economía Dolarizada*. [PDF]. Recuperado de: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6807/1/134856.pdf>
- Fontana, M., Marchesan, A. N., Maciel Filho, R., & Maciel, M. R. W. (2021). *Extractive distillation to produce anhydrous bioethanol with choline chloride with urea (1:2) as a solvent: a comparative evaluation of the equilibrium and the rate-based models*. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 168, 108580. doi:10.1016/j.cep.2021.108580
- Gallezot, P. (2007). *Catalytic routes from renewables to fine chemicals*. *Catalysis Today*, 121(1-2), 76–91. doi:10.1016/j.cattod.2006.11.019
- Geankoplis, c. J. (2009). *Procesos de transporte y principios de procesos de separacion incluye operaciones unitarias* (4a. Ed., 3a. Reimp.). Mexico: grupo editorial patria.
- Giroto, F., Alibardi, L., & Cossu, R. (2015). *Food waste generation and industrial uses: A review*. *Waste Management*, 45, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.008>

- Goshadrou, A. (2019). *Bioethanol production from Cogongrass by sequential recycling of black liquor and wastewater in a mild-alkali pretreatment*. *Fuel*, 258, 116141. doi:10.1016/j.fuel.2019.116141
- Hassan, M. K., Chowdhury, R., Ghosh, S., Manna, D., Pappinen, A., & Kuittinen, S. (2021). *Energy and environmental impact assessment of Indian rice straw for the production of second-generation bioethanol*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101546. doi:10.1016/j.seta.2021.101546
- INEN. (2009). *Etanol anhidro requisitos*. Recuperado de: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2478.pdf>
- INEN. (s.f.). *Transporte, etiquetado, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos*. Recuperado de: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2266.pdf
- Kang, C., Huang, Y., Yang, H., Yan, X. F., & Chen, Z. P. (2020). *A Review of Carbon Dots Produced from Biomass Wastes*. *Nanomaterials*, 10(11), 2316. doi:10.3390/nano10112316
- Liu, C., & Wyman, C. E. (2003). *The Effect of Flow Rate of Compressed Hot Water on Xylan, Lignin, and Total Mass Removal from Corn Stover*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(21), 5409–5416. doi:10.1021/ie030458k
- Martínez, L. (2013). *La agricultura Familiar en el Ecuador*. [PDF]. Recuperado de: https://rimisp.org/wp-content/files_mf/1434745799147AgriculturaFamiliarEcuadorMartinez_editado.pdf
- Mercado libre. (2021). *Etanol Absoluto Anhidro Litro*. Recuperado de: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-505574334-etanol-absoluto-anhidro-litro-_JM#position=6&search_layout=stack&type=item&tracking_id=13e8c9dd-77a9-407e-9b85-5c306f262fd3
- Mohammed, B. B., Dari, W. A., & Mohsin, Y. M. B. (2019). *Effects of Bioethanol produced by Saccharomyces cerevisiae from some legumes residues on some pathogenic bacteria*. *Biochemical and Cellular Archives*, 19, 2571–2577. <https://doi.org/10.35124/bca.2019.19.S1.2571>
- Moneruzzaman Khandaker, M., Aliyu Abdullahi, U., Dogara Abdulrahman, M., Afiza Badaluddin, N., & Suryati Mohd, K. (2020). *Bio-Ethanol Production from Fruit and Vegetable Waste by Using Saccharomyces cerevisiae*. In *Bioethanol [Working Title]*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94358>

- Pacheco, M. (2019). *La compra de etanol local para producir la ecopaís se retoma*. Recuperado de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/etanol-ecopais-ministerio-energia-biocombustible.html>
- Pfeiffer, B. E., Sundar, A., & Deval, H. (2021). Not too ugly to be tasty: Guiding consumer food inferences for the greater good. *Food Quality and Preference*, 92, 104218. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104218>
- Salcedo, J., López, J. & Florez, L. (2011). *Evaluation of enzymes for the hydrolysis of waste (leaves and top cane) from the harvest of sugar cane*. *Dyna*, 78(169), 182-190.
- Sawai, O., Nunoura, T., & Yamamoto, K. (2013). *Supercritical water gasification of sewage sludge using bench-scale batch reactor: advantages and drawbacks*. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16(1), 82–92. doi:10.1007/s10163-013-0144-7
- Seadi, T. Al, & Holm-Nielsen, J. B. (2004). *III.2 Agricultural wastes*. In Waste Management Series (Vol. 4, pp. 207–215). [https://doi.org/10.1016/S0713-2743\(04\)80011-4](https://doi.org/10.1016/S0713-2743(04)80011-4)
- Sindhu, R., Binod, P., Pandey, A., Ankaram, S., Duan, Y., & Awasthi, M. K. (2019). *Biofuel Production From Biomass*. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, 79–92. doi:10.1016/b978-0-444-64083-3.00005-1
- Sinnott, R. (2014). *Chemical engineering design* (Vol. 6). Elsevier.

ANEXOS

8.1 Anexo A: Metodología

8.1.1. Objetivo específico 1- Escoger el método más adecuado de la producción de bioetanol a partir de residuos mixtos obtenidos en una comunidad.

1.1. *Realizar una recolección del material bibliográfico para la producción de bioetanol a partir de residuos varios.*

- 1.1.1. Buscar información en la base de datos sobre la importancia de la agricultura para el Ecuador.
- 1.1.2. Buscar en la base de datos información a escala de laboratorio
- 1.1.3. Buscar en la base de datos información a escala de proyecto
- 1.1.4. Buscar en la base de datos información a escala industrial sobre el proceso

1.2. *Definir el caudal del producción*

- 1.2.1. Identificar el uso que se va a dar al producto
- 1.2.2. Identificar la cantidad de residuos que puede producir la comunidad por día
- 1.2.3. Seleccionar la cantidad de materia prima necesaria para un ciclo de producción

1.3. *Definir las operaciones unitarias para el diseño del proceso*

- 1.3.1. Comparar las diferentes alternativas existentes en el proceso de producción
- 1.3.2. Seleccionar la mejor alternativa para el proyecto
- 1.3.3. Realizar el diagrama de bloque
- 1.3.4. Realizar el diagrama de flujo con la información obtenida

1.4. *Cálculo del balance de masa*

- 1.4.1. Definir las corrientes y la composición de cada una
- 1.4.2. Definir las pérdidas de masa en cada operación unitaria
- 1.4.3. Identificar las variables conocidas y desconocidas
- 1.4.4. Calcular los caudales de cada corriente tomando en cuenta especificaciones del proceso.

1.5. Cálculo del balance de energía

- 1.5.1. Investigar el consumo energético de cada equipo
- 1.5.2. Calcular la generación y disipación de energía en los equipos
- 1.5.3. Calcular el consumo energético semanal

8.1.2. Objetivo específico 2- Diseñar la planta de producción de bioetanol mediante la selección y dimensionamiento de equipos.

A. Seleccionar el material de construcción y volumen de cada equipo usado en el proceso.

- a. Identificar el material adecuado para los equipos según la materia prima usada
- b. Identificar el caudal de ingreso a cada equipo

B. Realizar el dimensionamiento de cada equipo presente en el proceso.

- a. Balsa de lavado
 - Buscar un equipo que tenga la capacidad de procesamiento requerida
- b. Triturador
 - Buscar un equipo que tenga la capacidad de procesamiento requerida
- c. Horno secador
 - Se calcula el volumen del caudal de entrada, tomando en cuenta la densidad de ciertos residuos como el frijol, el maíz y el haba

- Se calcula la profundidad del tanque, usando la siguiente fórmula obtenida en la literatura, considerando un 15% más en el volumen por seguridad.

$$V = 3P^3$$

Donde:

V= volumen [m³]

P= profundidad del horno [m]

- Se calcula la altura y la profundidad del horno tomando en cuenta la relación mostrada a continuación.

$$\text{Altura}=2*P$$

$$\text{Ancho}=1.5*P$$

Donde:

P = profundidad del horno [m]

d. Molino de bolas

- Buscar un equipo que tenga la capacidad de procesamiento requerida

e. Tanque de almacenamiento 1

- Se calcula el volumen del caudal de entrada de un ciclo de producción, tomando en cuenta la densidad de ciertos residuos como el frijol, el maíz y el haba.
- Se calcula el diámetro y la altura de un tanque en forma cilíndrica, considerando el volumen de operación.
- Calcular la altura (altura=2*diámetro) y adicionar un 20% más por motivos de seguridad.

- Calcular la presión interna del tanque y adicionar un 10% por motivos de seguridad.
- Calcular el espesor del tanque mediante la siguiente relación:

$$t_w = \frac{P_i * D_i}{2 * S * E - 1.2 * P_i} + 2mm$$

Donde:

P_i = presión interna del tanque

D_i = diámetro interno del tanque

S = esfuerzo máximo permisible

E = eficiencia de la soldadura

- Calcular la masa del tanque

$$m = \pi * D * L * t_w * \rho$$

Donde:

m = masa del tanque

D = diámetro del tanque

L = Altura del tanque

t_w = espesor de la pared

ρ = densidad del acero inoxidable

- Calcular el espesor de los terminales del tanque usado lo siguiente.:

$$t_{w_{terminales}} = D_i \sqrt{\frac{C P_i}{S E}}$$

Donde:

D_i = diámetro interno del tanque

C = constante (0.1)

P_i = presión interna del tanque

S = esfuerzo máximo permisible

E = eficiencia máxima de la soldadura

- Calcular la masa de los terminales

$$m_{terminales} = \pi * D^2 * t_w * \rho$$

Donde:

D = diámetro del tanque [m]

t_w = espesor de la pared [m]

ρ = densidad del acero inoxidable [kg/m^3]

- Para obtener la masa total del tanque se suman las masas de los terminales y del tanque.

f. Tanque de pretratamiento

- Utilizar el volumen de los compuestos presentes en el proceso para calcular el volumen de entrada al tanque en un ciclo de producción.
- Para el cálculo de la altura, ancho, espesor del tanque, masa del tanque, espesor de los terminales y masa de los terminales, seguir la misma metodología que el tanque de almacenamiento 1.
- Determinar el mejor tipo de aspas para el proceso considerando la composición de la mezcla y sus características.

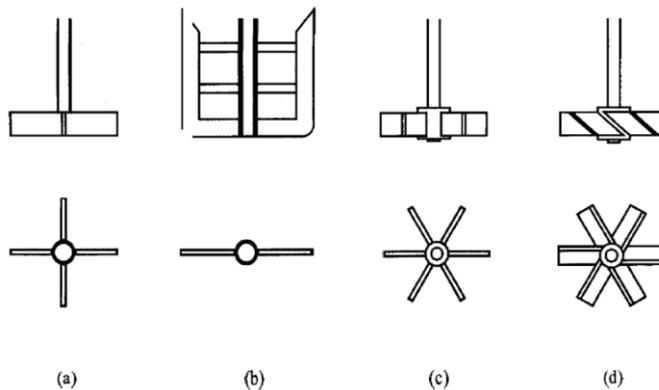


Figura A-1. Tipo de aspas a) paleta de cuatro aspas, b) paleta de compuerta o ancla, c) turbina abierta de seis aspas d) turbina de aspas inclinadas (Geankoplis, c., 2009).

- Calcular el diámetro del agitador

$$D_{agitador} = \frac{D_{tanque}}{3}$$

- Calcular la potencia del agitador

$$P_{agitador} = N_p * D_{agitador}^5 * N^3 * \rho$$

Donde:

N_p = número de potencia

$D_{agitador}$ = diámetro del agitador [m]

N = velocidad de rotación [rev/s]

ρ = densidad de la mezcla [kg/m^3]

- Para calcular el N_p , se debe calcular el número de Reynolds de la mezcla para luego, hacer uso del siguiente gráfico (Geankoplis, c., 2009).

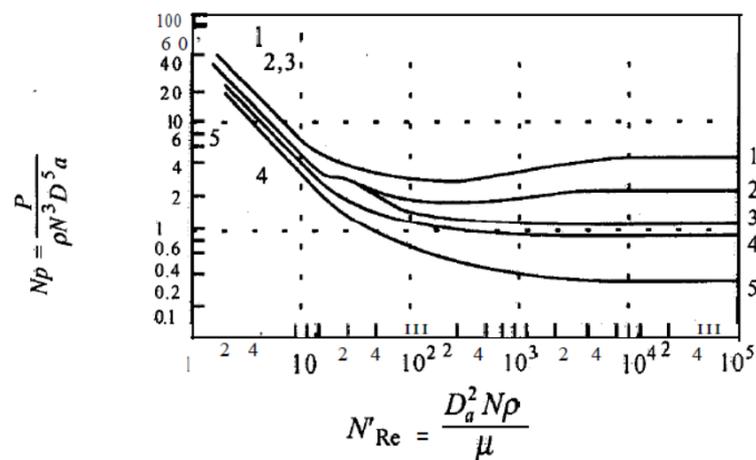


Figura A-2. Gráfico para calcular el N_p

- Calcular el área de la chaqueta térmica

$$A = 2 * \pi * r^2 * 1.2$$

Donde:

r^2 = radio del tanque

- Calcular el grosor de la chaqueta térmica tomando el 1% del área calculada.

g. Filtro

- Definir el tipo de filtro que desea.
- Buscar un equipo que tenga la capacidad de procesamiento y el tipo de filtración requerida.

h. Tanque de SSF

- Utilizar el volumen de los compuestos presentes en el proceso para calcular el volumen de entrada al tanque en un ciclo de producción.
- Para el cálculo del diámetro, altura, espesor del tanque, masa del tanque, espesor de los terminales, masa de los terminales, potencia del agitador y área de la chaqueta térmica, seguir la metodología del tanque de pretratamiento.

i. Centrifugadora

- Buscar un equipo que tenga la capacidad de procesamiento requerida.

j. Ira Columna de destilación

- Utilizar el volumen de los compuestos presentes en el proceso para calcular el volumen de entrada a la columna en un ciclo de producción.

- Utilizar el programa de simulación ASPEN HYSYS para obtener el número de platos necesarios y el calor del evaporador tomando en cuenta el caudal de entrada a la columna.
- Calcular el diámetro de la columna usando la relación que se muestra a continuación.

$$\frac{Q}{d^2} = 350000$$

Donde:

Q= calor de evaporador [BTU/h]

d= diámetro de la columna [pies]

- A partir del cálculo del diámetro de la columna, se toma en cuenta la siguiente tabla para determinar el espaciamiento entre los platos.

Tabla A-1. Relación del diámetro con el espaciamiento entre platos de una columna de destilación

Diámetro (pies)	Espaciamiento entre platos (pulgadas)
2.5-3	18 o 24
3-10	24
10-20	30
≥ 20	>30

- Adicionar un 15% más a la altura de la columna como rango de seguridad.
- Calcular el volumen considerando las ecuaciones de un cilindro.

k. 2da Columna de destilación

- Utilizar el volumen de los compuestos presentes en el proceso para calcular el volumen de entrada a la columna en un ciclo de producción.
- Seguir la metodología de la 1ra columna de destilación.

l. Columna de adsorción

- Utilizar el volumen de los compuestos presentes en el proceso para calcular el volumen de entrada a la columna en un ciclo de producción.
- Obtener el diámetro y la altura de la columna siguiendo la metodología del tanque de almacenamiento 1.

m. Tanque de almacenamiento 2

- Utilizar el volumen de los compuestos presentes en el proceso para calcular el volumen de entrada al tanque en un ciclo de producción
- Para el cálculo de la altura, ancho, espesor del tanque, masa del tanque, espesor de los terminales y masa de los terminales, seguir la misma metodología que el tanque de almacenamiento 1.

n. Destilador de agua

- Buscar un equipo que tenga la capacidad de procesar la cantidad de agua requerida para el proceso

o. Bombas

- Analizar el tipo de fluidos que pasan por las corrientes
- Seleccionar el tipo de bomba más adecuado
- Calcular la potencia de la bomba

$$P = \frac{q * P}{n * 450}$$

Donde:

q= caudal másico [litros/min]

P= presión [Bar]

n= rendimiento total de la bomba

p. Cintas transportadoras

- Cotizar un equipo que tenga la capacidad requerida

q. Caldera

- Calcular la cantidad de vapor de agua generado en un ciclo de producción.

$$W_s = \frac{M * C_p * \Delta t}{h_{fg} * h}$$

Donde:

W_s = caudal de vapor [kg/h]

M= masa del material que se va a calentar [kg]

C_p = calor específico [kJ/kg*°C]

Δt = incremento de temperatura [°C]

h_{fg} = entalpía de evaporación del vapor [kJ/kg]

h= horas

- Cotizar un equipo que pueda procesar la cantidad de vapor requerido para un ciclo de producción.

8.1.3. Objetivo específico 3 - Realizar un análisis económico para determinar la factibilidad del proyecto según la cantidad de residuos producidos

A. Determinar el costo de los equipos

- i. Buscar empresas que fabriquen los equipos que no fueron dimensionados, tomando en cuenta el caudal de entrada y las características requeridas. A partir de ello, establecer su costo.
- ii. Utilizar la siguiente fórmula obtenida de la Tabla 6.3 del libro de Sinnott para calcular el costo de los equipos dimensionados utilizando factores establecidos.

$$C_e = a + b * S^n$$

Donde:

C_e = costo del equipo

a, b= constantes que se encuentran en la Tabla 6.3 del libro de Sinnott

S= parámetro requerido y calculado

n= constante para cada tipo de equipo

B. Realizar una estimación de costos según varios factores

- i. Estimación del ISBL con el factor de LANG
 - Definir el factor de LANG a usarse
 - ❖ F=3.1 para procesamiento de sólidos
 - ❖ F=4.74 para procesamiento de fluidos
 - ❖ F=3.63 para procesamiento de sólidos y fluidos mezclados
 - Sumar los costos y multiplicar por el factor de LANG.

$$C = F \left(\sum C_e \right)$$

- ii. Estimación del ISBL con el factor de HAND
 - Seleccionar el factor de material de cada equipo (1.3 para acero inoxidable)
 - Seleccionar el factor de HAND para cada equipo

- Multiplicar el costo de los equipos por el factor de HAND y el de material
- Sumar los valores obtenidos para obtener la estimación de costos

II. Estimación del ISBL con el factor detallado

- Definir el factor de material para cada equipo según la Tabla 6.5 del libro de Sinnott
- Definir el tipo de procesamiento de la planta.
- Definir los valores de los factores (instalación, tubería, etc.)
- Multiplicar el costo de los equipos por los factores detallados

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

Donde:

C_e = costo del equipo

f_p = factor de instalación para tuberías

f_m = factor de material

f_{er} = factor de montaje de equipo

f_{el} = factor de trabajo eléctrico

f_i = factor de instrumentación y control del proceso

f_c = factor de trabajo de ingeniería civil

f_s = factor para las estructuras y los edificios

f_l = factor para protección, aislamiento o pintura

- Sumar los valores obtenidos para obtener la estimación de costos.

C. Calcular la inversión de capital fijo

- i. Se seleccionó el costo ISBL del factor detallado por ser el que tiene una mejor estimación
- ii. Calcular el costo OSBL como el 40% del ISBL
- iii. Calcular los costos de ingeniería y construcción como el 15% del ISBL
- iv. Calcular los gastos imprevistos como el 10% del ISBL + OSBL

D. Calcular los costos de producción

- i. Calcular los costos fijos de producción
 - Labor de operación= salario del personal
 - Supervisión= 25% del costo de labor de operación
 - Gastos Salariales= 40% del labor de operación + supervisión
 - Mantenimiento= 3% del ISBL
 - Impuesto sobre propiedad y seguros= 1% del ISBL
 - Alquiler de la tierra= 1% del ISBL + OSBL
 - Gastos generales de la planta= 65% del trabajo total + mantenimiento
 - Gastos medioambientales= 1% del ISBL + OSBL
- ii. Calcular los costos variables de producción
 - Calcular las materias primas utilizadas en un año y los gastos de electricidad.

E. Calcular el capital de trabajo

- i. Inventario de materias primas= costo de materias primas por 2 semanas
- ii. Inventario de productos y subproductos= costos de producción por 2 semanas
- iii. Efectivo de caja= costos de producción de 1 semana

- iv. Cuentas por cobrar= costos de producción de 4 semanas
- v. Créditos pendientes= costo total de suminitros (materias primas, electricidad) por 4 semanas
- vi. Repuestos= 1% del ISBL + OSBL

F. Calcular los ingresos de la planta

- i. Calcular las ventas anuales usando lo siguiente: *Producción anual * Precio de venta*
- ii. Calcular el margen bruto: *Ventas anuales – Materia prima anual*
- iii. Calcular el beneficio bruto: *Ventas anuales – (COP fijo + COP variable)*
- iv. Calcular beneficio neto: *Beneficio bruto – Impuestos (12%)*

G. *Calcular el flujo de caja considerando la depreciación y usando el método lineal*

H. *Calcular la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN)*

- i. Emplear la función VAN considerando los valores obtenidos en el flujo de caja en Excel.
- ii. Emplear la función TIR de Excel y verificar que el valor obtenido sea mayor que la tasa de interés del banco.

I. *Calcular el tiempo de recuperación de la inversión usando lo siguiente:*

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio Neto}}$$

J. *Determinar si el proyecto es rentable o no*

8.2. Anexo B: Cálculos y resultados

8.2.1. Pérdidas de masa en operaciones unitarias

Tabla A-2. Pérdida de masa en operaciones unitarias seleccionadas del proceso

Operaciones Unitarias	% de pérdida de masa	Método de cálculo
Balsa de lavado	2%	Teórico
Horno secador	5%	Teórico
Molino de bolas	1%	Teórico
Tanque de pretratamiento	1%	Teórico
Tanque SSF	1.25%	Teórico

8.2.2. Materias primas usadas en el balance de masa

Tabla A-3. Cantidad de materias primas usadas

Materia prima	Cantidad usada
Residuos mixtos	1 tonelada
Agua lavado	0.2 kg de agua por kg del residuo
Hidróxido de sodio	0.06 gramos por gramo del residuo
Agua para el pretratamiento	2 veces la cantidad de residuos que ingresan
Levadura	5 gramos por litro de la mezcla
Enzima	20 FPU por gramo del residuo
Agua destilada	150 ml por cada 30 gramos del residuo
(NH ₄) ₂ SO ₂	7.5 gramos por litro de la mezcla
KH ₂ PO ₄	3.5 gramos por litro de la mezcla
MgSO ₄	0.75 gramos por litro de la mezcla
CaCl ₂	1 gramo por litro de la mezcla
Citrato de sodio	20 ml por cada litro de la mezcla
Extracto de levadura	5 gramos por cada litro de la mezcla
Ciclohexano	0.31 gramos por cada kg de mezcla de bioetanol
Carbón activado	3.9 kg por cada kg de ciclohexano

8.2.3. Balance de masa

Tabla A-4. Balance de masa completo del proceso

Corriente [kg]	1	2	3	4	5
Biomasa	1000	0	20	980	980
Agua	0	200	196	4	4
Total	1000	200	216	984	984
Corriente [kg]	6	7	8	9	10
Biomasa	980	980	0	882	882

Agua	4	4	102	0	0
Total	984	984	102	882	882
Corriente [kg]	11	12	13	14	15
Biomasa	873.18	873.18	873.18	873.18	-
Agua	-	-	-	-	1693.97
Biomasa pretratada	-	-	-	-	-
Celulosa solubilizada	-	-	-	-	-
Hemicelulosa solubilizada	-	-	-	-	-
Lignina solubilizada	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	52.39
Total	873.18	873.18	873.18	873.18	1746.36
Corriente [kg]	16	17	18	19	20
Biomasa pretratada	501.38	501.38	501.38	501.38	-
Agua	6697.74	6697.74	84.70	84.70	6613.04
Celulosa solubilizada	79.18	79.18	-	-	79.18
Hemicelulosa solubilizada	183.37	183.37	-	-	183.37
Lignina solubilizada	109.26	109.26	-	-	109.26
NaOH	52.39	52.39	2.62	2.62	49.77
Total	7623.31	7623.31	588.70	588.70	7034.61
Corriente [kg]	21	22	23	24	25
Biomasa pretratada	-	501.38	501.38	-	247.61
Agua	5003.77	350.26	350.26	2506.90	2381.55
Glucosa	-	-	-	-	100.60

NaOH	-	-	-	-	-
Celulasa	-	-	-	0.65	0.65
Levadura	-	-	-	3.09	37.02
Sal buffer: (NH ₄) ₂ SO ₂	-	-	-	18.80	18.80
Sal buffer: KH ₂ PO ₄	-	-	-	8.77	8.77
Sal buffer: MgSO ₄	-	-	-	1.88	1.88
Sal buffer: CaCl ₂	-	-	-	2.51	2.51
Sal buffer: citrato de sodio	-	-	-	32.59	32.59
Extracto de levadura	-	-	-	12.53	12.53
Bioetanol	-	-	-	-	96.05
Total	5003.77	851.64	851.64	2587.72	2940.57
Corriente [kg]	26	27	28	29	30
Biomasa pretratada	-	247.61	247.61	-	-
Agua	-	2381.55	714.47	1667.09	1667.09
Glucosa	-	100.60	100.60	-	-
NaOH	-	-	-	-	-
Celulasa	-	0.65	0.65	-	-
Levadura	-	37.02	37.02	-	-
Sal buffer: (NH ₄) ₂ SO ₂	-	18.80	18.80	-	-
Sal buffer: KH ₂ PO ₄	-	8.77	8.77	-	-
Sal buffer: MgSO ₄	-	1.88	1.88	-	-
Sal buffer: CaCl ₂	-	2.51	2.51	-	-
Sal buffer: citrato de sodio	-	32.59	32.59	-	-

Extracto de levadura	-	12.53	12.53	-	-
Bioetanol	-	96.05	-	96.05	96.05
Dióxido de carbono	91.75	-	-	-	-
Total	91.75	2940.57	1177.43	1763.14	1763.14
Corriente [kg]	31	32	33	34	35
Agua	14.24	1652.85	-	14.24	0.39
Bioetanol	80.68	15.37	-	80.68	80.28
Ciclohexano	-	-	2.95	-	0.012
Total	94.92	1668.22	2.95	94.92	80.68
Corriente [kg]	36	37	38	39	40
Agua	13.85	0.39	-	-	0.39
Bioetanol	0.40	80.28	-	-	80.28
Ciclohexano	2.94	0.012	-	0.011	0.0012
Carbón activado	-	-	0.24	0.24	-
Total	17.19	80.68	0.24	0.25	80.67
Corriente [kg]	41				
Agua	0.39				
Bioetanol	80.28				
Ciclohexano	0.0012				
Total	80.67				

8.2.4. Dimensionamiento del horno secador

Tabla A-5. Cálculos del dimensionamiento del horno secador

Horno secador	Datos
Densidad de los residuos (kg/m ³)	780
Volumen de entrada (m ³)	1.26

Volumen de entrada (L)	1260
Volumen de entrada (m ³)+15%	1.52
Largo (m)	1.31
Ancho (m)	1.97
Altura (m)	2.63

8.2.5. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento 1

Tabla A-6. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento 1

Tanque de almacenamiento 1	Datos
Densidad de los residuos (kg/m ³)	780
Volumen de entrada (L)	1119.46
Volumen de entrada (m ³)	1.12
Altura (m) +20%	2.14
Diámetro (m)	0.89
Volumen del tanque (m ³)	1.34
Presión del tanque	
Gravedad (m/s ²)	9.81
Presión de operación (bar)	1.18
Presión de diseño (bar)	1.30
Espesor del tanque	
Acero inoxidable 304:	
Pdiseño (N/mm ²)	0.13
S (N/mm ²)	115.14
E	1
tw (mm)	0.50
tw + 2 mm seguridad	2.50
tw calculado (m)	0.0025
tw establecido (m)	0.005
Espesor de los terminales	
tw (mm)	9.47
tw calculado (m)	0.009
tw establecido (m)	0.009
Masa del tanque y terminales	
Densidad del acero inoxidable 304 (kg/m ³)	7850
Masa del tanque (kg)	236.12
Masa terminales (kg)	372.79
Masa Total (kg)	608.91

8.2.6. Dimensionamiento del tanque de pretratamiento

Tabla A-7. Cálculos del dimensionamiento del tanque de pretratamiento

Tanque de pretratamiento	Datos
Volumen de entrada (L)	5742.69
Volumen de entrada (m ³)	5.74
Altura (m) +20%	3.70
Diámetro (m)	1.54
Volumen del tanque (m ³)	6.89
Presión del tanque	
Gravedad (m/s ²)	9.81
Presión de operación (bar)	1.49
Presión de diseño (bar)	1.63
Agitador	
Diámetro (m)	0.51
Potencia (kw)	0.422
Espesor del tanque	
Acero inoxidable 304:	
Pdiseño (N/mm ²)	0.16
S (N/mm ²)	115.14
E	1
tw (mm)	1.09
tw + 2 mm seguridad	3.09
tw calculado (m)	0.0031
tw establecido (m)	0.005
Espesor de los terminales	
tw (mm)	18.35
tw calculado (m)	0.018
tw establecido (m)	0.018
Masa del tanque y terminales	
Densidad del acero inoxidable 304 (kg/m ³)	7850
Masa del tanque (kg)	702.31
Masa terminales (kg)	2148.31
Masa Total (kg)	2850.63
Chaqueta térmica	
Área chaqueta térmica (m ²)	4.47
Grosor (m)	0.045

8.2.7. Dimensionamiento del biorreactor de sacarificación y fermentación simultánea

Tabla A-8. Cálculos del dimensionamiento del biorreactor SSF

Biorreactor SSF	Datos
Volumen de entrada (L)	3505.68
Volumen de entrada (m ³)	3.51
Altura (m) +20%	3.14
Diámetro (m)	1.31
Volumen del tanque (m ³)	4.21
Presión del tanque	
Gravedad (m/s ²)	9.81
Presión de operación (bar)	1.25
Presión de diseño (bar)	1.38
Agitador	
Diámetro (m)	0.44
Potencia (kw)	0.19
Espesor del tanque	
Acero inoxidable 304:	
Pdiseño (N/mm ²)	1.38
S (N/mm ²)	115.14
E	1
tw (mm)	0.78
tw + 2 mm seguridad	2.78
tw calculado (m)	0.003
tw establecido (m)	0.005
Espesor de los terminales	
tw (mm)	14.30
tw calculado (m)	0.014
tw establecido (m)	0.014
Masa del tanque y terminales	
Densidad del acero inoxidable 304 (kg/m ³)	7850
Masa del tanque (kg)	505.40
Masa terminales (kg)	1204.49
Masa Total (kg)	1709.89
Chaqueta térmica	
Área chaqueta térmica (m ²)	0.36
Grosor (m)	0.0036

8.2.8. Dimensionamiento de la 1^{ra} Columna de Destilación

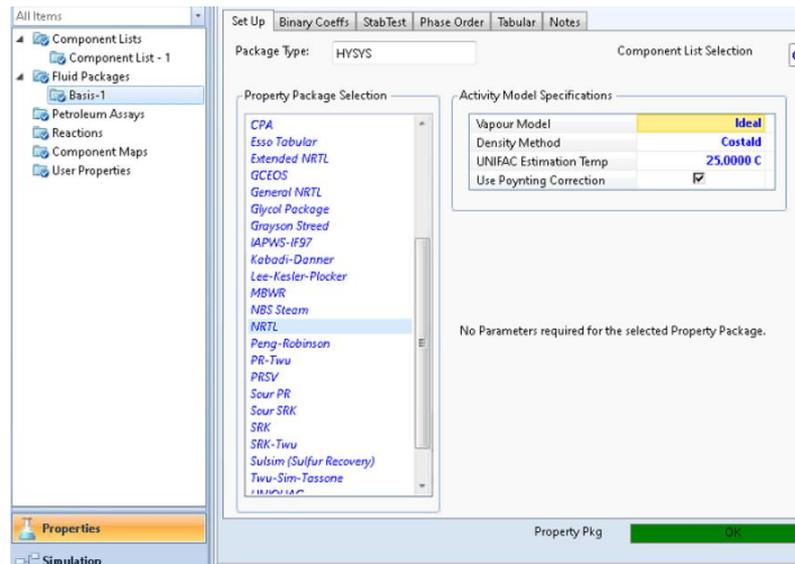


Figura A-3. Elección del paquete termodinámico

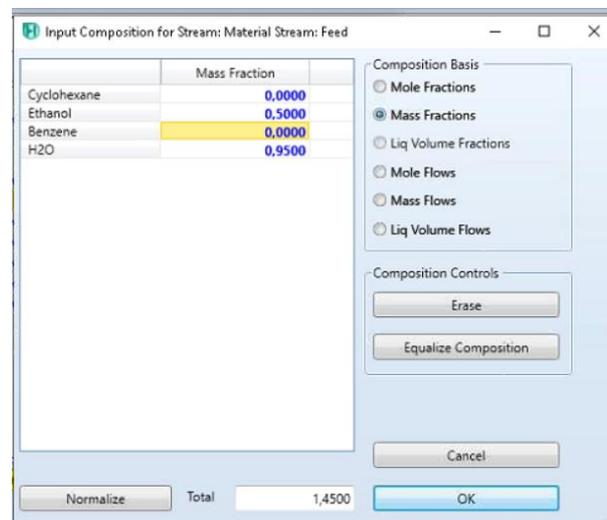


Figura A-4. Composiciones de la corriente de entrada

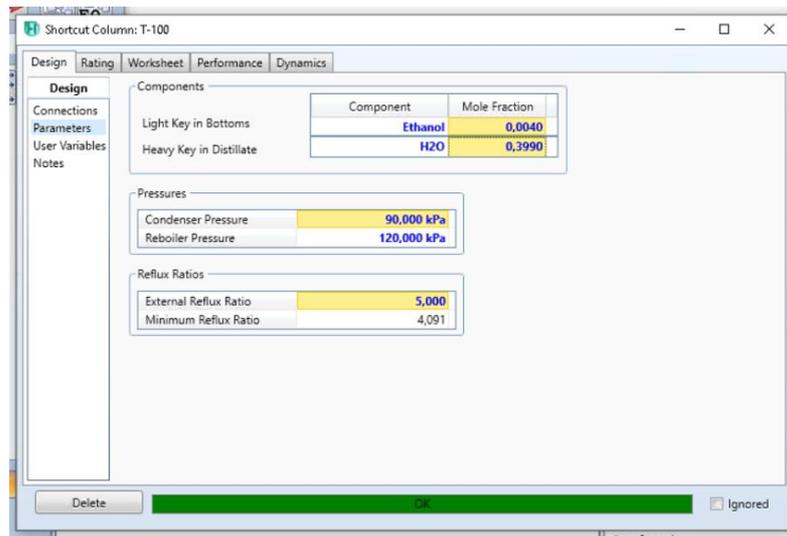


Figura A-5. Determinación del heavy & light key

Material Stream: Feed

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet

Stream Name	Feed	Aqueous Phase
Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Temperature [C]	72,00	72,00
Pressure [kPa]	101,3	101,3
Molar Flow [kgmole/h]	77,32	77,32
Mass Flow [kg/h]	1763	1763
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	1,921	1,921
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,795e-005	-2,795e-005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	27,78	27,78
Heat Flow [kJ/h]	-2,161e-007	-2,161e-007
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	1,825	1,825
Fluid Package	Basis-1	
Utility Type		

Delete Define from Stream... View Assay

Figura A-6. Resultados de la simulación

Shortcut Column: T-100

Design Rating Worksheet Performance Dynamics

Performance

Trays

Minimum Number of Trays	3,446
Actual Number of Trays	7,960
Optimal Feed Stage	2,966

Temperatures

Condenser [C]	76,15
Reboiler [C]	103,7

Flows

Rectify Vapour [kgmole/h]	23,117
Rectify Liquid [kgmole/h]	19,264
Stripping Vapour [kgmole/h]	23,117
Stripping Liquid [kgmole/h]	112,961
Condenser Duty [kJ/h]	-925308,265
Reboiler Duty [kJ/h]	1143438,074

Delete OK Ignored

Figura A-7. Resultados del diseño de la columna

Worksheet	Name	Feed	D	W	QR
Conditions	Vapour	0,0000	0,0000	0,0000	<empty>
Properties	Temperature [C]	72,00	76,15	103,7	<empty>
Composition	Pressure [kPa]	101,3	90,00	120,0	<empty>
	Molar Flow [kgmole/h]	93,70	3,853	89,84	<empty>
	Mass Flow [kg/h]	1763	134,4	1629	<empty>
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	1,798	0,1618	1,636	<empty>
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,810e+005	-2,745e+005	-2,789e+005	<empty>
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	19,81	47,22	24,75	<empty>
	Heat Flow [kJ/h]	-2,633e+007	-1,057e+006	-2,506e+007	1,143e+006
	Name				QC
	Vapour	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
	Temperature [C]	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
	Pressure [kPa]	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
	Molar Flow [kgmole/h]	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
	Mass Flow [kg/h]	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>
	Heat Flow [kJ/h]	<empty>	<empty>	<empty>	-9,253e+005

Figura A-8. Características de las corrientes de destilado

Tabla A-9. Cálculos del dimensionamiento de la 1^{ra} columna de destilación

1 ^{ra} columna de destilación	Datos
Q (BTU/h)	1,083,354.95
Diámetro (m)	0.54
Diámetro (pies)	1.76
Platos	8
Altura de la columna (m)	3.2
Altura de la columna (m) +15%	3.68

8.2.9. Dimensionamiento de la 2^{da} Columna de Destilación

Worksheet		FEED2	Etanolpuro	restos
Conditions	Ethanol	0,6797	0,9460	0,0200
Properties	H2O	0,3068	0,0350	0,9799
Composition	Cyclohexane	0,0136	0,0190	0,0001

Figura A-9. Composiciones de la corriente de entrada

Shortcut Column: T-101

Design Rating Worksheet Performance Dynamics

Worksheet

Name	FEED2	Etanolo puro	restos
Molecular Weight	37,98	45,81	18,58
Molar Density [kgmole/m ³]	3,099e-002	16,26	50,64
Mass Density [kg/m ³]	1,177	745,0	941,0
Act. Volume Flow [m ³ /h]	114,2	0,1550	2,010e-002
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-5115	-5864	-1,501e+004
Mass Entropy [kJ/kg-C]	4,314	1,132	1,369
Heat Capacity [kJ/kgmole-C]	62,43	159,6	77,51
Mass Heat Capacity [kJ/kg-C]	1,644	3,484	4,172
LHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	8,898e+005	1,239e+006	2,497e+004
HHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	9,894e+005	1,361e+006	6,764e+004
HHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	2,605e+004	2,972e+004	3640
CO ₂ Loading	<empty>	<empty>	<empty>
CO ₂ Apparent Mole Conc. [kgmole/m ³]	<empty>	<empty>	<empty>
CO ₂ Apparent Wt. Conc. [kgmol/kg]	<empty>	<empty>	<empty>
LHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	2,343e-004	2,704e+004	1344
Phase Fraction [Vol. Basis]	1,000	<empty>	<empty>
Phase Fraction [Mass Basis]	1,000	0,0000	0,0000
Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	1,000	0,0000	0,0000
Mass Exergy [kJ/kg]	44,39	-101,8	24,68
Partial Pressure of CO ₂ [kPa]	0,0000	0,0000	0,0000
Cost Based on Flow [Cost/s]	0,0000	0,0000	0,0000

Delete OK Ignored

Figura A-10. Características de la corriente de entrada

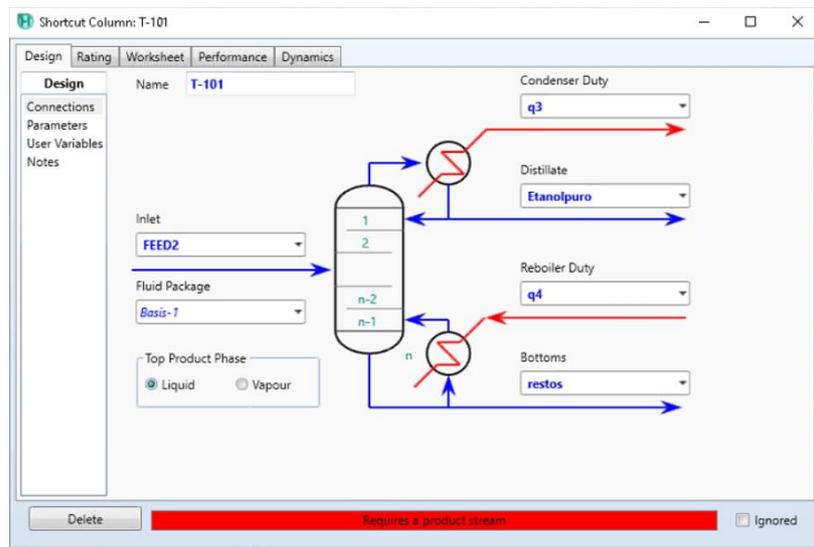


Figura A-11. Simulación de una columna de destilación

Shortcut Column: T-101

Design Rating Worksheet Performance Dynamics

Performance

Trays

Minimum Number of Trays	7,602
Actual Number of Trays	9,950
Optimal Feed Stage	3,568

Temperatures

Condenser [C]	73,13
Reboiler [C]	99,93

Flows

Rectify Vapour [kgmole/h]	12,605
Rectify Liquid [kgmole/h]	10,084
Stripping Vapour [kgmole/h]	9,066
Stripping Liquid [kgmole/h]	10,084
Condenser Duty [kJ/h]	-491602,311
Reboiler Duty [kJ/h]	352393,647

Delete OK Ignored

Figura A-12. Resultados de la simulación

Worksheet	Name	FEED2	Etanolpuro	restos	q4
Conditions	Vapour	1,0000	0,0000	0,0000	<empty>
Properties	Temperature [C]	76,15	73,13	99,93	<empty>
Composition	Pressure [kPa]	90,00	90,00	120,0	<empty>
	Molar Flow [kgmole/h]	3,539	2,521	1,018	<empty>
	Mass Flow [kg/h]	134,4	115,5	18,91	<empty>
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0,1640	0,1448	1,919e-002	<empty>
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,323e+005	-2,686e+005	-2,789e+005	<empty>
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	163,8	51,85	25,44	<empty>
	Heat Flow [kJ/h]	-8,219e+005	-6,772e+005	-2,839e+005	3,524e+005
	Name	q3			
	Vapour	<empty>			
	Temperature [C]	<empty>			
	Pressure [kPa]	<empty>			
	Molar Flow [kgmole/h]	<empty>			
	Mass Flow [kg/h]	<empty>			
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	<empty>			
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	<empty>			
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	<empty>			
	Heat Flow [kJ/h]	-4,916e+005			

Figura A-13. Características de las corrientes de destilado

Tabla A-10. Cálculos del dimensionamiento de la 2^{da} columna de destilación

1 ^{ra} columna de destilación	Datos
Q (BTU/h)	334,010.75
Diámetro (m)	0.30
Diámetro (pies)	0.98
Platos	10
Altura de la columna (m)	4.11
Altura de la columna (m) +15%	4.73

8.2.10. Dimensionamiento de la Columna de adsorción

Tabla A-11. Cálculos del dimensionamiento de la columna de adsorción

Columna de adsorción	Datos
Volumen de entrada (L)	104.02
Volumen de entrada (m ³)	0.10
Altura (m) +20%	0.97
Diámetro (m)	0.40
Volumen del tanque (m ³)	0.12
Presión del tanque	
Gravedad (m/s ²)	9.81
Presión de operación (bar)	1.09
Presión de diseño (bar)	1.20
Espesor del tanque	

Acero inoxidable 304:	
Pdiseño (N/mm ²)	0.20
S (N/mm ²)	115.14
E	1
tw (mm)	0.21
tw + 2 mm seguridad	2.21
tw calculado (m)	0.0022
tw establecido (m)	0.005
Espesor de los terminales	
tw (mm)	4.13
tw calculado (m)	0.004
tw establecido (m)	0.005
Masa del tanque y terminales	
Densidad del acero inoxidable 304 (kg/m ³)	7850
Masa del tanque (kg)	48.44
Masa terminales (kg)	40.36
Masa Total (kg)	88.80

8.2.11. Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento 2

Tabla A-12. Cálculos del dimensionamiento del tanque de almacenamiento 2

Tanque de almacenamiento 2	Datos
Densidad del bioetanol (kg/m ³)	777.8
Volumen de entrada (L)	103.6
Volumen de entrada (m ³)	0.10
Altura (m) +20%	0.97
Diámetro (m)	0.40
Volumen del tanque (m ³)	0.12
Presión del tanque	
Gravedad (m/s ²)	9.81
Presión de operación (bar)	1.09
Presión de diseño (bar)	1.20
Espesor del tanque	
Acero inoxidable 304:	
Pdiseño (N/mm ²)	0.12
S (N/mm ²)	115.14
E	1
tw (mm)	0.02
tw + 2 mm seguridad	2.02

tw calculado (m)	0.002
tw establecido (m)	0.005
Espesor de los terminales	
tw (mm)	4.12
tw calculado (m)	0.0041
tw establecido (m)	0.005
Masa del tanque y terminales	
Densidad del acero inoxidable 304 (kg/m ³)	7850
Masa del tanque (kg)	48.31
Masa terminales (kg)	40.26
Masa Total (kg)	88.57

8.2.12. Selección de bombas

Tabla A-13. Cálculos de las bombas

	Caudal de salida [L/min]	Potencia [HP]	Potencia (kw)
Bomba 1	57.53	0.011	0.0080
Bomba 2	33.10	0.016	0.012
Bomba 3	1.78	0.0011	0.0008
Bomba 4	1.73	0.0011	0.0008
Bomba 5	1.73	0.00033	0.00024

8.2.13. Vapor generado por la caldera

Tabla A-14. Cálculos para la caldera

Caldera	Datos
Masa (kg)	7034
C _p (kJ/kg*K)	0.999
T _{inicial} (K)	298.15
T _{final} (K)	366.15
Entalpía de vaporización (kJ/mol)	40.65
Vapor generado (kg/h)	106.11

8.3. Anexo C: Cotización de Equipos

8.3.1. Balsa de lavado



FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

1.500,00 US\$ - 5.500,00 US\$ / Set | 1 Set/Sets(Pedido mínimo)

Número de Mod...

Muestras: 1.600,00 US\$/Set | 1 Set (Pedido mínimo) | [Comprar muestras](#)

Detalles rápidos

Lugar del origen:	Hebei, China	Marca:	HEBEI FANGTAI
Uso:	wash the waste plastic	Condición:	Nuevo
Grado automático:	Automática	Tipo de plástico:	PET
Capacidad de producción (kg/h):	100 - 5000	Tipo de máquina:	Botella de PET botella de línea de lavado
Max, la capacidad de producción (kg/h):	5000kg/h	Lista de equipos:	Flotante tanque de lavado, Cleaning tank
De la potencia (kW):	customized	Voltaje:	CUSTOMIZED
Garantía:	1 año	Dimensión (L*W*H):	6M*1.5M*1.8M
Video saliente de inspección:	Siempre	Peso (T):	1
Exposición de ubicación:	Egipto, Viet Nam, Filipinas, Arabia Saudita, Indonesia, Pakist...	Clave de puntos de venta:	Precio competitivo
Garantía de los componentes principales.:	1 año	Industrias aplicables:	sink floating washing tank
Cleaning Process:	Cold water/hot water/cleaning agent cleaning	: Informe de prueba:	Siempre
Output Motor:	According to customer's requests	Marketing tipo:	New Product
height:	customized	Los componentes principales.:	Caja de cambios, Motor, shaft
Motor:	4kw or others	After-sales Service Provided:	Engineers available to service machinery overseas
Item name:	floating washing tank	Material:	Plastics,films,floating material,sinking material
		width:	customized
		length:	customized
		Packaging Detail:	Standard packaging of machine or as customer requests

Figura A-14. Detalles del costo de adquisición de la balsa de lavado

8.3.2. Trituradora



FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

2.500,00 US\$ - 6.500,00 US\$ / Set | 1 Set/Sets(Pedido mínimo)

Número de Mod...

Lead Time🕒:

Cantidad(Sets)	1 - 1	>1
Hora del Est.(días)	14	Se negociará

Personalizacion:

 More

Parámetros técnicos principales

Modelo	CSJ-200	CSJ-300	CSJ-400	CSJ-600
Capacidad kg/h	80-300	100-800	200-1000	500-1500
Tamaño de alimentación mm	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Tamaño del producto mm	0,5-20	0,5-20	0,5-20	0,5-20
Velocidad de rotación RPM	400	400	400	400
Motor de potencia KW	3	4	5,5	11
Dimensión L mm	900X600X1440	900X700X1440	900x800x1440	1000x900x1440
Peso KG	200	300	380	500

Figura A-15. Detalles del costo de adquisición de la trituradora

8.3.3. Molino de bolas



pequeña, 900x1000, en venta

>=1 Sets

6.000,00 US\$

Energía (W): 15-800

Número de Mod... 1500*4500

Lead Time@:

Cantidad(Sets)	1 - 1	>1
Hora del Est.(días)	30	Se negociará

Modelo	Velocidad (r/min)	Peso máximo de las bolas (t)	Tamaño de entrada (mm)	Tamaño de salida (mm)	De la potencia (kw)	Capacidad (t/h)	Peso (t)
Φ900 × 1800	37	1,8	≤ 15	0.075-0,89	15	0,5-2	3,4
Φ900 × 2100	37	2,3	≤ 15	0.075-0,4	18,5	0,4-2	3,9
Φ900 × 3000	35	3,85	≤ 25	0.075-0,4	30	1,1-2,5	7,78
Φ1200 × 2400	35	4,6	≤ 25	0.075-0,4	30	1,3-3,2	8,65
Φ1200 × 2800	35	5,4	≤ 25	0.075-0,4	37	1,5-3,7	10,02
Φ1200 × 4500	35	8,6	≤ 25	0.075-0,4	45	2,7-6,79	14
Φ1500 × 3000	29	9	≤ 25	0.047-0,4	75	3,3-8,2	14,12

Figura A-16. Detalles del costo de adquisición del molino de bolas

8.3.4. Centrifugadora



>=1 Unidades

16.800,00 US\$Beneficios  Cupones de 3.000 USD [Aplicar ahora >](#)Número de Mod... Lead Time[?]:

Cantidad(Unidades)	1 - 1	>1
Hora del Est.(días)	30	Se negociará

Personalizacion: Logotipo personalizado(Min. Order: 1 Unidades)

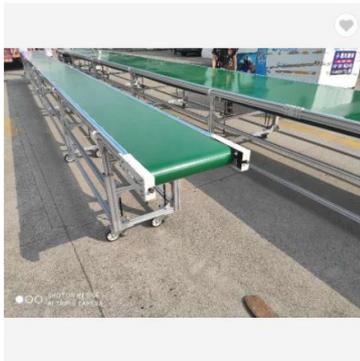
Embalaje personalizado(Min. Order: 1 Unidades)

More 

Modelo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Velocidad máxima	L/D ratio	Fuerza -G	Capacidad (m3/h)	Potencia del motor principal (Kw)	Peso (kg)	Dimensión (Mm)
LW250 * 1000	250	1000	5000	4	2722	0,5-5	7,5	950	2120*1250*680
LW300 * 900	300	900	4200	3	2964	1-6	11	1160	2150*1300*900
LW300 * 1200	300	1200	4000	4	2784	2-6	11	1350	2450*1300*900
LW355 * 1160	355	1160	3600	3,3	2576	2-8	15	1400	2470*1350*830
LW355 * 1460	355	1460	3600	4	2576	2-10	15	1800	2750*1350*830
LW400 * 1200	400	1200	3200	3	2294	3-12	18,5	1800	2730*1600*1080
LW400 * 1600	400	1600	3000	4	2016	3-15	22	2000	3130*1600*1080
LW450 * 1800	450	1800	2800	4	1976	4-25	37	2500	3320*1700*1130
LW500 * 2000	500	2000	2800	4	1750	5-35	45	4000	3520*1800*1170
LW530 * 1855	530	1855	2600	3,5	2006	5-38	55	4680	3885*1350*1600
LW530 * 2120	530	2120	2400	4	1709	5-40	55	4800	4150*1350*1600
LW550 * 2000	550	2000	2800	4	2414	6-40	55	5700	4570*1380*1600
LW650 * 1950	650	1950	2200	3	1761	6-45	75	5000	4840*1510*1720
LW650 * 2600	650	2600	2000	4	1456	6-65	90	6000	5490*1510*1720
LW720 * 2160	720	2160	2000	3	1612	7-80	120	6000	5200*1600*1800

Figura A-17. Detalles del costo de adquisición de la centrifugadora

8.3.5. Transportadora



Economical Belt Conveyor Equipment Cinta Transportadora Belt Conveyor

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$180.00 - \$260.00 / Meter | 1 Meter/Meters(Min. Order)

Load Capacity:

Model Number:

Lead Time:

Quantity(Meters)	1 - 50	>50
Est. Time(days)	15	To be negotiated

Customization:

Quick Details

Applicable Industries:	Building Material Shops, Machinery Repair Shops, Manufact...	Showroom Location:	None
Material:	Carbon Steel	Condition:	New
Structure:	Belt Conveyor	Material Feature:	Oil Resistant
Brand Name:	Ruihe	Place of Origin:	Sichuan, China
Power:	0-5KW	Voltage:	110V 220 V 380 V 440V
Warranty:	1 Year	Dimension(L*W*H):	H=1M-20M W=0.2M-2M H=0.6M-1M
Machinery Test Report:	Not Available	Width or Diameter:	Can be customized
Marketing Type:	New Product 2020	Video outgoing-inspection:	Provided
Core Components:	Motor, Bearing	Warranty of core components:	1 Year
Product name:	Belt Conveyor	Weight (KG):	45 kg
Frame Material:	Carbon Steel Stainless Steel	Application:	Conveying Products
Feature:	Smooth Running	Belt material:	PVC PU Rubber
Motor:	SEW/Simens/China Famous Motor	Size:	H=1M-20M W=0.2M-2M H=0.6M-1M
Standard:	ISO9001:2015	Speed:	15~20m/min
		Keyword:	Material Handling Equipment for All Industries

Figura A-18. Detalles del costo de adquisición de la transportadora

8.3.6. Filtro de prensa



1 - 1 Sets	>=2 Sets
\$3,200.00	\$1,000.00

Production Cap...

Model Number:

Samples:
 \$100.00/Set | 1 Set (Min. Order) | [Buy Samples](#)

Lead Time:

Quantity(Sets)	1 - 1	2 - 2	>2
Est. Time(days)	10	30	To be negotiated

Quick Details

Applicable Industries:	Manufacturing Plant, Food & Beverage Factory, Constructio...	Showroom Location:	Viet Nam
		Video outgoing-inspection:	Provided
Machinery Test Report:	Provided	Marketing Type:	New Product 2020
		Warranty of core components:	1 Year
Core Components:	PLC, Engine	Condition:	New
Automatic Grade:	Automatic	Place of Origin:	Henan, China
Brand Name:	DZ	Voltage:	380
Power:	2.2kw	Weight:	1450kg
Dimension(L*W*H):	2200*1050*1150mm	Warranty:	1 Year
Type:	Quick Open Filter Press	Filter Area:	6M2
Filtration Pressure:	0.6Mpa	Plate Size:	700*700mm
Cake Thickness:	30mm	Filter chamber volume:	95L
Description:	Solid-liquid Separation Machine	Function:	Mud Sewage Treatment
Advantage:	High Working Efficiency	Keywords:	Liquid Filter Machine
After Warranty Service:	Video technical support, Online support, Spare parts, Field ...	Local Service Location:	Viet Nam
After-sales Service Provided:	Online support	Certification:	CE,ISO

Figura A-19. Detalles del costo de adquisición del filtro

8.3.7. Destilador de agua**IVEN**

Destilador de agua automático de acero inoxidable

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)**1.000,00 US\$ - 100.000,00 US\$** / Set | 1 Set/Sets(Pedido mínimo)Beneficios  Cupones de 3.000 USD [Aplicar ahora >](#)Número de Mod... Muestras: 10.000,00 US\$/Set | 1 Set (Pedido mínimo) | [Comprar muestras](#)Personalizacion: Logotipo personalizado(Min. Order: 1 Sets)
Embalaje personalizado(Min. Order: 1 Sets)
More 

Shipping: Support Transporte marítimo

Artículo	De Agua (m ³ /H)	Flujo mínimo de agua (m ³ /h)	Agua desalinizada (%)	Temperatura del agua de trabajo (°C)
FST0.5-A	0,5	2,0	98	5-35
FST1-A	1,0	2,5	98	5-35
FST2-A	2,0	3,6	98	5-35
FST3-A	3,0	5,0	98	5-35
FST4-A	4,0	6,5	98	5-35
FST6-A	6,0	8,5	98	5-35
FST8-A	8,0	11,0	98	5-35
FST10-A	10,0	13,5	98	5-35
FST15-A	15,0	20,0	98	5-35
FST20-A	20,0	26,0	98	5-35
FST25-A	25,0	35,0	98	5-35
FST30-A	30,0	40	98	5-35

Figura A-20. Detalles del costo de adquisición del destilador de agua

8.3.8. Caldera



Famosa marca Industrial 1000kg 1500kg 2000kg eléctrico de la caldera de calefacción Central

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

6.000,00 US\$ - 90.000,00 US\$ / Set | 1 Set/Sets(Pedido mínimo)

Número de Mod...

Lead Time🕒:

Cantidad(Sets)	1 - 1	>1
Hora del Est.(días)	20	Se negociará

Personalizacion: [Logotipo personalizado\(Min. Order: 1 Sets\)](#)
[Embalaje personalizado\(Min. Order: 1 Sets\)](#)

Detalles rápidos

Industrias aplicables:	Hoteles en, Las granjas	Exposición de ubicación:	None
Vídeo saliente de inspección:	Siempre	: Informe de prueba:	Siempre
Garantía de los componentes principales.:	1 año	Marketing tipo:	Producto ordinario
Tipo:	Circulación natural	Los componentes principales.:	海晏堂
Estructura:	electric heating tube	Condición:	Nuevo
La producción de vapor:	Max. 6t/h	Aplicación:	Industrial
Lugar del origen:	Henan, China	Presión:	Baja presión
Salida:	De vapor	Estilo:	Horizontal
Peso:	615-3100kg	Combustible:	electric
Clave de puntos de venta:	Automatic, long working life, low failure rate	Marca:	YUTONG
Rated working pressure:	0.4mpa-0.7mpa	Dimensión (L*W*H):	Customization
Controllor:	PLC/LCD	Garantía:	1 año
Place of Origin:	Henan, China (Mainland)	Name:	Industrial 1000kg 1500kg 2000kg Electric Boiler for Central
Brand:	YUTONG	Nominal capacity:	0.1t/h - 6t/h
Después de servicio de garantía:	Apoyo en línea	Rated steam temperature:	151-170
Certificación:	SGS, ISO, BUV.TV, CCC, CE ect.	Boiler Efficiency:	99%
		Warranty:	2 years
		Certification:	SGS, ISO, BUV.TV, CCC, CE ect.
		Servicio Local ubicación:	None

Figura A-21. Detalles del costo de adquisición de la caldera

8.4. Anexo D: Cálculos del análisis económico

8.4.1. Cálculo del costo de los equipos

Tabla A-15. Cálculo del costo de los equipos usando la ecuación del libro de Sinnott

Equipos	Componentes	Unidades S	Valor S	a	b	n	Ce unidad	Número de unidades	Costo total	
Balsa de lavado								1	\$ 1.500,00	
Trituradora			Por cotización						1	\$ 2.500,00
Horno secador	Tanque rectangular	potencia, MW	0,36	7000	71000		0,8	38383,41856	1 \$ 38.383,42	
Molino de bolas			Por cotización						1	\$ 6.000,00
Tanque de almacenamiento 1	Tanque	capacidad, m3	1,34	5700	700		0,7	6560,659439	1 \$ 6.560,66	
Tanque de pretratamiento	Tanque encamisado	volumen, m3	6,89	14000	15400		0,7	73474,18252	1 \$ 73.474,18	
	Agitador	Potencia motor, kW	0,42	4300	1920		0,8	5262,833494	1 \$ 5.262,83	
Filtro			Por cotización						1	\$ 1.200,00
Reactor de SSF	Tanque encamisado	volumen, m3	4,21	14000	15400		0,7	56100,62715	3 \$ 168.301,88	
	Agitador	Potencia motor, kW	0,19	4300	1920		0,8	4799,06332	1 \$ 4.799,06	
Centrifugadora			Por cotización						1	\$ 6.980,00
Columna 1	Columna	masa carcasa, kg	26,2	-10000	600		0,6	-5742,721856	1 \$ -5.742,72	
	Platos	diámetro, m	0,54	100	120		2	134,992	8 \$ 1.079,94	
Columna 2	Columna	masa carcasa, kg	18,65	-10000	600		0,6	-6528,169197	1 \$ -6.528,17	
	Platos	diámetro, m	0,3	100	120		2	110,8	10 \$ 1.108,00	
Columna de	Columna	masa carcasa, kg	48,44	-10000	600		0,6	-3844,506953	1 \$ -3.844,51	
Tanque de almacenamiento 2	Tanque	capacidad, m3	0,12	5700	700		0,7	5862,663171	1 \$ 5.862,66	
Caldera	Caldera	kg/h de vapor	106,11	4600	62		0,8	7188,184857	1 \$ 7.188,18	
Destilador de agua			Por cotización						1	\$ 2.600,00
Bomba 1	Bomba	Flujo L/s	0,958794526	3300	48		1,2	3345,636454	1 \$ 3.345,64	
	Motor	Potencia, kW	0,007983866	920	600		0,7	940,4033049	1 \$ 940,40	
Bomba 2	Bomba	Flujo L/s	0,551594322	3300	48		1,2	3323,506338	1 \$ 3.323,51	
	Motor	Potencia, kW	0,011928393	920	600		0,7	947,024558	1 \$ 947,02	
Bomba 3	Bomba	Flujo L/s	0,029695474	3300	48		1,2	3300,705455	1 \$ 3.300,71	
	Motor	Potencia, kW	0,000811944	920	600		0,7	924,1192613	1 \$ 924,12	
Bomba 4	Bomba	Flujo L/s	0,028810413	3300	48		1,2	3300,6803	1 \$ 3.300,68	
	Motor	Potencia, kW	0,000787744	920	600		0,7	924,032931	1 \$ 924,03	
Bomba 5	Bomba	Flujo L/s	0,028810227	3300	48		1,2	3300,680295	1 \$ 3.300,68	
	Motor	Potencia, kW	0,000243483	920	600		0,7	921,7728794	1 \$ 921,77	
Cinta transportadora	Cinta transportadora	longitud, m	4	2300	575		1	4600	8 \$ 36.800,00	
								TOTAL	\$ 374.713,99	

8.4.2. Método de Lang

Tabla A-16. Cálculo del costo ISBL mediante el Método de Lang

Equipos	Costos teóricos	Costos reales
Balsa de lavado	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Trituradora	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
Horno secador	\$ 38.383,42	\$ 6.000,00
Molino de bolas	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00
Tanque de almacenamiento 1	\$ 6.560,66	\$ 2.199,00
Tanque de pretratamiento	\$ 78.737,02	\$ 14.000,00
Filtro	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
Reactor de SSF	\$ 173.100,94	\$ 15.000,00
Centrifugadora	\$ 16.800,00	\$ 16.800,00
Columna 1	\$ -4.662,79	\$ 3.000,00
Columna 2	\$ -5.420,17	\$ 3.000,00
Columna de Adsorción	\$ -3.844,51	\$ 700,00
Tanque de almacenamiento 2	\$ 5.862,66	\$ 2.199,00
Caldera	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00
Destilador de agua	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Bomba 1	\$ 4.286,04	\$ 300,00
Bomba 2	\$ 4.270,53	\$ 300,00
Bomba 3	\$ 4.224,82	\$ 300,00
Bomba 4	\$ 4.224,71	\$ 300,00
Bomba 5	\$ 4.222,45	\$ 300,00
Cinta transportadora	\$ 36.800,00	\$ 2.080,00
TOTAL	\$ 382.745,80	\$ 85.678,00
Factor de lang	\$ 1.389.367,26	\$ 311.011,14

8.4.3. Método de Hand

Tabla A-17. Cálculo del costo ISBL con el método de Hand

Equipos	Costos teóricos	Factor de material	Factor de Hand	Costos teóricos factor de Hand	Costos reales	Factor de material	Factor de Hand	Costos reales factor de Hand
Balsa de lavado	\$ 1.500,00	1	2,5	\$ 3.750,00	\$ 1.500,00	1	2,5	\$ 3.750,00
Trituradora	\$ 2.500,00	1	2,5	\$ 6.250,00	\$ 2.500,00	1	2,5	\$ 6.250,00
Horno secador	\$ 38.383,42	1,3	2	\$ 99.796,89	\$ 6.000,00	1,3	2	\$ 15.600,00
Molino de bolas	\$ 6.000,00	1,3	2,5	\$ 19.500,00	\$ 6.000,00	1,3	2,5	\$ 19.500,00
Tanque de almacenamiento 1	\$ 6.560,66	1	2,5	\$ 16.401,65	\$ 2.199,00	1	2,5	\$ 5.497,50
Tanque de pretratamiento	\$ 78.737,02	1,3	2,5	\$ 255.895,30	\$ 14.000,00	1,3	2,5	\$ 45.500,00
Filtro	\$ 1.200,00	1,3	2,5	\$ 3.900,00	\$ 1.200,00	1,3	2,5	\$ 3.900,00
Reactor de SSF	\$ 173.100,94	1,3	2,5	\$ 562.578,07	\$ 15.000,00	1,3	2,5	\$ 48.750,00
Centrifugadora	\$ 16.800,00	1,3	2,5	\$ 54.600,00	\$ 16.800,00	1,3	2,5	\$ 54.600,00
Columna 1	\$ -4.662,79	1,3	4	\$ -24.246,49	\$ 3.000,00	1,3	4	\$ 15.600,00
Columna 2	\$ -5.420,17	1,3	4	\$ -28.184,88	\$ 3.000,00	1,3	4	\$ 15.600,00
Columna de Adsorción	\$ -3.844,51	1,3	4	\$ -19.991,44	\$ 700,00	1,3	4	\$ 3.640,00
Tanque de almacenamiento 2	\$ 5.862,66	1,3	2,5	\$ 19.053,66	\$ 2.199,00	1,3	2,5	\$ 7.146,75
Caldera	\$ 6.000,00	1,3	2	\$ 15.600,00	\$ 6.000,00	1,3	2	\$ 15.600,00
Destilador de agua	\$ 2.000,00	1		\$ -	\$ 2.000,00	1		\$ -
Bomba 1	\$ 4.286,04	1,3	4	\$ 22.287,41	\$ 300,00	1,3	4	\$ 1.560,00
Bomba 2	\$ 4.270,53	1,3	4	\$ 22.206,76	\$ 300,00	1,3	4	\$ 1.560,00
Bomba 3	\$ 4.224,82	1,3	4	\$ 21.969,09	\$ 300,00	1,3	4	\$ 1.560,00
Bomba 4	\$ 4.224,71	1,3	4	\$ 21.968,51	\$ 300,00	1,3	4	\$ 1.560,00
Bomba 5	\$ 4.222,45	1,3	4	\$ 21.956,76	\$ 300,00	1,3	4	\$ 1.560,00
Cinta transportadora	\$ 36.800,00	1	2,5	\$ 92.000,00	\$ 2.080,00	1	2,5	\$ 5.200,00
			ISBL Hand	\$ 1.187.291,28			ISBL Hand	\$ 273.934,25

8.4.4. Método del factor detallado

Tabla A-18. Cálculo del costo ISBL con el método del factor detallado

Equipos	Costos teóricos	Factor detallado	Costo teórico factor detallado	Costos reales	Factor detallado	Costo real factor
Balsa de lavado	\$ 1.500,00	3,2	\$ 4.800,00	\$ 1.500,00	3,2	\$ 4.800,00
Trituradora	\$ 2.500,00	3,2	\$ 8.000,00	\$ 2.500,00	3,2	\$ 8.000,00
Horno secador	\$ 38.383,42	3,5	\$ 134.341,96	\$ 6.000,00	3,5	\$ 21.000,00
Molino de bolas	\$ 6.000,00	3,5	\$ 21.000,00	\$ 6.000,00	3,5	\$ 21.000,00
Tanque de almacenamiento 1	\$ 6.560,66	3,2	\$ 20.994,11	\$ 2.199,00	3,2	\$ 7.036,80
Tanque de pretratamiento	\$ 78.737,02	3,5	\$ 275.579,56	\$ 14.000,00	3,5	\$ 49.000,00
Filtro	\$ 1.200,00	3,5	\$ 4.200,00	\$ 1.200,00	3,5	\$ 4.200,00
Reactor de SSF	\$ 173.100,94	3,5	\$ 605.853,31	\$ 15.000,00	3,5	\$ 52.500,00
Centrifugadora	\$ 16.800,00	3,5	\$ 58.800,00	\$ 16.800,00	3,5	\$ 58.800,00
Columna 1	\$ -4.662,79	3,5	\$ -16.319,75	\$ 3.000,00	3,5	\$ 10.500,00
Columna 2	\$ -5.420,17	3,5	\$ -18.970,59	\$ 3.000,00	3,5	\$ 10.500,00
Columna de Adsorción	\$ -3.844,51	3,5	\$ -13.455,77	\$ 700,00	3,5	\$ 2.450,00
Tanque de almacenamiento 2	\$ 5.862,66	3,5	\$ 20.519,32	\$ 2.199,00	3,5	\$ 7.696,50
Caldera	\$ 6.000,00	3,5	\$ 21.000,00	\$ 6.000,00	3,5	\$ 21.000,00
Destilador de agua	\$ 2.000,00	3,2	\$ 6.400,00	\$ 2.000,00	3,2	\$ 6.400,00
Bomba 1	\$ 4.286,04	3,5	\$ 15.001,14	\$ 300,00	3,5	\$ 1.050,00
Bomba 2	\$ 4.270,53	3,5	\$ 14.946,86	\$ 300,00	3,5	\$ 1.050,00
Bomba 3	\$ 4.224,82	3,5	\$ 14.786,89	\$ 300,00	3,5	\$ 1.050,00
Bomba 4	\$ 4.224,71	3,5	\$ 14.786,50	\$ 300,00	3,5	\$ 1.050,00
Bomba 5	\$ 4.222,45	3,5	\$ 14.778,59	\$ 300,00	3,5	\$ 1.050,00
Cinta transportadora	\$ 36.800,00	3,2	\$ 117.760,00	\$ 2.080,00	3,2	\$ 6.656,00
		ISBL detallado	\$ 1.324.802,11		ISBL detallado	\$ 296.789,30

8.4.5. Costo de la inversión de capital fijo

Tabla A-19. Cálculo del costo de inversión de capital fijo

INVERSIÓN CAPITAL FIJO		
COSTO ISBL	\$ 296.789,30	
OSBL	\$ 118.715,72	40% del ISBL
Ingeniería	\$ 44.518,40	15% del ISBL
Imprevistos	\$ 41.550,50	10% del ISBL + OSBL
Total	\$ 501.573,92	

8.4.6. Costos de materias primas

Tabla A-20. Cálculo del costo de las materias primas

Materia prima	Cantidad/mes		Valor		Valor/mes	
Residuos mixtos	20000	kg	\$ 0,01	\$/kg	\$ 198,00	
Agua	216,7402221	m3	\$ 0,31	\$/m3	\$ 67,19	
NaOH	1047,816	kg	\$ 0,31	\$/kg	\$ 324,82	
Celulosa	13,03587886	kg	\$ 7,00	\$/kg	\$ 91,25	
Levadura	61,70733808	kg	\$ 3,60	\$/kg	\$ 222,15	
Extracto de levadura	288,2934747	kg	\$ 1,00	\$/kg	\$ 288,29	
Buffer de citrato de sodio	0,651793943	ton	\$ 800,00	\$/ton	\$ 521,44	
Sales buffer	639,26	kg	\$ 3,91	\$/kg	\$ 2.499,50	
Ciclohexano	0,059040117	ton	\$ 600,00	\$/ton	\$ 35,42	
Carbon activado	4,745990118	kg	\$ 2,24	\$/kg	\$ 10,63	
				Total	\$ 4.258,70	
					\$ 51.104,38	
	Cantidad/mes		Valor		Valor/mes	Valor/año
Electricidad	84262,24	kW	\$ 0,10	\$/kw	\$ 8.822,26	\$ 105.867,08

8.4.7. Costos de producción

Tabla A-21. Cálculo de los costos de producción

	COSTOS DE PRODUCCIÓN			
	Valor/año	2semanas	mes	1 semana
Variables	\$ 156.971,46	6540,47733	\$13.080,95	\$3.270,24
Fijos	Valor/año	Valor/mes	Valor/ 2 semanas	Valor/ 1 semana
Labor de operarios	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
Supervisión	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00	\$ 750,00	\$ 750,00
Salarios directos	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Mantenimiento	\$ 8.903,68	\$ 741,97	\$ 370,99	\$ 185,49
Impuestos	\$ 2.967,89	\$ 247,32	\$ 123,66	\$ 61,83
Alquiler de tierra	\$ 4.155,05	\$ 346,25	\$ 173,13	\$ 86,56
Gastos generales	\$13.778,68	\$ 1.148,22	\$ 574,11	\$ 287,06
Gastos medioambientales	\$ 4.155,05	\$ 346,25	\$ 173,13	\$ 86,56
Total	\$ 44.460,35	\$ 13.330,03	\$ 6.665,01	\$ 5.957,51

8.4.8. Costos de capital de trabajo

Tabla A-22. Cálculo del capital de trabajo

CAPITAL DE TRABAJO		
Inventario materia primas	\$ 1.864,52	Costos de MP por 2 semanas
Inventario productos	\$ 13.205,49	Costos de producción de 2 semanas
Efectivo de caja	\$9.227,75	Costos de producción de 1 semana
Cuentas por cobrar	\$ 26.410,98	Costos de producción de 1 mes
Creditos pendientes	\$ 4.684,57	Costo de MP de 1 mes
Repuestos	\$ 4.155,05	1% del ISBL +OSBL
Total	\$ 59.548,36	

8.4.9. Precio de venta del producto

Tabla A-23. Cálculo del precio de venta del producto final

COP mes	\$/litro 99,5	Producto final	Precio de venta		Ganancia mensual 80/20		Ganancias anuales
\$ 26.410,98	\$ 9,79	Aditivo	\$ 1.567,05	200 litros	\$ 21.128,79	Aditivo	\$ 253.545,45
		desinfectante	\$ 22,05	4 litros	\$ 5.282,20	Desinfectante	\$ 63.386,36
		Total	\$ 1.589,10		\$ 26.410,98	Total	\$ 316.931,81

8.4.10. Ingresos a la planta y análisis de recuperación de la inversión

Tabla A-24. Flujo de caja, cálculo del TIR, VAN y el tiempo de recuperación

Año	Beneficio bruto [MM\$]	Cargas de depreciación Di [MM\$]	Ingresos gravables [MM\$]	Impuestos pagados [MM\$]	Flujo de caja [MM\$]	Flujo caja acumulativo [MM\$]	Factor de descuento	Valor actual del CF					
0	0	0	0	0	\$ -501.573,92	-501573,92	1	\$ -501.573,92					
1	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	0	115500	-386073,92	1	\$ 115.500,00	VAN	\$322.690,93		Ventas anuales	\$ 316.931,81
2	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	-280421,33	1	\$ 105.652,59	TIR	21%		Margen bruto	\$ 75.017,35
3	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	-174768,73	1	\$ 105.652,59				Beneficio bruto	\$ 115.500,00
4	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	-69116,143	1	\$ 105.652,59				Beneficio neto	\$ 105.652,59
5	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	36536,448	1	\$ 105.652,59				Tiempo de recuperación	4,75
6	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	142189,04	1	\$ 105.652,59					
7	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	247841,63	1	\$ 105.652,59					
8	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	353494,22	1	\$ 105.652,59					
9	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	459146,81	1	\$ 105.652,59					
10	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	564799,41	1	\$ 105.652,59					
11	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	670452	1	\$ 105.652,59					
12	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	776104,59	1	\$ 105.652,59					
13	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	881757,18	1	\$ 105.652,59					
14	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	987409,77	1	\$ 105.652,59					
15	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	1093062,4	1	\$ 105.652,59					
16	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	1198715	1	\$ 105.652,59					
17	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	1304367,5	1	\$ 105.652,59					
18	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	1410020,1	1	\$ 105.652,59					
19	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	1515672,7	1	\$ 105.652,59					
20	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	1621325,3	1	\$ 105.652,59					
21	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	1726977,9	1	\$ 105.652,59					
22	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	1832630,5	1	\$ 105.652,59					
23	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	1938283,1	1	\$ 105.652,59					
24	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	2043935,7	1	\$ 105.652,59					
25	\$ 115.500,00	\$ 33.438,26	82061,739	9847,4087	105652,5913	2149588,3	1	\$ 105.652,59					

8.4.11. Cotizaciones de equipos adicionales

A continuación se muestra la cotización de los equipos que fueron dimensionados.

8.4.11.1. Horno secador.



WJT-secador de bandeja Industrial, horno de secado de aire caliente, seta, chili, verduras, hierbas y raíces

Precios de pedidos estables

1 comprador

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

3.000,00 US\$ - 20.000,00 US\$ / Set | 1 Set/Sets(Pedido mínimo)

Beneficios  Cupones de 3.000 USD [Aplicar ahora >](#)

Número de Mod... RXH

Muestras: 8.000,00 US\$/Set | 1 Set (Pedido mínimo) | [Comprar muestras](#)

Lead Time:

Cantidad(Sets) 1 - 20 >20

Figura A-22. Detalles del costo de adquisición del horno secador

8.4.11.2. *Tanque de almacenamiento 1 y 2.*



Precios de pedidos estables

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

500,00 US\$ - 5.000,00 US\$ | 1 /(Pedido mínimo)

\$200.00 DE DESCUENTO | Ordena más de \$10,000.00 | [Obtener el cupón](#)

Beneficios Cupones de 3.000 USD [Aplicar ahora >](#)

Shipping: [Support Transporte marítimo](#)

1 año en garantía de maquinarias

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Figura A-23. Detalles del costo de adquisición del tanque de almacenamiento

8.4.11.3. *Tanque de pretratamiento.*



Reactor químico encamisado de acero inoxidable, 6000L

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

7.000,00 US\$ - 7.400,00 US\$/ Set | 1 Set/Sets(Pedido mínimo)

Beneficios Cupones de 3.000 USD [Aplicar ahora >](#)

Número de Mod...

Ayuda: **1 Year, 1 año** en garantía de maquinarias | **1 año** for Core Components

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Figura A-24. Detalles del costo de adquisición del tanque de pretratamiento

8.4.11.4. *Biorreactor de SSF.*



Tonsen cooling jacket conical fermenter tank stainless steel fermentador

Steady Order Pricing

1 - 9 Sets	>=10 Sets
\$5,000.00	\$4,900.00

Benefits US \$3,000 Coupons [Apply Now >](#)

Model Number:

Samples: \$1,300.00/Set | 1 Set (Min. Order) | [Buy Samples](#)

Lead Time🕒:		
Quantity(Sets)	1 - 1	>1
Est. Time(days)	15	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 1 Sets)

Figura A-25. Detalles del costo de adquisición del biorreactor

8.4.11.5. *Columna de destilación.*



150 liter Hot sale ZJ factory distillery steam distillation essential oil destilery equipment destilacion aceite esencial

CE [View More](#)

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$1,000.00 - \$50,000.00 / Set | 1 Set/Sets(Min. Order)

Benefits **Pro** US \$3,000 Coupons [Apply Now >](#)
 Samples: \$2,000.00/Set | 1 Set (Min. Order) | [Buy Samples](#)

Lead Time@:

Quantity(Sets)	1 - 1	>1
----------------	-------	----

Figura A-26. Detalles del costo de adquisición de la columna de destilación

8.4.11.6. *Columna de adsorción.*



Columna de adsorción de carbón activado de polipropileno por ácido y material resistente a alcalinas

>=1 Sets
700,00 US\$

Número de Mod...

Nominal de flujo...

Lead Time@:

Cantidad(Sets)	1 - 1	>1
Hora del Est.(días)	20	Se negociará

1 año en garantía de maquinarias

Figura A-27. Detalles del costo de adquisición de la columna de adsorción

8.4.11.7. *Bombas centrífugas.*



Bomba centrífuga industrial, Serie S, grande

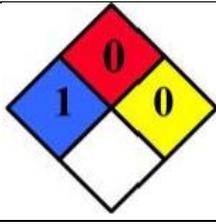
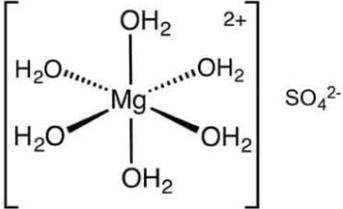
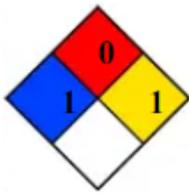
FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

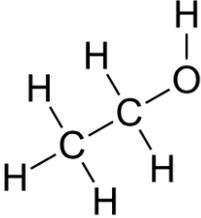
300,00 US\$ - 2.500,00 US\$ / Set | 1 Set/Sets(Pedido mínimo)

Tipo:

Máximo de la ca...

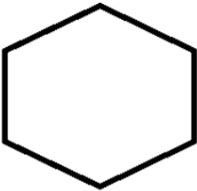
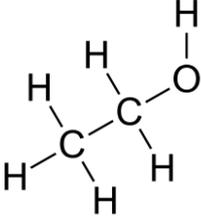
Flujo máximo:

Masa molar:	228.2 g/mol									
Estructura química:	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{K}^+\text{O}^- - \text{P} - \text{O}^-\text{K}^+ \\ \\ \text{O} \end{array}$	HMIS: <table border="1" data-bbox="1007 479 1323 674"> <tbody> <tr> <td>SALUD</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>FLAMABILIDAD</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>REACTIVIDAD</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>EQUIPO DE PROTECCIÓN</td> <td>F</td> </tr> </tbody> </table>	SALUD	1	FLAMABILIDAD	0	REACTIVIDAD	0	EQUIPO DE PROTECCIÓN	F
SALUD	1									
FLAMABILIDAD	0									
REACTIVIDAD	0									
EQUIPO DE PROTECCIÓN	F									
Sulfato de magnesio										
Fórmula Química:	MgSO ₄									
Número CAS:	10034-99-8									
Masa molar:	246.5 g/mol									
Estructura química:		HMIS: <table border="1" data-bbox="1007 994 1323 1189"> <tbody> <tr> <td>SALUD</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>FLAMABILIDAD</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>REACTIVIDAD</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>EQUIPO DE PROTECCIÓN</td> <td>F</td> </tr> </tbody> </table>	SALUD	1	FLAMABILIDAD	0	REACTIVIDAD	0	EQUIPO DE PROTECCIÓN	F
SALUD	1									
FLAMABILIDAD	0									
REACTIVIDAD	0									
EQUIPO DE PROTECCIÓN	F									
Cloruro de calcio										
Fórmula Química:	CaCl ₂									
Número CAS:	10043-52-4									
Masa molar:	111 g/mol									
Estructura química:	$\text{Ca}^{2+} \left[\text{Cl}^- \right]_2$	HMIS: <table border="1" data-bbox="1007 1503 1323 1697"> <tbody> <tr> <td>SALUD</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>FLAMABILIDAD</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>REACTIVIDAD</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>EQUIPO DE PROTECCIÓN</td> <td>F</td> </tr> </tbody> </table>	SALUD	1	FLAMABILIDAD	0	REACTIVIDAD	1	EQUIPO DE PROTECCIÓN	F
SALUD	1									
FLAMABILIDAD	0									
REACTIVIDAD	1									
EQUIPO DE PROTECCIÓN	F									
Bioetanol										
Fórmula Química:	CH ₃ CH ₂ OH									
Número CAS:	64-17-5									
Masa molar:	46.07 g/mol									

Estructura química:		HMIS: <table border="1" data-bbox="1007 241 1326 439"> <tr> <td>SALUD</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>FLAMABILIDAD</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>REACTIVIDAD</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>EQUIPO DE PROTECCIÓN</td> <td>F</td> </tr> </table>	SALUD	1	FLAMABILIDAD	3	REACTIVIDAD	0	EQUIPO DE PROTECCIÓN	F
SALUD	1									
FLAMABILIDAD	3									
REACTIVIDAD	0									
EQUIPO DE PROTECCIÓN	F									

8.5.3. Solvente de la destilación azeotrópica

Tabla A-27. Tabla de seguridad de componentes peligrosos en la destilación

Tabla de seguridad										
Ciclohexano										
Fórmula Química:	C ₆ H ₁₂									
Número CAS:	110-82-7									
Masa molar:	84.16 g/mol									
Estructura química:		HMIS: <table border="1" data-bbox="975 969 1353 1200"> <tr> <td>SALUD</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>FLAMABILIDAD</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>REACTIVIDAD</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>EQUIPO DE PROTECCIÓN</td> <td>1</td> </tr> </table>	SALUD	2	FLAMABILIDAD	3	REACTIVIDAD	0	EQUIPO DE PROTECCIÓN	1
SALUD	2									
FLAMABILIDAD	3									
REACTIVIDAD	0									
EQUIPO DE PROTECCIÓN	1									
Bioetanol										
Fórmula Química:	CH ₃ CH ₂ OH									
Número CAS:	64-17-5									
Masa molar:	46.07 g/mol									
Estructura química:		HMIS: <table border="1" data-bbox="1007 1514 1326 1711"> <tr> <td>SALUD</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>FLAMABILIDAD</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>REACTIVIDAD</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>EQUIPO DE PROTECCIÓN</td> <td>F</td> </tr> </table>	SALUD	1	FLAMABILIDAD	3	REACTIVIDAD	0	EQUIPO DE PROTECCIÓN	F
SALUD	1									
FLAMABILIDAD	3									
REACTIVIDAD	0									
EQUIPO DE PROTECCIÓN	F									