

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Diseño preliminar de una planta de microencapsulación de
curcumina con cera de abeja**

**Melissa Nicole Grandes Delgado
Dominic Cristina Rosales Guerrero**

Ingeniería Química

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

Quito, 13 de mayo de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

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

**Diseño preliminar de una planta de microencapsulación de
curcumina con cera de abeja**

**Melissa Nicole Grandes Delgado
Dominic Cristina Rosales Guerrero**

Nombre del profesor, Título académico

**José Francisco Álvarez Barreto, Ph. D.
Juan Diego Fonseca Ashton, Ph.D.**

Quito, 13 de mayo de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

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

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

| | |
|----------------------|-----------------------------------|
| Nombres y apellidos: | Melissa Nicole Grandes Delgado |
| | Dominic Cristina Rosales Guerrero |
| Código: | 200082 |
| | 200740 |
| Cédula de identidad: | 1311842684 |
| | 1003337027 |
| Lugar y fecha: | Quito, 13 de mayo de 2022 |

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

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

UNPUBLISHED DOCUMENT

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

RESUMEN

En el presente proyecto se propone el diseño de una planta de microencapsulación de curcumina con cera de abeja de acuerdo con a la demanda nacional estudiada de este agente de 2460 kg al año. Mediante pruebas realizadas en el laboratorio, se optó por un proceso de microencapsulación sin solvente el cual resultó como óptimo debido a costos, materias primas y tiempo del proceso. Con base en esto, se realizó el escalamiento industrial del proceso y el estudio de factibilidad de la planta. Se estableció una producción diaria de 80 kg de microencapsulado al día distribuido en 8 horas diarias de trabajo como 10 canecas por hora. Sin embargo, con la demanda nacional que se tiene, se observó que el proyecto no es rentable con un VAN de -\$1.262.474,60 y un PRI de 32 años. En consecuencia, se realizó un análisis de flexibilidad en el cual se varió el número de canecas producidas por hora y el precio unitario del producto con el objetivo de observar un cambio en el VAN y PRI del proyecto. Así, se obtuvo un punto más favorable de \$40 por unidad y una producción de 30 canecas por hora para que el proyecto resulte rentable. En base a esto, se planteó de igual manera microencapsular otros agentes con propiedades similares a la curcumina para tener un valor agregado como empresa al microencapsular varios productos y de esta forma poder cumplir con las 30 canecas por hora a pesar de que solo se tenga una demanda de 10 por hora si se microencapsula solo curcumina.

Palabras clave: microencapsulación, curcumina, cera de abeja, Tween 80, solvente, micropartículas, fotosensible.

ABSTRACT

In this project, the design of a curcumin microencapsulation plant with beeswax is proposed according to the studied national demand for this agent of 2460 kg per year. Through tests carried out in the laboratory, a solvent-free microencapsulation process was chosen, which turned out to be the most favorable due to costs, raw materials and process time. Subsequently, the industrial scaling of the process and the feasibility study of the plant were carried out. A daily production of 80 kg of microencapsulated per day distributed in 8 hours of work per day as 10 cans per hour was established. However, with the national demand that exists, it was observed that the project was not profitable with a NPV of -\$1,262,474.60 and a PRI of 32 years. According to this, a flexibility analysis was carried out in which the number of cans produced per hour and the unit price of the product were varied to observe a change in the NPV and PRI of the project. Thus, an optimal point of \$40 per unit and a production of 30 cans per hour were obtained for the project to be profitable. Furthermore, it was also proposed to microencapsulate other agents with similar properties as curcumin to have an added value as a company by microencapsulating several products and thus be able to meet the 30 cans per hour despite the fact that there is only a demand of 10 per hour if only curcumin is microencapsulated.

Keywords: microencapsulation, curcumin, beeswax, Tween 80, solvent, microparticles, photosensitive.

TABLA DE CONTENIDOS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 11 |
| 1.1 | Antecedentes..... | 11 |
| 1.2 | Objetivos y metodología del Proyecto | 13 |
| 1.3 | Justificación | 13 |
| 2 | BASES DEL DISEÑO | 15 |
| 2.1 | Descripción del producto..... | 15 |
| 2.2 | Descripción de materias primas:..... | 15 |
| 2.2.1 | Oleoresina de curcuma..... | 15 |
| 2.2.2 | Cera de abeja | 16 |
| 2.2.3 | Tween 80..... | 16 |
| 2.3 | Procedimiento en laboratorio..... | 16 |
| 2.4 | Selección de proceso | 17 |
| 2.5 | Limitaciones | 18 |
| 2.6 | Ubicación..... | 19 |
| 3 | DISEÑO DEL PROCESO Y LA PLANTA | 20 |
| 3.1 | Diagrama del proceso..... | 20 |
| 3.2 | Diseño del proceso..... | 22 |
| 3.2.1 | Base de producción | 22 |
| 3.2.2 | Balances de masa | 22 |
| 3.3 | Diseño de la planta..... | 23 |
| 3.3.1 | Selección y dimensionamiento de equipos..... | 23 |
| 3.3.2 | Balances de energía..... | 26 |
| 4 | EVALUACIÓN ECONÓMICA | 28 |
| 4.1 | Estimación de costos | 28 |
| 4.1.1 | Estimación de capital fijo de inversión | 28 |
| 4.1.2 | Estimación de costos de producción y capital de trabajo..... | 29 |
| 4.2 | Estimación de ingresos y flujo de caja..... | 30 |
| 4.3 | Análisis de flexibilidad | 32 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 37 |
| 6 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |
| 7 | ANEXOS | 40 |
| 7.1 | Anexo A – Abreviaciones y Terminología..... | 41 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.2 | Anexo B - Detalle del proceso realizado en el laboratorio..... | 42 |
| 7.3 | Anexo C – Diagrama de bloques del proceso..... | 44 |
| 7.4 | Anexo D – Metodología..... | 45 |
| 7.4.1 | Balance de masa | 45 |
| 7.4.2 | Dimensionamiento de equipos..... | 47 |
| 7.4.3 | Balance de energía | 50 |
| 7.5 | Anexo E – Equipos por catálogo | 54 |
| 7.5.1 | Homogeneizador (H-101) | 54 |
| 7.5.2 | Tamiz Vibratorio (S-101)..... | 55 |
| 7.5.3 | Centrífuga (C-101)..... | 56 |
| 7.5.4 | Filtro (F-101)..... | 57 |
| 7.5.5 | Bomba Centrífuga (P-101, P-103, P-106)..... | 58 |
| 7.5.6 | Bomba de desplazamiento positivo (P-102, P-104, P-105, P-107, P-108) | 59 |
| 7.6 | Anexo F – Estimación económica | 60 |
| 7.6.1 | Estimación de inversión de capital fijo | 60 |
| 7.7 | Anexo G- Análisis de flexibilidad | 68 |
| 7.7.1 | Ecuación del VAN | 69 |
| 7.7.2 | Ecuación del TIR | 69 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Matriz de decisión de selección del proceso | 18 |
| Tabla 2. Listado de equipos del proceso | 20 |
| Tabla 3. Resumen del balance de masa para la obtención del producto final | 23 |
| Tabla 4. Especificaciones de los equipos dimensionados y obtenidos por catálogo. | 25 |
| Tabla 5. Especificaciones de potencia requerida para cada equipo | 27 |
| Tabla 6. Estimación de capital fijo por medio de diferentes factores. | 29 |
| Tabla 7. Costos de producción del proyecto..... | 30 |
| Tabla 8. Ingresos del proyecto..... | 31 |
| Tabla 9. Indicadores financieros | 31 |

Índice de tablas en Anexos

| | |
|---|----|
| Tabla A 1. Valores de materias primas utilizadas en el laboratorio | 45 |
| Tabla A 2. Cálculos iniciales de balance de masa | 45 |
| Tabla A 3. Balance de masa de las corrientes del proceso | 46 |
| Tabla A 4. Valores de composición de cada corriente..... | 47 |
| Tabla A 5. Balance de energía del tanque de agitación y calentamiento A-101 | 51 |
| Tabla A 6. Balance de energía del tanque de agitación y calentamiento A-102 | 52 |
| Tabla A 7. Balance de energía del tanque de agitación y calentamiento T-101..... | 52 |
| Tabla A 8. Balance de energía para las bombas | 53 |
| Tabla A 9. Costos de equipos de acuerdo a datos históricos..... | 60 |
| Tabla A 10. Costos de equipos de acuerdo a proveedores. | 61 |
| Tabla A 11. Costos de equipos en promedio con datos históricos y datos de proveedores. .. | 62 |
| Tabla A 12. Factores de instalación para el factor de Hand..... | 62 |
| Tabla A 13. Factores para el método Detallado..... | 63 |
| Tabla A 14. Estimación de ISBL por Hand, Land y Detallado | 64 |
| Tabla A 15. Costos Fijos. | 65 |
| Tabla A 16. Costos Variables. | 66 |
| Tabla A 17. Capital de Trabajo..... | 66 |
| Tabla A 18. Indicadores financieros obtenidos. | 67 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de microencapsulación | 20 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Figura 2. Gráfico de contorno del VAN..... | 32 |
| Figura 3. Gráfico de contorno del TIR..... | 33 |
| Figura 4. Gráficos de VAN y PRI vs Precio para producción de 10, 20, 30 y 40 unidades/hora | 34 |
| Figura 5. Gráficos de VAN y PRI vs unidades por hora para un precio unitario de \$20, \$30, \$40 y \$50..... | 35 |

Índice de figuras en Anexos

| | |
|---|----|
| Figura A 1. Diagrama de bloques del proceso de microencapsulación | 44 |
| Figura A 2. Correlaciones de potencia para diversos impulsores..... | 49 |
| Figura A 3. Especificaciones del Homogeneizado | 54 |
| Figura A 4. Especificaciones del Tamiz Vibratorio..... | 55 |
| Figura A 5. Especificaciones de la centrífuga | 56 |
| Figura A 6. Especificaciones del Filtro..... | 57 |
| Figura A 7. Especificaciones de la bomba centrífuga..... | 58 |
| Figura A 8. Especificaciones de la bomba de desplazamiento positivo | 59 |
| Figura A 9. Gráfico de superficie del VAN..... | 68 |
| Figura A 10. Gráfico de superficie del TIR..... | 68 |

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La curcumina es el colorante natural proveniente de la cúrcuma (*Curcuma longa*), una planta medicinal que crece principalmente en Asia y América Central. Este componente activo tiene aplicaciones en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética debido a sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y anticancerígenas. Sin embargo, al contener grupos cromóforos, la curcumina es un compuesto fotosensible, lo que significa que se degrada con la luz y sus propiedades mencionadas anteriormente son alteradas. Por esta razón, es necesario microencapsularla antes de añadirla a otros productos, para así evitar que el compuesto reaccione con el entorno y se degrade (1).

La microencapsulación se utiliza para empaquetar y proteger un ingrediente activo de factores externos. Se han desarrollado varias tecnologías utilizadas para la microencapsulación desde 2010; entre ellas están el secado por aspersión, emulsificación, secado en frío, coacervación, ensamblaje de capa por capa, extrusión, técnica supercrítica y la electroaspersión (2). En la industria de alimentos, la microencapsulación se ha utilizado para reducir la reactividad del ingrediente activo en el entorno externo, controlar la liberación del ingrediente activo y enmascarar olores y sabores (3). En Ecuador esta es una tecnología nueva, pero en otros países es un proceso ya industrializado y sustentable. La empresa francesa Calyxia en Francia ha patentado una técnica de doble emulsión como un proceso sustentable para la manufactura de microcápsulas de distintos componentes utilizando más de 200 materiales de pared diferentes como aceites, ceras, resinas y grasas (4). La compañía alemana BRACE GmbH también es especialista en la microencapsulación de agentes activos utilizando componentes orgánicos como parafinas, ceras, y ácidos grasos (5).

Aunque ya es un proceso industrializado, todavía se sigue investigando técnicas y materiales para la microencapsulación a escala de laboratorio. En una investigación

realizada por Guo et al (6), se probaron 12 combinaciones diferentes de materiales de pared para microencapsular la curcumina, entre los cuales están el almidón de maíz, maltodextrina, inulina, gelatina, goma de tamarindo y pectina. Para esto utilizaron los métodos de secado por aspersión y secado en frío. Otro material comúnmente utilizado para microencapsular la curcumina es la goma arábica. Adsare & Annapure (7) utilizaron el método de secado por aspersión y obtuvieron una eficiencia máxima de 95 % y un rendimiento de 73%. Otro trabajo de investigación sobre microencapsulación es aquel realizado por Ranjha NM, Khan H, Naseem (8), quienes utilizaron como material de pared la cera de abeja y la técnica de emulsión para microencapsular un fármaco llamado flurbiprofeno con Tween 20 como agente emulsificante. Obtuvieron micropartículas de morfología lisa y un rendimiento de hasta 84 %. Haghghat-Kharazi et al (9) utilizaron la cera de abeja para microencapsular la enzima amilasa y también Tween 20 como agente emulsificante. Obtuvieron tamaños de partícula de entre 4 y 69 μm . Además, la Universidad San Francisco de Quito ha realizado un proyecto de investigación de microencapsulación de curcumina con cera de abeja y manteca de cacao donde se obtuvo una eficiencia de encapsulación de 98% y una liberación abrupta promedio de 4% con el primer material (10).

1.2 Objetivos y metodología del Proyecto

1.2.1 Objetivo general:

Diseñar una planta de microencapsulación de curcumina con cera de abeja utilizando la metodología de emulsificación.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Definir el proceso más adecuado de microencapsulación en el laboratorio para su escalamiento a nivel industrial.
- Diseñar el proceso industrial de microencapsulación por medio de la selección y dimensionamiento de los equipos.
- Analizar la rentabilidad económica de la planta de microencapsulación en Ecuador.

1.3 Justificación

La microencapsulación es un proceso que se ha explorado con mayor frecuencia en los últimos años debido a sus grandes aplicaciones y eficiente protección de compuestos activos, como la curcumina, de los factores del entorno. De esta manera, el almacenamiento y estabilidad de agentes bioactivos se ve mejorada sustancialmente (6). Teniendo en cuenta los beneficios que este proceso ofrece, no solo se tiene una versión más estable del producto, si no que también mejora la calidad y dificultad de trabajar con el mismo, especialmente para aquellas empresas que implementan la curcumina en sus productos alimenticios y domésticos ya que su solubilidad aumenta (13).

Actualmente, no existen empresas en el Ecuador que realicen este proceso. Sin embargo, hay una variedad de industrias que trabajan con compuestos activos y específicamente con curcumina. Entre estas están: Aditmaq, La Favorita y Pronaca; las cuales implementan este compuesto en varios productos para consumo tanto humano como animal, y lo usan esencialmente en comida para animales domésticos, sopas, aderezos, salsas, especias, entre otros (11).

Existen varios métodos para microencapsular componentes, no obstante, el proceso general consta de pocos pasos con equipos de fácil adquisición. Particularmente, el proceso planteado para el diseño de planta del presente proyecto es bastante sencillo, como se observará a continuación. Adicionalmente, al tener una basta cantidad de información que ha sido estudiada a nivel experimental de laboratorio (2), se sabe a qué condiciones se puede obtener buenos resultados tanto a nivel de eficiencia y rendimiento. Por lo tanto, teniendo como base la microencapsulación de curcumina, se tiene como objetivo diseñar una planta en la se pueda microencapsular tanto el compuesto activo propuesto como otras sustancias, pigmentos, aceites y otros materiales que, con el tiempo, adquieran demanda en procesos industriales. De esta manera, la planta propuesta no estará limitada a un solo producto si no a la posible solicitud de microencapsulación de otros agentes por parte de las empresas que así lo requieran.

Finalmente, de acuerdo con datos oficiales de la SENAE y Fedexpor, se sabe que existe una demanda creciente de curcumina al año; específicamente, en el 2021 se tuvo una importación de 2460 kg (12, 13). Con los datos proporcionados por mes se pudo observar que se tuvo un incremento de cantidad de exportación en cada mes lo que puede indicar que este valor aumente aún más en este año y los siguientes. Por tanto, el producto que se propone generaría interés y novedad en el mercado al ser pionero en el Ecuador, considerando también que este sería producido inicialmente con una proyección de incremento de microencapsulación de otras sustancias requeridas a futuro.

2 BASES DEL DISEÑO

2.1 Descripción del producto

Al ser un producto dirigido para empresas con producciones en masa (especialmente alimenticias), se planteó utilizar envases de polietileno de alta densidad con capacidad de 20 L por cada unidad. El producto estará conformado por micropartículas suspendidas en Tween 80 al 0.5% v/v y agua. En el volumen mencionado se tendrá una concentración de micropartículas al 5% la cual fue definida a partir de los balances de materia y de costos de materias primas, donde, concentrando el producto al 5% se tiene un costo razonable de uso de materiales así como también de recursos. Tomando en cuenta que este proceso usa bastante cantidad de agua como se observará a continuación.

2.2 Descripción de materias primas:

2.2.1 Oleoresina de curcuma.

La oleoresina de cúrcuma está compuesta por 3 curcuminoides: curcumina, desmetoxicurcumina y bis-desmetoxicurcumina. La curcumina es el componente activo de interés en este proyecto. Este colorante natural amarillo tiene propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, y anticancerígenas (1). La curcumina es fotosensible, por lo que siempre se debe almacenar y transportar la oleoresina a oscuras y en recipientes especiales (14). El costo de esta materia prima es de \$23/kg; esta tiene un 6% de compuestos curcuminoides, y es importada de Ecom Food Industries Corporation en Canadá. Al aumentar un 40% el precio por importación, el costo es de \$32.2/kg.

2.2.2 Cera de abeja

La cera de abeja es el material de pared encapsulante. Se escogió este material porque es estable a niveles variables de pH y humedad, es biocompatible, y está disponible en Ecuador a un costo razonable (9). El precio de esta materia prima es de \$3.00/kg y la compañía proveedora es Zhengzhou Tianyi Apiculture Co., Ltd. Aumentando los costos de importación el precio final es de \$4.20/kg (15). Se debe mantener en un lugar ventilado y seco, alejada de fuentes de calor. La función que cumple esta materia prima es la de ser el material encapsulante de la curcumina, es decir que es el material que brinda la protección al componente activo.

2.2.3 Tween 80

El Tween 80 es un surfactante anfifílico que tiene propiedades emulsificantes y humectantes. Es ampliamente utilizado en cremas cosméticas y en la industria alimentaria. Como emulsificante se utiliza en una proporción de 1-15%. Al ser un polisorbato, es fotosensible e higroscópico, por lo que se debe almacenar en envases bien cerrados y protegido de la luz (16). El precio de esta materia prima es de \$1.70/kg y la compañía proveedora es Shanghai Lianji Chemical Co. Aumentando los costos de importación el precio final es de \$2.38/kg (17). La función que cumple el Tween 80 es la de ser un agente emulsificante y formar la fase acuosa del producto final.

2.3 Procedimiento en laboratorio

Para realizar las pruebas en el laboratorio de biomateriales de la USFQ, se partió de la investigación realizada por Salcedo (10), quien evaluó la manteca de cacao y la cera de abeja como materiales de pared para microencapsular curcumina. Se probaron dos procesos: con solvente (acetato de etilo) y sin solvente. La única diferencia entre estos dos procesos es el paso inicial, debido a que en el proceso con solvente la cera de abeja se disuelve en este, mientras que en el proceso sin solvente solo se funde directamente en el Tween 80. Para cada proceso

se realizó un blanco (sin curcumina) y también una muestra de microencapsulado con curcumina. A cada una de las muestras se les realizaron análisis y UV-vis y filtraciones para calcular el rendimiento y la eficiencia. Más detalles sobre estos procesos se encuentran en el Anexo B.

2.4 Selección de proceso

En el laboratorio se realizó la microencapsulación de curcumina de dos formas: con solvente (acetato de etilo) y sin solvente, es decir agregando la cera de abeja y curcumina directamente a la fase acuosa, de acuerdo con el método propuesto por Salcedo (10). En la tabla 1 se muestra la matriz de decisión con la que se seleccionó el proceso basándose en 5 criterios. La base de calificación es de 5 puntos, siendo 5 lo más favorable y 1 lo menos favorable. En el caso del costo, la diferencia es de dos puntos porque el acetato de etilo si representaría un costo adicional a que su precio es de \$1.3/kg y para producir una caneca de solución de microencapsulado se necesitarían 32 kg, es decir \$41.6. El impacto ambiental es el mismo en ambos casos ya que el acetato de etilo es un solvente orgánico amigable con el medio ambiente y aceptado para aplicaciones alimenticias. Según la valoración PBT y mPmB es una sustancia no considerada persistente, bioacumulable ni tóxica, con una degradabilidad del 79 % (18). En el caso del tiempo de producción, el proceso sin solvente es más favorable debido a que cuando el proceso se realiza con solvente es necesario esperar 24 horas hasta que este se evapore y obtener el producto final. En cuanto al rendimiento, el proceso con solvente tuvo un valor de 98%, el cual fue mayor al del proceso sin solvente. Sin embargo, ambos procesos presentaron una eficiencia de aproximadamente 99%. Realizando la suma final, el proceso sin solvente es más favorable con tres puntos de diferencia.

Tabla 1. Matriz de decisión de selección del proceso

| Criterio | Puntaje | |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Proceso con solvente | Proceso sin solvente |
| Costo | 1 | 3 |
| Impacto Ambiental | 4 | 4 |
| Tiempo de producción | 2 | 5 |
| Rendimiento | 5 | 3 |
| Eficiencia | 5 | 5 |
| Suma | 17 | 20 |

2.5 Limitaciones

Entre las limitaciones del proyecto se encuentra que todas las materias primas deben ser importadas, por lo que se debe planificar con anticipación el transporte para asegurar su disponibilidad. Además, todas las materias primas también deben ser almacenadas a una temperatura de 4 °C, por lo que se debe tomar en cuenta los costos de energía por refrigeración. En cuanto a la contaminación y toxicidad, la mayoría de las materias primas son materiales orgánicos. El surfactante Tween 80 es el único componente derivado de ésteres de sorbitán; sin embargo, según el reglamento (CE) n° 1272/2008, es una sustancia clasificada como no peligrosa. Otra limitación es que el proceso de homogenización debe ser realizado con mucho cautelosamente y con restricciones de tiempo para que las microcápsulas se formen correctamente, por lo que se debe tener un estricto control de este equipo y asegurar que cumpla con los requerimientos.

Otra limitación es el manejo de la oleorresina y la cera de abeja. La curcumina al ser fotosensible debe ser manejada con cuidado de no ser expuesta a la luz durante el proceso para

que esta no se degrade. Y la cera de abeja por otro lado, tiene un punto de fusión de 65 °C (9), por lo que se debe controlar la temperatura del proceso para que esta no se solidifique.

2.6 Ubicación

Para la ubicación de la planta, se tomó en cuenta la ciudad a la que llegan la mayoría de las importaciones de curcumina las cuales, de acuerdo con los datos proporcionados por Fedexpor (2021), es Quito. Tomando en cuenta lo mencionado y, considerando como factor principal la venta del producto a empresas alimenticias, se planteó la construcción de la planta en el sector de Carcelén Industrial. En este sector, ubicado al Norte de Quito, se tiene una variedad de empresas vecinas. Al considerarse que sería una empresa pequeña en crecimiento, resultaría beneficioso ubicarse en este sector al cual se proyectaría distribuir los productos elaborados de acuerdo a la demanda.

Esta zona es de fácil acceso y cuenta con más de 30 negocios aledaños que pueden proporcionar tanto comida para los trabajadores como otros recursos que sean necesarios y transporte. Se tiene también más de 10 paradas de buses en esta zona por lo cual la movilidad de los empleados y operadores será posible sin problema.

3 DISEÑO DEL PROCESO Y LA PLANTA

3.1 Diagrama del proceso

Una vez definido el proceso en base a la matriz de decisión, se realizó el diagrama de flujo con las operaciones unitarias necesarias para obtener el producto definido. El diagrama de bloque se puede observar en el Anexo C.

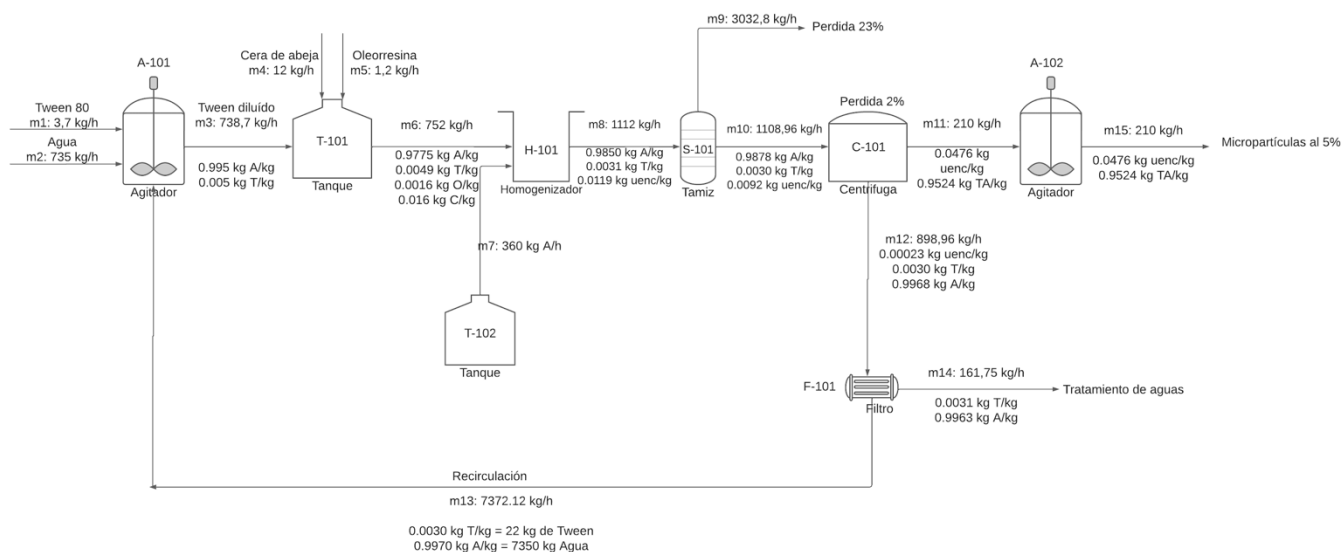


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de microencapsulación

Tabla 2. Listado de equipos del proceso

| | |
|--------------|----------------------------|
| A-101 | Agitador con calentamiento |
| T-101 | Tanque con calentamiento |
| H-101 | Homogeneizador |
| T-102 | Tanque de refrigeración |
| S-101 | Tamiz |
| C-101 | Centrífuga |
| F-101 | Filtro de agua |
| A-102 | Agitador |

El proceso presentado en la Figura 1 comienza con el calentamiento y mezclado de Tween 80 con agua a una concentración del 0.5% v/v (A-101). Una vez alcanzada una temperatura de 80°, esta mezcla pasa al tanque de calentamiento (T-101) en donde se mantiene la misma temperatura, y se añade cera de abeja junto con la oleoresina de curcumina. Esta mezcla de los cuatro ingredientes mencionados es lo que se traslada al homogeneizador (H-101) en donde se formarán las micropartículas con una velocidad de 1200 rpm por un minuto. Pasado este tiempo, se añade una corriente de agua fría a 4° (T-102) al homogeneizador por 10 segundos más y con este choque térmico culmina el proceso de formación de las micropartículas. A continuación, el producto pasará por un tamiz (S-101) en donde se filtrarán las aglomeraciones superiores a 200 micrómetros (cera sin microparticular) que se obtengan del proceso anterior. Del producto filtrado se somete a centrifugación (C-101) en donde se concentrará el producto a las especificaciones anteriormente mencionadas (micropartículas al 5% en suspensión).

Debido a que se tiene un remanente significativo de agua con Tween y micropartículas descartadas, esta corriente se pasará por un filtro (F-101) en donde se retirarán las micropartículas superiores a 200 micrómetros y se obtendrá agua purificada en su mayoría. Parte de esta agua será recirculada al proceso para continuar con la producción y el restante se mandará a tratamiento de aguas como se observa en el diagrama.

Finalmente, el producto concentrado que se obtiene de la centrifuga pasa a un tanque (T-102) en donde se mezclará aquello que fue centrifugado para concentrarlo al 5% y se obtienen 10 canecas de 20 L dentro de la primera hora de producción.

Una vez establecido el proceso como se ha descrito en la sección anterior, se presenta el diseño del proceso a través de la determinación del caudal de producción, balances de masa del

proceso, dimensionamiento y selección de equipos y finalmente los balances energéticos de la planta en base a los cálculos obtenidos de las secciones anteriores.

3.2 Diseño del proceso

3.2.1 Base de producción

La base de producción para este proceso fue derivada de los datos de importación brindados por la SENA y Fedexpor 2021 (12, 13). Con los valores obtenidos se pudo observar que, en el 2021, se tuvo una importación al país de 2460 kg de curcumina. Al menos el 60% de estas importaciones provienen de Frankfurt, Main (Alemania) y el 80% de las mismas fueron recibidas en la aduana de la ciudad de Quito. En virtud de estos datos y a la creciente demanda de materiales bioactivos como lo es la curcumina se utilizó este número como caudal de producción dando un total de 80 kg de microencapsulado al día y 26.880 kg de microencapsulado al año. Esta demanda fijada se considera la adecuada ya que según los datos de importación de años anteriores, la importación de curcumina ha incrementado en, al menos, 20%, y, de esta manera, se permitirá cubrir con la demanda actual proyectando a aumentar la misma.

3.2.2 Balances de masa

El balance de masa se realizó en base a la demanda de curcumina y la base de producción escogida. Se propone un proceso semicontinuo que estará en operación 8 horas al día, 336 días al año para así producir 80 canecas de 21 kg al día, es decir 26880 canecas al año. Para calcular los valores de los caudales se escalaron los resultados de la experimentación realizada en el laboratorio, es decir que se utilizaron las mismas proporciones y relaciones de materias primas, pero escalando los valores para cubrir la demanda anual. En la tabla A 1 del Anexo D se muestran los valores utilizados en el laboratorio y en la tabla A 2 se muestran los valores ya escalados y considerando las posibles pérdidas en algunos equipos. Se tomó en cuenta que hay

una recirculación cada hora por lo que, a partir de la segunda hora, no ingresa más agua por la corriente 2 debido a que proviene de la recirculación. En la tabla 3, se muestra el resumen de las corrientes principales de materias primas y del producto final. En el Anexo D se encuentra la tabla detallada con todas las corrientes.

Tabla 3. Resumen del balance de masa para la obtención del producto final

| Corriente [kg/h]/ Hora | 1 [Tween 80] | 2 [Agua] | 3 [Tween diluído] | 4 [Cera de abeja] | 5 [Oleoresina] | 13 [Recirculacion] | 15 [Producto final] |
|------------------------------|--------------------|-------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 | 3.7 | 735.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 737.2 | 210.0 |
| 2 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 737.2 | 210.0 |
| 3 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 737.2 | 210.0 |
| 4 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 737.2 | 210.0 |
| 5 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 737.2 | 210.0 |
| 6 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 737.2 | 210.0 |
| 7 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 737.2 | 210.0 |
| 8 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 737.2 | 210.0 |

3.3 Diseño de la planta

3.3.1 Selección y dimensionamiento de equipos

En base al diagrama de flujo del proceso presentado en la sección 2.6, se seleccionaron los equipos. Estos fueron divididos en dos categorías: dimensionados y derivados de catálogo. De esta manera, dentro del proceso se tiene: agitadores, tanques de calentamiento y enfriamiento, un homogenizador, tamiz, centrifuga y un filtro de agua. Para todos los equipos, se realizaron cotizaciones de los mismos para obtener precios reales y actuales del mercado. Sin embargo, no todos pudieron ser dimensionados debido a la complejidad de estos. Se buscó varias opciones de equipos en distintos catálogos y finalmente se eligieron los más adecuados, que se muestran a detalle en el Anexo E.

Para la concentración del producto, lo más adecuado resultó en adquirir una centrífuga de disco que permita retirar líquido sobrante de producto para obtenerlo bajo en las especificaciones establecidas previamente. De esta manera, mediante el centrifugado, se retira únicamente la cantidad deseada y no se compromete de ninguna forma la calidad de las micropartículas.

Para el dimensionamiento de los tanques de agitación y los tanques de calentamiento y enfriamiento, se tomó en cuenta la densidad de las corrientes de entrada a los mismos. Se consideró un factor de seguridad y así se obtuvo el volumen final de trabajo de los tanques. Se considero además la presión de trabajo junto con la presión hidrostática ejercida por el fluido (5). Continuando con la metodología, se obtuvieron los grosores de las paredes, así como también de las terminales que, para este caso, se decidió usar torisféricas, al ser terminales estándar para recipientes de baja presión y las más económicas dentro de esta categoría.

Para las operaciones de calentamiento, se dimensionó chaquetas externas de calor con vapor de baja presión debido a que nuestro proceso trabaja con temperaturas bajas de máximo 80°C y para la operación de enfriamiento se simuló el mismo en ASPEN HYSYS.

A continuación, en la Tabla 4 se muestra un resumen de los equipos dimensionados y de los obtenidos por catálogo con sus características respectivas. Los detalles de los equipos dimensionados se encuentran en el Anexo D.

Tabla 4. Especificaciones de los equipos dimensionados y obtenidos por catálogo.

| Equipo | Dimensiones | Especificaciones |
|---------------------------------|---|---|
| Agitador (A-101) | Diámetro: 1 [m] Altura: 2 [m] Diámetro del agitador: 0.3 [m] Grosor de la pared: 2.51 [mm] | Agitador: impulsor de tres hojas de alta eficiencia. |
| Agitador (A-102) | Diámetro: 0.5 [m] Altura: 1 [m] Diámetro del agitador: 0.15 [m] Grosor de la pared: 2.24 [mm] | Agitador: impulsor de tres hojas de alta eficiencia. |
| Tanque de calentamiento (T-101) | Diámetro: 0.5 [m] Altura: 1 [m] Grosor de la pared: 2.29 [mm] | Acero inoxidable, SS-304. |
| Tanque de refrigeración (T102) | Diámetro: 0.5 [m] Altura: 1 [m] Grosor de la pared: 2.47 [mm] | Acero inoxidable, SS-304. |
| Homogenizador (H-101) | Capacidad: 4500 L Diámetro: 1.6 [m] Altura: 2.2 [m] Grosor de pared: 5 [mm] Potencia: 37 kW | Catálogo (Wenzhou Leno Machinery Co., Ltd) |
| Tamiz (S-101) | Capacidad: 6000 L Diámetro: 1.5 [m] Altura: 1.58 [m] Potencia: 0.6 kW | Catálogo (Xinxiang Chenwei Machinery Co., Ltd) |
| Centrifuga (C-101) | Altura: 1.2 [m] Largo: 1.05 [m] Ancho: 0.850 [m] Potencia: | Catálogo (Wenzhou Leno Machinery Co., Ltd) |
| Filtro (F-101) | Capacidad: 4494 L Altura: 0.5 [m] Largo: 0.4 [m] Ancho: 0.3 [m] Potencia: 0.18 kW | Catálogo (Jiangsu Peide Water Treatment Equipment Co., Ltd) |

Las dimensiones presentadas en la tabla 4 fueron todas redondeadas al máximo superior ya que las dimensiones reales de los equipos resultaron bajas e ilógicas (entre 0.01 a 0.07 m de diámetro y altura) para conseguir en el mercado. Un resumen de las dimensiones reales se puede apreciar en Anexos, por ende, se aproximaron todas las dimensiones las mismas que incluso se proyectan para un aumento de producción en el futuro si fuera el caso.

3.3.2 Balances de energía

Para el balance de energía se tomó en cuenta el consumo de kW de cada equipo utilizado en el proceso. En la tabla 5 se muestra la potencia necesaria de cada equipo del proceso según su función y su tiempo de operación. En el Anexo D se encuentra la metodología y el balance de energía detallado para los equipos dimensionados como tanques de agitación, tanques de calentamiento y bombas.

Tabla 5. Especificaciones de potencia requerida para cada equipo

| Equipo | Detalle | Potencia [kW] | Tiempo de operación [h/año] | Energía anual [kWh/año] |
|------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| A-101 | Agitación | 1.68E-04 | 2688 | 0.45 |
| | Chaqueta - calentar | 82.34 | 84 | 6916.60 |
| | Chaqueta - mantener caliente | 36.36 | 2688 | 97743.39 |
| T-101 | Chaqueta - calentar | 125.72 | 56 | 7040.19 |
| | Chaqueta - mantener caliente | 14.91 | 2688 | 40065.66 |
| T-102 | Operación | 172.03 | 2688 | 462416.64 |
| H-101 | Operación | 37.00 | 2688 | 99456.00 |
| S-101 | Operación | 1.10 | 2688 | 2956.80 |
| C-101 | Operación | 4.00 | 2688 | 10752.00 |
| F-101 | Operación | 0.18 | 2688 | 483.84 |
| A-102 | Operación | 1.52E-03 | 2688 | 4.08 |
| P-101 | Operación | 1.15E-03 | 2688 | 3.09 |
| P-102 | Operación | 2.34E-03 | 2688 | 6.30 |
| P-103 | Operación | 1.12E-03 | 2688 | 3.01 |
| P-104 | Operación | 3.81E-03 | 2688 | 10.25 |
| P-105 | Operación | 2.07E-03 | 2688 | 5.57 |
| P-106 | Operación | 3.27E-04 | 2688 | 0.88 |
| P-107 | Operación | 7.01E-04 | 2688 | 1.88 |
| P-108 | Operación | 1.15E-03 | 2688 | 3.09 |
| Sumatoria | | | | 727869.73 |

Por lo tanto, se necesita un total de 727.9 MWh por año para producir la cantidad escogida de 26880 canecas.

4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En esta sección se presenta todo lo referente a costos e indicadores financieros que permitirán evaluar la factibilidad económica del proyecto. Dentro de la misma, se presentan estimaciones de los costos principales del proyecto, así como la inversión requerida y los ingresos por venta del producto. Con esto se estima el valor actual neto (VAN), el retorno sobre la inversión (ROI), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión (PRI).

4.1 Estimación de costos

4.1.1 Estimación de capital fijo de inversión

Dentro de la estimación de capital fijo se tiene varios componentes. Entre estos se tiene primeramente el costo ISBL (Inside Battery Limits), el cual incluye costos de campo directos como indirectos. Una vez obtenido el ISBL, se continua con el costo OSBL (Outside Battery Limits), el cual incluye costos de modificaciones y/o adiciones a la infraestructura para expansión. Y finalmente, dentro de esta sección, se tiene los costos de ingeniería, diseño, construcción y gastos imprevistos. Todos estos costos se obtienen considerando los precios de equipos los cuales fueron consultados a proveedores, así como también por medio de datos históricos. Los cálculos detallados de esta sección se pueden visualizar de mejor manera en el Anexo D.

Al obtener los costos por medio de datos históricos y los costos brindados por las cotizaciones directas con los proveedores se pudo observar una discrepancia bastante grande entre ambos. Esto muestra además que los costos adquiridos por medio de datos históricos son sobre valorados a los que se muestran en el mercado actual. Por tanto, siguiendo la metodología, se planteó hacer un promedio de ambos costos mencionados para no descartar ninguno a pesar de lo observado.

Una vez definido este valor, se estimó la inversión de capital fijo por medio de tres factores: Hand, Lang y Detallado, optando como decisivo al último mencionado ya que presenta una

mejor aproximación dentro de su metodología (16). Esta misma se puede visualizar en el Anexo F. Un resumen de los resultados obtenidos mediante los tres factores se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Estimación de capital fijo por medio de diferentes factores.

| Factores | Valor obtenido [USD] |
|-------------------------|-----------------------------|
| Factor de Hand | \$1.214.965,46 |
| Factor de Lang | \$2.106.613,03 |
| Factor Detallado | \$ 832.242,19 |
| Capital Fijo | \$ 1.514.680,78 |
| Costo de equipos | \$200.058,22 |

Se observa valores más altos en los dos primeros factores (Lang y Hand) debido a que estos tienen menor exactitud comparado con el Detallado donde se considera más características como contingencias, diseño e ingeniería (17). Finalmente se tiene el valor expresado en la Tabla 6 como capital fijo donde igualmente se considera el OSBL.

4.1.2 Estimación de costos de producción y capital de trabajo

Los costos de producción se estimaron a partir de los costos fijos y variables. Para calcular los costos fijos se tomó en cuenta la labor de operación, la supervisión, los gastos salariales, mantenimiento, impuestos sobre propiedad, alquiler de tierra, gastos generales de la planta y gastos medioambientales. Para calcular la labor de operación, se consideraron 4 operadores, que trabajan 8 horas al día y tienen un sueldo de \$2.7 por hora basado en un salario básico de \$400 al mes (17). La metodología para calcular los demás componentes de los costos fijos se encuentra en el Anexo F. Para calcular los costos variables se tomó en cuenta el costo de las materias primas, los servicios auxiliares, y el tratamiento de efluentes. El cálculo de cada uno

de estos componentes se encuentra en el Anexo F. La tabla 7 muestra las sumatorias de los costos fijos y variables y el costo total de producción (CCOP).

Tabla 7. Costos de producción del proyecto

| | |
|--|---------------------|
| FCOP (Sumatoria costos fijos) | |
| Labor de operación | \$29,030.40 |
| Supervisión | \$7,257.60 |
| Gastos Salariales Directos | \$14,515.20 |
| Mantenimiento | \$24,967.27 |
| Impuesto sobre propiedad y seguros | \$8,322.42 |
| Alquiler de Tierra | \$257,995.08 |
| Gastos generales de la planta | \$39,815.92 |
| Gastos medioambientales | \$257,995.08 |
| Sumatoria | \$639,898.96 |
| VCOP (Sumatoria costos variables) | |
| Materias primas utilizadas | \$268,545.15 |
| Servicios Auxiliares | \$582,295.78 |
| Tratamiento efluentes | \$6,891.68 |
| Sumatoria | \$857,732.61 |
| CCOP (Sumatoria costos fijos y variables) | \$864,624.29 |

4.2 Estimación de ingresos y flujo de caja

Los ingresos en este proyecto vienen de la venta de microencapsulado en suspensión descrito anteriormente. Con una producción diaria de 80 canecas al día, el precio fijado por unidad de producción es de \$57.57 el cual fue obtenido mediante la razón de la producción de unidades al año y las sumatoria de los costos fijos y variables. Esto debido a que no existe un producto en el mercado al cual se lo pueda comparar en precio. La tabla 8 resume los ingresos del proyecto.

Tabla 8. Ingresos del proyecto

| | Precio por unidad | Producción [Unidades/año] | Ingresos /año |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Ingreso | \$57.57 | 26880 | \$ 1.547.433,53 |
| Ingreso Bruto | \$6.891,68 | - | - |

Con la producción establecida y su precio definido, se realizó el flujo de caja del proyecto dentro de sus 10 primeros años de trabajo. Con este, fue posible visualizar los indicadores financieros antes mencionados y por tanto determinar si el proyecto es económicamente factible o no. Estos resultados se observan a continuación en la Tabla 9 y su descripción exacta se puede encontrar en el Anexo D.

Tabla 9. Indicadores financieros

| Indicador | Valor |
|------------------|-----------------|
| VAN | -\$1.262.474,60 |
| TIR | -16% |
| ROI | -0.83 |
| PRI (años) | 32 |
| Inversión total | \$1.514.680,78 |

Lo observado en la Tabla 9 indica que a pesar de haber fijado un precio alto por unidad de producción comparado al costo su producción este sigue sin llegar a compensar la inversión de capital fijo si no hasta 32 años después en donde se podría recuperar lo invertido. Por tal motivo el proyecto, con su demanda respectiva de la manera en la que fue planteado no resulta factible económicamente y se necesita ver rutas alternativas y/o considerar otras variables para

encontrar valores donde los indicadores económicos resulten viables o atractivos como para una verdadera inversión a futuro.

4.3 Análisis de flexibilidad

Para analizar la flexibilidad del proyecto primeramente se realizaron superficies de respuesta del VAN y el TIR para ver como estos cambian dependiendo de dos variables: el precio unitario por caneca y las unidades producidas por hora, considerando al VAN y TIR como variables de respuesta. Esto se realizó en Minitab (Figuras 2 y 3) y los valores utilizados fueron aleatorios, teniendo el precio unitario un rango de \$10 a \$50 y las unidades producidas por hora un rango de 30 a 100. A continuación, se presentan los gráficos de contorno del VAN y el TIR obtenidos en Minitab (Figuras 2 y 3)

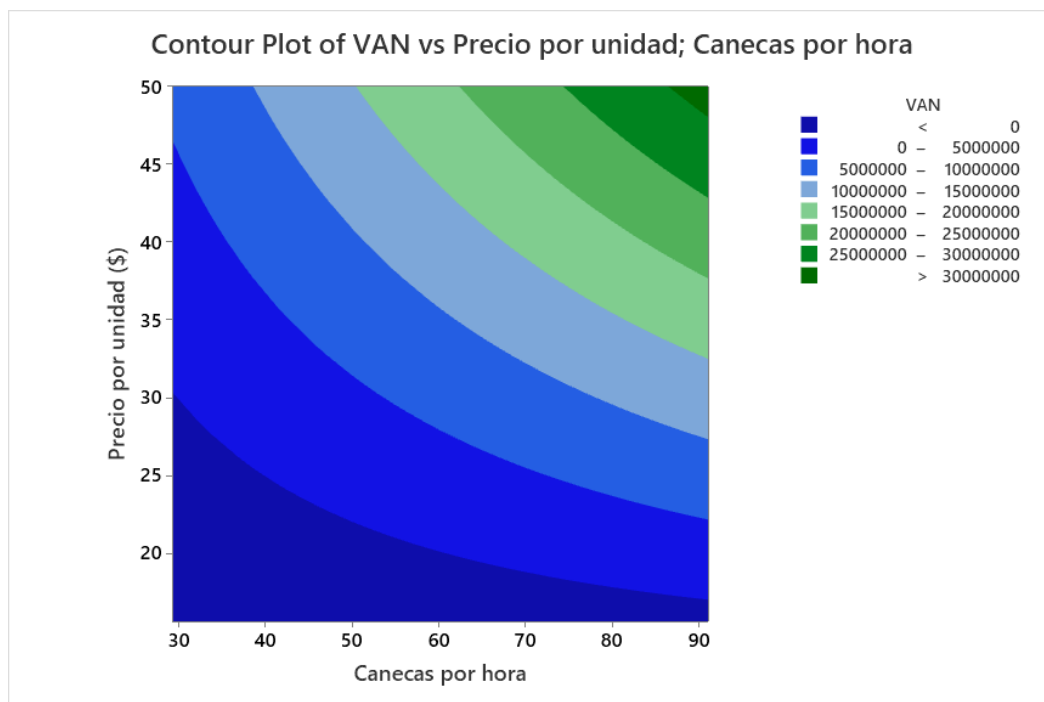


Figura 2. Gráfico de contorno del VAN como respuesta a la variación del precio por unidad (\$) y las canecas producidas por hora

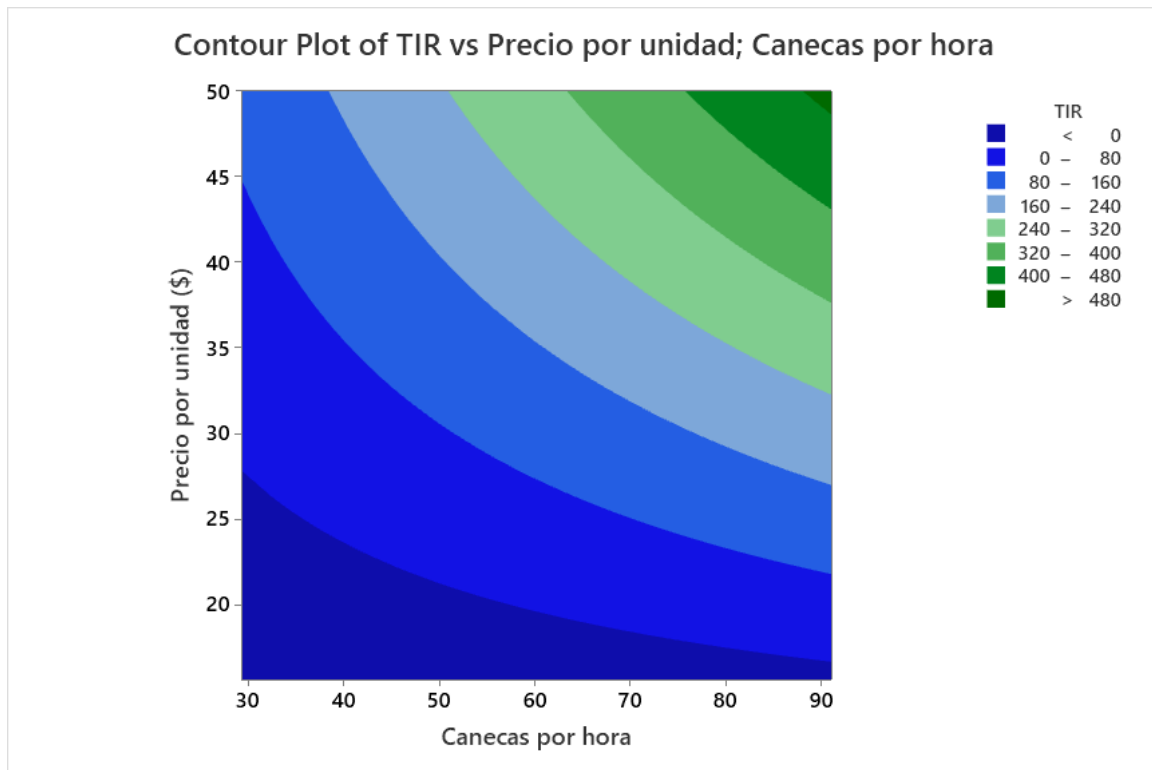


Figura 3. Gráfico de contorno del TIR como respuesta a la variación del precio por unidad (\$) y las canecas producidas por hora

En los gráficos de contorno de las figuras 2 y 3 se observa que a medida que se aumenta la producción y el precio por unidad también aumentan los indicadores económicos VAN y TIR, siendo la zona verde oscura la que contiene los valores máximos y la zona azul los valores mínimos. Con estos gráficos se confirma que para lograr que el proyecto sea rentable es fundamental aumentar la cantidad de unidades producidas por hora.

También se realizó un gráfico de superficie para cada indicador, los cuales se encuentran en el Anexo G. Además, para cada indicador se realizó una regresión de superficie de respuesta en donde se obtuvieron las ecuaciones que relacionan el precio unitario y las unidades producidas por hora con el VAN y el TIR. Estas ecuaciones también se encuentran en el Anexo G.

En virtud de lo planteado y obtenido en la sección 4.2 y en los gráficos de contorno, se realizó un análisis de flexibilidad en el cual se tiene como objetivo subir el precio unitario de las

canecas y a su vez la producción por hora y con esto observar los cambios que se generen en el VAN y PRI. Al realizar estos cambios descritos se aspira encontrar un punto de equilibrio en el cual se tenga un precio razonable por unidad de producción y una producción por hora coherente y de esta manera lograr que el proyecto sea rentable.

Con esto en mente, se plantearon 8 casos como se mostrará a continuación donde los primeros 4 casos se variaron las unidades por hora en intervalos de 10 en 10 hasta llegar a 40 unidades con precios desde \$10 hasta \$100. Y en los siguientes 4 casos restantes se varió el precio de las unidades de \$10 en \$10 comenzando desde \$20 hasta \$50.

De esta manera, se obtuvieron los siguientes resultados para los primeros 4 casos redactados anteriormente:

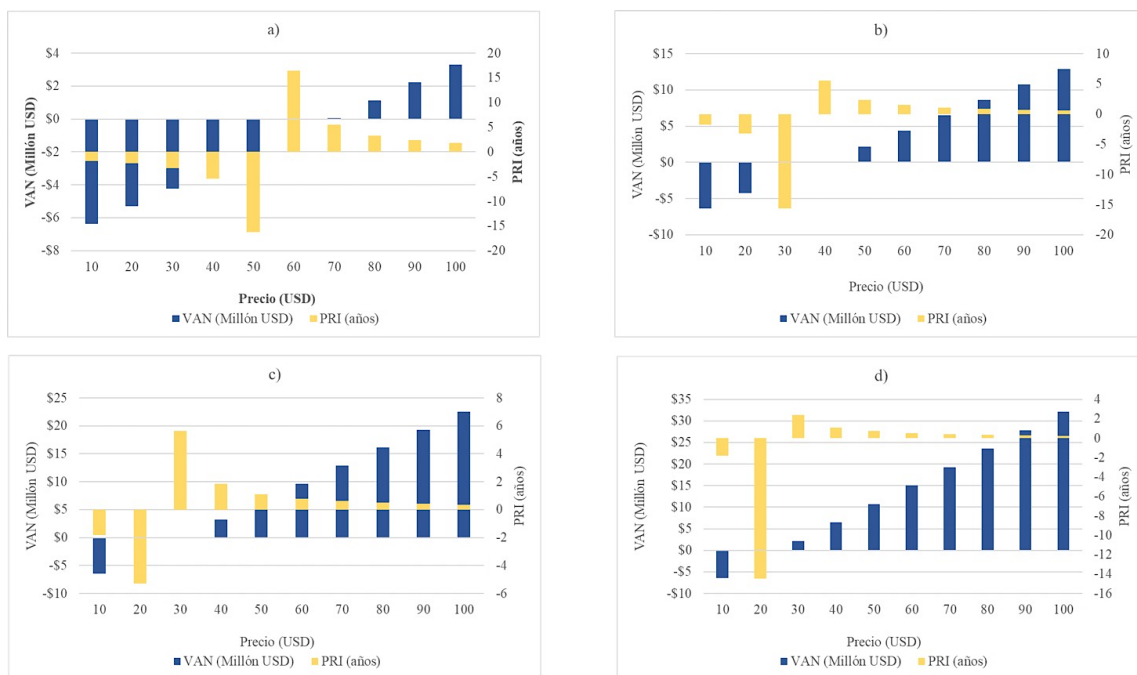


Figura 4. Gráficos de VAN y PRI vs Precio para producción de a) 10, b) 20, c) 30 y d) 40 unidades/hora

Y para el siguiente set de 4 casos restantes se obtuvo lo siguiente:

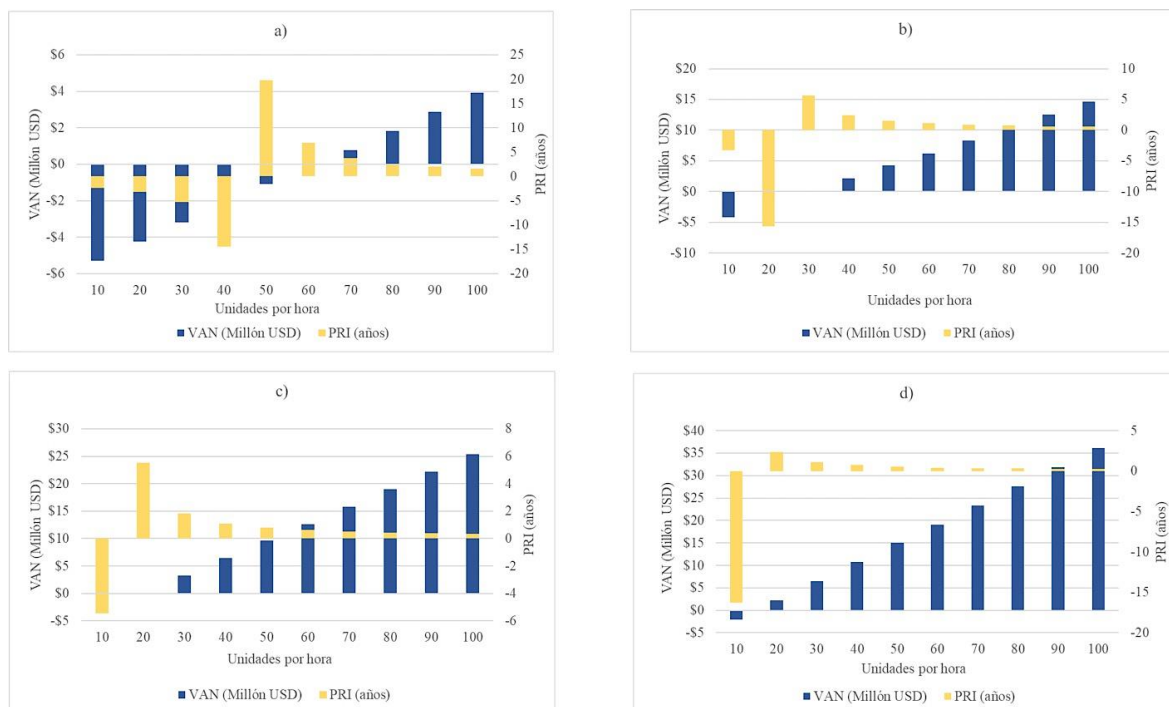


Figura 5. Gráficos de VAN y PRI vs unidades por hora para un precio unitario de a) \$20, b) \$30, c) \$40 y d) \$50

Con los resultados obtenidos de los 8 casos se eligieron como puntos óptimos el caso 1.3 y el caso 2.3. Esto debido a que se consideró razonable el precio y el número de canecas producidas por hora en comparación al resto de casos observados. De esta manera, el proyecto resulta rentable con un VAN de \$3.24 (Millón USD) y un PRI de 1.84 años y a su vez no se tiene un precio exorbitante (comparado con el precio de producción de cada caneca) para el producto y tampoco una cantidad irrazonable de canecas producidas por hora. Con la demanda extra (20 canecas) que se tendría por hora se plantea producir otro tipo de microencapsulados con propiedades similares a la curcumina. Esto con el objetivo de cubrir con el resto de las canecas que se necesitan producir y teniendo en mente que se tiene poca demanda nacional de curcumina. De acuerdo con esto se tiene en mente microencapsular licopeno, fragancias, aceites esenciales, entre otros; lo que también le agrega un valor extra a la planta ya que esta sería multifacética en sus productos.

Sin embargo, para no perder tiempo en cada día limpiando los equipos para microencapsular los otros agentes mencionados, se plantea una producción semanal para cada agente extra que se microencapsule. Es decir, microencapsular y trabajar una semana con curcumina, otra con licopeno, otra con aceites esenciales, entre otros. De esta manera se cumplirá con la demanda, las horas de trabajo y las canecas necesarias a producir para que la planta se mantenga rentable.

El desglose de los valores de VAN y PRI para cada caso obtenidos se puede observar de mejor manera en el Anexo G.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según al trabajo de laboratorio, se escogió un proceso de microencapsulación sin solvente basado en una matriz de decisión que clasifica: costo, impacto ambiental, tiempo de producción, rendimiento y eficiencia. Conforme a los resultados obtenidos en balance masa, energía, dimensionamiento de equipos y materia primas utilizadas, se observó que de la manera en que fue planteado el proyecto y con la demanda actual nacional, el proyecto no resulta rentable. Para mejorar/cambiar este aspecto, se plantea la microencapsulación de agentes similares a la curcumina como el licopeno, aceites esenciales, fragancias, entre otros; con el objetivo de aumentar la producción de la planta, darle un valor agregado al negocio y lograr la rentabilidad del proyecto. Con esta premisa en consideración, se observó que se necesita una producción de 30 canecas por hora con un precio unitario de \$40 para que el diseño de la planta resulte rentable.

Se recomienda estudiar a nivel de laboratorio la eficiencia de microencapsulación de los otros agentes mencionados anteriormente para después realizar un proceso similar de escalamiento. Para esto se sugiere realizar un estudio con diferentes relaciones de fase acuosa y fase orgánica. Se propone analizar con mayor profundidad las fuentes de energía utilizadas para el funcionamiento de los equipos, escogiendo entre vapor de baja, media o alta presión. Se recomienda también realizar un análisis costo-beneficio de la posible exportación del producto a otros países para revisar que tan rentable sería aumentar todavía más la producción.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. National G, Pillars H. Microencapsulation: Process and Applications [Internet]. 1974. Available from: https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0739-6_1
2. Yang M, Liang Z, Wang L, Qi M, Luo Z, Li L. Microencapsulation Delivery System in Food Industry - Challenge and the Way Forward. *Adv Polym Technol*. 2020;2020.
3. Arenas-Jal M, Suñé-Negre JM, García-Montoya E. An overview of microencapsulation in the food industry: opportunities, challenges, and innovations. *Eur Food Res Technol* [Internet]. 2020;246(7):1371–82. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03496-x>
4. Calyxia (2022). Tecnología de microencapsulación. Obtenido de <https://calyxia.com/technology>
5. BRACE (2022). Services and Products. Obtenido de <https://www.brace.de/en/services-373/articles/development-contract-manufacturing-and-machinery-services-of-brace-gmbh.html>
6. Guo J, Li P, Kong L, Xu B. Microencapsulation of curcumin by spray drying and freeze drying. *Lwt* [Internet]. 2020;132(February):109892. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109892>
7. Adsare SR, Annapure US. Microencapsulation of curcumin using coconut milk whey and Gum Arabic. *J Food Eng* [Internet]. 2021;298(January):110502. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110502>
8. Ranjha NM, Khan H, Naseem S. Encapsulation and characterization of controlled release flurbiprofen loaded microspheres using beeswax as an encapsulating agent. *J Mater Sci Mater Med*. 2010;21(5):1621–30.

9. Haghghat-Kharazi S, Milani JM, Kasaai MR, Khajeh K. Microencapsulation of α -amylase in beeswax and its application in gluten-free bread as an anti-staling agent. *Lwt* [Internet]. 2018;92(January):73–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.049>
10. Salcedo, E. (2021). Evaluación de la microencapsulación de curcumina empleando cera de abeja y manteca de cacao como materiales encapsulantes.
11. Aditmaq, 2022. Obtenido de <https://www.aditmaq.com/>
12. Fedexpor. (2022). Obtenido de <https://www.fedexpor.com/expordata-online/>
13. SENAE, Servicio Nacional de Aduana del Ecuador. (2022) Obtenido de: <https://www.aduana.gob.ec/biblioteca-aduanera/busqueda-por-procesos/>
14. Joshi P, Joshi S, Semwal DK, Bisht A, Sharma S, Dwivedi J. Chemical composition, antioxidative and antimicrobial activities of turmeric spent oleoresin. *Ind Crops Prod.* 2021;
15. Alibaba (2022). Cera de abeja. Obtenido de: https://www.alibaba.com/product-detail/Bee-Wax-Best-Selling-Custom-Pure_1600472750664.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.79e53c6fLKzrvl&s=p
16. Acofarma (2022). Ficha de información técnica Tween 80. Obtenido de <https://www.cofgranada.com/ufc/documentos/modulos/TWEEN%2080.pdf>
17. Alibaba (2022). Tween 80. Obtenido de https://spanish.alibaba.com/product-detail/food-additive-emulsifiers-polysorbate-80-tween-80-free-sample-cas-9005-65-6-1600233836047.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.42fe1bacXhAXT2
18. ThermoFisher (2020). Ficha de datos de seguridad: Acetato de etilo. Obtenido de <https://www.fishersci.es/store/msds?partNumber=10683702&productDescription=1L>

T+Ethyl+acetate%2C+99.5%2B%25%2C+for+HPLC&countryCode=ES&language=es

19. Carlroth (2021). Tween 80. Obtenido de: [https://www.carlroth.com/medias/SDB-9139-](https://www.carlroth.com/medias/SDB-9139-ES-)

ES-

ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMzExOTR8Y

XBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oMTkvaGRjLzk

wNDM1MzU2OTE4MDYucGRmfGYwZGJlMzY4ZDNhN2FiZDZmNWRINGI3M

WJkZWI2N2ZiYmE2MWIzNDk2ZWl2Yzc0YjkwYzExZjJmYzgzYmQ5NzQ

7.1 Anexo A – Abreviaciones y Terminología

1. **Curcumina:** Colorante natural amarillo proveniente del rizoma de la cúrcuma que tiene propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antiinflamatorias y aplicaciones en las industrias cosmética, farmacéutica y de alimentos (8).
2. **Cera de abeja:** Sustancia que forma la estructura del panal de abejas y tiene propiedades de protección hidrofóbica, hidratación, y emulsionante, por lo que es utilizada en la industria de alimentos y la de cosmética (26).
3. **Microencapsulación:** Tecnología utilizada para encapsular componentes bioactivos en un núcleo y así aumentar su biodisponibilidad y protegerlos de la degradación con un material de pared. Se forman micropartículas con un diámetro de 1-1000 μm (7).
4. **Eficiencia de microencapsulación:** Es un valor utilizado para medir que tan eficiente fue la encapsulación del componente y se define como el cociente entre la masa experimental de componente y la masa teórica del mismo (27).
5. **Emulsión:** Se refiere a una mezcla heterogénea que contiene dos o más fases líquidas inmiscibles, llamadas fase dispersa y fase continua (28).
6. **Material de pared:** El material de pared es una barrera física que evita la difusión molecular y las reacciones químicas para mejorar la estabilidad de los compuestos encapsulados (7).
7. **Surfactante:** Es un agente tensioactivo que cuando es mezclado con un líquido o alguna fase acuosa, reduce su tensión superficial y de esta manera aumenta sus propiedades de esparcimiento y humectación; por ende, contribuye positivamente a la formación de las micropartículas (29).
8. **Fotodegradación:** Es la degradación de una molécula que es fotodegradable lo que es causado por la absorción de fotones especialmente de los que proviene de la luz solar, cambiando de esta manera las propiedades de un material (23)

9. **Emulsificación:** Se define como un proceso en el cual las partículas de un líquido (conteniendo compuestos bioactivos) se dispersan en un segundo líquido mediante ciertas interacciones, pero no se disuelven en el (28).
10. **Bioaccesibilidad:** Este término hace referencia a la fracción de la cantidad de un compuesto que se libera de su matriz en el tracto gastrointestinal el cual quedara disponible para la absorción. Esto incluye la transformación de los alimentos a nivel digestivo para su debida asimilación (23).
11. **Agente encapsulante:** Es aquel que reviste al núcleo (sustancia microencapsulada) con el objetivo de protegerlos de condiciones ambientales o situaciones en las que puedan liberarse o reaccionar antes de que esto sea deseado (30).
12. **Fase orgánica:** Usualmente está relacionada con una fase acuosa y es la fase en la cual se encuentra un disolvente orgánico que no se mezcla con el agua de modo que ambas fases se pueden distinguir fácilmente (31).
13. **Fase acuosa:** Es la fase que esta compuesta principalmente por agua y otro agente que en este caso es un surfactante (31).
14. **Bioactivo:** Hace referencia a que tiene o produce un efecto en un tejido vivo, es decir, sobre el organismo que lo consume. En el caso del café, la cafeína seria su compuesto bioactivo (23).
15. **Homogeneización:** Proceso en el cual se combinan distintas sustancias para obtener una mezcla uniforme. Los homogeneizadores de alta presión pueden crear gotas muy pequeñas al forzar líquidos a pasar por una válvula estrecha a alta presión (32).

7.2 Anexo B - Detalle del proceso realizado en el laboratorio

Elaboración de micropartículas:

1. Disolver 1 g de cera de abeja en 20 mL de acetato de etilo (se omite en el proceso sin solvente)
2. Agregar 0.1 g de oleorresina de cúrcuma y tapar con papel aluminio.
3. Se calienta la mezcla hasta 65 °C y se deja en agitación a 800 rpm.
4. Se prepara una solución de Tween 80 al 0.5% y se calientan 50 mL hasta llegar a 65 °C.
5. Se homogeniza la solución de Tween 80 durante 1 minuto a 1200 rpm y se agrega la fase acuosa.
6. Se agregan 50 mL de agua destilada a 4 °C y se homogeniza por 10 segundos.
7. Se tapa la mezcla con aluminio y se deja evaporar el solvente por 24 horas.

7.3 Anexo C – Diagrama de bloques del proceso

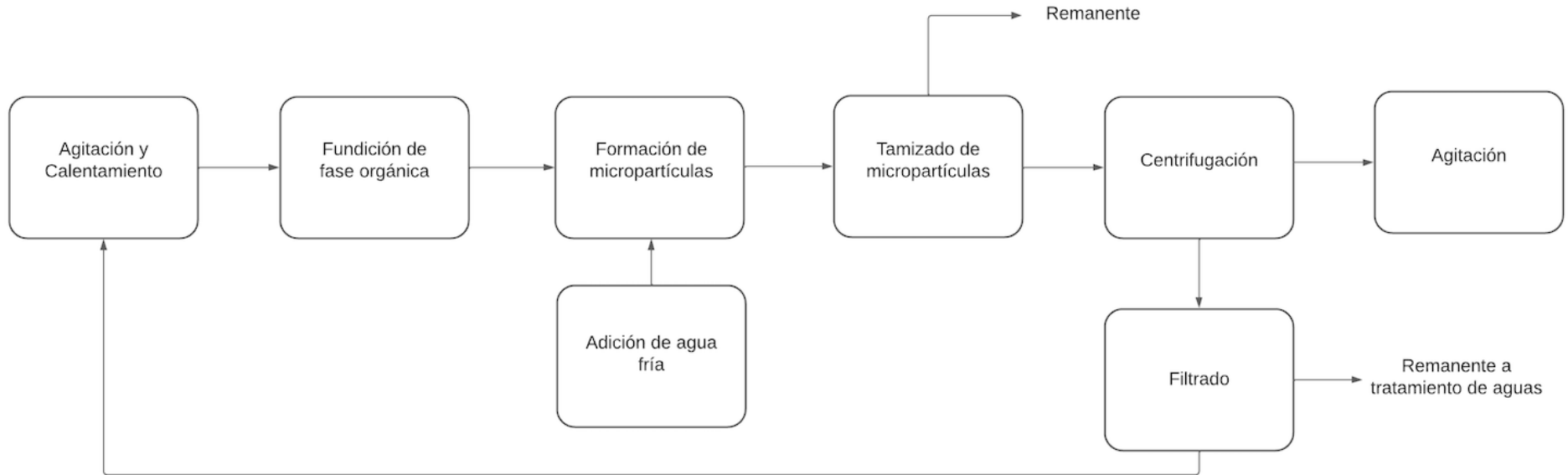


Figura A 1. Diagrama de bloques del proceso de microencapsulación

7.4 Anexo D – Metodología

7.4.1 Balance de masa

En la tabla x se muestran los valores de materias primas utilizados en los experimentos de laboratorio.

Tabla A 1. Valores de materias primas utilizadas en el laboratorio

| | |
|-------------------------------|--------|
| Masa de cera de abeja (kg) | 0.0010 |
| Masa de curcumina (kg) | 0.0001 |
| Masa de microencapsulado (kg) | 0.0011 |
| Volumen de Tween 0.5 % (L) | 0.0600 |
| Volumen de agua (L) | 0.0300 |

En la tabla x se muestran los valores de datos relevantes escalados para calcular los caudales necesarios para cubrir la demanda anual.

Tabla A 2. Cálculos iniciales de balance de masa

| | |
|--|--------|
| Demanda (kg/año) | 2460.0 |
| Días de parada al mes | 2.0 |
| Días laborables al año | 336.0 |
| Producción de curcumina al día (kg/día) | 7.3 |
| Producción de cera al día (kg/día) | 73.2 |
| Relación cera/curcumina | 10.0 |
| Producción de microencapsulado al día (kg/día) | 80.0 |
| Volumen de caneca (L) | 20.0 |
| Concentración de microencapsulado (%) | 5.0 |
| Volumen de producción al día (L) | 1600.0 |
| Cantidad de canecas al día | 80.0 |
| Horas de trabajo al día (h) | 8.0 |
| Canecas producidas por hora | 10.0 |
| Masa de microencapsulado por caneca (kg) | 1.0 |
| Masa de oleorresina por caneca (kg) | 0.1 |
| Masa de cera por caneca (kg) | 0.9 |
| Pérdida de microencapsulado por centrifugación (%) | 2.0 |

| | |
|---|------|
| Pérdida de masa por tamizado (%) | 23.0 |
| Masa de microencapsulado que entra a la centrifuga (kg) | 1.0 |
| Masa de microencapsulado que entra al tamiz (kg) | 1.3 |
| Masa de oleorresina que entra al proceso (kg) | 0.1 |
| Masa de cera de abeja que entra al proceso (kg) | 1.2 |
| Volumen de Tween diluido 0.5% (L) | 72.0 |
| Masa de Tween diluido 0.5% (kg) | 73.9 |
| Masa de agua fría (kg) | 36.0 |
| Masa de Tween puro (kg) | 0.4 |
| Masa de agua para Tween (kg) | 73.5 |

A continuación, se presenta el balance de masa detallado del proceso. En la tabla A 3 se encuentran los valores de los caudales de cada corriente y en la tabla A 4 la composición de cada corriente.

Tabla A 3. Balance de masa de las corrientes del proceso

| Corriente [kg/h]/Hora | 1 [Tween 80] | 2 [Agua] | 3 [Tween diluido] | 4 [Cera de abeja] | 5 [Oleorresina] | 6 [A, T, O, C] | 7 [Agua fría] | 8 [A, T, uenc] |
|--------------------------|--------------------|-------------|----------------------|----------------------------|--------------------|----------------|---------------------|-------------------|
| 1 | 3.7 | 735.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 752.9 | 360.0 | 1112.9 |
| 2 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 752.9 | 360.0 | 1112.9 |
| 3 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 752.9 | 360.0 | 1112.9 |
| 4 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 752.9 | 360.0 | 1112.9 |
| 5 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 752.9 | 360.0 | 1112.9 |
| 6 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 752.9 | 360.0 | 1112.9 |
| 7 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 752.9 | 360.0 | 1112.9 |
| 8 | 1.5 | 0.0 | 738.7 | 12.0 | 1.2 | 752.9 | 360.0 | 1112.9 |

| Corriente [kg/h]/Hora | 9 [Desecho micropartículas] | 10 [A2, T2, uenc2] | 11 [uenc3, TA3] | 12 [Centrifuga a filtro] | 13 [Recirculacion] | 14 [Tratamiento A+T] | 15 [Producto final] |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1 | 3.0 | 1109.9 | 210.0 | 899.9 | 737.2 | 162.6 | 210.0 |
| 2 | 3.0 | 1109.9 | 210.0 | 899.9 | 737.2 | 162.6 | 210.0 |
| 3 | 3.0 | 1109.9 | 210.0 | 899.9 | 737.2 | 162.6 | 210.0 |
| 4 | 3.0 | 1109.9 | 210.0 | 899.9 | 737.2 | 162.6 | 210.0 |
| 5 | 3.0 | 1109.9 | 210.0 | 899.9 | 737.2 | 162.6 | 210.0 |
| 6 | 3.0 | 1109.9 | 210.0 | 899.9 | 737.2 | 162.6 | 210.0 |
| 7 | 3.0 | 1109.9 | 210.0 | 899.9 | 737.2 | 162.6 | 210.0 |
| 8 | 3.0 | 1109.9 | 210.0 | 899.9 | 737.2 | 162.6 | 210.0 |

Tabla A 4. Valores de composición de cada corriente

| Corriente [kg/h]/Composición [kg/kg] | 1 [Tween 80] | 2 [Agua] | 3 [Tween diluído] | 4 [Cera de abeja] | 5 [Oleoresina] | 6 [A, T, O, C] | 7 [Agua fría] | 8 [A, T, uenc] |
|--------------------------------------|--------------|----------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| Tween 80 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0050 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0049 | 0.0000 | 0.0031 |
| Agua | 0.0000 | 1.0000 | 0.9950 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9775 | 1.0000 | 0.9850 |
| Cera de abeja | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0160 | 0.0000 | 0.0000 |
| Oleoresina | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 |
| Uenc | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0119 |
| Suma | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |

| Corriente [kg/h]/Composición [kg/kg] | 9 [Desecho micropartículas] | 10 [A2, T2, uenc2] | 11 [uenc3, TA3] | 12 [Centrifuga a filtro] | 13 [Recirculación] | 14 [Tratamiento A+T] | 15 [Producto final] |
|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| Tween 80 | 0.0000 | 0.0031 | 0.0029 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0029 |
| Agua | 0.0000 | 0.9874 | 0.9495 | 0.9968 | 0.9970 | 0.9970 | 0.9495 |
| Cera de abeja | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0428 |
| Oleoresina | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0048 |
| Uenc | 1.0000 | 0.0095 | 0.0476 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Suma | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |

7.4.2 Dimensionamiento de equipos

Agitador (A-101)

1. Se obtuvo el volumen del tanque a partir del caudal de producción y con la densidad del líquido que entra al agitador:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

2. Para obtener el volumen final se considero un factor de seguridad del 20% y se considero únicamente el 50% del caudal dentro de los cálculos ya que el proceso comenzará con el 30% de la masa de producción:

$$V_F = V * 1.20$$

3. El diámetro y la altura del tanque fueron obtenidos considerando una relación 1:2 de los mismos respectivamente.

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_F \cdot 4}{2 \cdot \pi}}$$

$$H = 2 \cdot D$$

4. El grosor de la pared se calculó considerando la presión de trabajo (1 atm) más un 10% de seguridad y considerando la presión hidrostática del líquido sobre el tanque. Adicional se decidió elegir acero inoxidable como material de construcción:

$$P_T = \rho \cdot g \cdot h + 0.10 \cdot (1 \text{ atm})$$

$$t_w = \frac{P_i \cdot D_i}{2SE - 1.2P_i}$$

5. La masa de la carcasa se calculó como sigue:

$$m_c = \pi \cdot D \cdot L \cdot t_w \cdot \rho$$

6. Como terminales se eligió las torisféricas debido a su estandaridad en procesos a presiones moderadas y su economía:

$$t_{wT} = \frac{0.885 \cdot P_i \cdot R_c}{SE - 0.1P_i}$$

7. La masa de las terminales se calcula como sigue:

$$m_c = \rho \cdot D^2 \cdot t_{wT} \cdot 2 \cdot 0.842$$

8. Para el agitador se obtuvo el aumento de escala del agitador basado en las condiciones evaluadas en el laboratorio. De acuerdo a esto se procedió a calcular la razón de aumento de escala:

$$R = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{1/3}$$

9. Rapidez del agitador:

$$N_2 = N_1 \left[\frac{1}{R} \right]^{2/3}$$

10. Para la potencia del agitador, se obtuvo el número de Reynolds y se utilizó la gráfica de ():

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}$$

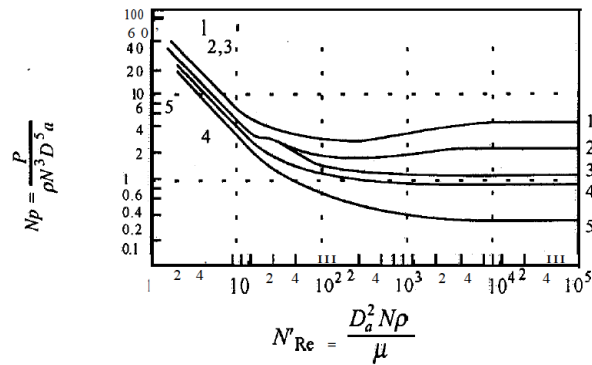


Figura A 2. Correlaciones de potencia para diversos impulsores

$$P_a = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5$$

11. Para la chaqueta de calentamiento se consideró un grosor del 1% del área:

$$A = \pi \cdot 1.2 \cdot R^2 \cdot 2$$

$$t_j = A \cdot 0.01$$

12. Para el calentamiento del fluido se calculó como sigue:

$$P = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{t}$$

13. Para el mantenimiento de temperatura del fluido en el tanque:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

14. Finalmente, se obtuvo el flujo de vapor requerido para la chaqueta:

$$W_s = \frac{Q}{h_{fg}}$$

Agitador (A-102)

Para el dimensionamiento de este equipo se siguió los pasos detallados del 1 al 10 anteriormente en el Agitador 101 ya que en este agitador no se necesita calentamiento.

Tanque de calentamiento (T-101)

7.4.3 Balance de energía

Para los tanques de agitación, tanques de calentamiento y bombas se utilizó la metodología presentada en la sección de dimensionamiento para calcular la energía necesaria por cada equipo. Para los equipos seleccionados de un catálogo, la energía se estableció como aquella presentada en las especificaciones del equipo. A continuación, se muestra los resultados de cada equipo.

Tabla A 5. Balance de energía del tanque de agitación y calentamiento A-101

| A-101 | |
|---|----------|
| Número de Reynolds | 25890.64 |
| Da [m] | 0.30 |
| N2 [rev/s] | 0.69 |
| ρ [kg/m³] | 1000.30 |
| μ [kg/m*s] | 0.00 |
| Np | 0.21 |
| rho [kg/m³] | 1000.30 |
| N2 [rev/s] | 0.69 |
| Da [m] | 0.30 |
| Potencia requerida, P[J/s] | 0.17 |
| Potencia requerida, P[kW] | 0.00 |
| Chaqueta de calentamiento | |
| Grosor de la chaqueta, tj [m] | 0.02 |
| A [m²] | 1.88 |
| R | 0.50 |
| Para calentar | |
| Calor requerido para chaqueta [kW] | |
| Q [kW] | 823.40 |
| m [kg] | 2954.80 |
| Cp [kJ/kg*C°] | 4.18 |
| Ti [C°] | 20.00 |
| Tf [C°] | 80.00 |
| Delta T [C°] | 60.00 |
| Tiempo calentamiento [s] | 900.00 |
| Tiempo calentamiento [h] | 0.25 |
| Para mantener caliente | |
| L [m] | 0.03 |
| h1[W/m²*C°] | 6000.00 |
| h2 [W/m²*C°] | 1000.00 |
| lamda [W/m*C°] | 13.30 |
| U [W/m²*C°] | 321.52 |
| A [m²] | 1.88 |
| Delta T [C°] | 60.00 |
| Q [W] | 36362.87 |
| Q [kW] | 36.36 |
| Flujo de vapor requerido | |
| Ws [kg/s] | 0.02 |
| Ws [kg/h] | 56.72 |
| Q [kW] | 36.36 |
| hfg [kJ/kg] | 2308.00 |
| Potencia Total [kW] | 896.13 |

Tabla A 6. Balance de energía del tanque de agitación y calentamiento A-102

| A-102 | |
|---|----------|
| Número de Reynolds | 22206.69 |
| Da [m] | 0.15 |
| N2 [rev/s] | 2.37 |
| ρ [kg/m³] | 1000.22 |
| μ [kg/m*s] | 0.002 |
| Np | 1.50 |
| rho [kg/m³] | 1000.22 |
| N2 [rev/s] | 2.37 |
| Da [m] | 0.15 |
| Potencia requerida, P[J/s] | 1.52 |
| Potencia requerida, P[kW] | 0.002 |

Tabla A 7. Balance de energía del tanque de agitación y calentamiento T-101

| A-101 | |
|--------------------------------------|----------|
| Chaqueta de calentamiento | |
| Grosor de la chaqueta, tj [m] | 0.005 |
| A [m²] | 0.47 |
| R | 0.25 |
| Para calentar | |
| Q [kW] | 125.72 |
| m [kg] | 300.76 |
| Cp [kJ/kg*C°] | 4.18 |
| Ti [C°] | 20.00 |
| Tf [C°] | 80.00 |
| Delta T [C°] | 60.00 |
| Tiempo calentamiento [s] | 600.00 |
| Tiempo calentamiento [h] | 0.17 |
| Para mantener caliente | |
| L [m] | 0.01 |
| h1[W/m²*C°] | 6000.00 |
| h2 [W/m²*C°] | 1000.00 |
| lamda [W/m*C°] | 13.30 |
| U [W/m²*C°] | 527.17 |
| A [m²] | 0.47 |
| Delta T [C°] | 60.00 |
| Q [W] | 14905.38 |
| Q [kW] | 14.91 |
| Flujo de vapor requerido | |

| | |
|----------------------------|---------------|
| Ws [kg/s] | 0.06 |
| Ws [kg/h] | 219.34 |
| Q [kW] | 140.62 |
| hfg [kJ/kg] | 2308.00 |
| Potencia Total [kW] | 281.25 |

Tabla A 8. Balance de energía para las bombas

| Bombas | 1 (A-101 a T-101) | 2 (T-101 a H-101) | 3 (T-102 a H101) | 4 (H-101 a S-101) |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Masa [kg] | 295.48 | 301.16 | 144.00 | 445.16 |
| Densidad [kg/m ³] | 1000.30 | 1000.30 | 1000.00 | 1000.30 |
| Flujo [kg/h] | 738.70 | 752.90 | 360.00 | 1112.90 |
| Flujo [m ³ /h] | 0.74 | 0.75 | 0.36 | 1.11 |
| Flujo [L/s] | 0.21 | 0.21 | 0.10 | 0.31 |
| Tiempo [h] | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| Altura [m] | 1.00 | 2.00 | 2.00 | 2.20 |
| P [kW] | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P [kW/año] | 1.24 | 2.52 | 1.21 | 4.10 |

| Bombas | 5 (S-101-C-101) | 6 (C-101 a A-102) | 7 (C-101 a F-101) | 8 (F-101 a A-101) |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Masa [kg] | 443.94 | 84.00 | 359.94 | 294.88 |
| Densidad [kg/m ³] | 1000.30 | 1000.30 | 1000.30 | 1000.30 |
| Flujo [kg/h] | 1109.85 | 210.00 | 899.85 | 737.21 |
| Flujo [m ³ /h] | 1.11 | 0.21 | 0.90 | 0.74 |
| Flujo [L/s] | 0.31 | 0.06 | 0.25 | 0.20 |
| Tiempo [h] | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| Altura [m] | 1.20 | 1.00 | 0.50 | 2.00 |
| P [kW] | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P [kW/año] | 2.23 | 0.35 | 0.75 | 2.47 |

7.5 Anexo E – Equipos por catálogo

7.5.1 Homogeneizador (H-101)



|  WENZHOU LENO MACHINERY CO., LTD. 12 years factory experience, Great sales team, Good service | | | | | | |
|--|--------------------|---------------|---------------|----------------------|-----------------------|---|
| Wenzhou Leno Machinery Co.,Ltd | | | | | | |
| No.18 Luohe Road. LuCheng Disc. Wenzhou City.Zhe Jiang province.China | | | | | | |
| Mobile:+86 18957741100 Tel.:+86 -577-88550116 Fax:+0086-577-88550116 Email:Welson@lenotank.com | | | | | | |
| 4500L Steam Mixing Tank Quotation | | | | | | |
| TO: | | Date: | 24-03-2022 | | | |
| FROM: | Welson.Chan | NO: | LN-20220324-A | | | |
| No. | Item | Specification | QTY | Unit Price (EXW) USD | Total Price (EXW) USD | PIC |
| 1 | Mixing Tank | 4500L | 1 | USD 18250 | USD 18250 |  |
| No.1 Mixing tank 1:Capacity 4000L,Diameter 1600mm thickness 5mm Height 2200mm Closed type. 2:Half piper jacket ,89mm Thickness 3mm 2>Contact Material SS304 3:Agitator Type, high shear mixer type, Motor with Motor37kw Fixed Speed 1750RPM,Power 3 phase 220V/60HZ. 4: Temperature showing inside the tank. 5:Parts: Manhole , Discharge Valve (Sanitary valve) Inlet outlet size 51mm ,Spray ball ,Ladder (According to the drawing to make) | | | | | | |
| 2 | PRICE BASED ON EXW | | | | USD00 | |
| 3 | TOTAL PRICE | | | | USD18250 | |
| Package: Plywooden case, which is seaworthy packing. | | | | | | |
| Delivery day: 45 days after deposit . | | | | | | |
| Payment terms: By T/T., The buyer shall make a first payment for 30% and 70%Balance payment after paid the All machine arrived to Yiwu warehouses. | | | | | | |
| Installation fee: If overseas installation needs, the buyer shall be borne for equipment installation fee, including round-trip ticket, transportation, accommodation, meals and insurance, etc. for technician since the date he leaves from WENZHOU | | | | | | |
| Warranty: Twelve months since the date of test-running or acceptance. | | | | | | |
| After-service: provide technical assistance for long term, and quick response to the issues within 24 hours. | | | | | | |

Figura A 3. Especificaciones del Homogeneizado

7.5.2 Tamiz Vibratorio (S-101)

1



Xinxiang Chenwei Machinery Co.,Ltd

Xinxiang Chenwei Machinery Co., Ltd

North Section Of Zhenzhong Rd. Development Zone Xinxiang City

Tel: +86-15136755591 Fax: +86-373-3511601

www.xxwjsx.com cwBarry@aliyun.com

QUOTATION

No. CWW22032301

Date: 2022-03-23

| Description | Quantity | Unit price (USD) | Amount (USD) |
|---|--------------------------|------------------|--------------|
| S4915-B vibrating screen | 1 sets | 6000 | 6000 |
| Total Amount (FOB QINGDAO)Export wooden case | | | 6000 |
| Model | S4915-B vibrating screen | | |
| Diameter (mm) | 1500mm | | |
| Layer | 3 | | |
| mesh | 70 mesh 80mesh 90mesh | | |
| Special design | Standard design | | |
| Voltage(V)&Frequency(Hz) | 380V;50hz;3 phase | | |
| Motor power | 0.6kw | | |
| Speed(r/min) | 1500r/min | | |
| Sealing gasket material | Silica | | |
| Application | | | |
| Machine material | All 304 stainless steel | | |
| Production | About 20 working days | | |
| Warranty | 12 months | | |
| After sale service | Life time | | |

Figura A 4. Especificaciones del Tamiz Vibratorio

7.5.3 Centrífuga (C-101)

Disc Centrifuge

Model 300



Old Type



New Type

| | |
|------------------------------------|----------------------|
| Model | 300 |
| Rotary Speed (rpm) | 7056 |
| Settlement Area (cm ²) | 17.2*10 ⁷ |
| Capacity (T/H) | 2 |
| Motor Power (kw) | 4.0 |

QUOTATION:

| No. | Commodity | Quantity | Unit Price | Total Price |
|-------|---------------------------|----------|------------|---------------|
| 1 | Disc Centrifuge 300 model | 1 set | USD16,000 | USD 16,000 |
| 2 | | | | |
| Total | | | | CIF USD 16000 |

Figura A 5. Especificaciones de la centrífuga

7.5.4 Filtro (F-101)

Peide[®]
沛德

江苏沛德水处理设备有限公司

Jiangsu Peide Water Treatment Equipment Co.,Ltd

Address: No.206 Qingyang North Road Changzhou Jiangsu Province China

Quotation of self-cleaning filter


| | |
|---|---|
| Model | SLQ-2L |
| Inlet and outlet diameter | 2 inch |
| Reference photo |  |
| --- Operating data --- | |
| Flow rate | 4494kg/h |
| Max working pressure | 10 bar |
| Min,Max permissible operating temperature | ≥0℃, ≤70℃ |
| Pressure drop on the clean elements | 0.1-0.3 bar |
| --- Cleaning --- | |
| Motor Power | 180W |
| Motor protection level | IP44 |
| Power supply | 380V/3phase/50Hz |
| Control box material | Plastic |
| --- Materials --- | |
| Chamber material | Carbon steel |
| Surface treatment | Anti-corrosion painting |
| Brush material | SS304 |
| Filter Screen | SS 304 |
| Seal | NBR |
| --- Filtering elements --- | |
| Cleaning element | Brush type |
| Strainer filter rate | 1 micron |
| --- Accessories --- | |
| Differential pressure switch | Have |
| Drain valve type | Electric drain valve(Have) |
| Valve diameter | 1 inch |
| --- Marking --- | |

Figura A 6. Especificaciones del Filtro

7.5.5 Bomba Centrífuga (P-101, P-103, P-106)

PRODUCT PARAMETERS



BRAND KOSUN FLUID

MATERIAL SS304 / 316L

SURFACE FINISH SAND BLAST


OPTION OEM Accepted

| MODEL | Pump flow m ³ /h | Pump lift meter | Motor power kw | Connection |
|------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|------------|
| KSCP-1-10 | 1 | 10 | 0.55 | Tri Clamp |
| KSCP-3-18 | 3 | 18 | 0.75 | |
| KSCP-5-24 | 5 | 24 | 1.5 | |
| KSCP-10-24 | 10 | 24 | 2.2 | |
| KSCP-15-24 | 15 | 24 | 3 | |
| KSCP-20-24 | 20 | 24 | 4 | |
| KSCP-25-24 | 25 | 24 | 5.5 | |
| KSCP-30-24 | 30 | 24 | 7.5 | |
| KSCP-50-24 | 50 | 24 | 11 | |








Please pay special attention that for pump over 2.2kw, we only provide 3 phase power supply.
It is very important you confirm our sales of your electric power supply (Eg. 380V50HZ3PHASE) Before you buy the pump to avoid not able to use situation

Figura A 7. Especificaciones de la bomba centrífuga

7.5.6 Bomba de desplazamiento positivo (P-102, P-104, P-105, P-107, P-108)



View larger image

Add to Compare [Share](#)

>=1 Sets
\$400.00

Benefits: US \$10 off with a new supplier [Claim now](#) >

Type: Positive displacement pumps

Maximum Head: 100m

Maximum Flow ... 156L/100r

Lead Time[?]:


| Quantity(Sets) | 1 - 1 | 2 - 5 | 6 - 10 | >10 |
|-----------------|-------|-------|--------|------------------|
| Est. Time(days) | 2 | 3 | 5 | To be negotiated |

Customization: Customized logo (Min. Order: 5 Sets)

Shipping: Support Express · Sea freight · Land freight · Air freight

1 year, 1 Year for machinery warranty

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

Protection:  Trade Assurance Protects your Alibaba.com orders

On-time Dispatch Guarantee Refund Policy

Figura A 8. Especificaciones de la bomba de desplazamiento positivo

7.6 Anexo F – Estimación económica

7.6.1 Estimación de inversión de capital fijo

Para la estimación de esta sección se comenzó calculando los costos de los equipos de acuerdo a datos históricos y también se obtuvieron los costos de equipos por medio de costos directos con proveedores.

Para calcular los costos de los equipos por medio de datos históricos se siguió la metodología dictada por (), en la cual se utiliza la siguiente formula:

$$C_e = a + bS^n$$

Donde a, b y n son factores dados por la Tabla 6.6 del libro los cuales dependen del tipo de operación que se tenga de acuerdo a cada equipo específico. Y S es la unidad en las cuales se debe tener el volumen o masa de entrada al equipo, donde se tiene un máximo y un mínimo para el uso del mismo.

De acuerdo a estos datos y clasificándolos según la Tabla 6.6 del libro se obtuvo lo siguiente:

Tabla A 9. Costos de equipos de acuerdo a datos históricos.

| Equipo | Ce [\$] |
|---------------|----------------|
| A-101 | \$20,364.80 |
| T-101 | \$17,761.20 |
| T-102 | \$17,750.60 |
| H-101 | \$1,143.97 |
| S-101 | \$298,610.71 |
| C-101 | \$62,280.00 |
| F-101 | \$273,341.67 |
| A-102 | \$20,364.80 |
| P-101 | \$6,949.51 |
| P-102 | \$6,950.37 |
| P-103 | \$6,925.93 |
| P-104 | \$6,971.60 |
| P-105 | \$6,971.42 |
| P-106 | \$6,915.96 |
| P-107 | \$6,959.13 |
| P-108 | \$6,949.42 |

| | |
|------------------|---------------------|
| Sumatoria | \$767,211.09 |
|------------------|---------------------|

A continuación, se tiene los costos de los equipos de acuerdo a costos brindados por distintos proveedores:

Tabla A 10. Costos de equipos de acuerdo a proveedores.

| Equipo | Costo catálogo [\$] |
|------------------|----------------------------|
| A-101 | \$3,000.00 |
| T-101 | \$3,000.00 |
| T-102 | \$3,000.00 |
| H-101 | \$18,250.00 |
| S-101 | \$6,000.00 |
| C-101 | \$16,000.00 |
| F-101 | \$2,850.00 |
| A-102 | \$3,000.00 |
| P-101 | \$390.00 |
| P-102 | \$400.00 |
| P-103 | \$390.00 |
| P-104 | \$400.00 |
| P-105 | \$400.00 |
| P-106 | \$390.00 |
| P-107 | \$400.00 |
| P-108 | \$400.00 |
| Sumatoria | \$58,270.00 |

De acuerdo a los dos tablas mostradas anteriormente y a su gran discrepancia entre ambas, se decidió utilizar un promedio entre ambos costos obtenidos para considerarlo dentro del ISBL y OSBL. De esta manera, se obtuvo los siguientes costos finales usados dentro del proyecto:

Tabla A 11. Costos de equipos en promedio con datos históricos y datos de proveedores.

| Equipo | Costo promedio [\$] |
|------------------|--------------------------------|
| A-101 | \$6,472.96 |
| T-101 | \$5,952.24 |
| T-102 | \$5,950.12 |
| H-101 | \$14,828.79 |
| S-101 | \$64,522.14 |
| C-101 | \$25,256.00 |
| F-101 | \$56,948.33 |
| A-102 | \$6,472.96 |
| P-101 | \$1,701.90 |
| P-102 | \$1,710.07 |
| P-103 | \$1,697.19 |
| P-104 | \$1,714.32 |
| P-105 | \$1,714.28 |
| P-106 | \$1,695.19 |
| P-107 | \$1,711.83 |
| P-108 | \$1,709.88 |
| Sumatoria | \$200,058.22 |

Con el costo promedio obtenido, se continuó calculando los tres factores económicos el de Hand, Lang y el Detallado.

Para obtener el factor de Hand, se usa la Tabla A.x. ya este factor depende del factor de instalación de acuerdo al tipo de equipo que se tenga.

Tabla A 12. Factores de instalación para el factor de Hand

| Equipment type | Installation factor |
|-------------------------|----------------------------|
| Compressors | 2.5 |
| Distillation columns | 4 |
| Fired heaters | 2 |
| Heat exchangers | 3.5 |
| Instruments | 4 |
| Miscellaneous equipment | 2.5 |
| Pressure vessels | 4 |
| Pumps | 4 |

De esta manera, se obtiene el costo ISBL por medio del factor de Hand:

$$C_e = I_f * C_f$$

Donde I_f es el factor de instalación y C_f es el costo del equipo.

Para el factor de Lang se considera tres factores dependiendo del tipo de procesamiento que se tenga en la planta:

- $F = 3$ para procesamiento de sólidos
- $F = 4$ para procesamiento mixto de fluidos y solidos
- $F = 5$ para procesamiento de fluidos

Ya que nuestro producto es en su mayoría líquido, el factor escogido fue 5.

De esta manera para obtener el ISBL se tiene:

$$C_e = F_L * C_f$$

Donde F_L es el factor de Lang y C_f es el costo del equipo.

Finalmente, para el método detallado se consideran: Offsites (OS), Diseño e Ingeniería (D&E)

y Contingencia (X) y se obtiene el ISBL con la siguiente fórmula:

$$\text{Costo total de Capital Fijo } C_{FC} = C (1 + OS)(1 + D\&E + X)$$

Tabla A 13. Factores para el método Detallado.

| Item | Process type | | |
|--|--------------|-----------------|--------|
| | Fluids | Fluids – solids | Solids |
| 1. Major equipment, total purchase cost | C_e | C_e | C_e |
| f_{er} Equipment erection | 0.3 | 0.5 | 0.6 |
| f_p Piping | 0.8 | 0.6 | 0.2 |
| f_i Instrumentation and control | 0.3 | 0.3 | 0.2 |
| f_{el} Electrical | 0.2 | 0.2 | 0.15 |
| f_c Civil | 0.3 | 0.3 | 0.2 |
| f_s Structures and buildings | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| f_l Lagging and paint | 0.1 | 0.1 | 0.05 |
| ISBL cost, $C = \Sigma C_e \times$ | 3.3 | 3.2 | 2.5 |
| Offsites (OS) | 0.3 | 0.4 | 0.4 |
| Design and Engineering (D&E) | 0.3 | 0.25 | 0.2 |
| Contingency (X) | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Total fixed capital cost $C_{FC} = C (1 + OS)(1 + D\&E + X)$ | | | |
| $= C \times$ | 1.82 | 1.89 | 1.82 |
| $= \Sigma C_e \times$ | 6.00 | 6.05 | 4.55 |

La recopilación de todos los métodos obtenidos se tiene como sigue:

Tabla A 14. Estimación de ISBL por Hand, Land y Detallado

| Estimación de ISBL por Hand, Land y Detallado | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-------------|----------------|---------------------|--------------|-----------------------|--------------------|----------|------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------|--|
| Equipo | Fm | Ce Final | Factor de Hand | Total Hand, ISBL | Flang | Total Lang, ISBL | F, tabla-detallado | Offsites | Design and Engineering | Contingency | ISBL | INVERSION CAPITAL FIJO | |
| A-101 | 1.3 | \$8,414.85 | 3.5 | \$29,451.97 | 5 | \$42,074.24 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$26,927.52 | \$49,008.08 | |
| T-101 | 1.3 | \$7,737.91 | 4 | \$30,951.65 | 5 | \$38,689.56 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$24,761.32 | \$45,065.60 | |
| T-102 | 1.3 | \$7,735.16 | 4 | \$30,940.63 | 5 | \$38,675.78 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$24,752.50 | \$45,049.55 | |
| H-101 | 1.3 | \$19,277.43 | 4 | \$77,109.73 | 5 | \$96,387.16 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$61,687.78 | \$112,271.76 | |
| S-101 | 1.3 | \$83,878.78 | 2.5 | \$209,696.96 | 5 | \$419,393.92 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$268,412.11 | \$488,510.04 | |
| C-101 | 1.3 | \$32,832.80 | 2.5 | \$82,082.00 | 5 | \$164,164.00 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$105,064.96 | \$191,218.23 | |
| F-101 | 1.3 | \$74,032.83 | 2.5 | \$185,082.08 | 5 | \$370,164.17 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$236,905.07 | \$431,167.22 | |
| A-102 | 1.3 | \$8,414.85 | 4 | \$33,659.39 | 5 | \$42,074.24 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$26,927.52 | \$49,008.08 | |
| P-101 | 1.3 | \$2,212.47 | 4 | \$8,849.89 | 5 | \$11,062.36 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$7,079.91 | \$12,885.44 | |
| P-102 | 1.3 | \$2,223.10 | 4 | \$8,892.38 | 5 | \$11,115.48 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$7,113.90 | \$12,947.31 | |
| P-103 | 1.3 | \$2,206.34 | 4 | \$8,825.37 | 5 | \$11,031.71 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$7,060.30 | \$12,849.74 | |
| P-104 | 1.3 | \$2,228.61 | 4 | \$8,914.46 | 5 | \$11,143.07 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$7,131.57 | \$12,979.45 | |
| P-105 | 1.3 | \$2,228.57 | 4 | \$8,914.28 | 5 | \$11,142.85 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$7,131.42 | \$12,979.19 | |
| P-106 | 1.3 | \$2,203.75 | 4 | \$8,815.00 | 5 | \$11,018.75 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$7,052.00 | \$12,834.64 | |
| P-107 | 1.3 | \$2,225.37 | 4 | \$8,901.50 | 5 | \$11,126.87 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$7,121.20 | \$12,960.58 | |
| P-108 | 1.3 | \$2,222.85 | 4 | \$8,891.40 | 5 | \$11,114.25 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | \$7,113.12 | \$12,945.88 | |
| | | | | \$749,978.68 | | \$1,300,378.41 | | | | TOTAL ISBL | \$832,242.19 | \$1,514,680.78 | |
| | | | | OSBL | \$299,991.47 | OSBL | \$520,151.37 | | | | TOTAL OSBL | \$249,672.66 | |
| | | | | | | | | | | | Mínimo, Costo Final | \$1,363,212.70 | |
| | | | | | | | | | | | Máximo, Costo Final | \$1,666,148.86 | |

Para obtener los costos OSBL de cada factor simplemente se aplicó la regla de multiplicar el 0.4 de ISBL y de esta manera se obtuvieron todos los costos OSBL de cada factor.

A continuación para obtener los Costos Fijos se utilizaron las siguientes relaciones:

- Labor de operación (Salarios del personal necesitado)
- Supervisión (0.25 del labor de operación)
- Gastos Salariales Directos (40-60% del trabajo de operación más la supervisión)
- Mantenimiento (3-5% del ISBL, incluye materiales y trabajo)
- Impuesto sobre propiedad y seguro (1-2% del ISBL)
- Alquiler de tierra (1-2% del ISBL + OSBL)
- Gastos generales de la planta (65% del trabajo total + mantenimiento)
- Gastos medioambientales (1% del ISBL + OSBL)

La recopilación de estos costos se tiene a continuación:

Tabla A 15. Costos Fijos.

| FCOP (Sumatoria costos fijos) | |
|---|----------------------|
| Labor de operación | \$ 29,030.40 |
| Supervisión | \$ 7,257.60 |
| Gastos Salariales Directos | \$ 14,515.20 |
| Mantenimiento | \$ 24,967.27 |
| Impuesto sobre propiedad y seguros | \$ 8,322.42 |
| Alquiler de Tierra | \$ 257,995.08 |
| Gastos generales de la planta | \$ 39,815.92 |
| Gastos medioambientales | \$ 257,995.08 |
| Sumatoria | \$ 639,898.96 |

Para los costos variables que son los proporcionales al rendimiento y velocidad de producción de una planta, se consideró lo siguiente:

- Materias primas utilizadas
- Servicios auxiliares (agua, electricidad, aire, etc)

- Tratamiento y/o eliminación de efluentes

De esta manera se obtuvo lo siguiente:

Tabla A 16. Costos Variables.

| VCOP (Sumatoria costos variables) | |
|--|---------------------|
| Materias primas utilizadas | \$268,545.15 |
| Servicios Auxiliares | \$582,295.78 |
| Tratamiento efluentes | \$6,891.68 |
| Sumatoria | \$857,732.61 |

Con los costos fijos y variables obtenidos, se pudo calcular el capital de trabajo necesario. Para esto se consideró lo siguiente:

- Valor de inventario de materias primas (costos de materias primas de 2 semanas)
- Valor de inventario de productos y subproductos (costos de productos producidos de 2 semanas)
- Efectivo en caja (costo de producción de 1 semana)
- Cuentas a cobrar (costos de producción de 1 mes)
- Créditos cuentas pendientes (costo de suministros de 1 mes)
- Inventario repuestos (1-2% del ISBL + OSBL)

Tabla A 17. Capital de Trabajo

| | |
|--|----------------------|
| Capital de trabajo | |
| Valor de inventario de materias primas | \$ 111,893.81 |
| Valor de inventario de productos y subproductos | \$ 624,013.16 |
| Efectivo en caja (caja chica) | \$ 31,200.66 |
| Cuentas a cobrar | \$ 124,802.63 |
| Creditos cuentas pendientes | \$ 22,378.76 |
| Inventario repuestos | \$ 13,632.13 |
| Sumatoria | \$ 927,921.15 |

Para el flujo de caja se consideró una proyección de 10 años. Basado en esto, se tuvo columnas donde se aprecia el Beneficio Bruto, Cargo de Depreciación, Ingreso imponible, Impuestos Pagados, Flujo de Caja, Flujo de Caja Acumulativo, Factor de Descuento y Valor presente del flujo de caja. Se consideró una tasa de interés del 12% para el factor de descuento con la sumatoria del valor presente del flujo de caja se pudo obtener el VAN y a partir del mismo el TIR, ROI y Tiempo de recuperación.

La recopilación de lo mencionado se encuentra en la siguiente Tabla.

Tabla A 18. Indicadores financieros obtenidos.

| | |
|---------------------------------------|--------------|
| Tasa de interés | 12% |
| VAN | -\$1,262,475 |
| TIR | -16% |
| ROI | -0.83 |
| Tiempo de recuperación (Libro) | 32.14 |

7.7 Anexo G- Análisis de flexibilidad

A continuación, se presentan los gráficos de superficie de respuesta y las ecuaciones de regresión para el VAN y TIR obtenidos en Minitab.

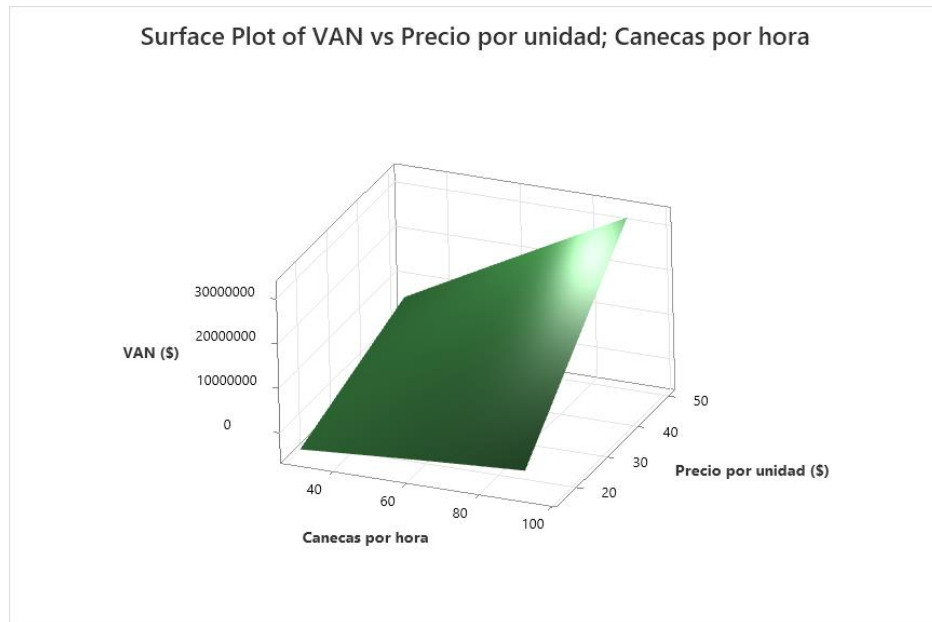


Figura A 9. Gráfico de superficie del VAN

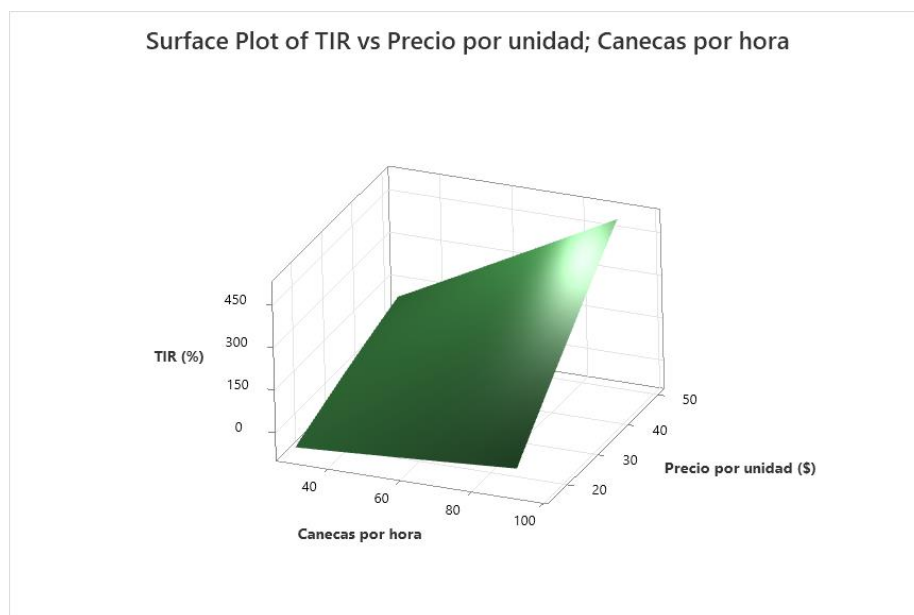


Figura A 10. Gráfico de superficie del TIR

7.7.1 Ecuación del VAN

$$\begin{aligned} \text{VAN} &= -6468419 - 100910 \text{ Canecas por hora} + 4633 \text{ Precio por unidad} \\ &- 107 \text{ Canecas por hora} * \text{Canecas por hora} - 124 \text{ Precio por unidad} * \text{Precio por unidad} \\ &+ 10658 \text{ Canecas por hora} * \text{Precio por unidad} \end{aligned}$$

7.7.2 Ecuación del TIR

$$\begin{aligned} \text{TIR} &= -103.4 - 1.93 \text{ Canecas por hora} + 1.51 \text{ Precio por unidad} \\ &+ 0.00130 \text{ Canecas por hora} * \text{Canecas por hora} - 0.0225 \text{ Precio por unidad} * \text{Precio por unidad} \\ &+ 0.1644 \text{ Canecas por hora} * \text{Precio por unidad} \end{aligned}$$