

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Diseño de una planta de producción de pectina a partir de granadilla (*Passiflora ligularis*) para aplicaciones en Biomateriales

Daniela Berenice Cadena Gallo

Ingeniería Química

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

Quito, 5 de Mayo del 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PECTINA A
PARTIR DE GRANADILLA (*PASSIFLORA LIGULARIS*) PARA
APLICACIONES EN BIOMATERIALES**

Daniela Berenice Cadena Gallo

Nombre del profesor, Título académico

José Álvarez, PhD.

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca, PhD.

Quito, 5 de Mayo del 2020

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 el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Daniela Berenice Cadena Gallo

Código: 00124464

Cédula de identidad: 1723134753

Lugar y fecha: Quito, 5 de Mayo del 2020

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UNPUBLISHED DOCUMENT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

La pectina es una sustancia natural extraída a partir del tejido de frutas y vegetales. En este trabajo se diseña y analiza la factibilidad de una planta de producción de pectina de grado farmacéutico a partir de granadilla (*Passiflora ligularis*) en un proceso discontinuo. A diferencia de las pectinas cítricas comerciales, la de granadilla ha demostrado tener propiedades apropiadas para la generación de hidrogeles utilizados en aplicaciones biomédicas, y por lo tanto constituiría un producto de alto valor agregado. La planta tiene una producción proyectada de pectina de 1870 kg/año para cubrir parcialmente la demanda nacional en Ecuador. El proceso de extracción consiste en una hidrólisis con ácido cítrico y precipitación con etanol, con etapas adicionales como filtración, ultrafiltración para la purificación, secado y molienda. Además, a fin de reducir costos, se incluye la recuperación y recirculación del etanol. Partiendo de balances de materia y energía, y utilizando metodología específica, se ha realizado el dimensionamiento y elección de los equipos para cada operación unitaria del proceso. Adicionalmente, se ha realizado un análisis económico para verificar la factibilidad del proyecto. El tiempo de recuperación de la planta considerando el cálculo de costos teórico es de 7 años, mientras que con el cálculo basado en equipos disponibles es de 4.32 años. La implementación de la planta diseñada contribuiría a la generación de empleo, sostenibilidad ambiental y a la sustitución de importaciones de la pectina en el Ecuador, generando por lo tanto una alternativa de diversificación, basado en el principio de aprovechamiento de desperdicios de alimentos.

Palabras clave: pectina, hidrogeles, hidrólisis ácida, microfiltración, ultrafiltración

ABSTRACT

Pectin is a natural substance extracted from the tissue of fruits and vegetables. This document describes the design and feasibility of a plant for the production of pharmaceutical-grade pectin from passion fruit (*Passiflora ligularis*) in a discontinuous process. Unlike commercial citrus pectins, passion fruit pectins have been shown to have relevant properties for the generation of hydrogels used in biomedical applications, and would therefore constitute a high value-added product. The plant has a projected pectin production of 1870 kg/year to partially meet domestic demand in Ecuador. The extraction process consists of an hydrolysis with citric acid and precipitation with ethanol, with additional steps such as filtration and ultrafiltration for purification, as well as, drying and grinding. In addition, in order to reduce costs, the recovery and recirculation of ethanol is included. Starting from mass and energy balances, and using specific methodology, the dimensioning and choice of equipment has been carried out for each operation unit of the process. In addition, an economic analysis has been carried out to verify the feasibility of the project. The recovery time of the plant considering the calculation of theoretical costs is 7 years, while the calculation based on available equipment in the market is 4.32 years. The implementation of the designed plant would contribute to employment generation, environmental sustainability, and import substitution of pectin in Ecuador, thus generating an alternative of diversification, based on the principle of utilization of food waste.

Keywords: pectin, hydrogels, acid hydrolysis, microfiltration, ultrafiltration

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1.1 | Antecedentes | 15 |
| 1.1.1 | Pectina..... | 15 |
| 1.1.2 | Aplicaciones de la Pectina | 16 |
| 1.2 | Justificación..... | 18 |
| 1.3 | Objetivos | 19 |
| 1.3.1 | Objetivo general: | 19 |
| 1.4 | Resultados esperados | 19 |
| 2 | BASES DEL DISEÑO | 20 |
| 2.1 | Descripción de materias primas | 20 |
| 2.2 | Descripción de producto | 21 |
| 2.3 | Selección del proceso | 21 |
| 2.4 | Ubicación | 24 |
| 2.5 | Limitaciones y Normas | 24 |
| 2.5.1 | Efluentes..... | 24 |
| 2.5.2 | Normas internacionales de requerimientos de la pectina purificada | 25 |
| 2.6 | Normas y Legislación..... | 25 |
| 2.6.1 | Producción de pectina..... | 25 |
| 2.6.2 | Legislación Urbana..... | 25 |
| 2.6.3 | Marco Legal | 26 |

| | |
|--|----|
| 2.6.4 Terminología especializada..... | 26 |
| 3 CAPITULO 1: DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN | 27 |
| 3.1 Base de producción..... | 28 |
| 3.2 Diagrama de flujo..... | 28 |
| 3.3 Condiciones de extracción | 29 |
| 3.4 Balances de masa..... | 31 |
| 3.5 Balances de energía | 32 |
| 4 CAPITULO 2: DISEÑO DE LA PLANTA | 32 |
| 4.1 Selección y dimensionamiento de equipos | 32 |
| 4.1.1 Balsa de lavado..... | 32 |
| 4.1.2 Picadora..... | 33 |
| 4.1.3 Secador 1 | 33 |
| 4.1.4 Molino de rodillo | 34 |
| 4.1.5 Tanque de almacenamiento..... | 34 |
| 4.1.6 Tanque mezclador..... | 34 |
| 4.1.7 Filtro de prensa..... | 35 |
| 4.1.8 Tanque de precipitación..... | 36 |
| 4.1.9 Columna de destilación..... | 37 |
| 4.1.10 Microfiltración & Ultrafiltración..... | 38 |
| 4.1.11 Secador 2 | 38 |
| 4.1.12 Molino de bolas | 39 |
| 4.1.13 Caldera | 39 |
| 4.1.14 Destilador de agua | 39 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5 | CAPITULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO DE IMPLANTACIÓN..... | 40 |
| 5.1 | Costo de la planta | 40 |
| 5.2 | Inversión del capital fijo | 41 |
| 5.3 | Inversión del capital de trabajo | 41 |
| 5.4 | Estimación ingresos del proyecto..... | 42 |
| 5.5 | Análisis basado en equipos disponibles..... | 43 |
| 5.6 | Análisis de recuperación..... | 43 |
| 6 | CONCLUSIONES | 44 |
| 7 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 45 |
| 8 | ANEXOS | 49 |
| 8.1 | ANEXO A: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL..... | 49 |
| 8.2 | ANEXO B: MARCO LEGAL | 50 |
| 8.2.1 | Normas Internacionales..... | 50 |
| 8.2.2 | Leyes | 50 |
| 8.2.3 | Información Pectina..... | 52 |
| 8.3 | ANEXO C: METODOLOGÍAS | 53 |
| 8.3.1 | Objetivo específico 1: Diseño del proceso de extracción | 53 |
| 8.3.2 | Objetivo específico 2: Diseño de la planta..... | 54 |
| 8.3.3 | Objetivo específico 3: Análisis económico de implantación | 63 |
| 8.4 | ANEXO D: CÁLCULOS Y RESULTADOS - CAPITULO 2..... | 66 |
| 8.4.1 | Secador 1 | 66 |
| 8.4.1 | Tanque de almacenamiento..... | 67 |

| | |
|--|----|
| | 10 |
| 8.4.3 Tanque mezclador..... | 68 |
| 8.4.4 Tanque de precipitación..... | 70 |
| 8.4.5 Columna de destilación..... | 72 |
| 8.4.6 Tanque de Etanol..... | 75 |
| 8.4.7 Secador 2..... | 77 |
| 8.4.8 Caldera..... | 77 |
| 8.5 ANEXO E: COTIZACIONES EQUIPOS..... | 79 |
| 8.5.1 Balsa de lavado..... | 79 |
| 8.5.2 Picadora..... | 80 |
| 8.5.3 Molino de rodillo..... | 81 |
| 8.5.4 Filtro de prensa..... | 83 |
| 8.5.5 Membrana de micro y ultrafiltración..... | 84 |
| 8.5.6 Molino de bolas..... | 85 |
| 8.5.7 Destilador de agua..... | 86 |
| 8.6 ANEXO F: CALCULOS Y RESULTADOS - CAPITULO 3..... | 87 |
| 8.6.1 Método de Lang..... | 87 |
| 8.6.2 Método de Hang..... | 88 |
| 8.6.3 Método Factorial Detallado..... | 88 |
| 8.6.4 Capital Fijo..... | 90 |
| 8.6.5 Capital de trabajo..... | 90 |
| 8.6.6 Costo Materias Primas..... | 90 |
| 8.6.7 Valor de Productos..... | 91 |
| 8.6.8 Ingresos..... | 91 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Descripción de materias primas | 21 |
| Tabla 2. Criterios de evaluación. | 22 |
| Tabla 3. Matriz de decisión (1 min – 5 max)..... | 23 |
| Tabla 4. Numeración de equipos del diagrama de flujo..... | 28 |
| Tabla 5. Balances de masa de la planta..... | 31 |
| Tabla 6. Balances y consumo de energía | 32 |
| Tabla 7. Especificaciones Balsa de lavado..... | 33 |
| Tabla 8. Especificaciones Picadora..... | 33 |
| Tabla 9. Especificaciones Secador 1..... | 33 |
| Tabla 10. Especificaciones Molino de rodillo | 34 |
| Tabla 11. Especificaciones Tanque de almacenamiento..... | 34 |
| Tabla 12. Especificaciones Tanque mezclador..... | 35 |
| Tabla 13. Especificaciones Filtro de prensa..... | 36 |
| Tabla 14. Especificaciones Tanque de precipitación..... | 36 |
| Tabla 15. Especificaciones Columna de destilación..... | 37 |
| Tabla 16. Resultados de la simulación de Hysys..... | 37 |
| Tabla 17. Especificaciones Membranas MF & UF..... | 38 |
| Tabla 18. Especificaciones Secador 2..... | 39 |
| Tabla 19. Especificaciones Molino de bolas | 39 |
| Tabla 20. Especificaciones Caldera | 39 |
| Tabla 21. Especificaciones Destilador de agua | 40 |
| Tabla 22. Resumen de los costos de la planta | 41 |
| Tabla 23. Resumen de la inversión de capital fijo..... | 41 |

| | |
|--|----|
| Tabla 24. Resumen de costos de materia prima | 41 |
| Tabla 25. Resumen de los costos de producción | 42 |
| Tabla 26. Resumen de la inversión de capital de trabajo | 42 |
| Tabla 27. Resumen de la estimación de ingresos | 42 |
| Tabla 28. Resumen a partir de cotizaciones de equipos disponibles en el mercado..... | 43 |
| Tabla 29. Tiempos de recuperación | 43 |

ÍNDICE DE TABLAS ANEXOS

| | |
|---|----|
| Tabla A - 1 Normas internacionales de requerimientos de las pectinas. | 50 |
| Tabla A - 2 Empresas proveedoras de pectina para la Industria Ecuatoriana (año 2015) | 52 |
| Tabla A - 3 Empresas productoras de concentrado de pulpa en Ecuador..... | 53 |
| Tabla A - 4 Cálculos Secador 1 | 66 |
| Tabla A - 5 Cálculos Tanque de Almacenamiento | 67 |
| Tabla A - 6 Cálculos del Tanque mezclador | 69 |
| Tabla A - 7 Cálculos del Tanque de precipitación..... | 71 |
| Tabla A - 8. Cálculos Columna de Destilación | 73 |
| Tabla A - 9 Cálculos del Tanque de Etanol..... | 76 |
| Tabla A - 10. Cálculos Secador 2 | 77 |
| Tabla A - 11 Cálculos de la Caldera | 78 |
| Tabla A - 12. Resumen de Costos – ML..... | 87 |
| Tabla A - 13. Resumen de costos – MH | 88 |
| Tabla A - 14. Resumen de costos – MFD | 89 |
| Tabla A - 15. Cálculo del ISBL..... | 89 |
| Tabla A - 16. Inversión del capital fijo | 90 |
| Tabla A - 17. Inversión del capital de trabajo | 90 |
| Tabla A - 18. Costo de materias primas mensuales..... | 91 |
| Tabla A - 19. Precio de venta del producto..... | 91 |
| Tabla A - 20. Resumen cálculos ingresos | 92 |
| Tabla A - 21. Resumen Análisis Económico Teórico..... | 92 |
| Tabla A - 22 Resumen Análisis Económico en base a cotizaciones..... | 93 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama de bloques de la extracción de pectina por hidrólisis ácida. | 23 |
| Figura 2. Diagrama de flujo de la planta | 29 |

ÍNDICE DE FIGURAS ANEXOS

| | |
|--|----|
| Figura A - 1 Pectina usando ácido cítrico | 49 |
| Figura A - 2. Pectina usando ácido clorhídrico | 49 |
| Figura A - 3 Elección de componentes | 73 |
| Figura A - 4 Condiciones Corriente de entrada..... | 73 |
| Figura A - 5 Composiciones de entrada..... | 74 |
| Figura A - 6 Elección de la columna con sus especificaciones | 74 |
| Figura A - 7 Entrada de parámetros..... | 75 |
| Figura A - 8 Resultados Hysys | 75 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 Pectina

Las pectinas son un conjunto de polisacáridos provenientes de las paredes celulares de las cáscaras de las frutas, las cuales poseen propiedades de retención de forma, gelificación y estabilización de emulsiones y aporte de fibra nutricional (León, D, et al. 2014). Las pectinas están compuestas de unidades de ácido galacturónico parcialmente esterificado con metanol, unidos por enlaces 1,4. Por medio de el grado de esterificación (DE) de las mismas se determina la naturaleza gelificante de la pectina mediante la relación entre los grupos carbonilos libres y esterificados en su estructura. (Chasquibol, N, et al., 2008). De esta forma, se clasifican en pectinas muy esterificadas, con un porcentaje de esterificación igual o mayor al 50 % y las pectinas poco esterificadas con un porcentaje menor al 50 %. (Galeas, L. 2015). Las propiedades estabilizantes y emulsionantes de la pectina han demostrado que en condiciones controladas de pH, concentración, fuerza iónica y temperatura, se forman soluciones viscoelásticas y redes estructuradas mayormente utilizadas desde la industria alimenticia hasta en aplicaciones biomédicas (Aponte, A, et al., 2018).

La extracción de pectina a partir de productos vegetales se puede realizar a través de diferentes métodos. Sin embargo, a nivel industrial la hidrólisis ácida con ácido cítrico y ácido clorhídrico es la más utilizada. Esta hidrólisis se realiza con ácido diluido (pH 1.5 – 3.0), en un rango de temperatura de 60-100 °C. El extracto es filtrado y la pectina es precipitada, para separarla de los residuos del resto de compuestos de las cáscaras, para luego secarla y molerla hasta obtener un fino polvo listo para comercializarlo (Itescam, 2007). La composición y propiedades de las preparaciones de pectina varían con la fuente, el manejo y preparación de la cáscara, el tipo de extracción y tratamientos subsecuentes (BeMiller, 2007). Para alcanzar

un alto grado de pureza, la pectina puede procesarse a través de membranas de separación de microfiltración y ultrafiltración previo al secado final. De esta manera en estas etapas, el contenido de ácido galacturónico y grado de esterificación incrementan con el incremento en su peso molecular al igual que la composición de monosacáridos (Qiu et al. 2009).

El Ecuador es un país importador de pectina con un promedio de 53-60 TM de importaciones por año; proveniente de países como México, Estados Unidos, Brasil y Dinamarca (Rivadeneira, M, et al. 2016). Sin embargo, no existe una producción de pectina que satisfaga las necesidades del mercado interno tanto en la industria alimenticia como la biomédica (Rentería, J. 2014) (Banco Central, 2012). Actualmente, la pectina comercial obtenida a partir del mesocarpio de manzana o frutos cítricos, es comúnmente utilizada por sus altos porcentajes en rendimiento y precio accesible en el mercado de \$ 15-20 por kilogramo (Rivadeneira, M, et al. 2016). Sin embargo la pectina de frutas como la granadilla (*Passiflora ligularis*) es de gran interés por su particular funcionamiento en la creación de hidrogeles en el área biomédica que se detalla en la sección 1.1.2, que los frutos cítricos no proporcionan (Stacey, A. 2019). En el país, hay una alta producción de granadilla, la cual está disponible todo el año y cuyos desechos actualmente no tienen un valor agregado en otros procesos. (Miranda, D. 2015). La provincia de Imbabura se caracteriza por su un alto rendimiento agrícola de este producto con un aproximado de 325 hectáreas y 154 productores quienes reportan producciones de 35 a 40 TM por hectárea, en cada una de las dos cosechas principales por año (Tipás, J. 2017).

1.1.2 Aplicaciones de la Pectina

Las pectinas son aplicadas mayormente en la industria alimenticia produciendo viscosidad, gelificación y espesamiento (Charchalac, L. 2008). No obstante, tienen varias aplicaciones beneficiosas para la salud tanto en la industria farmacéutica como en la biomédica.

Dependiendo del grado de esterificación de la pectina se crean diferentes tipos de entrecruzamiento; las pectinas con alto grado de esterificación (HM) pueden formar hidrogeles en medios con pH ácido mientras que las pectinas con bajo grado de esterificación (LM), se entrecruzan en presencia de iones de calcio y por lo tanto tienen diversas aplicaciones (Hoffman, 2012). Las pectinas de grado farmacéutico se caracterizan principalmente por su grado de metoxilación mayor o igual a 6.7 % y su contenido de ácido galacturónico mayor o igual a 74 % por USP (United States Pharmacopoeia Convection). Un resumen de estas normas se presentan en el Anexo B.

En la industria biomédica, la pectina de grado farmacéutico se utiliza en el encapsulamiento de fármacos con biopolímeros ya que permite que el componente activo se libere en la circulación de la sangre y de esta forma aumentar la eficacia del tratamiento. En la fabricación de medicamentos más específicos, o como agentes absorbentes de proteínas y últimamente se investiga su aplicación como membranas biopoliméricas cicatrizantes. (Kumari et al., 2010) (Chasquibol, N, et al. 2008). Actualmente, una de las aplicaciones de más interés es el entrecruzamiento de las mismas con otros biopolímeros para crear hidrogeles; estos materiales retienen un alto contenido de agua en su estructura y permiten proporcionar una administración local y sostenida de una variedad de agentes terapéuticos, entre ellos proteínas, igual que promover la proliferación de células y el tratamiento de heridas. (Van Vlierberghe, Dubruel, & Schacht, 2011) (Martins et al., 2018) En el laboratorio de biomateriales de la USFQ se ha probado que los hidrogeles de pectina-gelatina oxidada, que gracias a su porosidad permiten tener una tasa de liberación sostenida y alta, son una opción para el vendaje de heridas (Garrido, et al. 2018). Además, específicamente con la pectina de granadilla, se obtienen hidrogeles que tienen una liberación más sostenida de fármacos y son más estables en el tiempo (Valencia, L. 2019) (Stacey, A. 2019). Los hidrogeles de pectina se utilizan en formulaciones de tabletas como agente ligante o de matriz de liberación controlada (Krusteva et al., 1990;

Naggar et al., 1992), e incluso son utilizados en la fabricación de apósitos hidrocoloides que se usan en quemaduras de grado A, pie diabético, dermatitis entre otras aplicaciones por su contenido de partículas hidroactivas y absorbentes para el tratamiento de estas heridas (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2005).

En la industria cosmética, la pectina purificada se utiliza como proveedor de estructuras en pastas, ungüentos, aceites y cremas. También se utiliza como un espesante y estabilizador en tónicos para el cabello, lociones corporales, champús y acondicionadores. Entre sus principales funcionalidades se encuentra que: es estable en condiciones ácidas y neutras, forma excelentes films, geles transparentes y térmicamente resistentes, proporciona fluidez, estabiliza suspensiones, emulsiones y espumas, es amigable con la piel y controla la viscosidad. Las pectinas tienen propiedades reológicas, dependiendo de la concentración y reactividad con calcio de la pectina elegida (Cargill, s/f.)

1.2 Justificación

En este proyecto se plantea la producción de un biopolímero, pectina de granadilla de grado farmacéutico, para su futuro uso en aplicaciones en la industria biomédica y farmacéutica del Ecuador. Para establecer la rentabilidad económica del proyecto se comparará el costo de producción únicamente de materias primas con el ingreso aproximado de venta del producto.

Como se establece en la sección 2.2 Descripción de producto, una unidad de producto contiene 1 kg de pectina de grado farmacéutico mayor al 99 % sellada al vacío. En la Tabla 24, se encuentra el precio de producción de 4.5 kg de pectina que resulta de una extracción teniendo en cuenta solo el costo de materias primas, el precio de 1 kg de pectina sería de \$ 148. Para la producción mensual de 144 kg tendría un costo aproximado de \$ 2100 mensuales.

Actualmente, la única forma de conseguir este producto en el Ecuador es por medio de exportaciones. La empresa Cargill, mundialmente reconocida por la distribución de mercancías

agrícolas y farmacéuticas tiene actualmente una marca de fábrica llamada UNIPECTINE™ la cual ofrece un amplio rango de pectina de HM y LM, que cumplen con las especificaciones de USP. Este producto tiene un rango de precio de \$ 700 en el mercado por la venta de 1 kg del mismo (Cargill, s/f.)

Si el costo de venta del producto se establece con un precio de \$ 500 por kilogramo para entrar al mercado, se obtendría un ingreso mensual de \$ 72000 por la venta de 144 kg. Por lo tanto, existiría una gran diferencia entre las posibles ganancias en comparación a la inversión en materia prima. Se debe recalcar que se necesita considerar más factores para el valor real del producto que se detallarán en el capítulo 3, en el análisis económico del proyecto.

1.3 Objetivos

Este proyecto va a evaluar la oportunidad de aprovechar los antecedentes mostrados en la sección 1.1 y se ha planteado el siguiente objetivo general:

1.3.1 Objetivo general:

Estudiar la factibilidad de una planta de producción de pectina de granadilla (*Passiflora ligularis*) que supla parcialmente la demanda nacional en aplicaciones biomédicas.

Para llevar a cabo este objetivo se deben llevar a cabo estos objetivos específicos que serán desarrollados en los capítulos 1, 2 y 3:

1. Diseñar el proceso de extracción.
2. Diseñar y dimensionar la planta de producción.
3. Realizar un análisis económico de la implantación de la planta de producción.

1.4 Resultados esperados

La producción de pectina de granadilla de alto grado de pureza se implementaría como un nuevo proceso para el aprovechamiento y otorgamiento de un valor agregado a los desechos

de granadilla. La pectina farmacéutica se podría diversificar como materia prima para otras aplicaciones en la industria biomédica, farmacéutica y de cosmética y a su vez podría suplir la demanda nacional de la misma. Además, se podría analizar una posible exportación del producto después de cumplir el tiempo de recuperación. Por ende, esta producción afectaría a la importación de pectina de otros países generando una alternativa de diversificación utilizando un producto nacional considerando la sostenibilidad ambiental aprovechando los desechos de granadilla. Por otro lado, esta planta contribuiría para la generación de empleo en la provincia de Imbabura como se ha detallado en la sección 1.1 de Antecedentes.

2 BASES DEL DISEÑO

2.1 Descripción de materias primas

La principal materia prima utilizada en este proceso es la cáscara de granadilla. Se aprovechará el 10 % de la cosecha de la provincia de Imbabura. Además, se desea aprovechar las cáscaras residuales provenientes de las alianzas con plantas procesadoras de concentrado o pulpa de granadilla que se detallan en la Tabla 1.

Se utilizará ácido cítrico para la hidrólisis ácida de la pectina y se utilizará etanol (EtOH) 96% v/v para la etapa de resuspensión de la pectina y el lavado de la misma como se indica en la sección 2.3 Selección del proceso. Se deberá concentrar el etanol de 95% obtenido por el proveedor. Tanto el ácido cítrico como el alcohol no son parte de la composición final del producto.

Se puede visualizar el diagrama de flujo del proceso en la Figura 2 en el Capítulo 2.

Tabla 1. Descripción de materias primas

| Materia Prima | Proveedores | Cantidad mensual requerida |
|---------------------------|---|-----------------------------------|
| Cáscara de granadilla | 1. 10% de la producción de Imbabura Empresas: 2. AgroIndustrial - Fruta de la pasión 3. Palora Exotic Fruits | 1408 kg |
| Ac. Cítrico monohidratado | Beijinkkg Shifa Technology & Trade Co. | 4.44 ton |
| Agua destilada | Generada por un destilador de agua instalado en la planta | 31744 L |
| Etanol | Shandong Baovi Energy Technology Co., Ltd. | 18176 L |

2.2 Descripción de producto

El producto principal de la planta es pectina comercial de *Passiflora ligularis*, grado farmacéutico de pureza mayor al 99 %, cuya presentación comercial sería un polvo envasado al vacío para evitar problemas de degradación por humedad y se puede transportar a temperatura ambiente.

- Presentación comercial: polvo en bolsas de aluminio envasadas al vacío. Su periodo de vigencia es de un año, que es el tiempo en cuanto pierden un 5 % aproximadamente de su poder gelificante. (Rivadeneira, M, et al. 2016)
- Capacidad de presentación: **1 kg/bolsa.**
- Costo aproximado de cada unidad: **\$ 500 USD**

2.3 Selección del proceso

La extracción de pectina a partir de productos vegetales se puede realizar a través de diferentes métodos como la hidrólisis ácida, la extracción microondas, y la extracción enzimática. Sin embargo, a nivel industrial el método más utilizado es la hidrólisis ácida con ácido cítrico y ácido clorhídrico (Itescam, 2007). Esta hidrólisis consiste en un proceso sencillo

para ser llevado a gran en comparación a las otras opciones; puede lograrse a través de dos variantes:

- a) **Hidrólisis con ácido débil:** Se utiliza ácido cítrico a 1M con una relación de 15ml por 1 gramo de muestra (Valencia, L. 2019).
- b) **Hidrólisis con ácido fuerte:** Se utiliza ácido clorhídrico a 1M con una relación de 15ml por 1 gramo de muestra (Valencia, L. 2019).

Se comparará experimentalmente la utilización de ácido cítrico y ácido clorhídrico para determinar el método más apropiado. Se evaluó el rendimiento, costos, disponibilidad de reactivos y tiempo de extracción. Se puede visualizar fotos en el ANEXO A:

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

Metodología experimental

Se prepara una solución de ácido cítrico o ácido clorhídrico a una concentración 1M. Después, se realiza una suspensión de harina de cáscara de granadilla y ácido cítrico con una proporción 1 g por cada 15 mL del ácido. Se agita la mezcla por 75 minutos a 55–60 °C moderadamente, para luego ser filtrada para retirar los sólidos y se añade un volumen igual de etanol 70% v/v para precipitar la pectina durante 24 h. Seguidamente, se filtra el precipitado y se realiza un lavado con la mitad de volumen de etanol utilizado en la precipitación. Después se realiza una resuspensión con agua con el doble del volumen del precipitado. Se agita la mezcla por 75 minutos a 55–60 °C y se filtra al finalizar. Finalmente se seca la pectina en un horno a 40 °C, hasta un peso constante.

Tabla 2. Criterios de evaluación.

| Criterios | Ác. Clorhídrico | Ác. Cítrico |
|--------------------------|------------------------|--------------------|
| Rendimiento prom. (%) | 1.102 | 9.447 |
| Tiempo de extracción (h) | 24 | 24 |
| Costo (US\$/mes) | 92 | 40 |

Tabla 3. Matriz de decisión (1 min – 5 max)

| Criterios de evaluación /5 | Ác. Clorhídrico | Ác. Cítrico |
|----------------------------|-----------------|-------------|
| Rendimiento promedio | 1 | 4 |
| Tiempo de extracción | 3 | 3 |
| Costo | 4 | 5 |
| Disponibilidad | 3 | 5 |
| Total /20 | 11 | 17 |

El rendimiento de la granadilla registrado en literatura es de 11.75% utilizando ácido cítrico (Medina, 2006). Esta variable depende de la parte de la granadilla a utilizar y del tratamiento previo que se le realiza al bagazo (Apolo, M. 2019). El ácido cítrico fue elegido debido a que su rendimiento experimental fue mayor que el de HCl, y su costo es menor en comparación al del HCl. Estos y otros criterios fueron evaluados en una matriz de decisión, mostrada en la Tabla 3. El ácido cítrico es más accesible en costos y permisos de compra que el ácido clorhídrico en el mercado. A continuación se puede visualizar el diagrama de bloques del proceso que se basa en la metodología experimental llevada a la escala de una planta piloto, Figura 1. Debido a que el producto final de la planta es pectina de grado farmacéutico se añaden las etapas de microfiltración y ultrafiltración en el proceso, además de una recirculación del etanol utilizado.

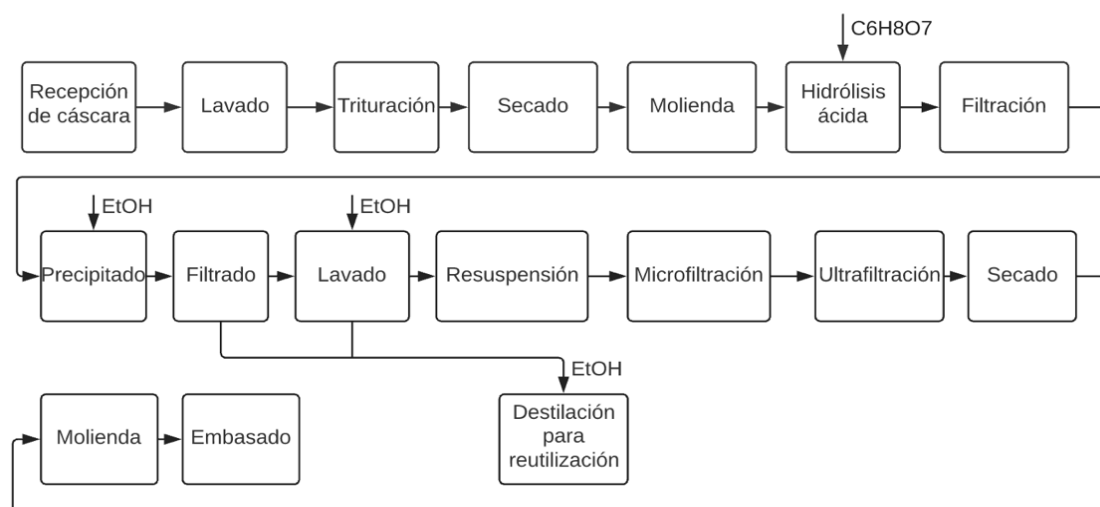


Figura 1. Diagrama de bloques de la extracción de pectina por hidrólisis ácida.

2.4 Ubicación

La nueva planta se situará en la provincia de Imbabura debido a que la materia prima es proveniente de cantones. Se realizará un estudio en base a estos factores para determinar la ubicación exacta de la planta. Además, parte de la cáscara que se utilizará provendrá de empresas como “Palora”, Agro Industrial “Fruta de la Pasión C.Ltda.” productoras de pulpa de granadilla.

2.5 Limitaciones y Normas

2.5.1 Efluentes

Los efluentes se han convertido en una consideración importante en la industria de la pectina debido a que al producir una pectina en polvo, se solubilizan al menos una cantidad igual de materia orgánica sin efecto, a partir de azúcares y hemicelulosas en la materia prima. Este material orgánico termina en el flujo acuoso de la recuperación de alcohol, o en una forma más diluida en el licor madre acuoso de la precipitación de aluminio; es más un costo importante y a veces un serio problema técnico para el fabricante de pectina, ya sea para tratar este efluente o pagar a una autoridad local por su tratamiento (May, C. 1990). A futuro, se podría considerar, utilizar estos desechos en bioprocesos para producción de ácido cítrico que podría utilizarse en el proceso, contribuyendo a la aproximación a una planta “zero waste”. Se ha considerado en el Capítulo 3, la implementación de un Plan de manejo ambiental que incluye: Manejo de Desechos, Comunicación y Capacitación, Relaciones comunitarias, Contingencias, Seguridad y Salud ocupacional, Monitoreo y seguimiento, Rehabilitación y, Cierre, Abandono y Entrega del área.

2.5.2 Normas internacionales de requerimientos de la pectina purificada

El grado de pureza de la pectina es determinado por su porcentaje de ácido anhidro-galacturónico por el método oficial de Food Chemicals Codex FCC, o por el ácido galacturónico establecido por FAO Food and Nutrition Paper (FNP). Si el contenido de ácido galacturónico es bajo, indica la presencia de ácido no-urónico y material polisacárido en la pectina. El contenido mínimo establecido por USP estándar de referencia es de 74%, y con su contenido de metoxilo mayor o igual a 6.7%. Un resumen de estas normas se presentan en la Tabla 4 de normas y legislaciones (NOSB, 1995)

2.6 Normas y Legislación

2.6.1 Producción de pectina

Las normas internacionales de requerimientos de las pectinas se presentan en la Tabla A - 1 en el Anexo B.

2.6.2 Legislación Urbana

Se necesitan los permisos de funcionamiento municipales que se muestran a continuación (Rivadeneira, M, et al. 2016):

- Patente Municipal
- Tasa de habilitación
- Permiso del Cuerpo de Bomberos
- Permiso de uso de suelo
- Autoridad Sanitaria Nacional mediante la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria - ARCSA y Direcciones Provinciales de Salud de Salud
- Ministerio de Salud Pública. MSP

- Ministerio de Industrias y Productividad – MIPRO. Categorización de empresas
- Subsecretaría de calidad ambiental – Permiso Ambiental

2.6.3 Marco Legal

Todas las actividades industriales, comerciales, desarrolladas dentro del territorio ecuatoriano que impliquen un impacto ambiental están regidas por el marco legal en el Anexo 2.

2.6.4 Terminología especializada

Acrónimos utilizados

| | |
|---|---|
| USP: United States Pharmacopodia Convection. | FDA : Administración Federal de Drogas y Alimentos. |
| JEFC: Comité Ad-hoc en Aditivos Alimenticios. | FCC : Codex Químico Alimenticio. |

Términos

Grado de esterificación: La relación entre los grupos carbonilos libres y esterificados en la estructura de la pectina. (Chasquibol, N, et al., 2008)

Hidrólisis ácida: Descomposición de sustancias orgánicas e inorgánicas complejas en otras más sencillas por acción de agua con ácido. (León, D, et al. 2014)

Apósitos: Poseen la característica de interactuar con la herida. Están diseñados para mantener una humedad fisiológica en la herida o úlcera y permitir la oxigenación. (Pontificia Universidad Católica de Chile, s/f.)

Hidrocoloide: Son productos diseñados para la curación de heridas agudas o crónicas, formados por una matriz adherente al lecho de la herida y a la piel perilesional. (Pérez, M. 2014)

Contenido de metoxilo: Los grupos carboxilos de una cadena de pectina se encuentran parcialmente esterificados por radicales metilos (O-CH₃). Una pectina completamente metoxilada alcanzaría un 16,32% de grupos metóxilos. La metilación, radica en su relación con la propiedad más importante de formar geles. (Calderón, K. 2017)

Contenido de ácido galacturónico: Sirve para definir la pureza del precipitado y comprobar que el producto es una pectina, ya que es un polímero de ácido galacturónico. Si el contenido de ácido galacturónico (C₆H₁₀O₇) está por debajo de 70% indica la presencia de ácido no urónico y si la pectina cítrica tiene más de 74% de ácido galacturónico es considerado de alta pureza. (Calderón, K. 2017)

3 CAPITULO 1: DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN

El diseño del proceso de extracción de la pectina está basado en la metodología experimental utilizada en la sección 2.3. Por lo tanto las etapas del proceso se pueden visualizar en el diagrama de bloques de la planta en la Figura 1. En las secciones de este capítulo se indicará la elección de la base de producción, caudales y composiciones de las corrientes con sus respectivas operaciones unitarias y condiciones de operación.

3.1 Base de producción

Como se detalla en la sección 1.1.1, en Ecuador no se registra una producción de pectina que satisfaga el mercado alimenticio, biomédico, ni cosmético. Actualmente se importa aproximadamente de 53-60 TM de pectina anuales. Se estima que un 10 % de las importaciones se utilizan en aplicaciones donde se requiere pectina de grado farmacéutico (5300 kg/año) (Rivadeneira, M, et al. 2016). Para la base de producción, considerando 22 días laborales mensuales, se propone una producción de 1870 kg de pectina anuales para cubrir el 1855 kg/año que representa el 35 % de esta demanda nacional de pectina farmacéutica. Además, se considera un rendimiento del 10 % en la extracción en base a que este fue el rendimiento promedio entre el experimental y teórico.

3.2 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo, mostrado en la Figura 2 está basado en la metodología usada en utilizada en la sección 2.3.

Tabla 4. Numeración de equipos del diagrama de flujo

| Num. | Equipo |
|------|-----------------------------------|
| E1 | Balsa de lavado |
| E2 | Picadora |
| E3 | Secador 1 |
| E4 | Molino de rodillo |
| E5 | Tanque de almacenamiento |
| E6 | Tanque mezclador |
| E7 | Filtro de prensa |
| E8 | Tanque de precipitación |
| E9 | Tanque de Etanol |
| E10 | Columna de destilación |
| E11 | Microfiltración & Ultrafiltración |
| E12 | Secador 2 |
| E13 | Molino de bolas |
| E14 | Caldera |

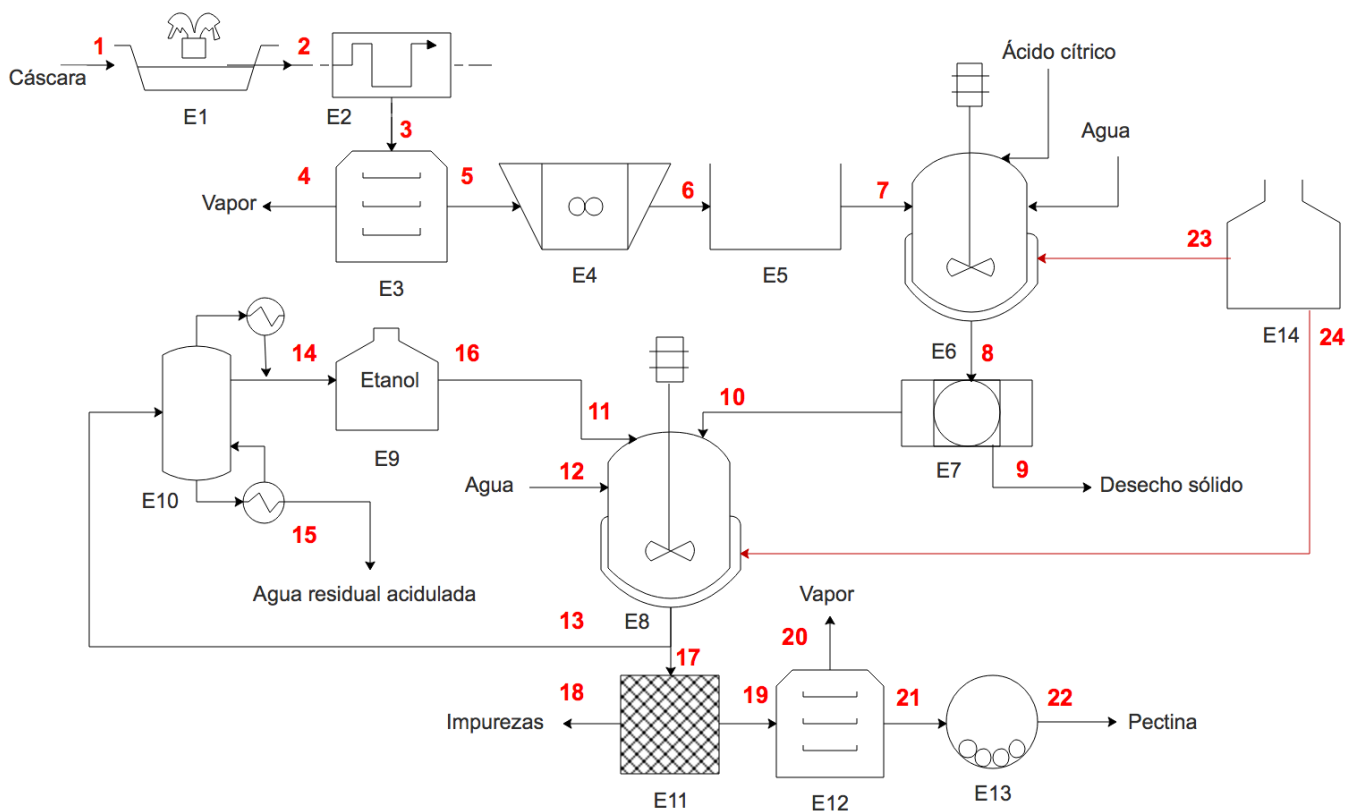


Figura 2. Diagrama de flujo de la planta

3.3 Condiciones de extracción

Todo el proceso es batch y está dividido en dos secciones:

La primera sección opera en base a una vez por semana, y representa las corrientes 1-6. Las cáscaras de granadilla entran a una balsa de lavado (E1), se pican en una trituradora (E2), se secan en un horno (E3) y se muelen en un molino de rodillo (E4) y se almacena en el tanque de almacenamiento (E5).

La segunda sección está en base a una extracción, y representa las corrientes 7-24. Se realizan 2 extracciones por día, cuatro veces por semana. Se inicia mezclando la cáscara molida con ácido cítrico diluido con la relación de 15 ml por gramo de cáscara en el tanque de hidrólisis (E6) a 60 °C por 75 minutos. Se filtran los desechos sólidos en un filtro de prensa (E7) y la

solución pasa al tanque de precipitación (E8) donde se agrega el doble de volumen de etanol y se deja por 24h. Por medio de un tamiz interno, se filtra la pectina líquida y se lava con etanol. El alcohol proviene de un tanque de almacenamiento (E9). Una vez lavada, se realiza la resuspensión de la misma con agua a 60 °C por 75 minutos. El alcohol utilizado es reciclado hacia la torre de destilación (E10). Después la pectina pasa por un equipo de micro y ultra filtración (E11) para ser purificada, luego es secada (E12) y molida en un molino de bolas (E13) para su distribución. Se utiliza una caldera (E14) que proveerá el flujo de vapor hacia las chaquetas térmicas de los tanques.

Extracción

La calidad y rendimiento de la pectina están en función a parámetros como el pH, temperatura, tiempo de extracción. A pH bajos se favorece la disociación de los enlaces de la pectina y del tejido vegetal, por lo que el rendimiento de la extracción incrementa con la acidez. Si el pH es alto, el producto pierde mucho grado de esterificación. De acuerdo al producto HM o LM, se puede variar el pH. Para obtener pectina HM, se trabaja con pH de 2-3; sin embargo, si se desea bajar el grado de esterificación se trabajaría entre pH 1-2 (Martínez, S. 2016). Altas temperaturas podrían causar la degradación de la pectina, mientras que a bajas temperaturas se favorece la producción de pectina con un bajo grado de esterificación. El rango recomendable es de 50 a 90 °C; se trabajará a 60 °C. Por otro lado, la extracción puede durar de 1 a 12 h, sin embargo se trabajará con 1.25 horas (Martínez, S. 2016).

3.4 Balances de masa

Se realizaron los balances de masa para ambas secciones batch, en donde las corrientes están en kilogramos, las horas de operación de cada equipo están detalladas en los balances de energía. Se detalla en el Anexo C.

Tabla 5. Balances de masa de la planta

| Corrientes (kg) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| Cáscara | 46.00 | 46.00 | | | 44.42 | |
| Ac. Cítrico | | | | | | |
| Agua | | 2.76 | | 4.34 | | |
| Etanol | | | | | | |
| Pectina | | | | | | |
| TOTAL | 46.00 | 48.76 | 48.76 | 4.34 | 44.42 | 44.00 |

| Corrientes (kg) | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|---------------|---------------|
| Cáscara | 44.00 | 50.00 | 50.00 | | | |
| Ac. Cítrico | 1095.60 | 1089.60 | | 1089.60 | | |
| Agua | | | | | | 600.00 |
| Etanol | | | | | 718.20 | |
| Petina | | | | | | |
| TOTAL | 1139.60 | 1139.60 | 50.00 | 1089.60 | 718.20 | 600.00 |

| Corrientes (kg) | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|-----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|--------------|-------------|
| Cáscara | | | | | | |
| Ac. Cítrico | 1090.90 | | 1090.90 | | | |
| Agua | 600.00 | | 600.00 | | | |
| Etanol | 648.00 | 388.80 | 259.20 | 718.20 | | |
| Petina | | | | | 68.90 | 1.38 |
| TOTAL | 2338.90 | 388.80 | 1950.10 | 718.20 | 68.90 | 1.38 |

| Corrientes (kg) | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|-----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Cáscara | | | | | | |
| Ac. Cítrico | | | | | | |
| Agua | | 63.02 | | | 10.43 | 10.43 |
| Etanol | | | | | | |
| Petina | 67.53 | | 4.50 | 4.50 | | |
| TOTAL | 67.53 | 63.02 | 4.50 | 4.50 | 10.43 | 10.43 |

3.5 Balances de energía

Tabla 6. Balances y consumo de energía

| Equipos | Potencia (kW) | kW/semana |
|-----------------------------------|----------------------|------------------|
| Destilador de agua | 84.00 | 672.00 |
| Balsa de lavado | 2.50 | 24.38 |
| Picadora | 0.75 | 7.31 |
| Secador 1 | 2.88 | 28.05 |
| Molino de rodillo | 3.00 | 29.25 |
| Tanque mezclador | 0.02 | 0.37 |
| Filtro de prensa | 1.50 | 36.00 |
| Tanque precipitador | 7.60 | 152.07 |
| Columna de destilación | 682.03 | 32737.44 |
| Microfiltración & Ultrafiltración | 0.23 | 5.52 |
| Secador 2 | 42.19 | 4049.96 |
| Molino de bolas | 4.00 | 32.00 |
| Caldera | 7.00 | 280.00 |
| TOTAL | 837.70 | 38054.35 |

Por lo tanto, se utilizará 44 kg de cáscara por extracción para obtener 4.5 kg de pectina purificada. Se consumirá aproximadamente 38054.4 kW semanales por todos los equipos.

4 CAPITULO 2: DISEÑO DE LA PLANTA

A partir de la elección de las operaciones unitarias definidas en el capítulo anterior se realizará la selección y dimensionamiento de los equipos para cada operación. La metodología de dimensionamiento se detalla en el Anexo A.

4.1 Selección y dimensionamiento de equipos

4.1.1 Balsa de lavado

Se utiliza para extraer las impurezas de la cáscara. Se operará una vez por semana para tratar 368 kg. El equipo que concuerda con esta función tiene las siguientes especificaciones. La cotización de importación se detalla en 8.5.1 Balsa de lavado.

Tabla 7. Especificaciones Balsa de lavado

| Balsa de lavado | |
|------------------------|----------|
| Modelo | HT-QX200 |
| Capacidad (kg/h) | 300-500 |
| Potencia (kW) | 2.5 |

4.1.2 Picadora

Las cáscaras pasan por un proceso de triturado para reducir el tamaño de las partículas para que faciliten su secado. La cotización de importación se detalla en 8.5.2 Picadora.

Tabla 8. Especificaciones Picadora

| Picadora | |
|------------------|------------|
| Modelo | YQC-600 |
| Capacidad (kg/h) | 100-300 |
| Potencia (kW) | 0.75 |
| Tamaño (mm) | 50*450*850 |

4.1.3 Secador 1

Se dimensionó un secador cúbico para deshidratar la cáscara de granadilla conociendo la humedad de la cáscara de la granadilla y los residuos de agua del lavado.

Tabla 9. Especificaciones Secador 1

| Dimensionamiento Secador 1 | |
|-----------------------------------|------|
| Masa de granadilla (kg) | 52.3 |
| Q neto (kW) | 2.88 |
| Volumen caja (m ³) | 0.06 |
| Largo (m) | 0.64 |
| Ancho (m) | 0.43 |
| Altura (m) | 0.21 |

4.1.4 Molino de rodillo

Se utiliza un molino de rodillo para alcanzar un tamaño de partícula fina para ser almacenada.

La cotización se detalla en 8.5.3 Molino de rodillo.

Tabla 10. Especificaciones Molino de rodillo

| Molino de rodillo | |
|--------------------------|-------------|
| Modelo | DX-65 |
| Capacidad (kg/h) | 20-65 |
| Potencia (kW) | 3 |
| Tamaño (mm) | 420*400*800 |

4.1.5 Tanque de almacenamiento

Se ha dimensionado un tanque de almacenamiento de SS 304 para contener la cáscara de granadilla seca y molida semanal, de aproximadamente 500 kg.

Tabla 11. Especificaciones Tanque de almacenamiento

| Dimensionamiento del Tanque | |
|--------------------------------------|--------|
| Volumen del Tanque (m ³) | 1.85 |
| Masa total (kg) | 397.84 |

4.1.6 Tanque mezclador

Para la etapa de extracción, se utiliza un tanque cilíndrico de SS 304 de tapas planas con una chaqueta térmica que permite calentar la mezcla a durante la extracción. En esta etapa se utiliza las condiciones de temperatura, tiempo de extracción y agitación utilizadas en el laboratorio.

Los tipos de aspas más adecuados para trabajar con suspensión de sólidos, son de turbina o hélice. En este caso se utilizará de turbina con hoja plana que sirven para operaciones de transferencia de masa y sólidos suspensión (Sinnott, 2005) (Treybal,1994).

Se utilizarán deflectores para proporcionar la mezcla de arriba a abajo sin remolino, y minimizar el arrastre de aire. En este caso, se utilizarán deflectores estándares debido a que la viscosidad del bulk es baja (Atiemo & Calabrese, 2003).

Tabla 12. Especificaciones Tanque mezclador

| Dimensionamiento del Mezclador | |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Volumen del tanque (m ³) | 0.841 |
| Masa total tanque (kg) | 203.89 |
| Aspas | |
| Tipo de aspas | Rushton turbine 6-blade |
| Potencia del mezclado (kW) | 0.018 |
| Deflectores | |
| Ancho (m) | 0.076 |
| Chaqueta térmica | |
| Área de la chaqueta (m) | 3.799 |
| Grosor de la chaqueta (m) | 0.003 |

4.1.7 Filtro de prensa

Después de que se haya obtenido la separación sólido- líquido, se utiliza un filtro de prensa para filtrar la solución de pectina de los desechos sólidos. Es importante que la concentración de la pectina esté entre 0.6-1 % para no tener una alta viscosidad al ser filtrada. En este caso, es un filtrado rápido ya que los sólidos son relativamente grandes y no tienen alta resistencia. Este equipo permite que la torta de filtración obtenida esté lo más seca posible; además, tiene un bajo costo y su área de filtración es grande. La cotización se detalla en 8.5.4 Filtro de prensa. La capacidad del modelo de 62.5 L está basada en los kilogramos de desecho sólido a retener, que en este caso serían 50 kg. El modelo que se adapta a estas especificaciones es el siguiente:

Tabla 13. Especificaciones Filtro de prensa

| Filtro de prensa | |
|-------------------------|---------------|
| Modelo | XAMY5/500 -UB |
| Capacidad (L) | 62.5 |
| Potencia (kW) | 3.8 |
| Tamaño (mm) | 1705*750*1000 |

4.1.8 Tanque de precipitación

En este equipo se realizará la precipitación, lavado y resuspensión de la pectina. Se trabajará con un tanque cilíndrico de SS 304 con tapas planas para evitar la evaporación del etanol. Como existe una suspensión sólido-líquido, se utilizará un tamiz para retener el gel de pectina para el lavado, y se resuspenderá la pectina con agua en agitación térmica. Se usan las mismas especificaciones para el diseño de las aspas y deflectores.

Tabla 14. Especificaciones Tanque de precipitación

| Dimensionamiento del Tanque de Precipitación | |
|---|----------------------------|
| Volumen del tanque (m ³) | 2.031 |
| Masa total tanque (kg) | 431.42 |
| Aspas | |
| Tipo de aspas | Rushton turbine 6-blade |
| Potencia del mezclado (kW) | 7.604 |
| Deflectores | |
| Ancho (m) | 0.103 |
| Chaqueta Térmica | |
| Área de la chaqueta (m) | 5.516 |
| Grosor de la chaqueta (m) | 0.002 |
| Especificaciones Tamiz | |
| D (m) | 1.020 |
| Diámetro de partícula de pectina (µm) | 0.001 |

4.1.9 Columna de destilación

Se desea implementar una columna de destilación de SS 304 para la recirculación del etanol utilizado en la precipitación y el lavado de la pectina. A partir del simulador de Hysys se ha obtenido las especificaciones de la columna.

Tabla 15. Especificaciones Columna de destilación

| Datos de la columna de Destilación | |
|---|---------|
| Flujo de entrada (kg/h) | 2337.6 |
| Temperatura (K) | 333.1 |
| Presión (kPa) | 101.325 |
| Concentración de etanol en el dest. | 60% |
| Concentración de agua en residuos | 10% |
| Presión del condensador (kPa) | 90 |
| Presión del reboiler (kPa) | 1200 |
| Fracción molar residual de Etanol en el fondo | 0.0023 |
| Fracción molar de Agua en el destilado | 0.0033 |

Tabla 16. Resultados de la simulación de Hysys

| Resultados Hysys | |
|------------------------------------|---------|
| Número de platos | 20 |
| Temperatura Condesador (°C) | 75.2 |
| Temperatura Reboiler (°C) | 108.8 |
| Flujos en la rectificación: | |
| Vapor (kgmol/h) | 56.65 |
| Líquido (kgmol/h) | 42.49 |
| Flujos en el stripping: | |
| Vapor (kgmol/h) | 56.65 |
| Líquido (kgmol/h) | 96.02 |
| Q Condensador (kW) | -610.09 |
| Q Reboiler (kW) | 682.03 |

| Dimensionamiento Columna | |
|---------------------------------------|--------|
| Número de platos | 20 |
| Diámetro (ft) | 2.58 |
| Espaciamiento entre platos (pulg) | 18 |
| Altura de la torre (m) | 10.36 |
| Volumen de la torre (m ³) | 5.03 |
| tw final (m) | 0.002 |
| Masa de la columna (kg) | 556.94 |

4.1.10 Microfiltración & Ultrafiltración

Se eligió utilizar dos membranas de filtración para purificar la pectina. De acuerdo a las especificaciones mostradas a continuación se eligió el equipo mediante el tamaño de cada membrana y la capacidad. La cotización se detalla en 8.5.5 Membrana de micro y ultrafiltración

Tabla 17. Especificaciones Membranas MF & UF

| Membrana MF & UF | |
|--------------------------------------|-------------|
| Modelo | ZYUGL-18 |
| Flujo de filtrado (L/h) | 0.5 - 10 |
| Potencia (kW) | 2.3 |
| Tamaño (mm) | 500*450*580 |
| Área de filtración (m ²) | 0.4 |
| Membrana MF (μm) | 10 |
| Membrana UF (μm) | 0.45 |

4.1.11 Secador 2

En esta etapa se diseñó un secador cúbico para secar la pectina. Sin embargo en esta etapa se debe considerar que la temperatura no debe sobrepasar los 45 °C para no degradar la pectina.

Tabla 18. Especificaciones Secador 2

| Dimensionamiento Secador 2 | |
|-----------------------------------|-------|
| Masa de granadilla (kg) | 67.53 |
| Q neto (kW) | 42.19 |
| Volumen caja (m ³) | 0.076 |
| Largo (m) | 0.699 |
| Ancho (m) | 0.466 |
| Altura (m) | 0.233 |

4.1.12 Molino de bolas

Se utiliza un molino de bolas para alcanzar un tamaño de partícula fina. La cotización se detalla en 8.5.6 Molino de bolas.

Tabla 19. Especificaciones Molino de bolas

| Molino de rodillo | |
|--------------------------|----------------|
| Modelo | QM400*600 |
| Capacidad (kg/h) | 10 |
| Potencia (kW) | 1.5 |
| Tamaño (mm) | 1840*1000*1000 |

4.1.13 Caldera

Se dimensionó una caldera que proporciona un caudal de vapor para calentar las chaquetas del tanque de hidrólisis y el de precipitación, utilizando diésel.

Tabla 20. Especificaciones Caldera

| Dimensionamiento Caldera | |
|---------------------------------|-------|
| W (caudal de vapor) kg/h | 13.98 |
| Q neto (kw) | 7.00 |
| Volumen diesel (L) | 0.87 |

4.1.14 Destilador de agua

Para reducir costos, se ha costeado un destilador de agua para diluir el ácido cítrico y el etanol adquirido, y para la resuspensión de la pectina. Se detalla en 8.5.7 Destilador de agua.

Tabla 21. Especificaciones Destilador de agua

| Destilador de agua | |
|---------------------------|--------------|
| Modelo | DE-140 |
| Capacidad (L/h) | 140 |
| Potencia (kW) | 84 |
| Tamaño (mm) | 810*630*1420 |

Se han establecido las dimensiones y especificaciones necesarias para cada operación. Estas medidas proporcionarán una estimación del costo de implantación de la planta del siguiente capítulo.

5 CAPITULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO DE IMPLANTACIÓN

En esta sección se mostrarán los resultados de la estimación del costo total de la planta en base al método de factores de Lang, factores de Hang y el método factorial detallado. Se presentarán los costos ISBL y OSBL, con las inversiones de capital fijo y de capital de trabajo. Además, se comparará con un estudio a partir de cotizaciones de equipos disponibles en el mercado. Se realiza también un resumen de los costos de producción, ingresos y finalmente el tiempo de recuperación de la inversión para ambos casos.

5.1 Costo de la planta

Se ha utilizado el método de Lang, Hang y factorial detallado para obtener una mejor estimación del costo de la planta. El costo de Lang se basa en los equipos y se considera un costo subestimado, por lo tanto se utilizaron los métodos de Hang y factorial detallado basándose en los costos de Lang. El de Hang considera los factores de material y de Hang, mientras que en el factorial detallado utiliza los factores específicos mixtos del proceso. Se presenta a continuación un resumen de estos resultados en la Tabla 22.

Tabla 22. Resumen de los costos de la planta

| Métodos utilizados | Costo de la planta (\$) |
|----------------------------|--------------------------------|
| Metodo de Lang | 585,628 |
| Método de Hand | 1,472,764 |
| Método factorial detallado | 2,184,114 |

A partir de estos costos, se calculó un margen del $\pm 30\%$ del costo de Hand y del factorial detallado para calcular el valor promedio del Costo ISBL de la empresa.

5.2 Inversión del capital fijo

Una vez calculado el valor de ISBL de la planta, se determinaron los costos de la inversión de capital fijo como se muestra a continuación:

Tabla 23. Resumen de la inversión de capital fijo

| Costos | Valor (\$) |
|------------------------|-------------------|
| Costo ISBL | 1,778,113 |
| Costo OSBL | 711,245 |
| Costo de Ingeniería | 746,807 |
| Gastos por imprevistos | 248,936 |
| Total | 3,485,101 |

5.3 Inversión del capital de trabajo

Para calcular la inversión de capital de trabajo se utilizaron los costos de materia prima utilizadas en el proceso y los costos de producción.

Tabla 24. Resumen de costos de materia prima

| Materias Prima | Cantidad por extracción | Costo por unidad | Costo por extracción | Costo por día |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Cáscara | 44 kg | \$0.012/kg | \$ 0.53 | \$ 1.06 |
| Ácido cítrico | 138.69 kg | \$585/ton | \$ 87.75 | \$ 175.5 |
| Agua destilada | 992 L | \$0.0032/L | \$ 3.17 | \$ 6.35 |
| Etanol | 568 L | \$0.63/L | \$ 357.84 | \$ 715.68 |
| Total | | | \$ 449.29 | \$ 898.58 |

Los costos de producción se calcularon a partir de la suma de los variables y los fijos que se presentan a continuación.

Tabla 25. Resumen de los costos de producción

| Costos de producción | | |
|--------------------------------|----------------|----------------|
| Costos de producción variables | 171,631 | \$ /año |
| Costo de producción fijo | 188,230 | \$ /año |
| Total | 359,861 | \$ /año |

El costo de la inversión de capital de trabajo se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 26. Resumen de la inversión de capital de trabajo

| Costo | Valor (\$) |
|-----------------------------|-------------------|
| Valor materias primas | 7,082 |
| Valor de productos | 13,840 |
| Efectivo en Caja | 6,920 |
| Cuentas a Cobrar | 29,988 |
| Créditos Cuentas Pendientes | 14,165 |
| Inventario Repuestos | 497,871 |
| Total | 569,869 |

5.4 Estimación ingresos del proyecto

Para determinar los ingresos de la planta se utilizaron los siguientes parámetros que están resumidos a continuación.

Tabla 27. Resumen de la estimación de ingresos

| Ingresos | | |
|----------------------------|---------|--------|
| Margen de producción bruto | 766,427 | \$/año |
| Costos efectivo producción | 359,861 | \$/año |
| Beneficio Bruto | 576,554 | \$/año |
| Beneficio Neto | 574,554 | \$/año |

5.5 Análisis basado en equipos disponibles

Se realizó el análisis económico considerando los costos a partir de las cotizaciones adjuntas en el Anexo E. Los valores de las cotizaciones se utilizaron para calcular el costo por el método de Hang y el método factorial detallado para obtener el valor de ISBL correspondiente. A continuación se presenta la Tabla 28 con un resumen de los costos e ingresos relevantes.

Tabla 28. Resumen a partir de cotizaciones de equipos disponibles en el mercado.

| Resumen Económico en base a equipos disponibles | |
|--|--------------|
| ISBL | \$ 1,167,004 |
| Capital de trabajo | \$ 392,612 |
| Capital fijo | \$ 2,287,327 |
| Costo de Materias Primas anual | \$ 169,988 |
| Beneficio Neto | \$ 618,142 |
| Ingreso Venta de productos anual | \$ 936,416 |

5.6 Análisis de recuperación

En base a los anteriores resultados del capital fijo y de trabajo sobre el beneficio neto, se ha determinado que para el análisis de costos teórico el tiempo de recuperación de la inversión es aproximadamente de 7.06 años, mientras para el análisis considerando equipos disponibles en el mercado es de 4.43 años. Mientras el costo teórico es mayor que el de equipos del mercado, se debe considerar que: existen gran variedad de opciones para la compra de cada equipo, y existen más restricciones en cuanto a la importación de los equipos a Ecuador que no fueron consideradas en este análisis. El proyecto es rentable a largo plazo debido a que se aproximan y sobrepasan los 5 años de recuperación recomendables, sin embargo no llegan a los 10 años.

Tabla 29. Tiempos de recuperación

| | Años de recuperación |
|--|-----------------------------|
| Análisis teórico | 7.06 |
| Análisis en base a equipos disponibles | 4.43 |

6 CONCLUSIONES

En este proyecto se ha realizado un estudio de factibilidad de la implementación de una planta de pectina de grado farmacéutico de granadilla para servir como materia prima para diversos procesos de la industria ecuatoriana. La planta tiene una producción de 1870 kg de pectina con una ganancia de \$ 936,416 anuales orientadas a la sustitución de las importaciones principalmente.

Se ha establecido al método de hidrólisis ácida con ácido cítrico como el más óptimo para este proceso, escalando las etapas de la extracción realizada experimentalmente en el laboratorio de biomateriales de la USFQ. Sin embargo se han añadido las etapas de micro y ultrafiltración para purificar la pectina y cumplir con los estándares de venta.

Por medio de la definición de estas operaciones unitarias, se seleccionaron los equipos adecuados para cada función. Se dimensionaron los secadores, los tanques de hidrólisis y precipitación, la columna de destilación y la caldera. Por medio de cotizaciones se seleccionaron los equipos para el lavado, molienda y filtrado con las especificaciones y caudales requeridas.

Se realizó el análisis económico basado en costos teóricos y en costos disponibles por medio de cotizaciones obtenidas del mercado. Se utilizaron las dimensiones y capacidades de los equipos, el costo de materias primas, el costo de venta del producto y los ingresos de la planta para ambos casos. Se obtuvieron 7.06 y 4.43 años de recuperación de la inversión respectivamente, lo que demuestra que el proyecto es rentable a largo plazo.

El proyecto es ambientalmente viable en cuanto a la implantación, operación y mantenimiento de la planta. Sin embargo, se deben considerar los tratamientos de agua y de los desechos sólidos que contienen ácidos y alcohol resultantes, para ser utilizados en otros procesos en un plan de manejo ambiental.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aponte, A, et al. (2018) *Evaluación de los residuos orgánicos del exocarpio de pepino cohombro (Cucumis sativus) y del mesocarpio de granadilla (Passiflora ligularis) como alternativa de materia prima para la obtención de pectinas.*
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/25560/aapontec.pdf;jsessionid=0B0E6ECD628ED2D83C3758D2A4611035.jvm1?sequence=1>
- Atiemo, V., & Calabrese, R. (2003). *Rotor–Stator Mixing Devices*. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0471451452.ch8>
- BeMiller. (2007). *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. St. Paul, MN. AACC International Press. 2nd. Edition. 389 p.I
 Bristol Myers Squibb Co <https://patents.google.com/patent/ES2229225T3/es>
- Calderon. J. (2014) *Oportunidades para productos farmacéuticos y cosméticos en Ecuador*
<https://www.procomer.com/uploads/downloads/4391dcefb5bfd2b1ce94434dcafd6607c3a85ff1.pdf>
- Camacho, M. (2014). *Estudio Técnico-Económico Para La Instalación De Una Planta Extractora De Pectina A Partir De La Càscara De Maracuyà.*
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4764>
- Cargill (s/f). *Pectina*. Obtenido de: <https://www.cargill.com/personal-care/hydrocolloids/pectins>
- Carvajal, et al. (2011). *Elación Entre Los Usos Populares De La Granadilla (Passiflora Ligularis Juss) Y Su Composición Fitoquímica.* Extraída de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a21.pdf>
- Castiilo, J. (2019). *Diseño de un fermentador orientado a mejorar el proceso de fermentación del cacao criollo blanco de Piura.* Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4017/MAS_IME_AUT_033.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Charchalac, L. (2008). *Efecto del agente de extracción y tiempo de hidrólisis ácida en el rendimiento de pectina de cáscaras de maracuyà (Passiflora edulis var. flavicarpa)*
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5401/1/AGI-2008-T011.pdf>
- Chasquibol, N, et al. (2008) *Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana.*
<https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428492010.pdf>
 de: https://www.researchgate.net/publication/281460206_Handout_Steps_for_design_of_Furnace_Fired_Heater

- Banco Central del Ecuador. (2012). *Encuestas De Coyuntura*.
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc201203.pdf>
- Garrido, et al. (2018) *Auto-crosslinking hydrogels of hydrogen peroxide-oxidized pectin and gelatin for applications in controlled drug delivery*.
- García, J. (2009). *Evaluación del rendimiento de extracción de pectina en aguas mieles del beneficiado de café procedentes de desmucilaginado mecánico*. (Tesis para optar al título de ingeniera química), Universidad De El Salvador, San Salvador.
- Galeas Lema, L., A. (2015). *Diseño de un proceso para la obtención de pectina de la corteza del limón de la variedad Tahiti (Citrus latifolia Tan.)*. 193 hojas. Quito. Obtenido de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11184>
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Mexico: Editorial Continental.
- Hoffman. (2012). *Hydrogels for biomedical applications*. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64(SUPPL.), 18-23. doi:10.1016/j.addr.2012.09.010
- ICA. (2000). *Guía tecnológica y de posibilidades de inversión de cultivos no tradicionales. Localización de Cultivos de Granadilla*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- INEC. (2013). *Anuario de Estadísticas Hospitalarias Camas y Egresos 2013*.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_Sociales/Camas_Egresos_Hospitalarios/PublicacionesCam_Egre_Host/Anuario_Camas_Egresos_Hospitalarios_2013.pdf
- INEN. (2011). *Rotulado de productos alimenticios para el consumo humano*.
https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/ec.nte_.1334.1.2011.pdf
- INEN. (2014). *Identificación de aditivos alimentarios*.
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu175750.pdf>
- Itescam. (2007). *Obtención y propiedades químicas de las pectinas*.
<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r22061.DOC>
- Jiménez, R. (2018). *Manejo de las quemaduras de primer y segundo grado en atención primaria*. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-928X2018000100045
- Krusteva et al., 1990; Naggar et al. (1992). Pharmaceutical investigation of a bioerodible nystatin system. *Pharmazie*, 45. Pp. 195 – 197.
- Kumari et al. (2010) *Biodegradable polymeric nanoparticles based drug delivery systems*.

Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 75(1), 1-18.
doi:10.1016/j.colsurfb.2009.09.001

- LaHora. (2018). *Se duplica el número de pacientes con quemaduras*.
<https://www.pressreader.com/ecuador/la-hora-quito/20181026/281496457274166>
- León, D, et al. (2014). "*Extracción Y Caracterización · Química De Las Pectinas De Las Cáscaras Del Mara Cuy Á Amarillo (Passiflora Edu/Is, Var Flavicarpa Degener), Granadilla (Passiflora Ligularis Juss) Y Tumbo Serrano (Passiflora Mo/Lísima H.B.K. Bailey)*"
<http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/388/T.660.2.L46e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martins et al., (2018) *Pectin-chitosan membrane scaffold imparts controlled stemcell adhesion and proliferation. Carbohydrate Polymers, 197, 47-56.*
doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.062>
- Martínez, S. (2016). Diseño de una planta para la extracción y purificación de pectina.
<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/101671/1/MARTINEZ%20PIZARRO%20C%20SARAY.pdf>
- Miranda, D. (2015). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Granadilla.*
<https://books.google.com.ec/books>.
- May, C. D. (1990). Industrial pectins: sources, production and applications. *Carbohydr. Polymers* 12, 79-99
- Navarrete, J. (2017). "*ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE GRANADILLA (Passiflora Ligularis) EN LA PROVINCIA DE IMBABURA*".
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6953/1/03%20AGN%20027%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Nina, W. (2011). *Análisis Y Determinación De La Temperatura Y Tiempo En La Extracción Ácida De La Pectina Del Sancayo (Lobivia maximiliana)*.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3894/Nina_Paucar_William_Glademir.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- NOSB. (1995). *Pectin, Low – Methoxyl. Extraído de:*
<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Pec%20Technical%20Advisory%20Report.pdf>
- Pérez, M. (2014). *¿Qué son los apósitos hidrocoloides?*
<https://www.menosdiasconheridas.com/que-es-el-aposito-hidrocoloide/>
- Pontificia Universidad Católica de Chile, (s/f.) *Procedimientos de curación.*
<http://www6.uc.cl/manejoheridas/html/aposito.html>
- Qiu, et al. (2009). *Apple Pectin Behavior Separated by Ultrafiltration*. Available:

10.1016/S1671-2927(08)60329-6. Agricultural Sciences in China - AGRIC SCI CHINA

- Rentería, J. (2014). *Procesamiento De Frutas De Maracuyá (Passiflora Edulis) Para Obtención De Pectina, En Machala, 2013*.
http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1045/7/CD309_TESIS.pdf
- Rivadeneía, M, et al. (2016). *Plan De Negocios Para El Montaje De Una Empresa Productora Y Comercializadora De Pectina*. Extraído de:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/96059/D-P12768.pdf>
- Saavedra, L. (2015). *Uso Integral Del Maracuyá (Passiflora Edulis Flavicarpa) En La Extracción De Pectina Y Formulación De Mermeladas*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4774/1/T-UCE-0017-135.pdf>
- Shawabkeh, R. (2015). SP. Handout: Steps for design of Furnace & Fired Heater. Obtenido
- Stacey, A. (2019) *Elaboración de hidrogeles en base al entrecruzamiento entre pectina extraída de 3 frutas y quitosano para la liberación controlada de una proteína modelo*
- Treybal, R. (s/f.). *Operaciones de Transferencia*.
<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/operaciones-de-transferencia-de-masa-robert-e-treybal.pdf>
- Tipás, J. (2017) “*Estudio De La Producción Y Comercialización De Granadilla (Passiflora Ligularis) En La Provincia De Imbabura*”
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6953/2/ARTICULO.pdf>
- Towler, G., & Sinnott, R. (2008). *Chemical Engineering desing*. Elsevier.
- Valencia, L. (2019). *Elaboración de hidrogeles de pectina oxidada con gelatina: Efecto de la fuente de la pectina*.
- Van Vlierberghe, Dubruel, & Schacht, (2011) *Biopolymer-based hydrogels as scaffolds for tissue engineering applications: A review. Biomacromolecules*.
<https://doi.org/10.1021/bm200083n>
- Wankat, P. (2011). *Ingeniería de procesos de separación*. Segunda edición.

8 ANEXOS

8.1 ANEXO A: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



Figura A - 1 Pectina usando ácido cítrico



Figura A - 2. Pectina usando ácido clorhídrico

8.2 ANEXO B: MARCO LEGAL

8.2.1 Normas Internacionales

Tabla A - 1 Normas internacionales de requerimientos de las pectinas.

| NORMAS | | UE E440 pectina | UE E440 pectina amidada | FAO/WHO JECFA Pectina | FDA/FCC Pectina | USP Pectina |
|--------|--|--|-------------------------|-----------------------|------------------------|-------------|
| 1 | Pérdida de secado (%max) | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 |
| 2 | Ceniza insoluble en ácido (3 N HCl) (%max) | 1 | 1 | 1 | 1 | - |
| 3 | Insolubles totales (%max) | - | - | 3 | 3 | - |
| 4 | Metilsulfato de sodio (%max) | - | - | - | 0,1 | - |
| 5 | Alcohol metil, etil, o isopropílico libre (en bs) (%max) | 1 | 1 | 1 | 1 | - |
| 6 | Alcohol metílico (%max) | - | - | - | - | 0,3 |
| | Alcohol etílico (%max) | - | - | - | - | 0,5 |
| | Alcohol isopropílico (%max) | - | - | - | - | 0,5 |
| 7 | Dióxido de azufre (en bs) (max. ppm) | 50 | 50 | 50 | 50 | - |
| 8 | Contenido de nitrógeno (pectina)(en bs y libre de ceniza) (%max) | 1 | - | 2,5 | - | - |
| 9 | Contenido de nitrógeno (pectina amidada) (%max) | - | 2,5 | 2,5 | - | - |
| 10 | Ácido galacturónico (en bs y libre de ceniza) (%min) | 65 | 65 | 65 | - | 74 |
| 11 | Contenido de metoxilo (en bs pectina no estandarizada) (%min) | - | - | - | - | 6,7 |
| 12 | Grado de amidación (%max) | - | 25 | 25 | 25 | - |
| 13 | Azúcar y ácidos orgánicos (%max) | - | - | - | - | 160 |
| 14 | Arsénico (max. ppm) | 3 | 3 | - | - | 3 |
| 15 | Plomo (max. ppm) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 16 | Cadmio (max. ppm) | 1 | 1 | - | - | - |
| 17 | Mercurio (max. ppm) | 1 | 1 | - | - | - |
| 18 | Metales pesados (como plomo) (max. ppm) | 20 | 20 | - | - | - |
| 19 | Pesticidas | Acorde a regulaciones generales alimenticias | | | | |
| 20 | Gérmenes patógenos | Acorde a regulaciones generales alimenticias | | | Ausencia de salmonella | |
| 21 | Impurezas orgánicas volátiles | Acorde a regulaciones generales alimenticias | | | Límites definidos | |

(Nina, W. 2013)

8.2.2 Leyes

- Constitución de la República del Ecuador, publicada en el R.O. No 449 - Octubre 20, 2008.
- Codificación de la Ley de Gestión Ambiental, publicada en el R.O. No 418 – Septiembre 10, 2004.

- Ley de Gestión Ambiental. Ley N° 37, Registro Oficial No 245, 30 de Julio de 1999.
- Ley de Recursos Hídricos. Usos y aprovechamiento del agua. Registro Oficial No 335 del 06 de agosto del 2014.
- Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, Registro Oficial No. 418 – Septiembre 10, 2004
- Ley Orgánica de Salud, Registro Oficial No 423 – Diciembre 22 del 2006.
- Decreto Ejecutivo 1040 (Reglamento de aplicación de los mecanismos de Participación Social establecidos en la Ley de Gestión Ambiental), Registro Oficial No 332 – Mayo 8, 2008.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental. TULSMA Registro Oficial No 725, 31 de marzo del 2003.
- Decreto Ejecutivo 1215 (Reglamento Sustitutivo al Reglamento Ambiental de las Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador), Registro Oficial No. 265 – Febrero 13, 2001
- Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo. Decreto 2393 del Ministerio de Relaciones Laborales.
- Reglamento general del Seguro de Riesgos de Trabajo, Resolución No C.D. 390 del Consejo Superior del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social de noviembre 10 del 2011.
- Resolución 957: Reglamento del Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo, septiembre 2005.
- Acuerdo Ministerial 103 (Instructivo al Reglamento de los Mecanismo de Participación Social establecido en el Decreto ejecutivo No.1040 Registro Oficial No.332 del 8/05/2008), Registro Oficial No. 36 Noviembre, 2015

- Acuerdo Ministerial 069(Instructivo para la calificación y registro de consultores ambientales a nivel nacional), Registro Oficial No. 36- Julio 15, 2013.
- Acuerdo Ministerial 061 (Derogatoria al catálogo de Categorización Ambiental Nacional según AM 068 y 006. Adicionalmente suprime los Anexos: I, II, III, IV y los Anexos 1, 2, 3,4 del Acuerdo Ministerial 068, sustituyéndolos por los incluidos en esta reforma. R.O. Mayo 6 del 2015.
- Acuerdo Ministerial 026 (Procedimiento para Registro de Generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para el transporte de materiales peligrosos) Registro Oficial No 334 – Mayo 12, 2008.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2-266:2013, “Transporte, almacenamiento, manejo de productos peligrosos”
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 3864-1:2013 2013-05 “Símbolos Gráficos, Colores de Seguridad y Señales de Seguridad.

8.2.3 Información Pectina

Tabla A - 2 Empresas proveedoras de pectina para la Industria Ecuatoriana (año 2015)

| NOMBRE | PAÍS |
|---|--------------------|
| CP KELCO BRASIL S/A | Dinamarca/Brasil |
| DANISCO MEXICANA SA DE CV | México/ USA |
| CARGILL FRANCE | Estados unidos |
| QUIMERCO S.A. | Colombia |
| HERMANN SCHLATERMUND EXPORT IMPORT GMBH | Alemania |
| ALPINA PRODUCTOS ALIMENTICIOS S.A. | Colombia |
| CEAMSA AS GANDARAS | España |
| FMC BIOPOLYMER UK LTD | Estados Unidos |
| MIAMI INTK FREIGHT SOLUCIONES LLC | Estados Unidos |
| SWEET SOLUCIONES LLC | Estados Unidos |
| Total | 10 empresas |

Fuente: (Rivadeneira, M, et al. 2016)

Tabla A - 3 Empresas productoras de concentrado de pulpa en Ecuador

| EMPRESAS | PRODUCCION NACIONAL TM |
|--------------------|-------------------------------|
| TROPIFRUTAS | 7.229,31 |
| QUICORNAC | 7.816,36 |
| FRUTA DE LA PASION | 1.959,57 |
| EXOFRUT | 1.399,64 |
| TOTALES | 18404,88 |

Fuente: (Rivadeneira, M, et al. 2016)

8.3 ANEXO C: METODOLOGÍAS

8.3.1 Objetivo específico 1: Diseño del proceso de extracción

A. Determinación de los caudales de procesamiento

- i. Identificar la cantidad de materia prima a utilizar.
- ii. Identificar la demanda específica que se quiere cubrir.
- iii. Identificar la unidad de producción que se quiere abordar.

B. Definición de las condiciones de extracción.

- i. Selección de ácidos para la hidrólisis ácida con 3 corridas.
- ii. Mantener constantes el tiempo y concentración.
- iii. Determinar rendimientos, costos y disponibilidad de materia prima.
- iv. Realizar una matriz de toma de decisiones.
- v. Seleccionar el ácido a utilizar en la hidrólisis.

C. Balances de masa

- i. Realizar un diagrama.

- ii. Simbología de corrientes composición y caudales.
- iii. Reconocer las variables incógnitas y conocidas para un análisis de grados de libertad
- iv. Establecer las ecuaciones de balance, basadas en las leyes de conservación de la masa y las especificaciones de diseño
- v. Resolver algebraicamente para determinar las incógnitas y soluciones del proceso.

D. Generación de los diagramas del proceso de bloques y flujo

- i. Reconocer operaciones principales y auxiliares.
- ii. Hacer lista de los procesos con sus operaciones unitarias.
- iii. Reconocer equipos necesarios para cada operación.
- iv. Sistemas de auxiliares necesarios.

8.3.2 Objetivo específico 2: Diseño de la planta

A. Dimensionamiento de los equipos de la planta.

- i. Selección de los equipos.
 - Determinar las operaciones unitarias del proceso.
 - Determinar los equipos necesarios de cada operación unitaria.
 - Determinar los materiales de cada equipo.
 - ◆ Se debe considerar un material que no se oxide, como es el acero inoxidable.

B. Dimensionar los equipos de cada operación unitaria. (Castiilo, 2019)

- i. Balsa de lavado

- Establecer el flujo de entrada mediante el balance de masa.
- Buscar en Alibaba un equipo correspondiente a la capacidad del flujo de entrada.

ii. Picadora

- Establecer el flujo de entrada mediante el balance de masa.
- Definir el tipo de corte que deberían tener las cáscaras de granadilla.
- Buscar en Alibaba un equipo correspondiente a la capacidad y al tipo de corte deseado.

iii. Secador 1 (Shawabkeh, R. 2015)

- Establecer el flujo de entrada mediante el balance de masa.
- Establecer el flujo de molar de agua de la masa de la granadilla.
- Realizar un balance de entalpías para calcular ΔH_r .
- Utilizar la siguiente ecuación para determinar el calor necesario:

$$Q = \Delta H_r * \dot{W}$$

Donde ΔH_r es la diferencia de entalpías y \dot{W} es el flujo molar de agua.

- Fijar un porcentaje de eficiencia de la transferencia de calor (η).
- Calcular Q_{fuel}

$$Q_{fuel} = Q * \eta$$

- Calcular el Q_{wall}

$$Q_{wall} = Q_{fuel} * 0.02$$

- Calcular el Q_{neto}

$$Q_{neto} = Q_{fuel} - Q_{wall}$$

- Dimensionar el equipo con geometría cúbica.
- Establecer el volumen de cáscara + 20% a secar. (V)

- Determinar el valor de cada lado del horno sabiendo que:

$$L = \sqrt[3]{\frac{V}{6}}$$

- Calcular el valor del volumen de la caja:

$$V_{caja} = 6 * V^3$$

- Establecer una relación entre el largo, ancho y altura, y reemplazar el valor obtenido del lado del horno.

iv. Molino de rodillo

- Establecer el flujo de entrada mediante el balance de masa.
- Definir el tipo de corte que deberían tener las cáscaras de granadilla.
- Buscar en Alibaba un equipo correspondiente a la capacidad y al tipo de corte deseado para tener la cáscara pulverizada.

v. Tanque de almacenamiento

- Se establece la capacidad de cáscara que se va a almacenar
- Definir la geometría de la mezcladora, cilíndrica.
- Utilizar la relación de $L= 2D$ para obtener las dimensiones del tanque de fermentación.
- Se calcula el diámetro y la altura en base a la ecuación de un cilindro.
- Para el dimensionamiento se debe considerar un 20% más en la altura del tanque por motivos de seguridad.
- Se calcula espesor de la pared.

$$tw = \frac{Pi * Di}{2SE - 1.2Pi} + 2 m$$

Donde: S es el esfuerzo máximo permisible, t_w es el espesor de la pared, D_i es el diámetro interno del tanque, P_i es la presión interna del tanque y E es la efectividad de la soldadura.

- Se calcula la masa del tanque.

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

Donde: D es el diámetro del tanque, L es la longitud del tanque, t_w es el espesor de pared y ρ es la densidad del acero inoxidable.

- Se calcula el espesor de pared para los terminales del tanque, en este caso van a ser terminales planas.

$$t_w = D_e \sqrt{\frac{C P_i}{S E}}$$

Donde: D_e es el diámetro interno, C es una constante 0.1, P_i presión interna, S es el esfuerzo máximo permisible, E es la efectividad de soldadura.

- Se calcula la masa de los terminales.

$$m = \pi * D^2 * t_w * \rho$$

Donde: D es el diámetro del tanque, t_w es el espesor de pared y ρ es la densidad del acero inoxidable.

- Se suma las masas para obtener la masa total del tanque.

vi. Tanque mezclador

- Establecer la masa de cáscara, ácido cítrico que se va a manejar.
- Definir la geometría de la mezcladora, cilíndrica.
- Utilizar la relación de $L = 2D$ para obtener las dimensiones del tanque de fermentación.

- Se calcula el diámetro y la altura en base a la ecuación de un cilindro.
- Para el dimensionamiento se debe considerar un 20% más en la altura del tanque por motivos de seguridad.
- Se calcula espesor de la pared.

$$tw = \frac{Pi * Di}{2SE - 1.2Pi} + 2 \text{ mm}$$

Donde: S es el esfuerzo máximo permisible, tw es el espesor de la pared, Di es el diámetro interno del tanque, Pi es la presión interna del tanque y E es la efectividad de la soldadura.

- Se calcula la masa del tanque.

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

Donde: D es el diámetro del tanque, L es la longitud del tanque, tw es el espesor de pared y ρ es la densidad del acero inoxidable.

- Se calcula el espesor de pared para los terminales del tanque, en este caso van a ser terminales planas.

$$tw = De \sqrt{\frac{CPi}{SE}}$$

Donde: De es el diámetro interno, C es una constante 0.1, Pi presión interna, S es el esfuerzo máximo permisible, E es la efectividad de soldadura.

- Se calcula la masa de los terminales.

$$m = \pi * D^2 * tw * \rho$$

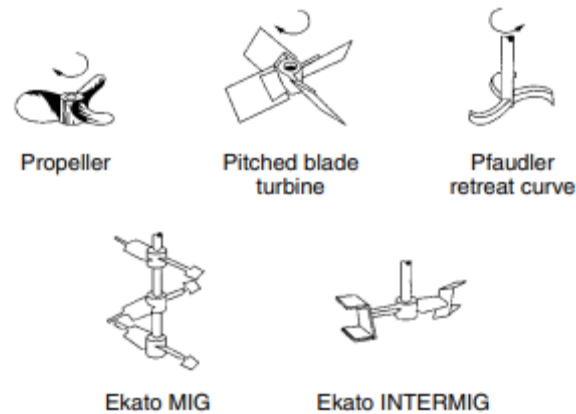
Donde: D es el diámetro del tanque, tw es el espesor de pared y ρ es la densidad del acero inoxidable.

- Se suma las masas para obtener la masa total del tanque.

- Elegir el tipo de aspas (axial Flow impellers que sirven para solid suspension or solids incorporation //también sirven para heat transfer).

(Atiemo & Calabrese, 2003)

Tipos específicos: Propeller, pitched Blade turbine or hydrofoils.



- Determinar la forma del fondo del tanque (dished bottom heads for solid suspension)
- Determinar el diametro del agitador. $D_a = D_{\text{tanque}}/3$. (Geankoplis, 1998)
- Se utiliza la siguiente fórmula para obtener el consumo de potencia con el agitador:

$$P \left(\frac{J}{s} \right) = N_p \times \rho_{\text{bulk}} \times N^3 \times D_a^5$$

Donde: P es la potencia, N_p es el número de potencia, N es velocidad de rotación, D_a es el diámetro del agitador y ρ es la densidad del bulk.

- Para dimensionar la chaqueta térmica del tanque se establece el área de la chaqueta con la relación de $A = 2 * \pi * r^2 * 1.2$
- Para determinar el grosor se toma el 1% del área.

vii. Filtro de prensa

- Establecer el flujo de entrada mediante el balance de masa.
- Definir el tipo de filtrado para desechar el residuo de las cáscaras de granadilla.

- Buscar en Alibaba un equipo correspondiente a la capacidad y al tipo de retención deseado.
- viii. Tanque de precipitación
- Realizar el mismo procedimiento que para el tanque mezclador con el flujo de masa respectivo para determinar el volumen del tanque, la masa del cilindro, la potencia del motor y la chaqueta térmica.
 - En base al diámetro de la partícula de pectina que se desea filtrar se dimensiona un tamiz, el cual irá dentro del tanque.
- ix. Tanque de Etanol
- Realizar el mismo procedimiento que para el tanque mezclador con el flujo de masa respectivo para determinar el volumen del tanque, la masa del cilindro.
- x. Columna de destilación
- Utilizar el simulador Aspen Hysys para su dimensionamiento.
 - Elegir los compuestos para trabajar.
 - Elegir el paquete termodinámico.
 - Elegir la columna de destilación Short Cut, y se colocan las 3 corrientes.
 - Ingresar el flujo de entrada a la columna con sus respectivas composiciones, temperatura y presión.
 - Ingresar la concentración y fracciones molares del etanol y del agua en el condensador y en el reboiler y un reflux ratio.
 - Correr el programa.
 - Para el dimensionamiento de la columna se utilizó la siguiente relación

$$\frac{Q}{d^2} = 350,000$$

Donde: Q en BTU/hr, y d en pies.

A partir de el cálculo del diámetro de la torre, utilizar la siguiente relación para determinar el espaciado entre los platos. (Wankat, P. 2011)

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

- Estimar la altura de la torre teniendo en cuenta un 10% para el cabezales.
- Calcular el volumen como un tanque cilindro, como en la metodología del tanque mezclador.

xi. Microfiltración y Ultrafiltración

- Establecer el flujo de entrada mediante el balance de masa.
- Definir el tipo de filtrado para desechar los componentes no deseados según el tamaño de partícula.
- Buscar en Alibaba un equipo correspondiente a la capacidad y al tipo de membranas.

xii. Secador 2

- Realizar el mismo procedimiento que para el secador 1 con el flujo de masa respectivo para determinar la potencia y las dimensiones del volumen de la caja.

xiii. Molino de Bolas

- Establecer el flujo de entrada mediante el balance de masa.
- Definir el tamaño de partículas deseada.
- Buscar en Alibaba un equipo correspondiente a la capacidad y al tamaño de partículas deseado

xiv. Caldera

Calculate the heat liberated by fuel, $Q_F = \frac{\text{Total required heater duty}}{\eta}$

Calculate the amount of required fuel, $m_{fuel} = \frac{Q_F}{\text{Fuel value}}$, then calculate the

required amount of air, $m_{air} = \frac{air}{Fuel} m_{Fuel}$

Assume 25% excess air, then the Total required amount of air = $1.25 m_{air}$

Calculate the inlet heat by air, $Q_{air} = m_{air} C_{p_{air}} (T_{air.in} - T_{ref.})$. Assume $T_{ref} = 60^\circ\text{F}$.

Usually the amount of atomizing steam is 0.3 lb/lb Fuel. Therefore, Total atomizing steam required is equal to $0.3m_{fuel}$

Amount of heat associated by steam is $Q_{steam} = m_{steam} C_{p_{steam}} (T_{steam.in} - T_{ref})$

Calculate heat absorbed by the furnace wall. Usually $Q_{wall} = 2\% Q_F$

Calculate the heat of exhaust gases, $Q_{exhaust} = m_{fuel} (1 + G') C_{p_{average}} (T_G - 520)$, where T_G is in [°R] and G' is the air to fuel ratio.

The average specific heat, $C_{p_{average}} = \sum x_i C_{p_i}$, x_i is the mass fraction of the exit gases such as excess air, CO₂, H₂O, steam, and others (if applicable).

The net heat liberated, $Q = Q_{fuel} + Q_{air} + Q_{steam} + Q_R - Q_{wall} - Q_{exhaust}$ where Q_R for re-circulating gases and may be neglected in your calculations.

(Awwad, R. 2015)

xv. Destilador de agua

- Establecer el consumo de agua semanal..
- Buscar en Alibaba un equipo correspondiente al flujo de agua que se desea tratar.

8.3.3 Objetivo específico 3: Análisis económico de implantación

A. Determinar el costo de cada equipo.

- a. Con las capacidades obtenidas por el dimensionamiento de cada equipo buscar empresas que fabriquen los equipos del proceso y establecer sus costos de venta.

B. Realizar la estimación de costos según los factores de Lang.

- a. Se utiliza la formula $C = F\Sigma Ce$.
- b. Determinar el factor de Lang según el procesamiento.
- i. $F=3$ Procesamiento sólido.
 - ii. $F=5$ Procesamiento fluidos.
 - iii. $F=4$ Procesamiento mixto.
- c. Obtener el costo de cada equipo con: $Ce = a + bS^n$.
- d. Sumar el costo de cada equipo y multiplicar con el factor de Lang.

C. Realizar la estimación de costos según los factores de Hand.

- a. Determinar la capacidad de cada equipo.
- b. Obtener el costo de cada equipo con: $Ce = a + bS^n$.
- c. Tomar en cuenta el factor del material.
- d. Tomar en cuenta el factor de instalación de Hand dependiendo del tipo el equipo.

- e. Para obtener el costo total de cada equipo multiplicar el costo por el factor del material y el factor de Hand.
- f. Sumar el costo de cada equipo para obtener el costo total de la planta.

D. Realizar la estimación de costos según el método factorial detallado.

- a. Determinar la capacidad de cada equipo.
- b. Obtener el costo de cada equipo con: $C_e = a + bS^n$.
- c. Tomar en cuenta el factor del material.
- d. Determinar el tipo de procesamiento si es líquido, sólido o mixto.
- e. Determinar los valores de los factores de: tuberías, montaje de equipo, eléctrico, civil, instrumento de control, estructural, aislamiento.
- f. Para obtener el costo total de cada equipo multiplicar el costo por el factor del material y los factores de instalación de cada equipo.
 - i. Formula para obtener el costo de la planta:

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

- g. Para determinar el costo total de la planta se debe sumar el costo de cada equipo.

E. Con el costo total de la falta obtenido del método factorial detallado se obtiene el costo ISBL.

F. El costo OSBL se obtiene del 40% del ISBL.

G. El costo del gasto de imprevisto es el 10% del (ISBL + OSBL).

H. El costo del capital de trabajo es el 5% del capital fijo que es ISBL + OSBL.

I. Obtener el costo de producción.

- a. Obtener el costo de producción variable considerando el costo de materia prima, servicios de agua potable y de electricidad, transporte y envasado del producto final.

- b. Obtener el costo de producción fijo se toma en cuenta:
- i. Labor operación.
 - ii. Supervisión que es el 25% costo de operación + administración.
 - iii. Gastos salariales que es el 50% costo de operación + administración.
 - iv. Mantenimiento que es 3 – 5 % ISBL.
 - v. Impuestos sobre la propiedad que es el 1 – 2 % ISBL.
 - vi. Alquiler tierra que es 1 – 2% ISBL +OSBL.
 - vii. Gastos generales que es el 65% costo operación + administración
 - viii. Gastos medio ambientales que es el 1% ISBL + OSBL.
 - ix. Costo por licencias de funcionamiento.
 - x. Gastos del capital que es el pago de intereses por préstamos.

J. Obtener los ingresos de la planta.

- a. Obtener el margen del producto bruto que es la suma de los ingresos por la venta del producto.
- b. Obtener el costo en efectivo por producción que es la suma del costo variable y el costo fijo.
- c. Obtener el beneficio bruto que es el ingreso por venta del producto principal – costo en efectivo de producción.
- d. Obtener el beneficio neto que es el beneficio bruto - impuestos.

K. Realizar el análisis de recuperación del capital.

- a. Con el costo de inversión total de planta obtener el tiempo de recuperación del capital con la siguiente formula:

$$T. \text{recuperación} = \frac{\textit{inversión inicial total}}{\textit{flujo de caja neto anual promedio}}$$

- b. Con el tiempo de recuperación se puede observar desde que año se puede obtener una ganancia total por el producto.
- c. Determinar si el proyecto es viable o no.

8.4 ANEXO D: CÁLCULOS Y RESULTADOS - CAPITULO 2

Se utilizó el Anexo C de Metodologías para el dimensionamiento de los siguientes equipos, teniendo en cuenta los balances de masa detallados en la Tabla 5.

8.4.1 Secador 1

Para el diseño del secador, se utilizó la metodología de Secador 1 (Shawabkeh, R. 2015) en el Anexo C. Se utilizaron los porcentajes de humedad con el valor de 2.3% en la cáscara (Carvajal, et al. 2014) y se asumió un 6% de retención de agua del lavado. Se definió una eficiencia del secador del 90%.

Tabla A - 4 Cálculos Secador 1

| Horno | |
|---|---------|
| Masa de granadilla (kg) | 52.3 |
| Masa de granadilla (g) | 52,300 |
| Entalpía de formación H ₂ O gas (KJ/mol) | -241.8 |
| Entalpía de formación H ₂ O liq (KJ/mol) | -285.84 |
| ΔH_r (KJ/mol) | 44.04 |
| Humedad de la cáscara (%) | 2.3 |
| Humedad del lavado (%) | 6 |
| Humedad de la masa (g) | 4,341 |
| Flujo molar agua (mol/h) | 241.16 |
| Q (KJ/h) | 10,621 |
| Q (kw) | 2.95 |
| Q (mw) | 0.003 |
| n eficiencia | 0.90 |
| Q fuel (kw) | 2.94 |
| Q pared (kw) | 0.06 |
| Q neto (kw) | 2.88 |
| Q neto (Mw) | 0.0029 |

| Dimensiones | |
|--|--------|
| Densidad cáscara húmeda (kg/L) | 1.068 |
| Volumen cáscara (L) | 48.970 |
| Volumen cáscara (m ³) | 0.049 |
| Volumen cáscara (m ³) +20% | 0.059 |
| Lados (m) | 0.214 |
| Volumen de la caja (m ³) | 0.059 |
| Largo (m) | 0.642 |
| Ancho (m) | 0.428 |
| Altura (m) | 0.214 |

8.4.1 Tanque de almacenamiento

Se diseñó el tanque con la metodología de Tanque de almacenamiento en el Anexo C. Se utilizó la densidad de la cáscara húmeda (Márquez, C. 2009) para calcular la densidad de la cáscara seca. Se utilizaron los valores del esfuerzo máximo permisible (S), de la presión interna del tanque (P) del acero inoxidable y de la efectividad de la soldadura perfecta (E=1). (Towler, G., & Sinnott, R. 2008).

Tabla A - 5 Cálculos Tanque de Almacenamiento

| Datos del Reactor | |
|-------------------------------------|---------|
| Masa de cáscara (kg) | 500 |
| Densidad cáscara seca (kg/L) | 0.32 |
| Volumen de cáscara (L) | 1540.67 |
| Volumen de Ac+Cas (m ³) | 1.54 |

| Dimensionamiento del Tanque | |
|--|------|
| D (m) | 0.99 |
| h (m) | 1.98 |
| h+20% (m) | 2.38 |
| Volumen del reactor (m ³) | 1.54 |
| Volumen del reactor mas 20%(m ³) | 1.84 |

| | |
|------------------------------|--------|
| Espesor de pared= tw | |
| Acero inoxidable 304: | |
| S (N/mm ²) | 137.9 |
| P (N/mm ²) | 0.101 |
| E | 1 |
| tw (m) | 0.0003 |
| tw + 2seguridad (mm) | 2.36 |
| tw final (m) | 0.002 |

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Masa Tanque | |
| M tanque (kg) | 139.33 |
| ρ acero304 (kg/m ³) | 7930 |

| | |
|---|---------------|
| Tapas: Terminal y cabezal plano | |
| c | 0.1 |
| S (N/mm ²) | 137.9 |
| E | 1 |
| P (N/mm ²) | 0.101 |
| tw (m) | 0.0085 |
| tw + 2seguridad (mm) | 10.50 |
| tw final (m) | 0.0105 |
| Mtapa (kg) | 258.31 |
| ρ acero SS304 (kg/m ³) | 7930 |
| Masa total (Tanque+tapas) (kg) | 397.84 |

8.4.3 Tanque mezclador

Se utilizó la metodología detallada en Tanque mezclador en el Anexo C. Se utilizaron los valores del esfuerzo máximo permisible (S), de la presión interna del tanque (P) del acero inoxidable y de la efectividad de la soldadura perfecta (E=1). (Towler, G., & Sinnott, R. 2008). Para el agitador, se utilizó el dato de la densidad del bulk de la literatura. (Almeida, C. 2017)

Tabla A - 6 Cálculos del Tanque mezclador

| Datos del Reactor | |
|-------------------------------------|--------|
| Masa de cáscara (kg) | 44 |
| Densidad cáscara seca (kg/L) | 0.34 |
| Volumen de cáscara (L) | 41.13 |
| Volumen Ac (L) | 660 |
| Volumen de Ac+Cas (L) | 701.13 |
| Volumen de Ac+Cas (m ³) | 0.70 |
| Densidad ac. cítrico (kg/L) | 1.66 |
| Masa del ac. cítrico (kg) | 1095.6 |
| Masa de Ac+Cas (kg) | 1139.6 |

| Dimensionamiento del Tanque | |
|--|------|
| D (m) | 0.76 |
| h (m) | 1.52 |
| h+20% | 1.83 |
| Volumen del reactor (m ³) | 0.70 |
| Volumen del reactor mas 20%(m ³) | 0 |

| Espesor de pared= tw | |
|--------------------------------------|--------------|
| Acero inoxidable 304: | |
| S (N/mm ²) | 137.9 |
| P (N/mm ²) | 0.101 |
| E | 1 |
| tw (m) | 0.0003 |
| tw + 2seguridad (mm) | 2.27 |
| tw final (m) | 0.0022 |
| Masa tanque (kg) | 79.61 |
| ρ acero304 (kg/m ³) | 7930 |

| Tapas: Terminal y cabezal plano | |
|--|---------------|
| c | 0.1 |
| S (N/mm ²) | 137.9 |
| E | 1 |
| P (N/mm ²) | 0.101 |
| tw (m) | 0.007 |
| tw + 2seguridad (mm) | 8.54 |
| tw final (m) | 0.0085 |
| Masa Tapas (kg) | 124.26 |
| ρ acero304 (kg/m ³) | 7930 |
| Masa total (Tanque+tapas) (kg) | 203.88 |

| Datos Agitador | |
|---|----------|
| D _{tanque} (m) | 0.76 |
| D _{agitador} (m) | 0.25 |
| ρ_{bulk} (kg/m ³) | 0.93 |
| Viscosidad (Pa s) | 0.0254 |
| # Revoluciones/seg | 1.08 |
| Num. Reynolds | 2.32E+01 |

| | |
|----------------------------------|-------|
| Con Re, se encuentra la Potencia | |
| N _p | 60 |
| P (J/s) | 18.49 |
| P (kW) | 0.018 |
| P (HP) | 0.024 |

| Dimensiones Chaqueta | |
|-----------------------------|--------|
| Área de la chaqueta (m) | 3.79 |
| Grosor de la chaqueta (m) | 0.0026 |
| Grosor de la chaqueta (mm) | 2.63 |

8.4.4 Tanque de precipitación

Se utilizó la metodología detallada en Tanque de precipita en el Anexo C. Se utilizaron los valores del esfuerzo máximo permisible (S), de la presión interna del tanque (P) del acero inoxidable y de la efectividad de la soldadura perfecta (E=1). (Towler, G., & Sinnott, R. 2008).

Tanto la densidad como la viscosidad del bulk se tomaron de la literatura de la extracción de pectina de naranja, debido a que no existen datos con respecto a la granadilla y existe similitud entre estos valores. (Almeida, C. 2017)

Tabla A - 7 Cálculos del Tanque de precipitación

| Datos del Reactor | |
|---------------------------------------|---------|
| Volumen de pectina líquida (L) | 596 |
| Volumen EtOH (L) | 660 |
| Volumen de pec+EtOH (L) | 1692.69 |
| Volumen de pec+EtOH (m ³) | 1.69 |

| Dimensionamiento del Tanque | |
|--|------|
| D (m) | 1.03 |
| h (m) | 2.05 |
| h+20% | 2.46 |
| Volumen del reactor (m ³) | 1.69 |
| Volumen del reactor mas 20%(m ³) | 2.03 |

| | |
|------------------------------|--------|
| Espesor de pared= tw | |
| Acero inoxidable 304: | |
| S (N/mm ²) | 137.9 |
| P (N/mm ²) | 0.101 |
| E | 1 |
| tw (m) | 0.0003 |
| tw + 2seguridad (mm) | 2.38 |
| tw final (m) | 0.002 |
| D _{interno} (m) | 1.02 |

| Masa Tanque | |
|--------------------------------------|--------|
| Masa tanque (kg) | 149.30 |
| ρ acero304 (kg/m ³) | 7930 |

| Tapas: Terminal y cabezal plano | |
|--|-------|
| c | 0.1 |
| S (N/mm ²) | 137.9 |
| E | 1 |
| P (N/mm ²) | 0.101 |
| tw (m) | 0.009 |

| | |
|---------------------------------------|---------------|
| tw + 2seguridad (mm) | 10.77 |
| tw final (m) | 0.010 |
| Masa tapas (kg) | 282.12 |
| ρ acero304 (kg/m ³) | 7930 |
| Masa total (Tanque+tapas) (kg) | 431.42 |

| Agitador Datos | |
|---|----------|
| D _{tanque} (m) | 1.03 |
| D _{agitador} (m) | 0.34 |
| ρ_{bulk} (kg/m ³) | 1.32 |
| Viscosidad (Pa s) | 7.04 |
| # Revoluciones/seg | 1.08 |
| Num. Re | 2.14E-01 |

| | |
|----------------------------------|------|
| Con Re, se encuentra la Potencia | |
| N _p | 4.00 |
| P (J/s) | 7.60 |
| P (kW) | 0.01 |
| P (HP) | 0.01 |

| Especificaciones Tamiz | |
|---------------------------------------|---------|
| D (m) | 1.02 |
| D (mm) | 1020.48 |
| Diámetro de partícula de pectina (mm) | 250 |
| Diámetro de partícula de pectina (um) | 0.25 |

8.4.5 Columna de destilación

En primer lugar, se utilizaron los datos de Tabla 15, con las especificaciones de para el diseño de la columna. A continuación se puede visualizar un resumen de las composiciones que se ingresaron al simulador Hysys en la Tabla A - 8.

Tabla A - 8. Cálculos Columna de Destilación

| Punto Ebullición (C) | Compuesto | Fracción Másica | | | Flux | | |
|----------------------------|--------------|-----------------|-------------|--------------|----------------|---------------|----------------|
| | | 1 (Feed) | 2 (Dest) | 3 (Resid) | 1 (Feed) | 2 (Dest) | 3 (Resid) |
| 78.37 | Etanol | 0.28 | 1 | 0.133 | 648 | 388.8 | 259.2 |
| 310 | Ac.cítrico | 0.47 | 0 | 0.559 | 1090.9 | 0 | 1090.9 |
| 100 | Agua | 0.26 | 0 | 0.308 | 600 | 0 | 600 |
| | TOTAL | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 2338.90 | 388.80 | 1950.10 |

A partir de los cálculos de las composiciones se utilizó la metodología detallada en Columna de destilación en el Anexo C.

1. Se eligieron los componentes.

Source Databank: HYSYS

| Component | Type | Group |
|-------------|----------------|-------|
| Ethanol | Pure Component | |
| H2O | Pure Component | |
| Citric_Acid | Pure Component | |

Figura A - 3 Elección de componentes

2. Se utilizó el paquete termodinámico NRTL. Se ingresaron las corrientes de entrada y salida junto con la columna shortcut.
3. Se ingresó el flujo de entrada, las composiciones, presión y temperatura.

Material Stream: 1

Worksheet Attachments Dynamics

| Worksheet | Stream Name | 1 | Aqueous Phase |
|-------------------|-------------------------------|-------------|---------------|
| Conditions | Vapour / Phase Fraction | 0,0000 | 1,0000 |
| Properties | Temperature [C] | 59,95 | 59,95 |
| Composition | Pressure [kPa] | 101,3 | 101,3 |
| Oil & Gas Feed | Molar Flow [kgmole/h] | 53,53 | 53,53 |
| Petroleum Assay | Mass Flow [kg/h] | 2337 | 2337 |
| K Value | Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h] | 2,111 | 2,111 |
| User Variables | Molar Enthalpy [kJ/kgmole] | -4,064e+005 | -4,064e+005 |
| Notes | Molar Entropy [kJ/kgmole-C] | 56,35 | 56,35 |
| Cost Parameters | Heat Flow [kJ/h] | -2,175e+007 | -2,175e+007 |
| Normalized Yields | Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h] | 1,979 | 1,979 |
| | Fluid Package | Basis-1 | |
| | Utility Type | | |

Figura A - 4 Condiciones Corriente de entrada

Material Stream: 1

| Worksheet | | | |
|-------------|----------------|---------------|--|
| Worksheet | | | |
| Composition | | | |
| | Mass Fractions | Aqueous Phase | |
| Ethanol | 0,2800 | 0,2800 | |
| H2O | 0,2600 | 0,2600 | |
| Citric_Acid | 0,4600 | 0,4600 | |

Figura A - 5 Composiciones de entrada

- Se identificaron y nombraron las respectivas corrientes.

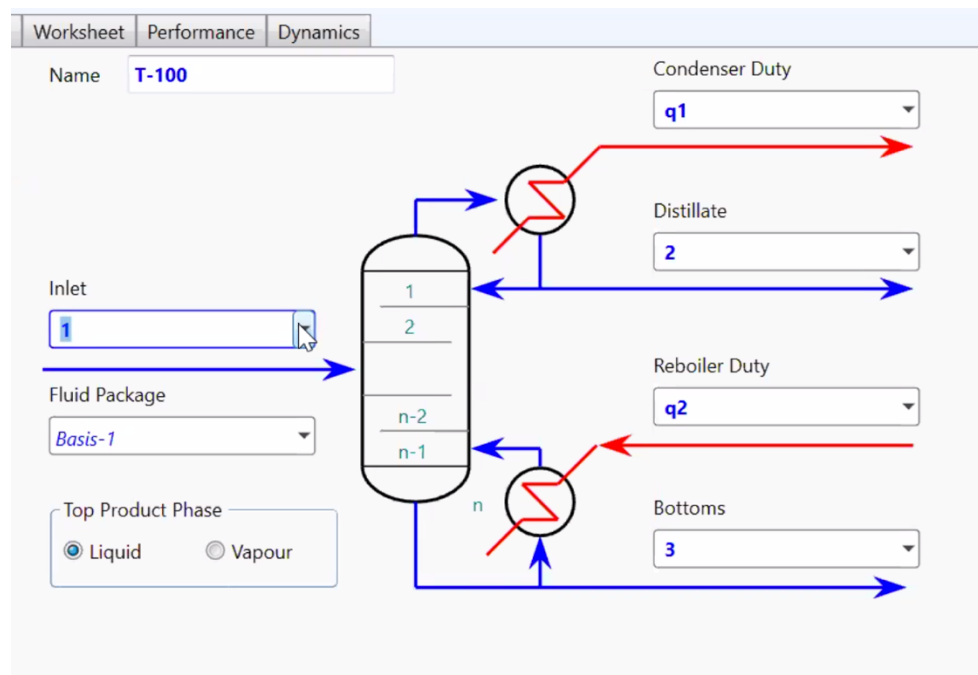


Figura A - 6 Elección de la columna con sus especificaciones

- Se ingresaron las composiciones de fracción másica deseadas, junto con las presiones y reflux ratio.

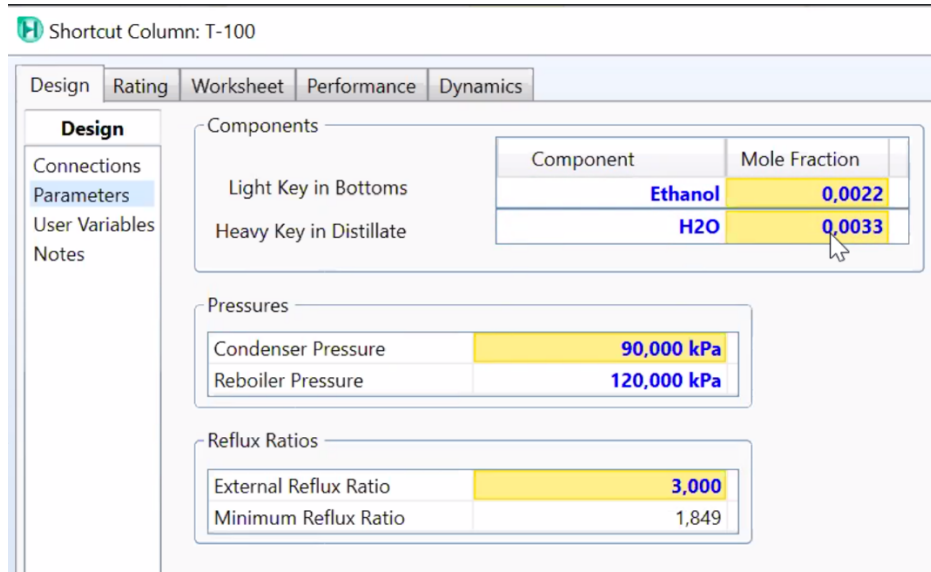


Figura A - 7 Entrada de parámetros

6. Se compiló la simulación y se obtuvieron los siguientes resultados:

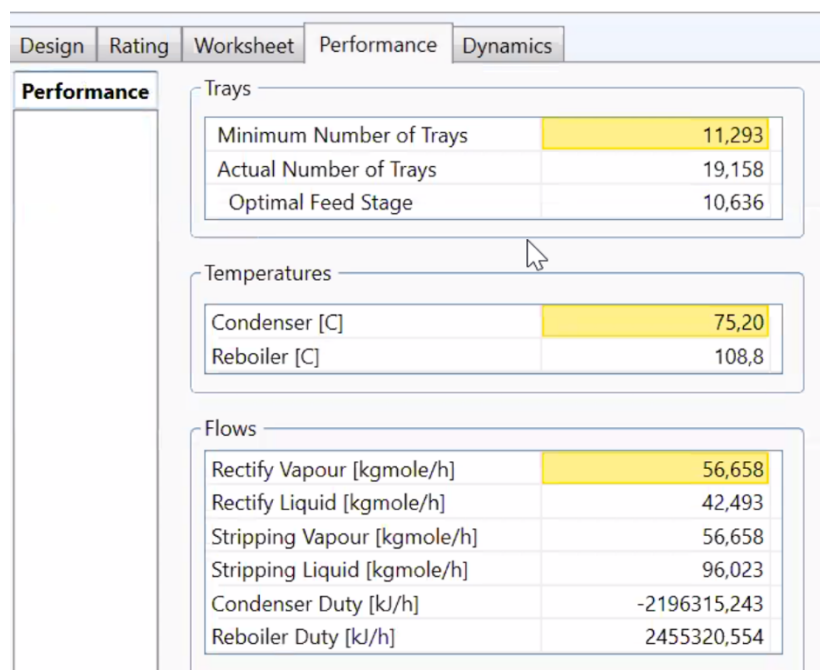


Figura A - 8 Resultados Hysys

8.4.6 Tanque de Etanol

Se utilizó la metodología detallada en Tanque de Etanol en el Anexo C. Se utilizaron los valores del esfuerzo máximo permisible (S), de la presión interna del tanque (P) del acero inoxidable y de la efectividad de la soldadura perfecta ($E=1$). (Towler, G., & Sinnott, R. 2008).

Tabla A - 9 Cálculos del Tanque de Etanol

| Datos del Reactor | |
|---|------|
| ρ_{EtOH} (kg/m ³) | 789 |
| Volumen de EtOH (L) | 1000 |
| Volumen de EtOH (m ³) | 1 |

| Dimensionamiento del Tanque | |
|--|------|
| D (m) | 0.86 |
| h (m) | 1.72 |
| h+20% | 2.06 |
| Volumen del reactor (m ³) | 1.00 |
| Volumen del reactor mas 20%(m ³) | 1.20 |

| | |
|------------------------------|--------|
| Espesor de pared= tw | |
| Acero inoxidable 304: | |
| S (N/mm ²) | 137.9 |
| P (N/mm ²) | 0.101 |
| E | 1 |
| tw (m) | 0.0003 |
| tw + 2seguridad (mm) | 2.32 |
| tw final (m) | 0.002 |

| Masa Tanque | |
|--------------------------------------|--------|
| Masa tanque (kg) | 102.44 |
| ρ acero304 (kg/m ³) | 7930 |

| Tapas: Terminal y cabezal plano | |
|--|---------------|
| c | 0.1 |
| S (N/mm ²) | 137.9 |
| E | 1 |
| P (N/mm ²) | 0.101 |
| tw (m) | 0.007 |
| tw + 2seguridad (mm) | 9.36 |
| tw final (m) | 0.002 |
| Masa tapas (kg) | 174.12 |
| ρ acero304 (kg/m ³) | 7930 |
| Masa total (Tanque+tapas) (kg) | 174.13 |

8.4.7 Secador 2

Para el diseño del secador, se utilizó la metodología del Secador 2 en el Anexo C. Se utilizó el dato del porcentaje de humedad de la pectina húmeda

Tabla A - 10. Cálculos Secador 2

| Horno | |
|---|--------------|
| Masa de pectina (kg) | 67.53 |
| Masa de pectina (g) | 67,526 |
| Entalpía de formación H ₂ O gas (KJ/mol) | -241.8 |
| Entalpía de formación H ₂ O liq (KJ/mol) | -285.84 |
| Δ Hr (KJ/mol) | 44.04 |
| Humedad de la pectina % | 93.33 |
| Humedad de la masa (g) | 63,024 |
| Flujo molar agua (mol/h) | 3,501.33 |
| Q (KJ/h) | 154,199 |
| Q (kW) | 42.83 |
| Q (mw) | 0.043 |
| n eficiencia | 0.90 |
| Q _{fuel} (kW) | 43.05 |
| Q _{pared} (kW) | 0.86 |
| Q neto (kW) | 42.19 |

8.4.8 Caldera

En primer lugar se obtuvo el caudal de vapor que se requiere para calentar las dos chaquetas de los tanques con la siguiente fórmula:

$$W = \frac{M * Cp * \Delta T}{Hf * t}$$

Donde: M es la masa total de agua a calentar, Cp es la capacidad calorífica, ΔT la diferencia de temperatura, Hf la entalpía de evaporación del agua y t tiempo. En base a este resultado, se utilizó la metodología de la Caldera detallada en el Anexo C para calcular el calor

latente utilizando una eficiencia del 85%. Y finalmente se obtuvo la cantidad de diésel necesaria para operar la caldera.

Tabla A - 11 Cálculos de la Caldera

| Cálculo del caudal de vapor | |
|---|-------|
| Masa total agua a calentar (kg) | 20.85 |
| Cp del agua (KJ/Kg C) | 4.19 |
| ΔT (C) | 45 |
| Hf (entalpía de evap del vapor) (kJ/kg) | 225 |
| t (horas) | 1.25 |
| W (caudal de vapor) kg/h | 13.98 |

| Cálculo del Calor latente | |
|----------------------------------|---------|
| W (caudal de vapor) kg/h | 13.98 |
| hf (kcal/kg) | 663.2 |
| hg (kcal/kg) | 15 |
| lamba (hg-hf) | 648.2 |
| QL (kcal/h) | 9061.73 |
| QL (kW) | 10.53 |
| n Eficiencia | 0.85 |
| Qf (kw) | 8.96 |
| Qwall (kw) | 0.18 |

| Masa del combustible Diesel | |
|------------------------------------|--------|
| mfuel (kg) | 0.736 |
| Qf (kw) | 489.52 |
| QL Diesel (kwh/kg combustible) | 12.17 |

| Cantidad del aire requerida | |
|------------------------------------|-------|
| m _{fuel} (kg) | 0.74 |
| Air- fuel ratio | 14.5 |
| factor de exceso de aire | 1.25 |
| Masa _{aire} (kg) | 13.34 |

| Cantidad del aire requerida | |
|------------------------------------|--------|
| Masa _{aire} (kg) | 13.34 |
| Cp _{aire} (kWh/kgK) | 0.0003 |
| T entrada (K) | 298 |
| T salida (K) | 288.55 |
| delta T | 9.45 |
| Q _{aire} (kW) | 0.035 |

| Calor neto | |
|---------------------------------|--------------|
| Q_{exhaust} (kW) | 1.81 |
| Q neto (kW) | 7.000 |

| Cantidad de Diesel | |
|--------------------------------------|--------|
| Densidad diesel (kg/m ³) | 850 |
| Volumen diesel (m ³) | 0.0009 |
| Volumen diesel (L) | 0.87 |

8.5 ANEXO E: COTIZACIONES EQUIPOS

8.5.1 Balsa de lavado


En base a la metodología detallada en Balsa de lavado del Anexo C, se muestra la cotización del equipo con sus especificaciones.

| | |
|-----------|-----------------|
| Model | HT-QX200 |
| Power | 2.5kw |
| Voltage | 380v |
| Capacity | 300-500kg/h |
| Dimension | 2500*920*1700mm |
| Weight | 300kg |



8.5.2 Picadora

En base a la metodología detallada de la Picadora en del Anexo C, se muestra la cotización del equipo con sus especificaciones.

| | | |
|--|--------------------|--------------------------|
|  <p>With machine head</p> | YQC-660 | Material:stainless steel |
| | Size:860*430*800mm | Net weight:85kg |
| | Voltage:220/380v | Barrel diameter:200mm |
| | Frequency:50HZ | Production:100-300KG/H |
| | Power:750w | |

Dezhou Chuangyuan Food Machinery Co., Ltd

Invoice

Invoice No: CHY2020040307

Date: April.3rd, 2020

Sellers: Dezhou Chuang yuan Food Machinery Co., Ltd

Address: Traffic police brigade east side, North Central East, Ningjin County, Dezhou City, Shandong Province, China

Postal Code: 253023

Tel: 0086-0534-2727617

Fax: 0086-0534-2727617

Buyer: Universidad San Francisco de Quito


Address: Ecuador Guayaquil port

Phone:

Email:

The seller agrees to sell and the buyer agrees to buy the under mentioned goods on the terms and conditions stated below.

Description & Specification:

| SR. No | Item | Description | Qty (Set) | Pic | Unit Price (USD) | Amount (USD) |
|--------|--|--|-----------|---|------------------|--------------|
| 1. | Multi-functional vegetable cutting machine | YQC-660 with head Power: 750W Voltage: 220V package size: 96*49*92cm weight: 120kg | 1 |  | \$295.00 | \$295.00 |

Address: Traffic police brigade east side, North Central East, Ningjin County, Dezhou City, Shandong Province, China

Tel: 0086-0534-2727617

Fax: 0086-05342727617

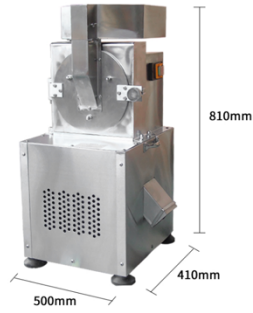
Web: <https://chymachinery.en.alibaba.com>

Email: Kristin@chymachinery.com

Mobile: 0086-18562159039

8.5.3 Molino de rodillo

En base a la metodología detallada del Molino de rodillo en del Anexo C, se muestra la cotización del equipo con sus especificaciones.



3. Equipment Specification

| | |
|---------------------|---------------|
| Product Model | DX-65 |
| Production Capacity | 65kg/h |
| Grinding Fineness | 60-200mesh |
| Material Limit | 30mm |
| Voltage | 220V |
| Motor Power | 3kW |
| Motor Speed | 6000r/min |
| Product Dimensions | 500*410*810mm |
| Product Weight | 65kg |



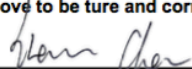
2.Quotation

| | |
|---|-------------------------------|
| Supplier: <u>Guangzhou Duoshun Machinery Co., LTD</u> | |
| Contact: <u>Raissa Chen</u> | Tel: <u>+8618022398777</u> |
| Whatsapp: <u>+8618022398777</u> | Wechat: <u>+8618022398777</u> |
| E-mail: <u>chenyang201909@gmail.com</u> | |
| Address: <u>No.169, Kuipeng Road, Kuipeng Village, Liwan District, Guangzhou, China</u> | |

| Product | Model | QTY | Price | Remark |
|---|-------|-----|--------|--------|
| Universal Pulverizer (with one mesh) | DX-65 | 1 | \$1000 | |
| | | 5 | \$940 | |
| | | 10 | \$880 | |
| Mesh | | 1 | \$8 | |
| Export wooden packing | | 1 | \$50 | |
| Shipping to GUAYAQUIL | | | \$250 | |
| Total amount: US\$ | | | | |

8.5.4 Filtro de prensa

En base a la metodología detallada en Filtro de prensa del Anexo C, se muestra la cotización del equipo con sus especificaciones.

| CUSTOMER | | SHIP TO | SHIPPING DETAIL | | | |
|---|---|---|---|------------|--|-------------------|
|  <p>SANTAI Environmental Protection Technology Limited Santai Environment Industry 1st Floor, Tnglian Road, Gushu, Xixiang, Baoan, Shenzhen. Tel:0755-81773681 Fax:0755-81773682 E-mail:elena@szsthb.com Skype:elena-9035</p> | | <p>TBA (To Be Approved)</p> | <p>DATE: 26-Mar.-2020 SANTAI PI#: TBA CUSTOMER PO#: TBA HS CODE: 8421291090</p> | | | |
| ITEM NO. | PRODUCT | DESCRIPTION | QTY. (Pcs.) | UNIT PRICE | TAX | TOTAL AMOUNT |
| XAMY5/500-UB |  | Plate:PP material cloth:Polyester Frame:Channel steel Plate size: 500*500mm Plate Quantity:13pcs Volume: 62.5L / batch (time) Overall size:1705*750*1000mm Bottom size:1263mm Automatic Hydraulic + manual discharge solid waste (Include 621 Filter Cloth /set) Power:380V 1.5KW | 1 | \$2,100 | \$0 | \$2,100 |
| Shipping Cost | | | | | USD | \$385 |
| Total Cost | | | | | USD | \$2,485 |
| PAYMENT TERM:30% DEPOSIT,70% BEFORE SHIPMENT. | | | | | | |
| TERMS OF SALES & OTHER COMMENTS | | | | | | |
| Trade Term: CIF Guayaquil Lead time:10 days after deposit Package: Export wooden packing | | | | | 30% DEPOSIT \$745.50 70% Balance \$1,739.50 | |
| TOTAL | | | | | | \$2,485.00 |
| CURRENCY | | | | | | USD |
| ADDITIONAL DETAILS | | | | | | |
| COUNTRY OF ORIGIN: CHINA | | | | | | |
| I certify the above to be true and correct to be the best of my knowledge | | | | | | |
|  26-Mar.-2020 | | | | | | |
| SANTAI Environmental Protection Technology Limited | | | | | | |

8.5.5 Membrana de micro y ultrafiltración

En base a la metodología detallada en Microfiltración y Ultrafiltración del Anexo C, se muestra la cotización del equipo con sus especificaciones.



Sichuan Zhuoyue Water Treatment Equipment Co.,Ltd.

No.799 Jinfu Road, Jinniu District, Chengdu City, Sichuan Province, China
Tel:+86-28-86634818 Fax:+86-28-87527995 Email: monica@zylabwater.com www.zylabwater.com

QUOTATION

Date: 2020-3-30
Expiry time: 2 months
Payment term: 100% T/T advanced
Delivery time: 10 working days after receipt of the payment
Warranty: 12 months(except consumables)
Package: carton

| Refer No. | Model | Description | Quantity(set) | Unit(USD) | EXW Total(USD) |
|-----------|----------|---------------------------------------|---------------|-----------|----------------|
| 1 | ZYUGL-18 | MF/UF membrane filtration lab machine | 1 | 3,030.00 | 3,030.00 |

Unit price includes below parts

| Refer No. | Commodity | Quantity(set) |
|-----------|---|---------------|
| 1 | Electromagnetic supply pump 1SET; | 1 |
| 2 | Stainless steel membrane module 1PC | 1 |
| 3 | Seismic pressure gauge 1SET | 1 |
| 4 | material balance cylinder 1SET | 1 |
| 5 | Pressure regulating valve 1PC | 1 |
| 6 | Membrane (optional) 1PC | 1 |
| 7 | Equipment bracket, chain joint, pipe and connectors; Overpressure automatic protection system 1SET | 1 |

- o Minimum circulation volume: 0.2L
- o Maximum working pressure: 1MPa
- o Working temperature: 5~55°C
- o Filtration rate: 0.5~10 L/H
- o Maximum pump power: 230W
- o pH range: 2~12
- o Equipment specifications: 500 (length) × 450 (width) × 580 (height) mm
- o With automatic overpressure protection.



Different membranes for **this lab MF/UF membrane filtration:**

Polyethersulfone (PES); polyvinylidene fluoride (PVDF); sulfonated polyethersulfone; sulfonated polysulfone; polyamide;

Membrane component specifications: 1812 Φ46 × L305

Filtration area: 0.4m²

| Membrane type | Types |
|---------------|---|
| M F | 100nm(0.1um)200nm(0.2um) |
| U F | Optional molecular weight cut off: 1000/3000/5000/8000/10000/20000/30000/ 50000/100000/300000/500000/800000 |
| Nano F | Optional molecular weight cut off:150D- 500D MgSO ₄ >98% |

Introduction of MF/UF membrane filtration:

It can be equipped with micro-filtration and ultra-filtration various types of roll membrane components.

Widely used in biological, pharmaceutical, food, chemical, environmental protection and other fields, for the concentration, separation, purification, clarification, sterilization, solvent removal and other process experiments; the selected experimental parameters of the equipment can be directly amplified to Pilot and industrial production; ZHUOYUE water treatment with strong technical strength .

and professional technical services, fully guarantee the customer's experimental success rate, become the first choice for laboratory membrane filtration machine

8.5.7 Destilador de agua

En base a la metodología detallada en Destilador de agua del Anexo C, se muestra la cotización del equipo con sus especificaciones.



Specification

| | | |
|---|-------------------------|------|
| Capacity L / h | | 140 |
| Cooling water requirement L / h approx | | 1000 |
| Exterior dimensions mm approx. | Width | 810 |
| | Depth | 630 |
| | Height | 1420 |
| Electrical connection | Voltage, V (50...60 Hz) | 400 |
| | Power consumption kW | 84.0 |
| Weight kg approx. | net | 88 |
| | gross cardboard box | 134 |
| Packing volume approx m3 | | 0.87 |

8.6 ANEXO F: CALCULOS Y RESULTADOS - CAPITULO 3

Para el desarrollo de los cálculos y resultados de este capítulo, se utiliza la Metodología del Anexo C.

8.6.1 Método de Lang

Se realiza la estimación de costos según los factores de Lang, en donde se detalla a continuación en la Tabla A - 12, los equipos previamente mencionados, la cantidad, capacidad, y se calcula su costo en base a la fórmula $C_e = a + bS^n$. Los valores de a, b y n se detallan en el libro de Sinnott para cada equipo. Por último se calcula el costo total y se realiza un margen del $\pm 30\%$.

Tabla A - 12. Resumen de Costos – ML

| Metodo de Lang | | | | | |
|------------------------------|----------|-----------|-------------------|------------------|-------------------|
| Equipo | Cantidad | Capacidad | Unidades | Costo (\$) | Total |
| Balsa de lavado | 1 | 500 | kg | 8311.49 | 8311.49 |
| Picadora en acero inoxidable | 1 | 300 | kg/h | 9755.00 | 9755.00 |
| Horno | 1 | 0.002877 | MW | 7658.23 | 7658.23 |
| Molino de rodillo | 1 | 75 | kg/h | 6377.50 | 6377.50 |
| Tanque de almacenamiento | 1 | 1.85 | m ³ | 6776.27 | 6776.27 |
| Tanque mezclador | 1 | 0.0008 | L/s | 780.21 | 5159.09 |
| | Aspas | 0.0185 | kW | 4378.88 | |
| Filtro de prensa | 1 | 37.47 | m ³ | 406548.28 | 406548.28 |
| Tanque precipitador | 1 | 0.002 | L/s | 780.44 | 5119.17 |
| | Aspas | 0.008 | kW | 4338.74 | |
| Tanque de etanol | 1 | 1.2 | m ³ | 6495.29 | 6495.29 |
| Destilador | Packing | 5.03 | m ³ | 16096.00 | 64196.00 |
| | Trays | 20 | diameter, m | 48100.00 | |
| Microfiltro & Ultra filtro | 1 | 0.0002 | m ³ | 76763.68 | 76763.68 |
| Horno | 1 | 0.04219 | MW | 12641.91 | 12641.91 |
| Molino de bolas | 1 | 45 | kg/h | 5616.20 | 5616.20 |
| Caldera | 1 | 13.98 | kg/ h vapor | 5111.44 | 5111.44 |
| Tratador de agua | 1 | 0.15 | m ³ /h | 7339.55 | 7339.55 |
| | | | | C.T. LANG | 633,869.10 |

8.6.2 Método de Hang

Se utiliza la formula $C = F\Sigma Ce$, que se basa en los costos calculados con el método de Lang, multiplicados por el Factor de material que en este caso es 1.3 del SS304 y el Factor de Hand como se muestra en la Tabla A - 13 a continuación. Por último se calcula el costo total y se realiza un margen del $\pm 30\%$. Por último se calcula el costo total y se realiza un margen del $\pm 30\%$.

Tabla A - 13. Resumen de costos – MH

| Metodos Hand | | | | | | |
|------------------------------|----------|------------|-------------------|-------------|------------------|---------------------|
| Equipo | Cantidad | Costo (\$) | Factor de materia | Instalación | Factor de Hand | Costo Hand |
| Balsa de lavado | 1 | 8311.49 | 1.3 | SI | 2 | 21609.87 |
| Picadora en acero inoxidable | 1 | 9755.00 | 1.3 | SI | 2 | 25363.00 |
| Horno | 1 | 7658.23 | 1.3 | SI | 2 | 19911.40 |
| Molino de rodillo | 1 | 6377.50 | 1.3 | SI | 2 | 16581.50 |
| Tanque de almacenamiento | 1 | 6776.27 | 1.3 | NO | 2 | 17618.31 |
| | 1 | 780.21 | 1.3 | SI | 2 | 2028.56 |
| Tanque mezclador | Aspas | 4378.88 | 1.3 | NO | | 4378.88 |
| | | | | | | |
| Filtro de prensa | 1 | 406548.28 | 1.3 | SI | 2 | 1057025.54 |
| Tanque precipitador | 1 | 780.44 | 1.3 | SI | 2 | 2029.13 |
| | Aspas | 4338.74 | 1.3 | NO | | 4338.74 |
| Tanque de etanol | 1 | 6495.29 | | SI | 2 | 6495.29 |
| Destilador | Tanque | 64196.00 | 1.3 | SI | 4 | 64196.00 |
| | Trays | 48100.00 | | NO | | 48100.00 |
| Microfiltro & Ultra filtro | 1 | 76763.68 | 1.3 | SI | 2 | 199585.56 |
| Horno | 1 | 12641.91 | 1.3 | SI | 2 | 32868.96 |
| Molino de bolas | 1 | 5616.20 | 1.3 | SI | 2 | 14602.12 |
| Caldera | 1 | 5111.44 | 1.3 | SI | 2 | 13289.74 |
| Tratador de agua | 1 | 7339.55 | 1.3 | SI | 2 | 19082.82 |
| | | | | | C.T. HAND | 1,569,105.41 |

8.6.3 Método Factorial Detallado

Se determina en base a los costos obtenidos por el método de Lang. Sin embargo, se dividen a los equipos en equipos con material e instalación y en equipos de solo material. A partir de ello se utiliza la fórmula que involucra todos los factores correspondientes de una mezcla sólido/líquido detallada en Sinnott.

Tabla A - 14. Resumen de costos – MFD

| Equipos con material e instalación con SS 304 | | | | |
|---|----------|-------------|-------------|------------------|
| Equipo | Cantidad | Costo (\$) | Costo MFD | |
| Balsa de lavado | 1 | 8311.49 | 30586.28 | |
| Picadora en acero inoxidable | 1 | 9755.00 | 35898.39 | |
| Horno | 1 | 7658.23 | 28182.29 | |
| Molino de rodillo | 1 | 6377.50 | 23469.20 | |
| Tanque mezclador | 1 | 780.21 | 2871.19 | |
| | Aspas | 4378.88 | 16114.26 | |
| Filtro de prensa | 1 | 406548.28 | 1496097.69 | |
| Tanque precipitador | 1 | 780.44 | 2872.00 | |
| | Aspas | 4338.74 | 15966.55 | |
| Destilador | Tanque | 64196.00 | 236241.28 | |
| | Trays | 48100.00 | 177008.00 | |
| Microfiltro & Ultra filtro | 1 | 76763.68 | 282490.33 | |
| Horno | 1 | 12641.91 | 46522.22 | |
| Molino de bolas | 1 | 5616.20 | 20667.61 | |
| Caldera | 1 | 5111.44 | 18810.09 | |
| Tratador de agua | 1 | 19082.82 | 70224.79 | 2,504,022 |
| | | | | |
| Equipo solo instalación | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Equipo | Cantidad | Costo (\$) | Costo MFD | |
| | | | 0 | |
| | | | | |
| | | | | |
| Equipos solo material | | | | |
| Equipo | Cantidad | Costo (\$) | Costo MFD | |
| Tanque de almacenamiento | 1 | 6776.2730 | 19651.19182 | |
| Tanque de etanol | 1 | 6495.288884 | 21954.07643 | 41,605.27 |

Para calcular el valor del ISBL, se tomó el rango en el que se corta el método de Hand y el de factorial detallado y se realizó el promedio de ambos valores como se muestra en la Tabla A - 15.

Tabla A - 15. Cálculo del ISBL

| | |
|---------------------|-----------|
| Rango que se cortan | |
| MIN MFD | 1,492,126 |
| MAX HAND | 2,027,345 |
| Promedio ISBL | 1,778,113 |

8.6.4 Capital Fijo

A continuación se presenta la Tabla A - 16, con un resumen del cálculo de la inversión del capital fijo.

Tabla A - 16. Inversión del capital fijo

| Inversión del capital fijo | | |
|----------------------------|---------------------|---------------------|
| Costo | Valor (\$) | |
| Costo ISBL | 1,778,112.87 | |
| Costo OSBL | 711,245.15 | 40% del ISBL |
| Costo Ingeniería | 746,807.41 | 30% del ISBL + OSBL |
| Gastos por imprevistos | 248,935.80 | 10% del ISBL + OSBL |
| Total | 3,485,101.23 | |

8.6.5 Capital de trabajo

A continuación se presenta la Tabla A - 17, con un resumen del cálculo de la inversión del capital de trabajo. Para esto, se calcula el costo de materias primas en la sección 8.6.6 y el costo de producción en la sección 8.6.7 para cada lapso de tiempo.

Tabla A - 17. Inversión del capital de trabajo

| Inversión del capital de trabajo | | |
|----------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Costo | Valor (\$) | |
| Valor materias primas | 7,082.84 | Costo de MP. Para 2 sem |
| Valor de productos | 13,802.25 | Costo de prod 2 sem |
| Efectivo en Caja | 6,901.13 | Costo de prod 1 sem |
| Cuentas a Cobrar | 29,904.88 | Costo de prod 1 mes |
| Créditos Cuentas Pendientes | 14,165.68 | Costo MP. 1 mes |
| Inventario Repuestos | 497,871.60 | 20% (ISBL+OSBL) |
| Total | 569,728.37 | |

8.6.6 Costo Materias Primas

A continuación se presenta la Tabla A - 18 que resume la cantidad y costo de cada materia prima utilizada mensualmente.

Tabla A - 18. Costo de materias primas mensuales

| | Materias primas mensuales | | |
|--------------------|---------------------------|--------|------------|
| | Cantidad | Unidad | Costo (\$) |
| Cascara granadilla | 1,408 | kg | 16.90 |
| Ácido cítrico | 4.44 | tons | 2,596.32 |
| Agua destilada | 31,744 | L | 101.58 |
| Etanol | 18,176 | L | 11,450.88 |
| | | Total | 14,165.68 |

8.6.7 Valor de Productos

A continuación se presenta la Tabla A - 19 que resume la el precio de venta de una unidad de producto, y su venta de la cantidad de pectina producida por la empresa anualmente.

Tabla A - 19. Precio de venta del producto

| | Precio de Venta | | | Venta/año | | |
|---------|-----------------|--------|--------|-----------|--------|------------|
| | Unidad | Unidad | Precio | Cantidad | Unidad | Precio(\$) |
| Pectina | 1 | kg | 500 | 1872.83 | kg | 936,416 |

8.6.8 Ingresos

Para obtener los ingresos de la planta, se calculó el margen bruto, el costo en efectivo por producción, el beneficio bruto, y el beneficio neto como se muestra a continuación en la Tabla A - 20.

Tabla A - 20. Resumen cálculos ingresos

| | | |
|--|---|--|
| Ingresos | | |
| Margen prod. Bruto | Ingreso venta pro - costo MP | |
| Ingreso venta Prod | 936,416.00 | \$/año |
| Costo MP | 169,988.14 | \$/año |
| Margen prod bruto | 766,427.86 | \$/año |
| Costos efectivo prod. | costos vari +costos fij | |
| Costos efectivo prod | 358858.51 | \$/año |
| Beneficio Bruto | Ingreso venta pro - costo efectivo prod | |
| Beneficio Bruto | 577,557.49 | \$/año |
| Beneficio Neto | Beneficio - impuesto | |
| Beneficio Neto | 577,357.49 | \$/año |
| Tiempo de recuperación del capital | | inversión inicial total - flujo de caja neto annual cap dijo + cap trab |
| Tiempo de recuperación del capita | 7.02 | años |

A partir de la obtención del costo de inversión total de planta se obtuvo el tiempo de recuperación del capital como se muestra en la Tabla A - 21, donde se detalla un breve resumen del análisis económico.

Tabla A - 21. Resumen Análisis Económico Teórico

| Resumen | \$USD |
|----------------------------------|-----------|
| ISBL | 1,778,113 |
| Capital de trabajo | 569,728 |
| Capital fijo | 3,485,101 |
| Costo de Materias Primas anual | 169,988 |
| Beneficio Neto | 577,357 |
| Ingreso Venta de productos anual | 936,416 |
| Años de recuperación | 7.02 |

Para obtener el tiempo de recuperación en base a cotizaciones, se utilizaron los precios de obtención en el método factorial detallado para calcular el nuevo valor ISBL.

Tabla A - 22 Resumen Análisis Económico en base a cotizaciones

| Resumen | \$USD |
|----------------------------------|--------------|
| ISBL | 1,167,003 |
| Capital de trabajo | 392,612 |
| Capital fijo | 2,287,327 |
| Costo de Materias Primas anual | 169,988 |
| Beneficio Neto | 619,942 |
| Ingreso Venta de productos anual | 936,416 |
| Años de recuperación | 4.32 |