UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

Diseño a Escala Piloto del Proceso de Obtención de una Crema Cosmética Hidratante a Base de Aloe Vera

TRABAJO DE DIPLOMADO PRESENTADO POR:

Br. Keylor Abraham Meléndez Delgado

Br Everth Javier Ruiz Guillén

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

Ingeniero Químico

TUTOR:

MPa. Denis Escorcia Morales

Managua, Nicaragua 2019

Dedicatoria

Con todo mi amor, respeto y cariño, este esfuerzo está dedicado a mis padres, quienes me han demostrado que, con esfuerzo y entereza, todos los sueños y metas se pueden hacer realidad; quienes me han brindado su apoyo incondicional y me han ayudado en todo momento a lo largo de este camino. Con todo el amor y orgullo del mundo, dedico este último paso a mis queridos papitos, los *AMO MUCHÍSIMO.*

*Keylor Meléndez Delgado***.**

La presente tesis está dedicada a:

Mis padres, por el apoyo dado en cada una de las etapas de mi vida, por cada regaño y por cada consejo, lo cual ha formado mi carácter como hijo y profesional.

Gracias por inculcarme valores, enseñarme buenas costumbres y haberme dado una buena educación, siendo la mejor herencia.

Everth J Ruiz Guillén

Agradecimiento

Todo esto se lo debo primeramente a Dios y a mis padres, y a todas esas personas que, a su manera, aportaron su granito de arena para ayudarme a alcanzar y cumplir esta meta.

A mis 3 hermanos, que a pesar de todo siempre estuvieron ahí para alentarme, y yo a ellos.

A mis compañeros de clase y amigos; gracias por compartir sus alegrías y tristezas, ha sido un camino difícil, pero mírennos: ya hemos llegado a la meta.

Y finalmente también quiero y debo felicitarme, por el esfuerzo, entusiasmo y compromiso en poder culminar esta etapa de mi vida.

Con todo mi corazón, *mil gracias a todos.*

Keylor Meléndez Delgado.

Agradecimientos a:

Dios, por ser mi guía a lo largo de mi vida y haberme dado salud, paciencia y determinación. También, por haber proveído de todo lo necesario para concluir una meta muy importante. Finalmente, por estar en cada uno de mis proyectos como lo dice en Josué 1:9.

Los profesores que se tomaron en serio la enseñanza e impartieron cada lección con paciencia, esmero y profesionalismo, promoviendo el pensamiento crítico y la creatividad. "*La tarea del educador moderno no es cortar selvas, sino regar desiertos" C.S Lewis.*

Everth J Ruiz Guillén

Resumen

El objetivo principal del presente documento fue la elaboración del diseño de Proceso de Obtención de una Crema Cosmética Hidratante a Base de Aloe Vera a escala piloto. Para la elaboración del diseño, se utilizó como base el estudio a nivel experimental elaborado por María Soledad Tello García, "FORMULACIÓN DE UNA CREMA HIDRATANTE ELABORADA CON INGREDIENTES ORGÁNICOS A BASE DE SÁBILA"; en dicho trabajo, ella llegó a determinar una formulación idónea para el proceso. Luego de esto, se comprobó el método base de experimentación, verificando la formulación de la crema cosmética (cera de abeja 9.2%, vaselina 27.5%, lanolina 9.2%, aceite de almendras 18.3%, agua destilada 22.9%, bórax 0.9%, sábila 9.2%, ácido esteárico 2.8%), en la cual, la calidad en cuanto a estabilidad y propiedades organolépticas es comparada con la de las cremas cosméticas del mercado. Seguidamente, utilizando los valores de la parte experimental, se realizaron los balances de materia y energía correspondientes para escalar el proceso a un nivel de planta piloto, en base a la transformación de 500 Kg de materia prima.

Una vez se realizaron los cálculos necesarios para escalar la producción, procedimos al cálculo de las variables de control inmersas en el proceso para posteriormente, dimensionar los equipos necesarios (tanto mayores como menores) y seleccionar los necesarios de acuerdo al requerimiento operacional que se determinó que era el necesario. Así mismo, elaboramos los planos General y Unitario de la planta de proceso para tener una mejor noción de la distribución real de los equipos y el proceso en general.

Finalmente, con los equipos seleccionados y teniendo claro el dimensionamiento necesario para la instalación de la planta, se realizó un análisis económico de los costos en cuanto a la materia prima utilizada, los equipos mayores y menores dentro del proceso, los costos de materiales y accesorios para la construcción de la planta, teniendo esta un costo de setenta y cinco mil cuatrocientos ochenta y dos con treinta y nueve centavos de dólar estadounidense (USD 75 482.39) para su instalación.

Índice de Contenido

I. INTRODUCCION 10
II. ANTECEDENTES 11
III. JUSTIFICACION 13
IV. OBJETIVOS 14
4.1. Objetivo General 14
4.2. Objetivos Específicos 14
V. MARCO TEÓRICO 15
5.1. Generalidades de la Crema Hidratante 15
5.1.1 Cremas Hidratantes 15
5.1.2. Emulsiones 16
5.2. Materia Prima para la elaboración de la crema hidratante 17
5.2.1. Sábila (Aloe vera) 17
5.2.2. Lanolina 21
5.2.3. Ácido Esteárico 23
5.2.4. Aceite de Almendras 24
5.2.5. Bórax 24
5.2.6. Cera de Abeja 25
5.2.7. Vaselina 27
5.2.8. Agua Destilada 27
5.3. Proceso de Elaboración de la Crema Hidratante a Base de Aloe Vera 28
5.4. Principios Básicos de Escalamiento 30
5.4.1. Planta Piloto 30
5.4.2. Escalamiento a Planta Piloto 31
5.4.3. Elementos Importantes a Evaluar en el Diseño y Construcción de Plantas Piloto ... 31
5.4.4. Modelo de Escalamiento 33
VI. METODOLOGÍA 35
6.1. Generalidades 35
6.1.1 Materiales y Método 35
6.1.2 Obtención de la Materia Prima 35
6.1.3 Preparación de la Materia Prima 35
6.2 Estudio Preliminar 36
6.2.1 Materiales de Laboratorio 37

6.2.2 Proceso de Elaboración de la Crema Cosmética a Escala de Laboratorio 37
6.3 Parámetros Operacionales y Variables de Diseño 38
6.3.1. Parámetros Operacionales 38
6.3.2. Variables de Diseño 39
6.4 Ubicación Geográfica de la Planta de Producción a Escala Piloto 40
6.5 Determinación de los Costos para el Montaje de la Planta Piloto 41
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42
7.1. Elaboración de Crema Cosmética Hidratante a Base de Aloe vera a Escala de Laboratorio (parte experimental) 42
7.2. Diseño y Propuesta Técnica de Planta Piloto 44
7.2.1. Balances de Masa en el Proceso de Elaboración de la Crema Cosmética 44
7.2.2. Balances de Energía en el Proceso de Elaboración de la Crema Cosmética Hidratante 47
7.3. Escalamiento de los Equipos Mayores a Utilizar en la Planta Piloto 48
7.3.1. Tanque para el Proceso de Fundición la Fase Oleosa (Tanque 1) 48
7.3.2. Tanque para el Proceso de Fundición la Fase Acuosa (Tanque 2) 49
7.3.3. Tanque para el proceso de Mezclado (Tanque 3) 51
7.3.4. Escalamiento de los Equipos Mayores a Utilizar en la Planta Piloto 52
7.3.5. Escalamiento de los Equipos Menores a Utilizar en la Planta Piloto 55
7.4. Proceso Tecnológico para el Escalamiento de la Planta 55
7.5. Análisis Económico de los Costos para la Planta Piloto 59
7.5.1. Costos de Materia Prima 59
7.5.2. Costos de Equipos Mayores y Menores 60
7.5.3. Costo de Servicios Auxiliares (Agua y Energía Eléctrica) 60
7.5.4. Costos de Materiales y Accesorios 61
7.5.5. Costo Total para el Montaje de la Planta Piloto 62
VIII. Conclusiones 63
IX. Recomendaciones 65
X. Bibliografía 66
XI. Anexos 68
11.1. Equipos para el Procedimiento de Elaboración de la Crema Cosmética a Escala de Laboratorio 68
11.2. Fichas Técnicas de los Equipos Usados en el Proceso 70
11.3. Precios de Adquisición de Equipos para el Proceso Productivo 72

11.4. Diseño de planos..... 74

Índice de Figuras

Figura 1 Crema hidratante en forma de emulsión 16
Figura 2 Emulsiones O/W y W/O..... 17
Figura 3 Planta de Sábila (Aloe vera)..... 18
Figura 4 Características Físicas de la Sábila 18
Figura 5 Estructura de la hoja de sábila 19
Figura 6 Usos de la Sábila..... 21
Figura 7 Lanolina..... 22
Figura 8 Ácido esteárico 23
Figura 9 Aceite de almendras..... 24
Figura 10 Bórax 25
Figura 11 Cera de abeja..... 26
Figura 12 Vaselina 27
Figura 13 Agua destilada..... 27
Figura 14 Flujograma de proceso 29
Figura 15 La Ingeniería Química como eslabón en la Industria..... 30
Figura 16 Corazón del Proceso..... 39
Figura 17 Mapa de la ubicación geográfica de la planta piloto..... 40
Figura 18 Corte de la hoja de Aloe y Pesado de la Fase Oleosa y Acuosa, respectivamente 43
Figura 19 Adición de la Fase Acuosa a la Oleosa, Mezclado y Enfriamiento de la crema . 43
Figura 20 Envasado y presentación de la crema cosmética hidratante a base de Aloe Vera 43
Figura 21 Balance de Materia en la Etapa Preliminar 44
Figura 22 Balance de Materia en el Tanque 1..... 45
Figura 23 Balance de Materia en el Tanque 2..... 45
Figura 24 Balance de Materia en el Tanque 3..... 46
Figura 22 Esquema general del tanque 53
Figura 23 Mezclador emulsionante al vacío FME de la empresa Guangzhou Fuluke 54
Figura 24 Báscula suelo Gram Xbengal y Mesa de Trabajo de acero inoxidable..... 55
Figura 25 Esquema del Proceso Tecnológico 57
Figura 26 Flujograma de proceso a escala piloto 58
Figura 27 Tasa de cambio de colón costarricense a dólar estadounidense 62
Figura 28 Precio de la Báscula suelo Gram Xbengal 72
Figura 29 Precio de la Mesa de Trabajo de Acero Inoxidable 72
Figura 30 Precio del Set Mezclador al vacío FME..... 72
Figura 31 Precio del Estañón Plástico para Desechos 73
Figura 32 Precio del Montacargas 73

Índice de Tablas

Tabla 1 Taxonomía de la Sábila (Aloe vera)..... 18
Tabla 2 Proporción de compuestos químicas de la Sábila 20
Tabla 3 Propiedades fisicoquímicas de la lanolina..... 22
Tabla 4 Propiedades fisicoquímicas del ácido esteárico..... 23
Tabla 5 Características fisicoquímicas del Aceite de almendras..... 24
Tabla 6 Propiedades fisicoquímicas del bórax 25
Tabla 7 Composición química de la cera de abeja 26
Tabla 8 Propiedades fisicoquímicas de la cera de abeja 26
Tabla 9 Propiedades fisicoquímicas de la vaselina..... 27
Tabla 10 Propiedades fisicoquímicas del agua destilada 28
Tabla 11 Indicadores del costo de equipamiento tecnológico..... 33
Tabla 12 Ingredientes para la elaboración de la crema cosmética hidratante 35
Tabla 13 Propiedades organolépticas, fisicoquímicas y Estabilidad de la crema cosmética 36
Tabla 14 Componentes para la elaboración de la crema cosmética a nivel de laboratorio.. 37
Tabla 15 Materiales de laboratorio 37
Tabla 16 Parámetros Operacionales (Temperatura) 38
Tabla 17 Parámetros Operacionales (Velocidad y tiempo de mezclado) 39
Tabla 18 Especificaciones técnicas de los equipos mayores del proceso 52
Tabla 19 Materia prima Oleosa Tabla 20 Materia prima Acuosa..... 55
Tabla 21 Costos de materia prima 59
Tabla 22 Costos de equipos mayores y menores..... 60
Tabla 23 Costos de Servicios Auxiliares 60
Tabla 24 Costos de Materiales y accesorios..... 61
Tabla 25 Costo total para el montaje de la planta piloto..... 62
Tabla 26 Ficha técnica Balanza Digital Pionner 68
Tabla 27 Ficha técnica Termómetro B&C 68
Tabla 28 Ficha técnica Mezclador de paleta Velp Scientifica 69
Tabla 29 Ficha técnica Plancha calefactora Cimarec 69
Tabla 30 Información general del Mezclador Emulsionante al vacío FME 70
Tabla 31 Información técnica del Mezclador Emulsionante al vacío FME..... 70
Tabla 32 Información Técnica de la Báscula suelo Gram Xbengal 70
Tabla 33 Dimensionamiento de la Mesa de Trabajo de Acero Inoxidable..... 71
Tabla 34 Información Técnica del Estañón para Desechos 71

I. INTRODUCCION

La industria del Aloe Vera o también conocida como Sábila, cuenta con una gran gama de aplicaciones en la industria del cuido personal, farmacéutica, cosmética y alimentaria. Debido a la gran cantidad de propiedades para fines estéticos, nutricionales y farmacológicos que posee, la sábila resulta de mucho beneficio e importancia para el ser humano.

En Centroamérica, el sector cosmético a base de Aloe Vera es una de las industrias que ha venido desarrollándose poco a poco. Sin embargo, este es un campo casi inexplorado ya que se necesita establecer cadenas de producción y estandarización de productos según el uso que se le vaya a dar, a esto se le suma la problemática de algunos países, tales como Nicaragua, Guatemala, Honduras y El Salvador, los cuales no hay gran disposición de hectáreas dedicadas al siembro y procesamiento de dicha planta.

Según A. Moreno en su libro Aloe Vera (Sábila): Cultivo y Utilización, detalla que en Costa Rica existen unas 520 hectáreas cultivadas en comparación a los demás países del istmo, siendo el único país Centroamericano que más se ha desarrollado en la comercialización de Aloe Vera o productos a partir del mismo, puesto que tiene una mayor disposición de hectáreas plantadas, así como industrias que transformen esta materia prima, siendo la industria cosmética la que mayor crecimiento ha tenido con el uso de este cultivo

Debido a que Nicaragua no aprovecha mucho la trasformación de la sábila (aunque se cultive), se ve obligado a importar productos externos con un alto valor adquisitivo, para satisfacer la demanda nacional de productos a base de la planta.

En un estudio realizado por (García, 2013), se logró llegar a una formulación a base de sábila y otros productos naturales para la elaboración de una crema hidratante que asegura la estabilidad de la misma en cuanto a propiedades fisicoquímicas y organolépticas. Aun así, no hay ningún estudio en cuanto al escalamiento del proceso para elaborar o diseñar una planta a escala piloto, para aprovechar una mayor extracción y obtención de Aloe.

Estas son las razones de proponer el diseño de una planta de proceso a escala piloto, en Liberia Costa Rica, en la cual se elabore la crema hidratante a base de Aloe vera, por la facilidad de obtención de la Sábila, por su bajo costo, el valor agregado al ser procesada, el compromiso ambiental que se adquiere como Ingenieros Químicos y el creciente auge de personas interesadas en adquirir este tipo de productos.

II. ANTECEDENTES

En la actualidad, se realizaron diversas investigaciones y estudios sobre las propiedades, beneficios y efectos que el Aloe vera proporciona, todo a una escala teórica y a nivel de laboratorio. Sin embargo, pocos de estos estudios trascendieron a una producción mayor a la de laboratorio, que pueda suplir (aunque sea parcialmente) la gran demanda que existe con las cremas hidratantes a base de Aloe Vera.

En Costa Rica existen pocos registros en cuanto a la preparación de productos elaborados a base de Aloe, tal es el caso de Naturaloe, una empresa de origen estadounidense que posee una planta en Guanacaste con el fin de elaborar y distribuir los productos a lo largo del país. No obstante, los datos en cuanto a sus operaciones se mantienen fuera del alcance público. Más allá de ellos, no hay documentación fiable de la industrialización del Aloe en función de cremas cosméticas.

Citando otros autores, (Martínez, 2013) redactó un informe en base los datos obtenidos en su estudio de analizar los efectos que producía el gel de Aloe Vera como tratamiento para la pre y post cosecha de distintas frutas, denotando acá, el poder medicinal que posee la planta como una de sus más notorias propiedades. Otro estudio realizado en base al Aloe, es el documentado por (John Ricardo Hernández Castillo, 2015), el cual demostraba por medio de la recopilación de información botánica, química, histórica, medicinal y el resumen de los resultados de diversas pruebas de laboratorio, que el Aloe Vera y (entre otros), constituía como uno de los mejores ingredientes en la formulación y elaboración de productos cosméticos naturales y ecológicos.

Dentro de las diversas fuentes retomadas para, el diseño a escala piloto del proceso de obtención de una crema hidratante a partir de Aloe vera, se detalla principalmente el trabajo elaborado por (García, 2013) *"Formulación de una Crema Elaborada con Ingredientes Orgánicos a Base de Sábila"*, en el cual se determinó la formulación de una crema a base de la planta antes mencionada e ingredientes orgánicos, que cumple con los estándares Internacionales exigidos por el Departamento Agrícola de Estados Unidos (USDA), la misma que exige que una crema hecha con ingredientes orgánicos debe contener al menos un 70% de estos.

Referente a las citas en cuanto al proceso de escalamiento, una de las más importantes es: *"Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina"*, elaborada por (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008), en la cual se describe lo que es una planta piloto, cómo se diseña, construye y funciona; otra de estas referencias es el trabajo realizado por (Max S. Peters, 1991), titulado como *"Plant design and Economics for Chemial Engineers"*, en el cual los autores explican a profundidad el diseño de plantas de procesos, enfatizando el escrito en aquellos acápites relacionados a la prefactibilidad de las mismas.

Todos estos aportes demuestran el potencial de una planta a escala piloto para la industria cosmética y el aprovechar la sábila como materia prima, junto a los conocimientos de transformación y control de calidad. Conociendo esto, se inició el desarrollo de procesos para elaborar productos de excelente calidad a partir de datos recopilados en laboratorio y posteriormente el diseño de unidades únicas y compactas que conforman en si una planta piloto cuyo proceso puede ser continuo o por lote.

III. JUSTIFICACION

Según (John Ricardo Hernández Castillo, 2015), la industria cosmética en Latinoamérica experimento un alto crecimiento a nivel mundial, no solo con ingresos anuales que rondan los 80.000 millones de dólares y la meta de convertirse en el segundo mercado más importante después del asiático, también lo hizo con aproximadamente 1,2 millones de empleos directos e indirectos y unas 4 a 5 millones de personas que generan ingresos a partir de la misma.

Uno de los mayores problemas en la industria cosmética del Aloe Vera en Centroamérica, se debe a los pocos estudios realizados en las universidades y las empresas, porque en su mayoría estas entidades formulan un producto, pero no realizan los procedimientos y estudios para llevar lo obtenido en el laboratorio a una escala competitiva, además de no poseer la capacidad industrial para suplir la demanda nacional y no contar con la suficiente materia prima y disposición de áreas de cultivo para un aprovechamiento a escala piloto, semi-industrial e industrial.

A causa de los problemas planteados anteriormente, en Costa Rica, como en otros países centroamericanos, las industrias cosméticas que desarrollan productos a base de Aloe son muy pocas, dentro de las cuales podemos tomar como ejemplo a Madre Selva, Luna Verde (de Nicaragua) y Naturaloe, debido a que necesitan importar su materia prima, principalmente de Colombia, Estados Unidos, Brasil, etc., lo que genera un elevado costo en su producción.

Como resultado de lo anterior, se llevará a cabo el diseño a escala piloto de una planta, para proceso de elaboración de cremas hidratantes a base de Aloe Vera en Costa Rica, donde existe mayor disposición de insumos y tecnología, con el fin de liderar una producción la cual pueda satisfacer parte de la demanda existente, con productos de excelente calidad y accesible al cliente.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Diseñar a Escala Piloto el Proceso de Obtención de una Crema Cosmética Hidratante a Base de Aloe Vera.

4.2. Objetivos Específicos

- Elaborar una crema de uso cosmético a partir de Aloe Vera para la adecuación del proceso a escala piloto por medio de datos obtenidos en el laboratorio.

- Verificar las variables y parámetros operacionales del proceso para el diseño de la planta piloto.

- Escalar y seleccionar los equipos necesarios en el diseño a escala piloto.

- Valorar económicamente los costos de los equipos mayores, menores, la materia prima, accesorios y su instalación.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Generalidades de la Crema Hidratante

De acuerdo a (Eucerín, 2005) una crema cosmética es una preparación compuesta por una fase acuosa y una fase oleosa y es estabilizada con un emulgente. Las cremas lipofílicas son las preparaciones denominadas emulsiones agua en aceite (W/O), mientras que las cremas hidrofílicas son emulsiones aceite agua (O/W). Las cremas pueden recuperar una película hidrolipídica deteriorada o, gracias a su efecto oclusivo, rehidratar la capa córnea de la piel

5.1.1 Cremas Hidratantes

Según el estudio realizado por (S., 1990), los hidratantes consisten básicamente en todas aquellas sustancias higroscópicas que poseen la propiedad de absorber el agua de la humedad del aire, hasta alcanzar un cierto grado de dilución.

Debido a esto, en el área de la industria cosmetológica se han cimentado controversias con este tipo de productos entre los profesionales del tema, tal es el caso del Dr. Ramón Grimalt, dermatólogo, profesor de Dermatología en la Universidad de Barcelona y coordinador de dermatología en la Universidad Internacional de Cataluña, él advierte que el término de "crema hidratante" es muy engañoso. "Los productos hidratantes, de hecho, no lo son, puesto que no aportan agua, solo aportan grasa", añade. Grasa que la mayoría de las personas ya poseen en la piel de su rostro (Salud, 2017).

Sin embargo, distintos científicos afirman y prueban con distintos estudios el poder hidratante que estos productos sí aportan a la piel de las personas. La palabra hidratar significa "restablecer el grado de humedad normal de la piel u otros tejidos" y también "combinar un cuerpo con agua". Este significado es literal y está sacado del diccionario de la real academia. Por lo tanto, cuando se habla de cremas hidratantes lo que se hace es una referencia a coger agua y añadirla dentro de la piel (Mismuni, 2015).

5.1.1.1. Función de las Cremas Hidratantes

Las cremas hidratantes tienen el objetivo de humedecer. Básicamente cuando se unta una pequeña cantidad del producto lo que realmente sucede es que las moléculas hidratadoras empiezan a filtrarse hacia la dermis, la zona más profunda de la piel. El objetivo de este traslado es poder alcanzar las células y tejidos. Y una vez alcanzada la capa inferior de la piel, el goteo incesante crea un rico cultivo de sustancias nutritivas para que los tejidos que constituyen la piel puedan nutrirse y abastecerse de agua rica en elementos esenciales.

Las propiedades de las cremas hidratantes son variadas. Al llenar la piel de agua permiten que las células se desarrollen en un mejor medio y sufran menos. Proporcionan un rico fluido y proveen parte del agua que se pierde con la edad.

Una vez que se conoce que son y las propiedades que tienen las cremas hidratantes, a nivel general se puede mencionar que las emulsiones es la fase más adecuada en la cual este tipo de productos se suele mostrar y elaborar.

Figura 1 Crema hidratante en forma de emulsión

5.1.2. Emulsiones

En el estudio (Eucerín, 2005) se cita textualmente que "una emulsión es un sistema líquido formado por dos líquidos miscibles en el que uno de ellos está finamente dispersado en el otro. Las emulsiones que se utilizan en cosmética, consisten en una fase acuosa polar y una fase oleosa no polar. Son emulsiones aceite en agua y agua en aceite".

El tipo de emulsión que se tiende a formar depende del balance entre las propiedades hidrófilas e hidrófobas del agente emulsificante.

5.1.2.1. Emulsiones Aceite en Agua (O/W)

En esta forma de emulsión, las gotitas de la fase oleosa de la preparación se sitúan dentro de la fase acuosa. Las emulsiones O/W se absorben rápidamente en la piel y no dejan ningún brillo oleoso. Pueden extenderse con especial facilidad sobre la piel. Cuando se aplican, la parte acuosa se evapora generando un efecto refrescante.

La fase oleosa interna hidrata y engrasa la piel. Se lavan con agua y son adecuadas como emulsiones limpiadoras y para el cuidado diario normal. Las emulsiones O/W no se forman espontáneamente, necesitan de energía para poder ser formadas, actualmente existen varios tipos de equipos que proporcionan la energía, como los mezcladores estáticos, molinos coloidales, equipos de ultrasonido, homogeneizadores de alta presión, etc. ((NEGRETE, 2013).

5.1.2.2. Emulsiones Agua en Aceite (W/O)

En las emulsiones W/O, o agua en aceite, la fase dispersa es un líquido acuoso o de carácter hidrófilo y la fase continua es un aceite o líquido de carácter lipófilo; quedan gotas de agua suspendidas en una fase oleosa.

Refiriéndonos al uso de cremas cosméticas, en casos de piel seca se recomienda el uso de emulsiones agua en aceite (W/O). En éstas, la fase interna consiste en gotitas de agua rodeadas por la fase oleosa. Las emulsiones agua en aceite no se absorben con tanta rapidez en la piel. Garantizan una intensa hidratación cutánea y generan un cociente aceite/humedad equilibrado. En función de estas características, las emulsiones agua en aceite son muy eficaces en el tratamiento de procesos cutáneos secos. Son adecuadas para liberar principios activos en la piel y no pueden ser lavadas con agua sola

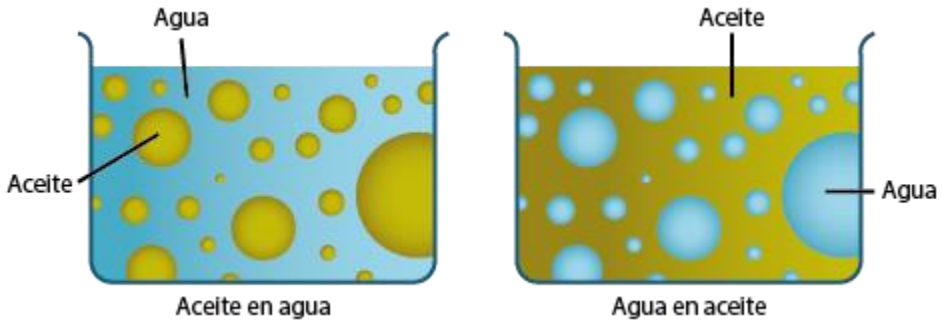


Figura 2 Emulsiones O/W y W/O

Como ya se ha mencionado, el objetivo principal de las cremas hidratantes es restablecer el equilibrio de humedad en la piel, sin embargo, se sabe que no todas las cremas que se comercializan son igual de eficientes y funcionan tan bien como cabría esperar. El motivo radica en las distintas materias primas de las que se elaboran y su correspondiente porcentaje.

Como tema central de la tesis presentada, la materia prima principal para este tema es el Aloe Vera, una planta con una inmensa cantidad de usos y aplicaciones para la ciencia, salud, ingeniería, etc., por sus magníficas propiedades.

5.2. Materia Prima para la elaboración de la crema hidratante

Como se mencionó anteriormente, el objetivo del documento es realizar el diseño de un proceso de elaboración de una crema hidratante a base del gel de Aloe Vera, sin embargo, la composición de dicho producto no sólo conlleva el uso del gel de Aloe; la crema (emulsión) también está conformada por otros tipos de insumos tales como: lanolina, ácido esteárico, aceite de almendras, bórax, cera de abeja, vaselina y agua destilada. Estos insumos junto a la materia prima principal (parénquima) dan como resultado la crema deseada.

A continuación, se enumeran y especifica cada uno de los insumos a utilizar, sus propiedades, beneficios y el porqué de su elección para la formulación de la crema hidratante.

5.2.1. Sábila (Aloe vera)

El nombre de ALOE VERA, quiere decir, sustancia brillante o amarga verdadera. El significado viene dado por las derivaciones del árabe “Alloeh” que significa sustancia amarga

o brillante, y del latín “Versus” que significa verdadero. Es una planta semitropical de la familia de las liliáceas (tulipán, cebolla, etc.) del género de Aloe, de la que existen más de 300 especies diferentes.

Algunos autores la llaman “La planta de los Primeros Auxilios”, debido a sus propiedades cicatrizantes y curativas para las quemaduras, rasguños y heridas. Algunos nativos de las diferentes islas caribeñas, saben por tradición, sus buenos resultados y cuando sufren alguna herida o se queman, se untan en la parte afectada la sábila de sus hojas frescas, o se colocan el cristal (gel), en forma de emplastos, machacado o diluido **Fuente especificada**

Figura 3 Planta de Sábila (Aloe vera)

Taxonomía de la Sábila (Aloe vera)	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Liliidae
Orden	Asparagales
Familia	Xanthorrhoeaceae
Subfamilia	Asphodeloideae
Género	Aloe
Especie	Aloe vera

Tabla 1 Taxonomía de la Sábila (Aloe vera)

5.2.1.1. Características Físicas de la Sábila

La mayoría de las especies forman una roseta de grandes hojas carnosas y gruesas que salen de un tallo corto (en algunas especies es muy largo e incluso ramificado). Estas hojas son normalmente lanceoladas con un afilado ápice y márgenes espinosos, los colores varían del gris al verde brillante y a veces están rayadas o moteadas.

Las flores son tubulares, con colores desde amarillo a anaranjado o rojo, nacen en un tallo sin hojas, simple o ramificado, agrupadas en densos racimos (inflorescencias). Los áloes son plantas que se reproducen por polinización cruzada y se multiplican, además, por semilla o por retoños.

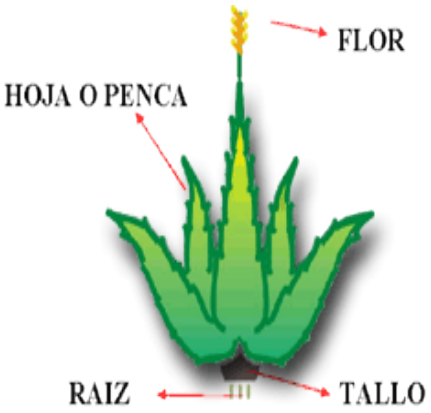


Figura 4 Características Físicas de la Sábila

Muchas de las especies aparentemente no poseen tallo, surgiendo de la roseta directamente a nivel del suelo; otras variedades pueden tener o no tallos ramificados de donde brotan las carnosas hojas. Algunos de los áloes nativos de Sudáfrica tienen largos troncos, lo que les da el aspecto de árboles.

Este género tiene la capacidad de conservar el agua de lluvia, lo que le permite sobrevivir durante largos períodos de tiempo en condiciones de sequía. Después de tres años de vida de la planta, el gel contenido en las duras hojas verdes externas está al máximo de su contenido nutricional (Bernal, 2015).

Cabe mencionar que la sábila es una planta codiciada por el uso del gel que ella contiene dentro de sus hojas, pero el espacio donde se encuentra este gel está recubierta por dos capas que protegen su interior. La parte exterior se compone por la piel o corteza; esta parte es la primera protección que presenta la planta. Es una estructura dura, fibrosa y muy difícil de traspasar. Esta corteza o piel es el primer residuo que se obtiene de la planta en un proceso industrial, donde la materia prima a utilizar sea el gel de aloe.

En la segunda capa protectora se puede observar que existen unos pequeños vasos por los que circula un componente importante del aloe, el acíbar o, en algunos casos mal llamada, aloína. Este segundo componente es un líquido viscoso, amarillo, brillante y amargo. Este líquido es un conjunto de compuestos de origen fenólico entre los que se encuentra la aloína; es importante mencionar que este es otro de los residuos que se elimina en las empresas procesadoras de aloe, debido a su sabor amargo y que algunos de los compuestos que forman parte del acíbar presenta algunas propiedades poco beneficiosas.

Finalmente, en el interior de la planta está la parte más codiciada por las empresas procesadoras de aloe y por el usuario en general, el parenquima o más conocido como pulpa, también se le denomina gel. El parenquima tiene una apariencia blanquecina o transparente, es insípido e inodoro aunque esto puede cambiar según el estado de la planta y su edad. Su composición es mayoritariamente agua (99.2 %) y el resto son compuestos bioactivos, los responsables de la mayoría de las propiedades beneficiosas que se conocen de esta planta.

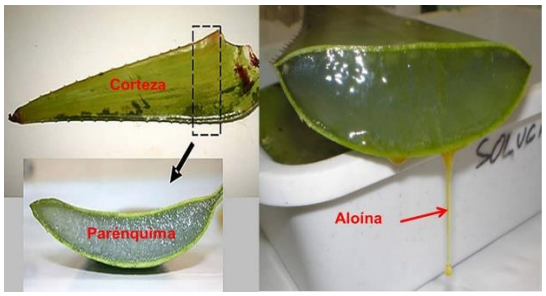


Figura 5 Estructura de la hoja de sábila

5.2.1.2. Características Químicas de la Sábila

La especie del género Aloe contiene una mezcla de glucósidos llamados Aloína colectivamente, la cual es el principio activo de la planta. El contenido de aloína en la planta puede variar según la especie, la región y la época de recolección. El principal constituyente de la Aloína es la barbaloína, un glucósido amarillo pálido soluble en agua.

Otros constituyentes son la emodina isobarbaloína, betabarbaloína y resinas. El olor es debido a trazas de un aceite esencial. De manera general, la proporción de los compuestos anteriormente es la siguiente:

Compuesto	Proporción
Dos resinas amarillo-brillantes, muy activas, posiblemente idénticas, solubles en bicarbonato de sodio	30%
Sustancias amorfas que producen alteraciones estomacales pero que no llegan al efecto purgativo	5.1.%

Tabla 2 Proporción de compuestos químicas de la Sábila

Los diferentes análisis realizados a la planta y su extracto han permitido conocer la naturaleza de las sustancias que la componen, tales como: polisacáridos, ácidos, enzimas, taninos, esteroides, proteínas, saponina, esteroles; aminoácidos y oligoelementos: Manganeso, Calcio, Potasio, Sodio, Aluminio, Hierro, Zinc, Cobre, Plata, Cromo, Fósforo y Titanio, vitaminas: B12, B6, B5, B, A y C (Bernal, 2015)

5.2.1.3. Propiedades Fisicoquímicas de la Sábila

Sus propiedades físico-químicas varían en función de la lluvia o el riego, del terreno, de la época de recolección de las hojas y de su edad y almacenamiento, y según la forma de obtención del gel y su almacenamiento. Un 99,4% del peso del gel de la sábila es agua. Más del 60% de los sólidos totales son polisacáridos mucilaginosos que se encuentran ligados a azúcares como glucosa, manosa, ramnosa, xilosa, arabinosa, galactosa y ácidos urónicos (Gampel, 2002).

5.2.1.4. Usos de la Sábila

A lo largo de la historia, la sábila ha sido utilizada en las civilizaciones de África, Asia, Europa y en el Medio Oriente para el cuidado facial y capilar. Comúnmente en estos usos populares la sábila es empleada sin procesamiento industrial alguno, ya que se utilizan las hojas de la planta fresca, licuada, en trozos o asada. La sábila forma parte de las supersticiones de muchos pueblos, manifestándose en la costumbre de colgar plantas de sábila en los marcos de las puertas, especialmente en casas nuevas (Martínez, 2013).

Además de la utilización directa de la sábila y de su gel en la curación de diversas enfermedades, la sábila ha sido motivo de diferentes procesos industriales que han ampliado sus posibilidades de uso y han incrementado su demanda, motivo por el cual de la realización del presente escrito.

Las propiedades de esta planta le hacen el sustituto ideal de los productos enzimáticos de la industria farmacéutica.

En la perfumería y cosmetología donde se aprovechan más sus cualidades emolientes, humectantes, hidratantes y desinfectantes, así como su contenido de saponinas, glucósidos y polisacáridos en la elaboración de cremas faciales, jabones, lociones para la piel, filtros solares y otros (Campa, 1994).

Recientemente se está haciendo uso del jugo para la preparación de bebidas refrescantes y saludables, por su contenido que aporta cualidades, nutritivas y reconstituyentes.

Figura 6 Usos de la Sábila

De igual forma, (Campa, 1994) reporta que, en la experimentación para el control de enfermedades virales, la sábila ha presentado una acción inhibitoria media en comparación con otros extractos de origen vegetal

5.2.1.5. Propiedades de la Sábila en Cremas Cosméticas

De acuerdo al ensayo elaborado por (Conti, 2015), el aloe penetra en las tres capas de la piel; epidermis, dermis e hipodermis, causando en todas ellos efectos benéficos. Es un limpiador natural, tiene propiedades antialérgicas, posee efectos antiinflamatorios, barre con los depósitos de grasa que tapan los poros, elimina las células muertas, estimula la renovación celular, es un poderoso hidratante, combate la sequedad, evita arrugas prematuras y reduce la medida de los poros abiertos y equilibrando el pH cutáneo.

5.2.2. Lanolina

La lanolina anhidra es una sustancia cérea purificada y deshidratada, obtenida de la lana de oveja (Ovis aries), formada principalmente por ésteres de ácidos grasos de colesterol, lanosterol, y alcoholes grasos. Químicamente es una cera, no una grasa.

Las ovejas segregan esta sustancia para impermeabilizarse y así protegerse de la humedad. Al cortar la lana de las ovejas se puede extraer la lanolina. En su calidad comercial, si es buena, no contiene más del 0.25% de agua.

Figura 7 Lanolina

5.2.2.1. Propiedades Fisicoquímicas de la Lanolina

Se trata de una sustancia grasa de textura similar a la de la vaselina, translúcida, untuosa, pegajosa y amarillenta como se muestra en la figura 7, casi sin olor, y que se derrite entre 36º y 41.5 º C.

Propiedad	Característica
Apariencia	Masa semisólida viscosa, de color amarillo, olor a sebo.
Gravedad especifica	0,95
Punto de ebullición	Descompone aprox. 180
Punto de fusión	36 – 42°C
Densidad relativa	0.9
pH	N.R.
Viscosidad	N.R.
Solubilidad	Insoluble en agua, soluble en benceno, éter, cloroformo, alcohol.

Tabla 3 Propiedades fisicoquímicas de la lanolina

5.2.2.2. Usos y Propiedades de la Lanolina en Cremas Cosméticas

La lanolina anhidra tiene una amplia gama de aplicaciones cosméticas y farmacéuticas. En cosmética se utiliza como estabilizador de emulsiones W/O, emoliente, acondicionador o como lubricante en una gran variedad de productos como cremas, champúes, lociones, barras de labios y maquillajes. En farmacia se utiliza en la formulación de las preparaciones tópicas, como cremas y emulsiones W/O.

La lanolina se emplea ampliamente como base de pomadas y agente emulsificante en preparaciones cosméticas, utilizándose como vehículo hidrófobo en emulsiones W/O y pomadas. Por sí misma no se absorbe, pero mezclada con aceites vegetales adecuados o vaselina se obtienen cremas emolientes que penetran en la piel y facilitan la absorción de otros principios activos (ACOFARMA, 2009).

5.2.3. Ácido Esteárico

El ácido esteárico es un ácido graso saturado que está presente en la gran mayoría de aceites y grasas animales y vegetales. Además, lo encontramos acompañado de otros ácidos grasos saturados y de otros ácidos grasos insaturados.

Puede proceder de origen vegetal o de origen animal. Dependiendo del uso que se le quiera dar, se hace uso de uno u otro. El de origen vegetal se obtiene principalmente de la hidrólisis del aceite de palma; por su parte, este ácido de origen animal, se obtiene de la hidrólisis de la grasa animal (sebo).

Figura 8 Ácido esteárico

5.2.3.1. Propiedades Fisicoquímicas y Usos del Ácido Esteárico

El esteárico es un ácido sólido a temperatura ambiente, generalmente blanco con ligera tonalidad amarillenta, prácticamente inodoro. Su punto de congelación oscila entre 55 – 65ºC en función del contenido en y su grado de hidrogenación.

Propiedad	Característica
Apariencia	Sólido blanco, sin olor y ceroso; olor y sabor ligeros, parecidos al sebo
Gravedad especifica	0,87
Punto de ebullición	383° C
Punto de fusión	69 ° C
Densidad relativa	69
pH	N.R
Viscosidad	N.R
Solubilidad	Soluble en cloroformo, alcohol, éter, sulfuro de carbono y tetracloruro de carbono, insoluble en agua.

Tabla 4 Propiedades fisicoquímicas del ácido esteárico

Es un fantástico humectante e hidratante empleado con frecuencia en cosméticos como cremas caseras y jabones artesanales. En las cremas, es fácilmente absorbido por la piel, convirtiéndolo así en un magnifico ingrediente en cremas humectantes e hidratantes. Es un agente espesante y estabilizador lipófilo para lociones y ungüentos aceite/agua. Se utiliza como emulgente en proporciones de 1–20% para la formación de cremas base, usadas algunas veces como emulsiones.

5.2.4. Aceite de Almendras

El aceite de almendras dulces es uno de los más neutros que existen y no se le conocen contraindicaciones. Contiene agua, proteínas, grasas (sobre todo insaturadas), alto contenido de fibras, vitaminas B, C, A, D y E, hierro, potasio, sodio, magnesio, azufre, cobre, zinc y calcio. Estas características hicieron del aceite de almendras dulces una medicina natural.

Figura 9 Aceite de almendras

Por ser rico en vitaminas y ácidos grasos, tiene un efecto regenerador e hidratante. Debido a la riqueza de proteínas de origen vegetal, cumple con una importante acción nutritiva, motivo por el cual se utiliza en lociones y cremas para ayudar a mantener la flexibilidad de la piel, humectándola, nutriéndola profundamente y previniendo así el envejecimiento prematuro (Sandra A. Hernández, 2009).

Propiedad	Característica
Apariencia	Líquida, de color amarillo claro débil
Densidad	0,91 - 0,92 g/cm
Punto de ebullición	> 316 º C
Punto de fusión	N.R.
Solubilidad	Insoluble en agua, miscible en éter.

Tabla 5 Características fisicoquímicas del Aceite de almendras

5.2.5. Bórax

El bórax, es un compuesto importante del boro. Es el nombre comercial de la sal de boro y se origina de forma natural en forma de piedra por la evaporación continua de los lagos estacionarios. Al ser una sal de un ácido débil es una base débil. Es un polvo cristalino blanco o cristales incoloros transparentes, inodoro. Los cristales presentan eflorescencia por lo que están cubiertos por polvo blanco.

Figura 10 Bórax

Propiedad	Característica
Fórmula química	$Na_2B_4O_710H_2O$
Apariencia	Cristales incoloros o masas cristalinas, eflorescentes.
Gravedad específica	1.73 g/cm
Punto de fusión	75° C
Solubilidad	Soluble en agua y muy soluble en agua a ebullición, fácilmente soluble en glicerol.
pH	9-9.2

Tabla 6 Propiedades fisicoquímicas del bórax

5.2.5.1. Propiedades del Bórax en Cremas Cosméticas

Según el estudio elaborado por (Alegría Medina, 2007), el bórax tiene propiedades emulsionantes que mejoran la consistencia de las cremas cosméticas y lociones. Presenta acción suave, ya que emulsiona la grasa cutánea, en preparados como cremas, en porcentaje de 1 – 5 %. Como mineral natural, el bórax es un componente común en las recetas caseras para productos como los exfoliantes y las cremas frías. También se utiliza como estabilizante en emulsiones w/o y como emulsificante en la preparación de *cold-cream*.

5.2.6. Cera de Abeja

La cera de abeja es una sustancia líquida secretada por las abejas que, al entrar en contacto con el aire, se solidifica, formando pequeñas escamas blancas, cuyo color varía de amarillo a blanco (como se observa en la Figura 11) y en algunos casos un pardo grisáceo, presenta un olor agradable parecido a la miel y un sabor leve característico.

Figura 11 Cera de abeja

5.2.6.1. Composición Química y Propiedades Fisicoquímicas de la Cera de Abeja

La composición química de las ceras le confiere propiedades antibióticas, emolientes, cicatrizantes, antinflamatorias y se utilizan como excipiente en la industria farmacéutica. Esta composición ha sido estudiada por mucho tiempo, y a la actualidad se conocen más de 300 componentes que la conforman, de acuerdo a (Guanín, 2006) estos componentes se pueden resumir de la siguiente manera:

Componente	Porcentaje
Monoésteres de ácidos céreos, hidroxipoliésteres, di ésteres y tríesteres	67
Hidrocarbonato	14
Ácidos libres	12
Material no identificado	7

Tabla 7 Composición química de la cera de abeja

El establecimiento y determinación de los principales parámetros fisicoquímicos permiten caracterizarla y de esta forma detectar posibles adulteraciones, tales propiedades fisicoquímicas son:

Propiedad	Característica
Apariencia	Cristales incoloros o masas cristalinas, eflorescentes.
Punto de fusión	64.2° C
Punto de solidificación	62.8° C
Viscosidad	< 20 mPa s a 100 °C
Solubilidad	Son insolubles en agua, algo solubles en alcohol frío, solubles en éter, cloroformo, sulfuro de carbono y trementina

Tabla 8 Propiedades fisicoquímicas de la cera de abeja

5.2.6.2. Propiedades de la Cera de Abeja en Cremas Cosméticas

Se utiliza para espesar los aceites hasta una consistencia apropiada en las cremas hechas solo con aceite, y también actúa como emulsionante en las cremas que contienen agua

destilada. Se usa en la fase oleosa para ungüentos y cremas va del 15-75%. Aumenta la viscosidad de preparados cosméticos (Alegría Medina, 2007).

5.2.7. Vaselina

Es una sustancia cremosa que está constituida por hidrocarbonos saturados con números de átomos de carbono principalmente por encima de 25. Su composición depende de la fuente de petróleo y del proceso de refinería.

El grado muy refinado (vaselina blanca) se usa en farmacéutica y cosmética. El grado menos refinado es utilizado en la industria y pueden contener impurezas como aromáticos policíclicos cancerígenos.

Figura 12 Vaselina

La vaselina líquida es un emoliente y protector dermatológico, se usa para tratar irritaciones de la piel y para eliminar las costras por su poder hidratante. Puede añadirse un poco de lanolina fundida para facilitar la penetración de los principios activos en la piel.

Propiedad	Característica
Apariencia	Liquido oleoso, incoloro, transparente, desprovisto de fluorescencia a la luz del día.
Punto de fusión	38 - 45° C
Punto de ebullición	343° C
Viscosidad	110 – 230 mPa·s (20º C).
Densidad	0,827 – 0,905 g/ml
Solubilidad	Prácticamente insoluble en agua, poco soluble en etanol al 96% y miscible con hidrocarburos.

Tabla 9 Propiedades fisicoquímicas de la vaselina

5.2.8. Agua Destilada

Es un líquido traslúcido, incoloro, inodoro y sin sabor. Se llama agua destilada al agua que ha sido evaporada y posteriormente condensada. Al realizar este proceso se eliminan casi la totalidad de sustancias disueltas y microorganismos que suele contener el agua por lo tanto es una sustancia química pura agua (Alegría Medina, 2007).

Figura 13 Agua destilada

Es también el vehículo para la fase acuosa preparados cosméticos como cremas y lociones de uso cosmético; champú, cosméticos para uñas, jabones, desodorantes. El porcentaje depende del tipo de formulación que se prepara.

Propiedad	Característica
Apariencia	Líquida, incolora, inodora
Densidad	1000 g/ml
pH	6 – 7
Temperatura de fusión	N.A
Solubilidad	Soluble en agua

Tabla 10 Propiedades fisicoquímicas del agua destilada

5.3. Proceso de Elaboración de la Crema Hidratante a Base de Aloe Vera

El procedimiento más sencillo y eficaz para la elaboración de la crema hidratante consiste en tres etapas fundamentales: Fundición de la fase oleosa y calentamiento de la fase acuosa (ambas etapas pueden realizarse en paralelo), el mezclado de las fases y posteriormente, el enfriado y envasado del producto final; a continuación, se presenta el flujograma de proceso y la explicación de cada etapa del mismo.

Inicialmente, la materia prima es recepcionada, en esta etapa del proceso se debe de tener un control muy estricto en cuanto a la elección y manipulación de la planta de Sábila, pues la idea es utilizar únicamente aquellas plantas que no presenten golpes ni cortes exagerados o una coloración amarillenta o blancuzca, característica de que la planta no presenta la madurez adecuada para el proceso o que posee algún tipo de enfermedad.

Una vez la materia es recepcionada, se procede a cortar las hojas de la sábila y luego a eliminar las dos capas externas de las hojas. Seguidamente, el gel de aloe y los demás ingredientes del proceso son pesados para empezar las etapas de fundición.

En un tanque, se adiciona una mezcla oleosa compuesta de lanolina, cera de abeja, vaselina, aceite de almendra y acido esteárico y se procede a calentar la mezcla hasta alcanzar los 65° C, en esta etapa teóricamente se sabe que se pierde 2% de la cantidad inicial. En otro tanque, se calienta a 65° C la mezcla acuosa compuesta de agua destilada, sábila y bórax, en la que se pierde 4% durante el proceso, según (García, 2013).

Luego del calentamiento, se procede a la combinación de la mezcla de la fase acuosa y oleosa en un tanque de mezclado, hasta obtener una mezcla homogénea, perdiéndose (teóricamente) un 4% en el proceso.

Una vez se obtiene la mezcla, se espera a que este alcance una temperatura de 40° C, temperatura a la cual se facilita sus posteriores etapas finales, la dosificación y el envasado de la crema cosmética hidratante.

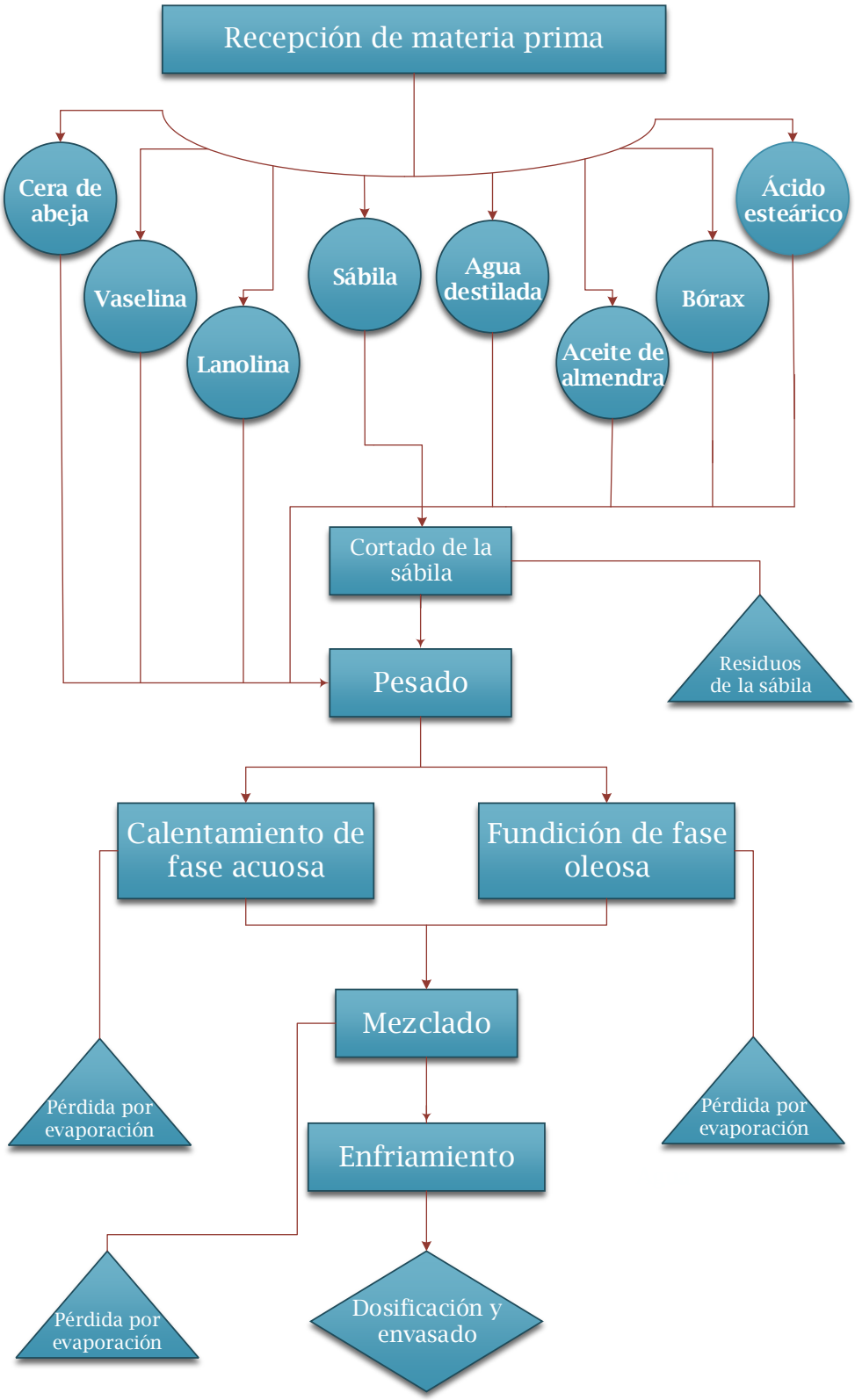


Figura 14 Flujograma de proceso

5.4. Principios Básicos de Escalamiento

El concepto de escalamiento empieza de la propia definición de "medición", la cual define que medir es asignar números a las propiedades de los objetos u operaciones, de acuerdo con ciertos criterios y reglas. En definitiva, este es un proceso mediante el cual se desarrollan los criterios y las reglas de asignación numérica que determinan las unidades de medida para llevar de un tamaño dado a otro tamaño mayor o menor, una operación u objeto.

Escalar un proceso o equipo es convertirlo de su escala de investigación (laboratorio o piloto) a escala industrial (producción). En estos casos, el ingeniero químico es el mejor capacitado y mediante el escalamiento; analizar las condiciones de reacción y los factores que influyen en el proceso, con el fin de definir los equipos necesarios y proponer la ruta de producción en masa, más adecuado del producto.

A finales del siglo XIX, luego de varios análisis, experimentos y recopilación de información, varios científicos llegaron a la conclusión que la ingeniería química es la única disciplina de la ingeniería que es capaz de realizar exitosamente el proceso de escalamiento de procesos, pues para este es necesario integrar la física y la química (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

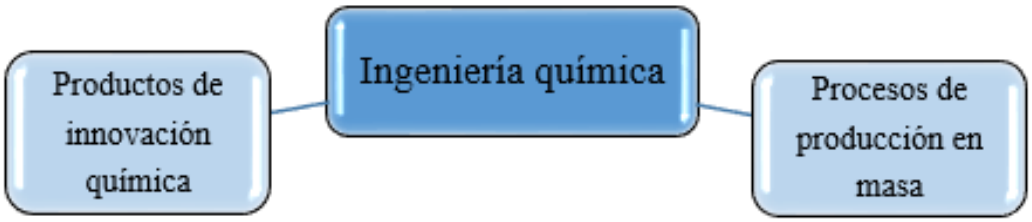


Figura 15 La Ingeniería Química como eslabón en la Industria

5.4.1. Planta Piloto

Hay muchas formas de describir una planta piloto desde la óptica de la Ingeniería Química, la cual está ligada intrínsecamente a los procesos industriales y operaciones unitarias. En estos procesos y operaciones pueden intervenir fenómenos simples o complejos de carácter termodinámico, transferencia de masa y energía, control de procesos entre otras.

Según (Max S. Peters, 1991), "una planta piloto es una réplica a escala pequeña, de la planta final a escala industrial. Sin embargo, esta definición resulta muy amplia, debido a esto se considera la de otros autores, en donde definen una planta piloto como: "una pequeña unidad que contempla todos los pasos importantes de un proceso que requiere investigación experimental. Un reactor, una centrifuga o un secador, pueden ser interpretados como pequeñas instalaciones pilotos para fines específicos (Aquino, 1996).

Por esta razón una planta piloto, no precisamente debe estar construida por una serie de operaciones unitarias, ya que en algunos casos basta construir una estación experimental y a partir de ella obtener datos necesarios para el diseño y/o selección de equipos. En síntesis; el uso de las plantas pilotos es para predecir el comportamiento de una planta a escala industrial, operándola a condiciones similares a las esperadas. Por lo cual, los datos recopilados formaran la base para el diseño de la planta de mayor tamaño. Además, resulta ser más económico y rápido evaluar los cambios a diferentes condiciones en una planta piloto que en la original.

5.4.2. Escalamiento a Planta Piloto

El trabajo en planta piloto constituye una de las actividades más apasionantes en el campo de la ingeniería química, por cuanto deviene como una actividad investigadora donde el profesional ha de poner en práctica todos los conocimientos disponibles. De acuerdo a (Andaltec, 2007), una planta piloto se define como "una pequeña unidad que contempla todos los pasos importantes de un proceso que requieren investigación experimental". Esto resulta muy útil cuando se pretende escalar procesos productivos desarrollados en el laboratorio

5.4.3. Elementos Importantes a Evaluar en el Diseño y Construcción de Plantas Piloto

Diversos son los factores que determinan la construcción de una planta piloto y su generalización no resulta una tarea sencilla. Sin embargo, algunos de ellos resultan comunes y han sido señalados por diversos autores.

5.4.3.1. Reglas para el Diseño de Plantas Pilotos

El diseño de una planta piloto está directamente asociado a la problemática de su operación. Sería difícil enumerar todas las reglas que se deben seguir tomando en cuenta, ya que estas varían mucho en función al tipo de proceso que se desee escalar; no obstante, las bases generales ideadas por (Ríos & Agil, 1996) para el diseño de las plantas pilotos son:

- La planta piloto debe ser tan pequeña como sea posible, pues su tamaño debe estar determinado por su capacidad para obtener cantidades de producto suficiente para su evaluación técnico-económica.

- El diseño de la planta piloto exige el conocimiento y definición de los pasos del proceso, una evaluación preliminar de todos los factores asociados a su proyección, construcción y puesta en marcha, un análisis de riesgos inherentes al proceso tecnológico, informe de posibles problemas operacionales, efectos de las variables físicas sobre la escala, selección de los materiales de construcción apropiados, impurezas creadas durante el proceso, medidas para asegurar la estabilidad operacional, facilidades para la alimentación, impacto sobre el ambiente ,etc.

La observación de las normas de seguridad e higiene y la evaluación del posible efecto sobre el espacio ambiental de la planta y/o la futura planta industrial, alcanza tanta importancia como la propia tecnología y deben ser analizados con especial cuidado.

5.4.3.2. Normas de Seguridad de la Planta Piloto

Los problemas de seguridad e higiene industrial en las plantas piloto, ostentan un gran valor y el ingeniero jefe de dicha instalación es el máximo responsable de la seguridad de la misma.

Como se conoce, la garantía de un trabajo seguro en una planta piloto radica en una apropiada transferencia de la información proveniente del laboratorio, pues, existen muchos problemas que se presentan y se deben evaluar para evitarlos, por ejemplo:

- La falta de información y/o su baja calidad, estos generalmente suelen presentar ensayos insuficientes o inadecuados por parte del laboratorio.

- No se informan los fallos u observaciones sobre efectos que en el laboratorio no tienen repercusión, pero que pueden resultar significativos a mayor escala.

- La falta de comunicación entre químicos y tecnólogos sobre las características del proceso o la falta de profundidad en la misma.

- No se proporciona información suficiente acerca de la toxicidad de reactivos, productos intermedios y productos finales, ni sus características explosivas o inflamables.

- Falta de información sobre la toxicidad de los residuos.

Los accidentes más catastróficos generalmente están asociados a la manipulación de sustancias inflamables o explosivas, por lo que se deben observar rigurosamente las normas establecidas para la manipulación de estos productos (Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008).

Muchos de los problemas inherentes a la seguridad de las plantas pilotos deben ser resueltos desde la actividad de diseño de la propia instalación.

5.4.3.3. Coste de Instalaciones de Plantas Pilotos

El coste de las plantas piloto es extremadamente variable y su magnitud depende no sólo de su capacidad, sino también, del tipo de planta piloto, de su nivel de versatilidad en el caso de plantas polivalentes y del nivel de instrumentación demandado por la instalación (Ríos & Agil, 1996).

En la siguiente tabla se muestran los valores según (Ríos & Agil, 1996) donde se determina, los índices económicos evaluados en sus procesos, en comparación con los encontrados en distintas fuentes; dicha tabla sirve como ejemplo del tipo y grado de inversión que se requiere en este tipo de escalamiento.

Indicadores expresados en porcentaje del costo de equipamiento tecnológico		
Indicador	Índices obtenidos	Índices literatura
Válvulas	-	36%
Tuberías	17%	9%
Sistema convencional	1%	-
Sistema antiexplosivo	10%	-
Instrumentación	11%	26%
Ingeniería	41%	45%
Sistema de seguridad e higiene	7%	-
Servicios Auxiliares	20%	-

Tabla 11 Indicadores del costo de equipamiento tecnológico

5.4.4. Modelo de Escalamiento

Esta técnica de escalamiento se fundamenta en el análisis de los datos recopilados en el laboratorio para contextualizarlos a un tipo de modelo, que puede ser:

- Fenomenológico: fundamentado en algunos razonamientos teóricos, pero de tipo macroscópico.

- Empírico: el cual se postula sin bases teóricas y se espera solamente que ajuste la interacción entre los datos en el rango o intervalo de experimentación.

- Similaridad: obtenido a partir de un análisis de similaridad con respecto a analogías físicas de tipo térmico, mecánico, geométrico, químico, etc.

El tipo de modelo de escalamiento depende tanto del proceso en cuestión como de la geometría de los equipos involucrados. Por esta razón, el que más se considera para el diseño de esta planta piloto es el modelo de escalamiento por similaridad, porque se pueden evaluar parámetros y condiciones de trabajo bajo las cuales se rige una planta a escala industrial, debido a las analogías y consideraciones que se hagan se descartan o consideran los demás modelos de escalamiento.

El diseño de procesos químicos a escala planta piloto permite la obtención de plantas de proceso que reproducen de manera muy similar y a pequeña escala cómo se llevaría a cabo el proceso a escala industrial. Este tipo de técnicas requieren de ingenieros muy capacitados, pues dentro de los criterios de procedimiento se deben finalmente alcanzar objetivos como:

- Definición del diagrama de flujo del proceso a escala de planta piloto.
- Dimensionado y diseño de los equipos principales implicados en el proceso.
- Diseño del sistema de proceso necesario para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación a proyectar.
- Diseño y selección de la instrumentación y equipos auxiliares implicados (tanques de almacenamiento, unidades de operación intermedias, tuberías, bombas, etc.).
- Planos de la instalación.
- Presupuesto construcción de la planta piloto proyectada.

(Anaya-Durand & Pedroza-Flores, 2008) Cita textualmente que “la decisión de construir una planta piloto no constituye una etapa reglamentada; debe ser el resultado de un riguroso análisis técnico-económico y de la evaluación de los riesgos asociados a su construcción o carencia.

El trabajo en plantas piloto constituye un proceso de investigación y desarrollo en el que se requiere de una correcta planificación de la experimentación y la adopción de medidas organizativas propias del trabajo en esta escala”.

VI. METODOLOGÍA

6.1. Generalidades

6.1.1 Materiales y Método

La materia prima a utilizar en la elaboración de la crema hidratante cosmética, se muestra a continuación en la *Tabla 12.*

Ingredientes
Cera de abeja
Vaselina
Lanolina
Aceite de almendras
Agua destilada
Bórax
Gel de Aloe (parénquima)
Ácido esteárico

Tabla 12 Ingredientes para la elaboración de la crema cosmética hidratante

6.1.2 Obtención de la Materia Prima

La materia prima (sábila) será obtenida de algunos cultivos de fincas cercanas a la planta de producción, ubicada en Liberia, especialmente a la plantación de Naturaloe. En cuanto a los demás insumos para el proceso, estos se obtendrán por medio de Distribuidora del Caribe.

6.1.3 Preparación de la Materia Prima

Las plantas de sábila recolectadas y seleccionadas para el proceso, son lavadas únicamente con agua para retirar el exceso de suciedad superficial como tierra, luego, estas son cortadas manualmente, de manera que las hojas sean separadas del tallo y posteriormente, retirar las dos capas externas de las hojas (la corteza y el área donde se encuentra la aloína). Luego de este proceso, los porcentajes de Gel de Aloe obtenidos son transportados hacia el área de proceso para iniciar la etapa de fundición de la fase acuosa.

En cuanto a los demás insumos, estos no requieren de una preparación previa al proceso de producción, más que asegurarse que estos estén en condiciones aptas para su uso.

6.2 Estudio Preliminar

Para realizar un producto cosmético se deben de experimentar y probar distintas formulaciones, hasta llegar a una idónea en la cual se encuentren todas las características deseadas para el producto a elaborar, y por supuesto, realizando el proceso de la manera más sencilla y económica posible.

En el trabajo realizado por (García, 2013) se propuso la experimentación de 4 distintas formulaciones para una crema cosmética a base de Aloe, donde se variaban el porcentaje de los distintos insumos en la formulación, siendo estas (una vez elaboradas) expuestas a diversas pruebas para determinar sus propiedades organolépticas, fisicoquímicas y por supuesto, la estabilidad.

De las 4 formulaciones planteadas, la más recomendable fue la cuarta, debido a que presenta mejores propiedades fisicoquímicas y organolépticas, similares a las cremas cosméticas comerciales a base de Aloe y un mejor índice de calidad en las características deseadas, como la estabilidad (tales propiedades se observan en la tabla 13); su bajo costo y la baja peligrosidad en su proceso fueron también puntos importantes a tomar en cuenta.

Características Organolépticas	
Característica	Resultado
Aspecto	Mezcla homogénea
Color	Blanco con una tonalidad ligeramente beige
Olor	Característico a Aceite de Almendras
Extensibilidad	Fácil de extenderse en la piel
Características Fisicoquímicas	
pH	pH 7 a 25° C, pH 7.6 a 45° C
Viscosidad dinámica	8800 cP a 25 °C
Densidad	2237 Kg/m^3
Tipo de emulsión	O/W (Aceite en agua)
Estabilidad	
La muestra se mantuvo estable (en relación a su color, olor, extensibilidad en la piel y aspecto) a temperatura ambiente (25ºC) durante los doce días de análisis, únicamente encontrando ligeros cambios de tonalidad y aroma en cuanto a cambios de temperatura, por lo tanto se reafirma la veracidad de los resultados del proceso expuestos por (García, 2013).	

Tabla 13 Propiedades organolépticas, fisicoquímicas y Estabilidad de la crema cosmética

Por tal motivo, se decidió realizar la planta piloto utilizando la formulación y el método planteado por (García, 2013), partiendo del estudio a nivel de laboratorio y de los datos obtenidos en la formulación, a la vez se recomendó un estudio para el escalamiento del proceso para la elaboración de cremas cosméticas.

La formulación idónea a la que se concluyó en el estudio mencionado anteriormente (la misma que se utilizará como base para el posterior diseño de la planta piloto), se resume en la siguiente tabla.

Componentes	Porcentaje (%)	Cantidad (g)
Cera de abeja	9.2	10
Vaselina	27.5	30
Lanolina	9.2	10
Aceite de almendras	18.3	20
Agua destilada	22.9	25
Bórax	0.9	1
Sábila	9.2	10
Ácido esteárico	2.8	3
Total	**100**	**109**

Tabla 14 Componentes para la elaboración de la crema cosmética a nivel de laboratorio

6.2.1 Materiales de Laboratorio

Los materiales a utilizar en la elaboración de la crema cosmética hidratante a escala de laboratorio (en la etapa preliminar del estudio) se muestran en la siguiente tabla.

Materiales de laboratorio	Cantidad
Balanza	1
Mezclador	1
Plancha calefactora	1
Erlenmeyer de 500 mL	3
Varilla de vidrio	1
Guantes plásticos	2
Buretas de 25 mL	3

Tabla 15 Materiales de laboratorio

6.2.2 Proceso de Elaboración de la Crema Cosmética a Escala de Laboratorio

Previamente a la elaboración de crema cosmética a nivel de laboratorio se debe acondicionar el lugar de trabajo y luego realizar las etapas del proceso hasta obtener el producto final, tal como muestra el flujograma de proceso en la Figura 16.

- Pesado de la Materia Prima:

Una vez se acondiciona el área de trabajo para el proceso, se inicia con la extracción del parénquima (Aloe vera) de la hoja de Sábila. Luego de esto, el parénquima o gel de aloe y los demás insumos son pesados de acuerdo a la Tabla14, mostrada anteriormente.

- Fundición de la Fase Oleosa

En el tanque número uno que conforma el set de la planta piloto se adiciona la lanolina, cera de abeja, vaselina, aceite de almendra y acido esteárico y se procede a calentar a baño María la mezcla hasta alcanzar los 65° C en una plancha calefactora metálica.

- Calentamiento de la Fase Acuosa

En el segundo tanque, se calienta a 65° C la mezcla acuosa compuesta de agua destilada, sábila y bórax con ayuda de una plancha calefactora metálica.

- Mezclado de las Fases

Una vez ambas fases están listas, la fase acuosa se adicionó sobre la fase oleosa en un mezclador. Seguidamente, se procede a realizar el mezclado, durando un tiempo aproximado de 20 minutos a 150 rpm, hasta obtener la emulsión.

- Envasado

Finalmente, cuando la mezcla de la crema alcanza una temperatura de 40° C, se procede a verter la mezcla en los envases provistos. Con esto se finaliza la elaboración de la crema cosmética a escala de laboratorio.

6.3 Parámetros Operacionales y Variables de Diseño

6.3.1. Parámetros Operacionales

En este documento se toma como referencia el trabajo elaborado por (García, 2013), en este se menciona que en cada una de las etapas del proceso se encuentran variables o factores que pueden ser manipulados y que en base al control de estos, el producto final presentará diversas características, ya sea para mejorar o dañar el producto final. Como resultado de las distintas pruebas de elaboración de la crema (prueba y error) donde se variaban las concentraciones de los reactivos, así mismo como los valores de temperatura y la velocidad y tiempo de mezclado, se llegó a finiquitar un rango de estos parámetros para el funcionamiento óptimo del proceso, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Parámetros Operacionales (Temperatura)		
Etapa de proceso	Temperatura mínima °C	Temperatura máxima °C
Fundición de la Fase Oleosa	62	68
Calentamiento de la Fase Acuosa	62	68
Enfriamiento	38	42

Tabla 16 Parámetros Operacionales (Temperatura)

Los rangos óptimos en que se puede manipular la temperatura en las etapas de fundición y dosificación son entre 62°C – 68°C y 38°C – 42°C, respectivamente. En cuanto a la temperatura en las etapas de fundición de las dos fases, el trabajar con temperaturas inferiores a 62°C ralentiza el proceso y no asegura un fundimiento parejo de los constituyentes en cada fase. Sin embargo, trabajar con temperaturas superiores a los 68°C tiene como consecuencia un posible sobrecalentamiento de alguno de los ingredientes a fundir y, por ende, a perder parte de sus propiedades. Trabajar con temperaturas fuera del rango establecido en la etapa de dosificado, repercute en la facilidad de llenado y adhesión de la crema en el dosificador.

Parámetros Operacionales (Velocidad y Tiempo de Mezclado)		
Etapa de Proceso	Tiempo de Mezclado	Velocidad de Mezclado
Mezclado	20 minutos	150 rpm

Tabla 17 Parámetros Operacionales (Velocidad y tiempo de mezclado)

En cuanto a la velocidad y tiempo de mezclado, se determinó que esta operación no debe realizarse más de 20 minutos a 150 rpm; las razones radican en que disminuir el tiempo de mezclado a esa velocidad no conlleva a formar la mezcla adecuadamente y la consistencia será grumosa, en cambio, si la velocidad o el tiempo se incrementan, se producirá un sobremezclado, y se formará una mezcla homogénea, pero de consistencia muy dura, poco manejable y pegajosa.

6.3.2. Variables de Diseño

Para diseñar el proceso a una escala piloto es imprescindible dimensionar el tamaño de los equipos. En el trabajo anterior realizado por (García, 2013), en el cual se optimizaron las cantidades de reactivos y de materia prima, se encontró una formulación que asegura una crema cosmética a base de Aloe vera de muy buena calidad. El corazón del proceso de elaboración de la crema cosmética consta de las etapas de fundición de la fase acuosa y la oleosa y del posterior mezclado de ellas, cabe señalar que la fundición de ambas fases se realiza en paralelo y es una producción continua, hasta llegar al mezclado donde se pretende obtener una mezcla homogénea, como se muestra en la siguiente figura.

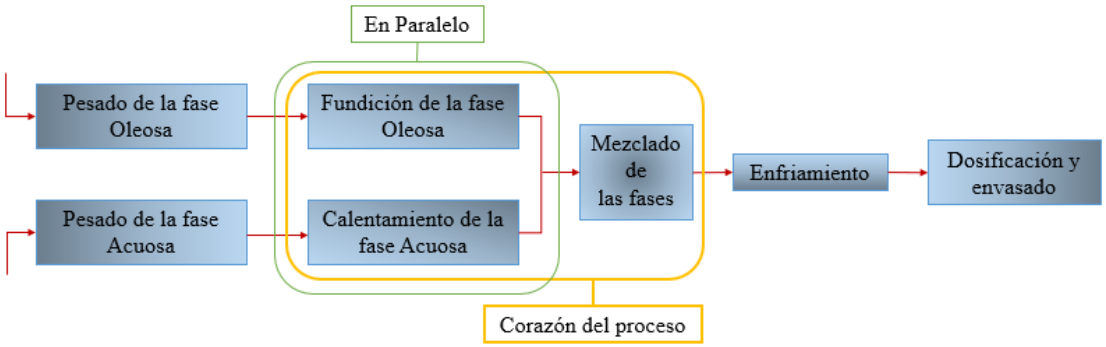


Figura 16 Corazón del Proceso

El dimensionamiento de los equipos se determina escalando los materiales utilizados en el laboratorio y tomando en cuenta la variable de diseño para este proceso el cual es el volumen y se debe dejar cierto espacio para evitar que se derrame producto y facilitar la agitación, de esta manera se conoce con exactitud los requerimientos de cada equipo específicamente para este proceso; no obstante, para la realización de esto se hace uso de los Balances de Masa y Energía en cada etapa del proceso tomando en cuenta los flujos másicos y las etapas donde haya un intercambio de calor.

6.4 Ubicación Geográfica de la Planta de Producción a Escala Piloto

Geográficamente, la ubicación de la planta piloto para la elaboración de la crema cosmética hidratante a base de Aloe Vera estará localizada en Liberia, Costa Rica. El terreno tiene un área de 1, 335 m^2 aproximadamente (el área marcada en la figura 17). La ubicación del terreno para la construcción de la planta piloto es el adecuado tomando en cuenta la cercanía de la plantación de sábila de la empresa Naturaloe, e incluso el tamaño del terreno permite la preparación del suelo para realizar una plantación propia de sábila, debido a que el clima de Liberia facilita el crecimiento de esta. Para tener una idea más exacta y concreta de la localización geográfica se puede observar la siguiente imagen:

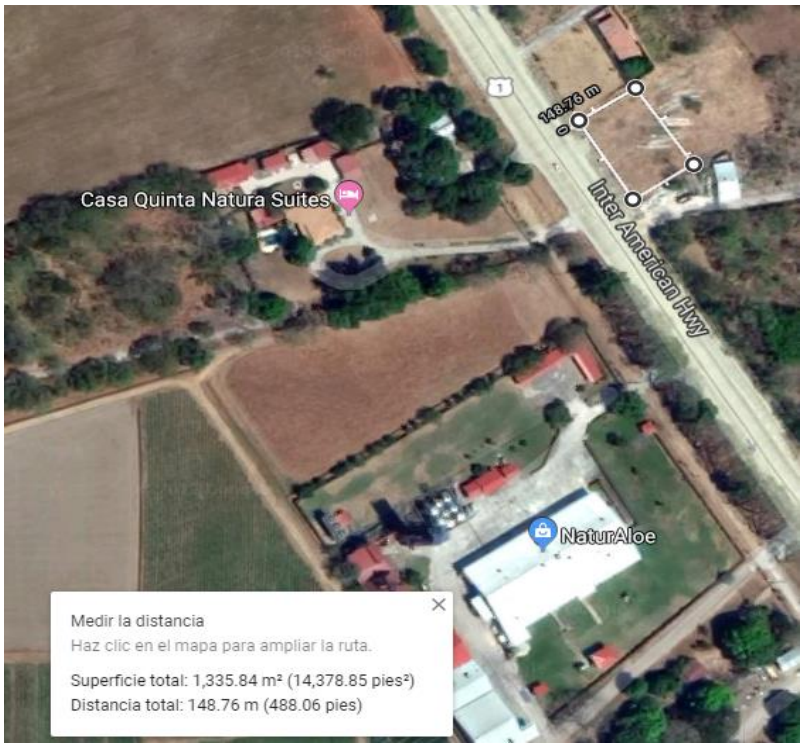


Figura 17 Mapa de la ubicación geográfica de la planta piloto

6.5 Determinación de los Costos para el Montaje de la Planta Piloto

La valoración económica determina aquellos costos que se requieren considerar para el montaje de la planta piloto. Esta evaluación proporciona información importante sobre los costos de inversión del proceso, ya que este estudio debe contemplar una relación entre la materia prima, los insumos a utilizar, los equipos del proceso, la infraestructura y todo lo relacionado a ello y por supuesto el producto. Este estudio brinda información respecto a:

- Costos de Materia prima.
- Costos de Equipos Mayores y menores.
- Costos de Materiales y Accesorios.
- Costos de Servicios Auxiliares.
- Costo Total Para el Montaje de la Planta Piloto.

La información con respecto al listado de los proveedores a consultar para la obtención tanto de la materia prima como de los materiales para la construcción de la planta piloto y los equipos necesarios para el proceso se muestra a continuación:

- Naturaloe.
- Distruidora de Caribe.
- SINSA.
- Mercados locales de San José, Costa Rica.

La determinación de todos los costos se realiza cotizando los precios de cada uno de los insumos para la elaboración de la crema, el precio de los equipos mayores y menores, el costo de los materiales y accesorios y posteriormente se adecua esto para el montaje de la planta piloto. También, se calcula el costo del requerimiento operativo energético y de agua para el todo el proceso.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para realizar un producto cosmético se deben de experimentar y probar distintas formulaciones, a partir de métodos establecidos por normas o por tanteo hasta llegar a una formulación idónea, en la cual se encuentren todas las características deseadas para el producto a elaborar, y por supuesto, realizando el proceso de la manera más sencilla y económica posible.

En el trabajo realizado por (García, 2013) se propuso la experimentación de 4 distintas formulaciones para una crema cosmética a base de Aloe, siendo estas (una vez elaboradas) expuestas a diversas pruebas para determinar sus propiedades organolépticas, fisicoquímicas y por supuesto, la estabilidad. De las 4 formulaciones planteadas, la más recomendable fue la cuarta, debido a que presenta propiedades fisicoquímicas y organolépticas, similares a las cremas cosméticas comerciales en base a Aloe, y una mayor estabilidad; su bajo costo y la baja peligrosidad en su proceso fueron también puntos importantes a tomar en cuenta.

Por tal motivo, se decidió realizar la planta piloto utilizando la formulación y el método planteado por (García, 2013), tomando como base su estudio realizado a nivel de laboratorio, donde se detalla los porcentajes de materia prima e insumos utilizados en el proceso, a la vez recomendó un posterior estudio para el escalamiento del proceso. Los porcentajes de la formulación idónea fueron: 9.2% de cera de abeja, 27.5% vaselina, 9.2% lanolina, 18.3% aceite de almendras, 22.9% de agua destilada, 0.9% bórax, 9.2% gel de aloe y 2.8% ácido esteárico.

7.1. Elaboración de Crema Cosmética Hidratante a Base de Aloe vera a Escala de Laboratorio (parte experimental)

Con el propósito de corroborar el procedimiento de elaboración que se tomó como base para el diseño de la planta piloto, se efectuó el proceso a nivel experimental en el laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Universidad de Costa Rica (UCR), siguiendo los pasos descritos en el acápite 6.2.2 (*Proceso de Elaboración de la Crema Cosmética a Escala de Laboratorio*) del presente trabajo.

Los resultados obtenidos mostraron estar de acuerdo con los reportados por (García, 2013). En las figuras 18, 19, 20 y 21 se puede observar la descripción gráfica del proceso experimental.

Figura 18 Corte de la hoja de Aloe y Pesado de la Fase Oleosa y Acuosa, respectivamente

Figura 19 Fundido de la Fase Oleosa y Acuosa, respectivamente

Figura 19 Adición de la Fase Acuosa a la Oleosa, Mezclado y Enfriamiento de la crema

Figura 20 Envasado y presentación de la crema cosmética hidratante a base de Aloe Vera

7.2. Diseño y Propuesta Técnica de Planta Piloto

Para la propuesta técnica se tomó como punto de partida el procesamiento mensual de 500 Kg de materia prima. De acuerdo con (García, 2013), los insumos y las condiciones óptimas para el proceso son los que se muestran en el acápite 5.3 (*Proceso de elaboración de la crema hidratante a base de Aloe Vera*) del presente trabajo y que han sido confirmados de acuerdo a los resultados mostrados anteriormente en el apartado 7.1 de este trabajo. Posteriormente, con la confirmación de los datos experimentales, se realizaron los cálculos necesarios para determinar y dimensionar el proceso. Los cálculos se muestran más detalladamente a continuación:

7.2.1. Balances de Masa en el Proceso de Elaboración de la Crema Cosmética

Balance de Masa para la Etapa Preliminar (Extracción del Parénquima): en la figura 21, se aprecia el balance de masa que se da en el momento que se preparan las hojas de Aloe vera, es decir, donde se extrae el parénquima, materia prima base para la crema.

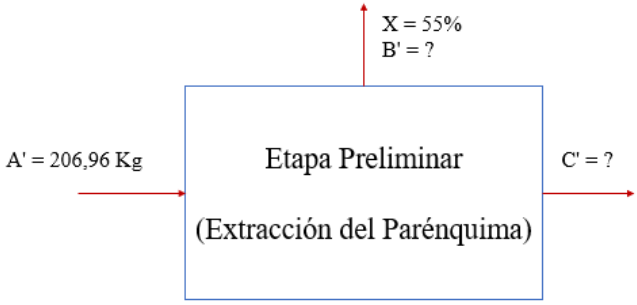


Figura 21 Balance de Materia en la Etapa Preliminar

Donde:

A' = Masa total de las hojas de Aloe Vera
B' = Masa por pérdidas por cortado de las hojas de Aloe Vera
C' = Masa de parénquima extraído
X = Porcentaje de pérdidas por cortado de las hojas de Aloe Vera

$$B = A(X_1) \quad \therefore \quad B = 165\ Kg(0.02) = \mathbf{3.3\ Kg}$$

$$C = A - B \quad \therefore \quad B = 165\ Kg - 3.3\ Kg = \mathbf{161.7\ Kg}$$

Balance de Masa para el Proceso de Fundición la Fase Oleosa (Tanque 1): en la figura 22, se aprecia el balance de masa que se da en el tanque 1, donde se observa un 2% de pérdidas en peso, por pérdida de agua en la fundición.

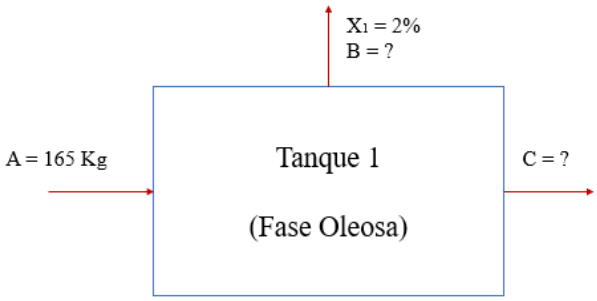


Figura 22 Balance de Materia en el Tanque 1

Donde:

A = Masa de la mezcla oleosa.
B = Masa por pérdidas por fundición.
C = Mezcla fundida (fase oleosa).
X_1 = Pérdidas por fundición

$$B = A(X_1) \quad \therefore \quad B = 165\ Kg(0.02) = \mathbf{3.3\ Kg}$$

$$C = A - B \quad \therefore \quad B = 165\ Kg - 3.3\ Kg = \mathbf{161.7\ Kg}$$

Balance de Masa para el Proceso de Fundición la Fase Acuosa (Tanque 2): en la figura 23, se aprecia el balance de masa que se da en el tanque 2, donde se observa un 4% de pérdidas en peso, por pérdida de agua en la fundición.

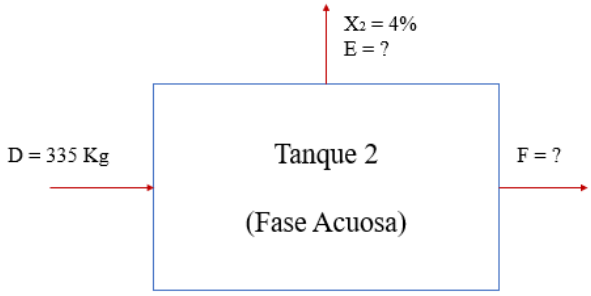


Figura 23 Balance de Materia en el Tanque 2

Donde:

D = Masa de la mezcla acuosa.
E = Masa por pérdidas por fundición.
F = Mezcla fundida (fase acuosa).
X_2 = Pérdidas por fundición

$$E = D(X_2) \quad \therefore \quad E = 335\ Kg\ (0.04) = \mathbf{13.4\ Kg}$$

$$F = D - E \quad \therefore \quad F = 335\ Kg - 13.4\ Kg = \mathbf{321.6\ Kg}$$

Balance de Masas para el Proceso de Mezcla de Ambas Fases (Tanque 3): para realizar el balance de la mezcla primero se suman los dos productos que llegan del tanque 1 y 2, de tal modo que:

$$G = C + F \quad \therefore \quad G = 161.7\ Kg + 321.6\ Kg = \mathbf{483.3\ Kg}$$

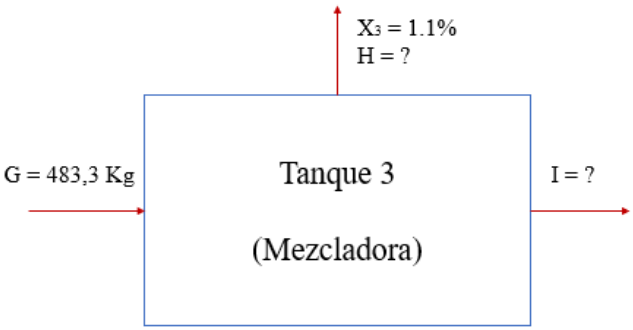


Figura 24 Balance de Materia en el Tanque 3

Donde:

G = Masa de la mezcla de ambas fases.
H = Masa por pérdidas por fundición.
I = Mezcla para envasar.
X_3 = Pérdidas por evaporación de agua.

Luego, el balance de masa calculado en el tanque 3 (mezcladora) es el cual contiene los componentes de ambas fases, donde se produce 1,1% de pérdidas por evaporación, porque se pierde agua en la fundición.

$$H = G(X_3) \quad \therefore \quad H = 483.3\ Kg\ (0.011) = \mathbf{5.41\ Kg}$$

$$I = G - H \quad \therefore \quad I = 483.3\ Kg - 5.41\ Kg = \mathbf{477.89\ Kg}$$

7.2.2. Balances de Energía en el Proceso de Elaboración de la Crema Cosmética Hidratante

Se determina el consumo de energía de las resistencias del tanque 1 y 2. Se va a tomar en cuenta el calor generado, sin considerar las pérdidas.

Balance de energía para el proceso de fundición la fase oleosa (Tanque 1): tomando en cuenta que la mayor cantidad en la composición de la mezcla es la vaselina se utiliza su Cp, ya que no se dispone del valor del Cp para los otros componentes; siendo la temperatura de entrada 25°C, se espera que la mezcla alcance una temperatura de salida de 65°C.

Datos teóricos	Datos experimentales
Cp Vaselina = 739. 86 J/Kg.K	Masa de la fase oleosa = 165 Kg
	T_2= 65 °C + 273 = 338 K
	T_1= 25 °C + 273 = 298 K

$$Q_1 = mCp(T_2 - T_1) \qquad \therefore \qquad Q = (165\ Kg)(739.86\frac{J}{Kg}.K)(338\ K - 298\ K)$$

$$Q_1 = 4\ 883\ 076\ J = \mathbf{4\ 883.07\ KJ}$$

Balance de Energía para el Proceso de Fundición la Fase Acuosa (Tanque 2): tomando en cuenta que la mayor cantidad en la composición de la mezcla es agua se utiliza su Cp, ya que no se dispone del valor del Cp para los otros componentes

Datos teóricos	Datos experimentales
Cp Agua = 4.180 J/Kg.K	Masa de la fase acuosa = 335 Kg
	T_2= 65 °C + 273 = 338 K
	T_1= 25 °C + 273 = 298 K

$$Q_2 = mCp(T_2 - T_1) \qquad \therefore \qquad Q = (335\ Kg)(4.180\frac{J}{Kg}.K)(338\ K - 298\ K)$$

$$Q_2 = 56\ 012\ J = \mathbf{56.01\ KJ}$$

7.3. Escalamiento de los Equipos Mayores a Utilizar en la Planta Piloto

Considerando que el proceso de elaboración de la crema cosmética hidratante a partir de Aloe vera se basa en tres etapas fundamentales, a nivel de sistema se puede concluir que la planta piloto consta de 3 equipos mayores, los tanques utilizados en el corazón del proceso. La capacidad de cada tanque reactor se determinó escalando los materiales utilizados en el laboratorio.

Cuando la crema se obtuvo a nivel de laboratorio, los materiales y equipos utilizados fueron a pequeña escala y estos incluyen todos los que se detallaron en los apartados 6.1 y 6.3 de este trabajo. Sin embargo, ahora se presentan las especificaciones de los equipos que se utilizarán en la planta piloto:

7.3.1. Tanque para el Proceso de Fundición la Fase Oleosa (Tanque 1)

En este apartado, se calcularán el volumen, altura, flujo volumétrico, velocidad, área y flujo másico del tanque 1, con el fin de dimensionar el equipo para la posterior selección asegurando una mayor precisión en la elección. En concordancia con lo asumido para el cálculo del calor generado, para los cálculos se tomará en cuenta una media de las densidades del de la vaselina, del aceite de almendras y el ácido esteárico.

Datos teóricos
ρ Vaselina = 1 273 Kg/m^3
ρ Aceite de almendras = 920 Kg/m^3
ρ Ácido esteárico = 941 Kg/m^3
ρ Mezcla Oleosa = 1044.66 Kg/m^3

Para calcular Volumen del tanque:

$$Volumen\ 1 = \frac{masa\ 1}{densidad\ 1} \qquad \therefore \qquad = \frac{165\ Kg}{1\ 044.66\ Kg/m^3} = 0.158\ m^3$$

Para calcular Altura del tanque (considerando el diámetro de 0.35 m por la disposición del espacio):

$$Altura\ 1 = \frac{4 * Volumen\ 1}{\pi * {D_1}^2} \qquad \therefore \qquad = \frac{4\ (0.158\ m^3)}{\pi(0.35\ m)^2} = 1.642\ m$$

Para calcular la Presión de Salida del tanque 1:

$$Presión\ hirostática = \text{Densidad } 1 * \text{Gravedad} * \text{Altura } 1$$

$$Presión\ hirostática = 1\,044.66\ \frac{Kg}{m^3} * 9.8\ \frac{m}{s^2} * 1.642\ m = 16\,806.72\ Pa$$

Para determinar el flujo volumétrico 1 se debe calcular previamente el valor de la velocidad de salida y el área del tanque 1, no obstante, para calcular la velocidad de salida se hace uso de la ecuación de Bernoulli, de tal manera que:

$$Velocidad\ 1^2 = \frac{Presión\ de\ salida\ 1}{Densidad\ 1} \qquad \therefore \qquad = \sqrt{\frac{Presión\ de\ salida\ 1}{Densidad\ 1}}$$

$$Velocidad\ 1 = \sqrt{\frac{16\,806.72 Pa}{1\,044.66\ \frac{Kg}{m^3}}} = 4.011\ m/s$$

Ahora, para determinar el Área 1:

$$Área\ 1 = \frac{\pi * {D_1}^2}{4} \qquad \therefore \qquad = \frac{\pi * (0.35\ m)^2}{4} = 0.096\ m^2$$

Finalmente, el cálculo para determinar el valor del Flujo Volumétrico 1 es:

$$Flujo\ Volumétrico\ 1 = Área\ 1 * Velocidad\ 1$$

$$Flujo\ Volumétrico\ 1 = 0.096\ m^2\ \left(4.011 \frac{m}{s}\right) = 0.39\ {m^3}/{s}$$

7.3.2. Tanque para el Proceso de Fundición la Fase Acuosa (Tanque 2)

En este apartado, se calcularán el volumen, altura, flujo volumétrico, velocidad, área y flujo másico del tanque 2, con el fin de dimensionar el equipo para la posterior selección asegurando una mayor precisión en la elección.

En concordancia con lo asumido para el cálculo del calor generado, se tomará en cuenta la densidad del agua y del gel de sábila (parénquima) como referencia de una densidad media, utilizada para las siguientes ecuaciones. Se desprecia la densidad del Bórax por ser grandemente inferior a la de los otros dos compuestos.

Datos teóricos
ρ Agua = 1 000 Kg/m^3
ρ Parénquima = 1 014 Kg/m^3
ρ Bórax = 0.0017 Kg/m^3
ρ Mezcla Acuosa = 1007 Kg/m^3

Para calcular Volumen del tanque:

$$Volumen\ 2 = \frac{masa\ 2}{densidad\ 2} \qquad \therefore \qquad = \frac{335\ Kg}{1\ 007\ Kg/m^3} = 0.33\ m^3$$

Para calcular Altura del tanque (considerando el diámetro de 0.6 m por la disposición del espacio):

$$Altura\ 2 = \frac{4 * Volumen\ 2}{\pi * {D_2}^2} \qquad \therefore \qquad = \frac{4\ (0.33\ m^3)}{\pi(0.6\ m)^2} = 1.18\ m$$

Para calcular la Presión de Salida del tanque 2:

$$Presión\ hirostática\ 2 = \text{Densidad } 2 * \text{Gravedad} * \text{Altura } 2$$

$$Presión\ hirostática\ 2 = 1\ 007\ \frac{Kg}{m^3} * 9.8\ \frac{m}{s^2} * 1.18\ m = 11\ 611.21\ Pa$$

Para determinar el flujo volumétrico 2 se debe calcular previamente el valor de la velocidad de salida y el área del tanque, no obstante, para calcular la velocidad de salida se hace uso de la ecuación de Bernoulli, de tal manera que:

$$Velocidad\ 2^2 = \frac{Presión\ de\ salida\ 2}{Densidad\ 2} \qquad \therefore \qquad = \sqrt{\frac{Presión\ de\ salida\ 2}{Densidad\ 2}}$$

$$Velocidad\ 2 = \sqrt{\frac{11\ 611.21\ Pa}{1\ 007\ \frac{Kg}{m^3}}} = 3.396\ m/s$$

Ahora, para determinar el Área 2:

$$Área\ 2 = \frac{\pi * {D_2}^2}{4} \qquad \therefore \qquad = \frac{\pi * (0.6\ m)^2}{4} = 0.283\ m^2$$

Finalmente, el cálculo para determinar el valor del Flujo Volumétrico 2 es:

$$Flujo\ Volumétrico\ 2 = Área\ 2 * Velocidad\ 2$$

$$Flujo\ Volumétrico\ 2 = 0.283\ m^2\ \left(3.396 \frac{m}{s}\right) = 0.960\ {m^3}/{s}$$

7.3.3. Tanque para el proceso de Mezclado (Tanque 3)

En este apartado, se calcularán el volumen, altura, flujo volumétrico, velocidad, área y flujo másico del tanque 3, con el fin de dimensionar el equipo para la posterior selección asegurando una mayor precisión en la elección. En concordancia con lo asumido para el cálculo del calor generado, para los cálculos se tomará en cuenta una media de las densidades antes calculadas de la fase oleosa y la fase acuosa.

Datos teóricos
ρ Fase Oleosa = 1 044.66Kg/m^3
ρ Fase Acuosa = 1 007 Kg/m^3
ρ Mezcla = 1 025.83 Kg/m^3

Para calcular Volumen del tanque:

$$Volumen\ 3 = \frac{masa\ 3}{densidad\ 3} \qquad \therefore \qquad = \frac{483.3\ Kg}{1\ 025.83\ Kg/m^3} = 0.471\ m^3$$

Para calcular Altura del tanque (considerando el diámetro de 0.5 m por la disposición del espacio):

$$Altura\ 3 = \frac{4 * Volumen\ 3}{\pi * {D_3}^2} \qquad \therefore \qquad = \frac{4\ (0.471\ m^3)}{\pi (0.5\ m)^2} = 2.40\ m$$

Para calcular la Presión de Salida del tanque 3:

$$Presión\ hirostática\ 3 = \text{Densidad } 3 * \text{Gravedad} * \text{Altura } 3$$

$$Presión\ hirostática\ 3 = 1\ 025.83\ \frac{Kg}{m^3} * 9.8\ \frac{m}{s^2} * 2.4\ m = 24\ 121.9\ Pa$$

Para determinar el flujo volumétrico 3 se debe calcular previamente el valor de la velocidad de salida y el área del tanque, no obstante, para calcular la velocidad de salida se hace uso de la ecuación de Bernoulli, de tal manera que:

$$Velocidad\ 3^2 = \frac{Presión\ de\ salida\ 3}{Densidad\ 3} \qquad \therefore \qquad = \sqrt{\frac{Presión\ de\ salida\ 3}{Densidad\ 3}}$$

$$Velocidad\ 3 = \sqrt{\frac{24\ 121.9\ Pa}{1\ 025.83\ \frac{Kg}{m^3}}} = 4.849\ m/s$$

Ahora, para determinar el Área 3:

$$Área\ 3 = \frac{\pi * {D_3}^2}{4} \qquad \therefore \qquad = \frac{\pi * (0.5\ m)^2}{4} = 0.196\ m^2$$

Finalmente, el cálculo para determinar el valor del Flujo Volumétrico 3 es:

$$Flujo\ Volumétrico\ 3 = Área\ 3 * Velocidad\ 3$$

$$Flujo\ Volumétrico\ 3 = 0.196\ m^2\ \left(4.849 \frac{m}{s}\right) = 0.952\ {m^3}/{s}$$

Cabe mencionar que las especificaciones con respecto al dimensionamiento de los equipos que se presentan en la tabla 18 cuentan con un 10% extra aproximado de la totalidad del volumen calculado, esto debido a que se recomienda por motivos de seguridad y de proceso que los equipos presenten un espacio adicional con el cual se asegure un correcto funcionamiento del mismo, para evitar que se derramen los reactivos y facilitar la agitación de los mismos.

Valores	Tanque 1 (Oleosa)	Tanque 2 (Acuosa)	Tanque 3 (Mezclado)
Densidad (Kg/m^3)	1 044,66	1 007	1 025,83
Volumen (m^3)	0,17	0,366	0,518
Altura (m)	0,88	1,864	2,639
Presión Salida (Pa)	8235,29	16 720,14	24 121,925
Velocidad Salida (m/s)	2,81	4,07	4,85
Área (m$^{2)}$	0,22	0,216	0,216
Flujo volumétrico (m^3/s)	0,55	0,8	0,95

Tabla 18 Especificaciones técnicas de los equipos mayores del proceso

7.3.4. Escalamiento de los Equipos Mayores a Utilizar en la Planta Piloto

Considerando que el proceso de elaboración de la crema cosmética hidratante a partir de Aloe vera se basa en tres etapas fundamentales, a nivel de sistema se puede concluir que la planta piloto consta de tres equipos mayores, los tanques utilizados en el corazón del proceso. La capacidad de cada tanque se determinó considerando los datos en el laboratorio.

Cuando la crema se obtuvo a nivel de laboratorio, los materiales y equipos utilizados fueron a pequeña escala y estos incluyen todos los que se detallaron en los apartados 6.1 y 6.3 de este trabajo. Sin embargo, ahora se presentan las especificaciones de los equipos que se utilizarán en la planta piloto; cabe mencionar que las especificaciones con respecto al dimensionamiento de los equipos que se presentan en la siguiente tabla cuentan con un 10% extra aproximado de la totalidad del volumen calculado, esto debido a que se recomienda por motivos de seguridad y de proceso que los equipos presenten un espacio adicional con el cual

se asegure un correcto funcionamiento del mismo, para evitar que se derramen los materiales que intervienen en cada fase y facilitar la agitación de los mismos.

7.3.4.1. Tanque 1 para la Fundición de la Fase Oleosa

En el primer tanque se adicionan y funden todas las sustancias oleosas. En este tanque se empieza el proceso de elaboración de la crema; el tanque debe proveer de un agitador de paleta de acero inoxidable, un sistema de calefacción, central de velocidad y temperatura.

El equipo para llevar a cabo el proceso debe tener una altura de 1.48 m, siendo este 10% de más considerando el suficiente espacio para permitir la agitación de la mezcla sin que haya un rebalse. De acuerdo al proceso y los reactivos que se utilizan, el tanque se construirá de acero inoxidable; el tanque deberá estar montado sobre una base extra para proveer resistencia y estabilidad al equipo cuando este esté en funcionamiento.

7.3.4.2. Tanque 2 para la fundición de la fase Acuosa

El segundo tanque de gran importancia para el proceso es utilizado para fundir y por ende mezclar la fase acuosa, acá se adicionan el agua destilada, la sábila y el bórax, este tanque debe de construirse asegurando una altura de 1.303 m. Al igual que el tanque anterior, este debe proveer un sistema de calefacción, central de velocidad y temperatura, así mismo deberá estar montado sobre una plancha para brindar estabilidad en el proceso.

7.3.4.3. Tanque 3 para el mezclado de la fase Oleosa y la fase Acuosa

Finalmente, el tercer tanque con gran importancia para el proceso es el que es utilizado para mezclar ambas fases, obteniendo una mezcla homogénea la cual deberá enfriarse antes de su envasado. Consiste en una mezcladora con sistema de calefacción, central de velocidad, agitación y temperatura.

En la figura 22 *Esquema general del tanque*, se presenta el esquema modelo de un tanque de agitación que cuenta con los requerimientos técnicos necesarios para los tres tanques usados en el proceso, es decir: motor, agitador, una chaqueta para regular la temperatura de la mezcla y por supuesto, deflectores para aumentar la eficiencia del mezclado, pues se trabajará con líquidos con una densidad relativamente baja.

El agitador de los tanques será de paleta de acero inoxidable.

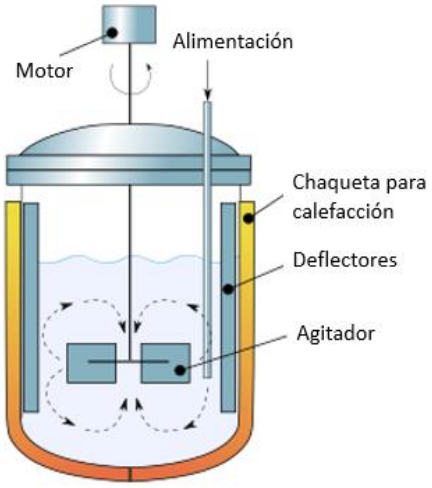


Figura 25 Esquema general del tanque

La elección del material utilizado en la elaboración de los dos tanques y el mezclador se debe a que las cremas son un producto de uso tópico, por lo tanto, se requiere utilizar un material que asegure la inocuidad de la materia a lo largo de todo el proceso. Para esto, se toma como referencia la norma internacional *api 650*, ya que esta es la que fija específicamente la construcción de tanques soldados para el almacenamiento de petróleo, debido a que el estándar petrolero es uno de los más exigente en cuanto a seguridad. La presión interna a la que pueden llegar a estar sometidos estos tanques es de 2,5 psig, y una temperatura máxima de 90 °C.

Una vez que se realizaron las especificaciones en cuanto a volumen, requerimientos técnicos y el material con el que están hechos los equipos antes mencionados, se llegó a la elección del equipo "Mezclador emulsionante al vacío FME" de la compañía china *Guangzhou Fuluke Cosmetics Equipment Co.*

Esta compañía tiene mucho renombre en la elaboración de maquinaria de fabricación y envasado de cosméticos con equipos de prueba bien equipados y una gran fuerza técnica, de alta calidad y con la tecnología más actual.

El set mezclador se compone de dos tanques de premezcla y un mezclador de vacío, bomba de vacío, sistema hidráulico, sistema de descarga, etc. El set cuenta con un sistema de control de frecuencia y un tablero táctil de operaciones que ayuda a regular la temperatura interna de los tanques y controla la velocidad de mezclado.

La máquina está elaborada de acero inoxidable en su totalidad, diseñada para adoptar tecnología avanzada de producción de cosméticos y ungüentos.

Figura 26 Mezclador emulsionante al vacío FME de la empresa Guangzhou Fuluke

La funcionalidad de la máquina incluye desde el mezclado, la homogeneización, calefacción, emulsionante, hasta el proceso de envasado, siendo todas las etapas conectadas por mangueras hidráulicas de alta eficiencia.

Este equipo es ideal para el proceso de elaboración de la crema cosmética hidratante a base de Aloe Vera, pues cuenta con la cantidad de tanques necesarios, dos tanques uno para el calentamiento de la fase líquida y el otro para fundición de la fase oleosa y un tercer tanque de mayor tamaño para la mezcla de ambas fases. Cabe destacar que esta compañía elabora los equipos de acuerdo al interés del comprador, es decir, el set se construye con las especificaciones de tamaño que el comprador desee, lo cual facilita de gran manera la elección de los equipos mayores.

Por ende, este es un set que se ajusta a las necesidades técnicas antes mostradas en la tabla 18. De igual manera la ficha técnica del equipo se puede observar en el acápite 11.2 de Anexos (Fichas técnicas de los equipos usados en el proceso).

7.3.5. Escalamiento de los Equipos Menores a Utilizar en la Planta Piloto

Para el correcto funcionamiento de todo el proceso tecnológico desde la recepción de materia prima hasta la elaboración de la crema cosmética hidratante, se hace necesaria la utilización de otros equipos menores, como el uso de una balanza para pesar las cantidades de materia prima que ingresen a la planta y las cantidades que se ocupen en el proceso. De tal manera se utilizará una Báscula suelo *Gram Xbengal* de capacidad de 500 kg y dos mesas de acero inoxidable de 1.95*0.8 m como equipos auxiliares en el proceso; además para la interconexión de todo el sistema se deben considerar el empleo de cables eléctricos, paneles, breakers, y otros materiales tales como tubos de PVC, codos, válvulas, bridas, etc. De igual modo, las especificaciones de estos equipos se encuentran en el apartado de anexos.

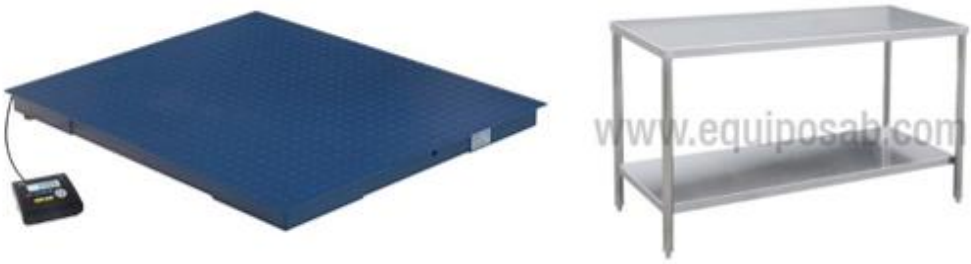


Figura 27 Báscula suelo Gram Xbengal y Mesa de Trabajo de acero inoxidable

7.4. Proceso Tecnológico para el Escalamiento de la Planta

A continuación, se describe todo el proceso tecnológico de elaboración de la crema hidratante a base de Aloe vera, a nivel de planta piloto. Lo cual incluye desde la recepción de la materia prima hasta la obtención del producto final. Las tablas 19 y 20 muestran las cantidades de materia prima necesaria para el proceso adecuado a planta piloto.

Materia prima Oleosa		
Materia prima	%	Kg
Lanolina	13,7	22,61
Cera de abejas	13,7	22,61
Vaselina	41,1	67,82
Ácido esteárico	4,1	6,77
Aceite almendras	27,4	45,21
Total	100	165,00

Tabla 19 Materia prima Oleosa

Materia prima Acuosa		
Materia prima	%	Kg
Sábila	27,8	93,13
Agua destilada	69,5	232,83
Bórax	2,7	9,05
Total	100	335,00

Tabla 20 Materia prima Acuosa

- Obtención y pesado de la materia prima, extracción del parénquima:

La materia prima es obtenida de diferentes lugares; las hojas de Sábila vendrán de la empresa *Naturaloe* y de algunos socios de cooperativas que se dedican al cultivo de la misma y los demás insumos vendrán por parte de la Distribuidora Del Caribe. Una vez que la materia prima llega a las instalaciones de la planta, están son pesadas en la Báscula suelo *Gram Xbengal*, luego son colocadas en el almacén para su posterior uso. Antes de empezar el proceso, se realiza la extracción del parénquima de las hojas de Aloe; en esta etapa del proceso se verificó que la cantidad que se extrae es equivalente a un 45% del total en peso de la hoja de Aloe vera, dicho dato no estaba documentado en el trabajo utilizado como base. El sobrante de esta operación, es llevado a una tolva donde se almacena para su posterior procesado y uso como abono natural.

- Fundición, Calentamiento y Mezclado de las fases Oleosas y Acuosas:

Una vez se da inicio a la elaboración de las cremas hidratantes, operarios pesan cuidadosamente las cantidades necesarias de cada insumo; luego, estos son llevados y adicionados al tanque correspondiente: en el tanque 1 se añaden los componentes de la fase Oleosa (Tabla 19) y en el tanque 2 se añaden los componentes de la fase Acuosa (Tabla 20); en estos tanques se eleva la temperatura hasta los 65° C para que las sustancias se fundan en una sola mezcla. Posteriormente, ambas fases son llevadas hasta el tanque de mezclado, el cual durará 20 minutos a 150 rpm para homogenizar ambas fases y obtener la mezcla.

- Enfriado, Dosificación y Envasado de la crema cosmética:

Luego de realizarse la mezcla, esta se deja enfriar hasta los 40° C, temperatura a la cual se facilita su envasado, y por medio de una bomba, esta es dosificada en los envases. Cada encase puede almacenar 300 g de la mezcla. Luego, se toman 3 muestras al azar para realizar los estudios y análisis de control de calidad adecuados para su posterior comercialización. Finalmente, las cremas ya envasadas son almacenadas en una bodega a temperatura ambiente y procurando que los rayos del sol no incidan mucho en ellas.

A continuación, se muestra un esquema de las etapas del proceso a escala piloto.

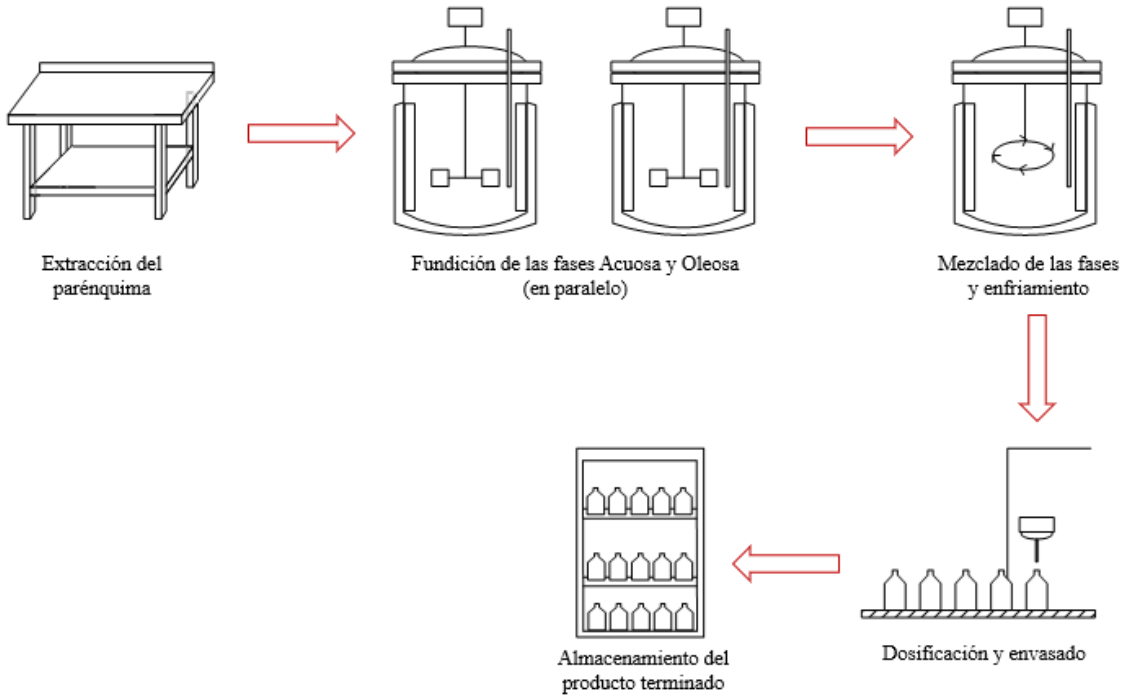


Figura 28 Esquema del Proceso Tecnológico

De acuerdo al proceso de escalamiento, el flujograma de proceso a escala piloto (con la adecuación de los equipos y las cantidades de los insumos) se muestra a continuación. Esto con el fin de tener una mejor noción del rendimiento del proceso en función al resultado de los cálculos de balances de materia y energía mostrados anteriormente.

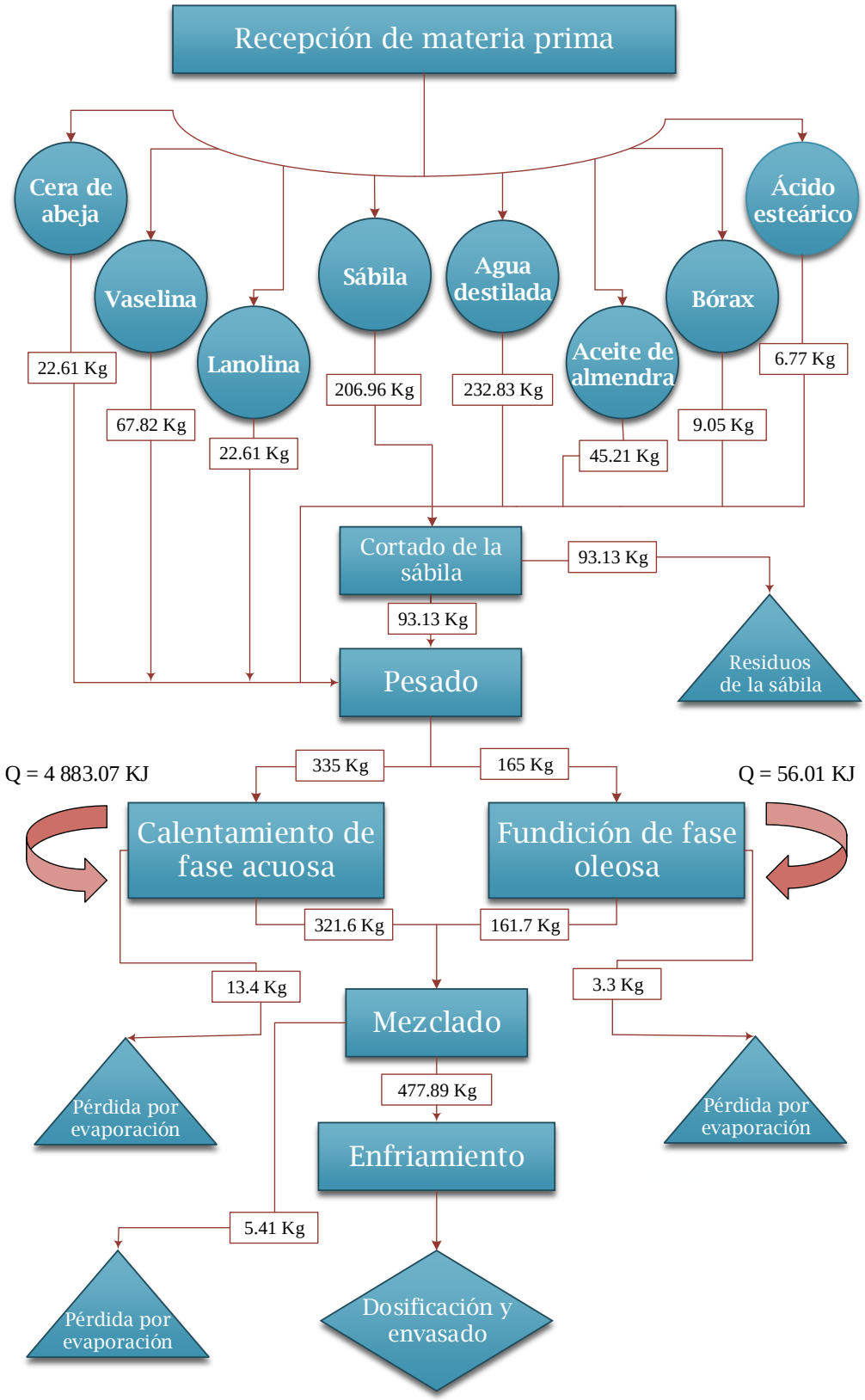


Figura 29 Flujograma de proceso a escala piloto

7.5. Análisis Económico de los Costos para la Planta Piloto

El análisis económico presente proporciona a detalle y brinda la información básica sobre los aspectos económicos del proceso operativo más relevantes, ya que debe mostrar una relación lógica entre el producto, la materia prima y los reactivos que se pueden utilizar.

La estimación de los costos se realizó a partir de los equipos seleccionados del proceso productivo. Los precios de adquisición de los equipos contienen precio CIF (Cost, Insurance, Freight), incluyen el costo, seguro y flete de la logística marítima.

7.5.1. Costos de Materia Prima

Además de determinar el costo de la instalación, equipos, materiales y accesorios para la planta piloto, se calculó el costo del consumo de materia prima requerida para el procesamiento de 500 Kg de materia prima. A continuación, en la Tabla 21, se muestra en detalle el costo de la cantidad de cada insumo para el proceso a escala piloto.

Materia prima Acuosa				
Materia prima	Kg	Costo/Kg (₡)	Costo total (₡)	Costo total ($)
Sábila	206,96	2200	455312	789,10
Agua destilada	232,83	1000	232825	403,51
Bórax	9,05	4200	37989	65,84
Total	335,00	-	726126	1258,45
Materia prima Oleosa				
Materia prima	Kg	Costo/Kg (₡)	Costo total (₡)	Costo total ($)
Lanolina	22,61	7000	158235	274,24
Cera de abejas	22,61	8000	180840	313,41
Vaselina	67,82	5000	339075	587,65
Ácido esteárico	6,77	1500	10147,5	17,59
Aceite almendras	45,21	3900	176319	305,58
Total	165,00	-	864616,5	1498,47

Tabla 21 Costos de materia prima

La cotización de los precios de casi la totalidad de los insumos se hizo visitando los locales de la empresa Distribuidora del Caribe y también la empresa Parafina de Costa Rica. En cuanto a las hojas de sábila, este precio se determinó visitando el mercado central de San José, donde se comercializa.

7.5.2. Costos de Equipos Mayores y Menores

A continuación, se describe el costo de los equipos mayores y menores; en este caso, haciendo énfasis en el set "Mezclador emulsionante al vacío FME" cuando se refiere a equipos mayores. En cuanto equipos menores, se muestran los precios de aquellos que forman parte del proceso, pero no están involucrados en el corazón del mismo.

Equipos Mayores y Menores				
Equipo	Cantidad	Precio Unitario ($)	Costo Total (₡)	Costo Total ($)
Set mezclador al vacío	1	7000	4039000	7000
Báscula Gram Xbengal	1	700	403900	700
Mesa para corte	2	360	415440	720
Estañón para desechos	2	43,35	50025,9	86,7
Montacarga	1	2640	1523280	2640
Total	-	-	6431645,9	11146,7

Tabla 22 Costos de equipos mayores y menores

Cabe mencionar que de acuerdo a la página web (Co, 2011), el precio del set Mezclador varía en función a los parámetros e indicaciones que el cliente desee. Los fabricantes estipulan como un mínimo de precio USD 5000, sin embargo, tomando en cuenta las especificaciones que el equipo requiere para el proceso, se tomó un precio de USD 7000.

7.5.3. Costo de Servicios Auxiliares (Agua y Energía Eléctrica)

Según el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), para el suministro de energía a servicios eléctricos servidos a media o baja tensión clasificados en el sector referente al ámbito industrial, la tarifa se fija en 124.98 colones por cada kW/h.

El instituto de Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), fija la estimación de valor por consumo al sector empresarial e industrias, un bloque de consumo que va desde los 101 m^3 a los 120 m^3 con un precio de 1.705 colones/m^3. Por lo tanto, en la siguiente tabla se muestran los costos referentes a la cantidad de energía eléctrica y agua necesaria para cada puesta en marcha de la planta piloto, siendo así, la utilización del set mezclador por 8 horas y la iluminación por 12 horas.

Servicios Auxiliares						
Energía Eléctrica	Costo Kw/h (₡)	Req. de energía (Kw/h)		Tiempo en uso (h)	Costo total (₡)	Costo total ($)
Set mezclador	124,48	7,5		8	7468,8	12,97
Iluminación	124,48	3,5		12	5228,16	9,08
Agua	Lavado de las hojas de Sábila		Limpieza	Costo m3 (₡)	Costo total (₡)	Costo total ($)
Consumo de agua (m3)	70		150	1,705	17902,5	31,08
Total					**30599,46**	**53,12**

Tabla 23 Costos de Servicios Auxiliares

7.5.4. Costos de Materiales y Accesorios

La siguiente tabla muestra en detalle los materiales y accesorios necesarios para realizar el montaje de la planta piloto, estos incluyen tubos de PVC, alambres eléctricos, válvulas etc., esto e incluso la mano de obra para la construcción de la planta.

Materiales y Accesorios				
Material	Cantidad	Precio Unitario (₡)	Costo Total (₡)	Costo Total ($)
Bolsa de Cemento	940	15000,00	14100000	24436,74
Arena (metro)	62	8000,00	496000	859,62
Piedrín (metro)	50	7500,00	375000	649,91
Hierro 3/8" (quintal)	141	21500,00	3031500	5253,90
Alambre de amarre (libra)	1355	6700,00	9078500	15733,97
Tubo de 1/4"	11	1960,00	21560	37,37
Codos de 1/4"	20	320,00	6400	11,09
Tee 1/4"	4	1400,00	5600	9,71
Válvulas 1/4"	13	3900,00	50700	87,87
Pegamento PVC (tarro)	3	5500,00	16500	28,60
Teflón 1/2"	10	2800,00	28000	48,53
Tubo de silicona	1	4600,00	4600	7,97
Centro de carga 4 espacios CHQ	1	15000	15000	26,00
Breaker 1*20 Amp	2	6000,00	12000	20,80
Alambre #12 rojo (metro)	80	300,00	24000	41,59
Alambre #12 blanco (metro)	80	300,00	24000	41,59
Tubo conduit 1/2"	11	800,00	8800	15,25
Unión conduit 1/2"	11	500,00	5500	9,53
Curva conduit 1/2"	20	500,00	10000	17,33
Conenctor conduit 1/2"	11	500,00	5500	9,53
Caja 4x4 Emp.	20	970,00	19400	33,62
Tapa caja 4x4	20	2000,00	40000	69,32
Mano de obra	-	800000,00	800000,00	1386,48
Total	**-**	**-**	**28178560**	**48836,33**

Tabla 24 Costos de Materiales y accesorios

El precio de los artículos mostrados en la tabla 23 son los proporcionados por SINSA y otras ferreterías ubicadas en el centro de San José. El valor del precio de la mano de obra se determinó consultándolo con albañiles, siendo 800,000 colones y 1366.1 dólares el valor más aproximado.

7.5.5. Costo Total para el Montaje de la Planta Piloto

En la Tabla 24 se muestra un resumen de los costos de los materiales y accesorios, sistema eléctrico, equipos mayores y menores, montaje de estructura, mano de obra, para el montaje de la planta de elaboración de crema cosmética hidratante a base de Aloe vera.

Costo total para el montaje de la Planta Piloto		
Descripción	Costo total (₡)	Costo total ($)
Materia Prima Acuosa	726126	1258,45
Materia Prima Oleosa	864616,5	1498,47
Equipos mayores y menores	6431645,9	11146,70
Materiales y accesorios	28178560	48836,33
Servicio Auxiliares	30599,46	53,12
Total	36 231 547,86	**62 901,99**
Total, más 20% extra		**75 482,39**

Tabla 25 Costo total para el montaje de la planta piloto

De acuerdo a la Tabla 24, se necesita invertir **USD 62 901.99** para el montaje de la planta a nivel piloto. Sin embargo, a estos costos se le puede agregar un 20% por imprevistos tales como: un alza de la materia prima, insumos e incluso una variación en la adquisición de los equipos mayores y menores, siendo así el valor de calculado de **USD 75 482.39**.

Cabe mencionar que la equivalencia de colón costarricense respecto al dólar estadounidense (monedas con las cuales se trabajó este documento) es de ₡576/$ de acuerdo a la tasa de cambio mostrada por el Banco Nacional de Costa Rica (BCN) del día miércoles, 23 de octubre del 2019.

Figura 30 Tasa de cambio de colón costarricense a dólar estadounidense

VIII. Conclusiones

Luego de la realización del presente trabajo, se concluye que los objetivos planteados inicialmente para el proyecto fueron alcanzados satisfactoriamente, obteniendo como resultado en cada análisis realizado la siguiente información:

En la elaboración de crema cosmética hidratante a base de Aloe vera a nivel de laboratorio, los resultados obtenidos fueron placenteros y están de acuerdo con los obtenidos por (García, 2013)

El escalamiento del proceso de elaboración de la crema cosmética a base de Aloe vera a nivel de planta piloto se realizó tomando la transformación de 500 Kg de materia prima y tomando en cuenta las perdidas teóricas en las fases, el 2% de pérdidas correspondiente a la fundición de la fase oleosa, el 4% de pérdidas en el calentamiento de la fase acuosa y un 4% de pérdidas en el mezclado obteniendo así una producción de 477.89 Kg de crema cosmética. El corazón del proceso consta de tres etapas: calentamiento de las fase acuosa y fundición de la fase oleosa (en paralelo) y el mezclado de ambas, por lo cual se decidió realizar el diseño de la planta piloto con tres tanques mezcladores enchaquetados.

En este caso, se verificó luego de la prueba experimental de laboratorio, que el proceso depende mucho de la temperatura, la velocidad y tiempo de mezclado, dichos parámetros operacionales corresponden a un rango de temperatura de 62 °C a 68° siendo lo ideal 65°C, mientas que el enfriamiento el rango de temperatura va desde 38°C hasta 42°C siendo conveniente enfriar la emulsión a 40°C para cremas cosméticas, la velocidad y el tiempo de mezclado son 120 rpm y 20 minutos, estos parámetros son considerados para la elaboración de una crema con estándares de calidad aceptables.

Debido a esto se hizo el diseño tomando en cuenta estos valores para el escalamiento del proceso a escala piloto. De esta manera, la calidad en cuanto a estabilidad y propiedades fisicoquímicas se mantiene dentro de lo esperado. Con esto se determinaron los balances de materia y energía necesarios para el dimensionamiento de los equipos a utilizar.

En el diseño de la planta piloto, se concluyó que se puede adquirir un Set Mezclador al vacío, en caso que los equipos a nivel individual sean más caros, por eso se recomiendan empresas como: "*Guangzhou Fuluke Cosmetics Equipment Co.*"; dicho set cuenta con 2 tanques que cuentan con una chaqueta calefactora cada uno y con un sistema de mezclado impulsado por una paleta, el set dispone de un tercer tanque especializado en el mezclado homogéneo, igualmente con calefacción. Cabe mencionar que el set está diseñado prioritariamente para procesos de la industria cosmética, también, la empresa diseña el set en función a los requerimientos técnicos y de proceso que el cliente. Del mismo modo, se escalaron las medidas de los equipos menores en el proceso adecuados al volumen de producción antes mencionado, destacando en que todos los equipos son elaborados de acero inoxidable, con el fin de asegurar la inocuidad de la materia a lo largo de todo el proceso

El análisis técnico-económico de la planta piloto se realizó de acuerdo a las cantidades necesarias de insumos para el procesamiento de 500 Kg de materia prima, equipos mayores y menores, materiales y accesorios necesarios para el montaje de la misma, encontrándose que se debe tener una inversión inicial de USD 62 901.99 para el montaje de la planta piloto; tomando en cuenta un 20% extra por imprevistos, el valor sería de USD 75 482.39

IX. Recomendaciones

Se recomienda la aplicación de métodos de evaluación financiera para analizar la factibilidad del proyecto y determinar de este modo, la factibilidad de la planta piloto en cuanto a factor económico se refiere.

Una vez recuperada la inversión, se recomienda rediseñar el espaciamiento de la planta y utilizar el área que quedó sin uso para construir un tipo de huerta, en donde se cultive el Aloe vera y así adquirir la materia prima base de forma directa sin proveedores, para disminuir los costos de producción.

Elaborar un estudio de mercadeo con el fin de analizar desde un punto de vista más óptimo y comercial, la Oferta-Demanda de la crema cosmética, de esta manera se podría realizar un plan de mercadeo y distribución de la crema para generar que la población del país conozca el producto y esto se refleje en un mayor volumen de ventas, observable en los ingresos económicos.

Aprovechar el uso del set mezclador para diversificar la producción, ya que el set dispone de la versatilidad técnica para ser usado en distintos tipos de procesos cosméticos.

Realizar un estudio sobre los posibles usos para los desechos y subproductos obtenidos en el proceso productivo y posteriormente, elaborar el plan de acción y utilizar este tipo de materia.

X. Bibliografía

ACOFARMA. (2009). *FICHAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA LANOLINA.*

Alegría Medina, G. G. (2007). *Recopilación de monografías de excipientes y vehículos utilizados en la fabricación de medicamentos y cosméticos en la cátedra de tecnología farmacéutica.* Farmacología y terapéutica.

Anaya-Durand, A., & Pedroza-Flores, H. (4 de Junio de 2008). *Escalamiento, el arte de la ingeniería química:Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina.* Recuperado el 4 de Abril de 2019, de redalyc.org: https://www.redalyc.org/html/482/48223105/index.html

Andaltec, F. (2007). *Interempresas.net*. Recuperado el 4 de Abril de 2019, de https://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Diseno-de-plantas-quimicas-a-escala-piloto-151937.html

Aquino, M. D. (1996). *Experimentación en Plantas Pilotos.* Instituto Cubano de Derivados de la Caña de Azúcar, Cuba.

Bernal, J. (8 de Marzo de 2015). *Proyecto de investigación de Química sobre la Sabila*. Recuperado el 7 de Abril de 2019, de Características Físicas de la Sabila: http://proyectodecimoqumica.blogspot.com/2015/03/caracteristicas-fisicas-de-la-sabila.html

Campa, J. A. (1994). CULTIVO ALTERNATIVO PARA LAS ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS. En *Sábila* (pág. 17). México: INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA.

Co, F. T. (2011). *Made-in-China*. Recuperado el 16 de Octubre de 2019, de Fuluke Chemical Machinery: https://es.made-in-china.com/co_fuluke/product_Fme-5-5000L-Skin-Care-Products-Vacuum-Emulsifier_hogrshggy.html

Conti, P. (2015). El poder curativo del Aloe Vera. En M. Caballero, *El poder curativo del Aloe Vera* (pág. 33). Buenos Aires: Pluma y papel.

Eucerín. (2005). *Formulaciones Galénicas.* España.

Gampel, R. (2002). Sábila GOLD Green House. *Natutal Life*.

García, M. S. (2013). *FORMULACIÓN DE UNA CREMA HIDRATANTE ELABORADA CON INGREDIENTES ORGÁNICOS A BASE DE SÁBILA.* Ecuador: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK.

Guanín, G. (2006). *Parámetros sobre la cera de abejas y el proceso para obtener láminas estampadas.* México: UNAM.

John Ricardo Hernández Castillo, J. D. (2015). *Estudio monográfico del uso y aplicación de productos naturales en la industria cosmética natural y ecológica.* Bogotá: Universidad de Ciencias aplicadasy ambientales.

Martínez, D. M. (2013). *EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE GEL DE ALOE, APLICADOS EN PRE- O POST-RECOLECCIÓN SOBRE LA CALIDAD DE FRUTOS DE HUESO Y UVA DE MESA.* España: UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE .

Max S. Peters, K. D. (1991). *Plant design and Economics for Chemial Engineers.* Colorado, Colorado: McGrow-Hill Book Co.

Mismuni. (2015). *Cremas hidratantes. Propiedades, usos y marcas*. Recuperado el 2019 de Marzo de 28, de https://www.mismumi.com/cremas-hidratantes-propiedades-usos-marcas/

NEGRETE, D. N. (2013). *FORMULACIÓN DE EMULSIONES ACEITE EN AGUA (O/W) PARA REDUCIR LA VISCOSIDAD DE CRUDOS PESADOS EMPLEANDO BIOTENSOACTIVOS COMO AGENTES EMULSIFICANTES.* México, D.F: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Ríos, M. D., & Agil, L. A. (Noviembre de 1996). *Experimentación en plantas piloto.* Recuperado el 4 de Abril de 2019, de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/286088301_Experimentacion_en_plantas_piloto

S., H. (1990). *Cosmetología de Harry S.* Argentina.

Salud, C. y. (19 de Mayo de 2017). *SIPSE.com.* Recuperado el 2019 de Abril de 4, de https://sipse.com/ciencia-y-salud/como-elegir-adecuadamente-una-crema-sabes-que-hacen-realmente-las-cremas-hidratantes-254365.html

Sandra A. Hernández, F. C. (2009). *Aceite de almendras dulces: extracción, caracterización y aplicación.* Argentina: Universidad Nacional del Sur.

XI. Anexos

11.1. Equipos para el Procedimiento de Elaboración de la Crema Cosmética a Escala de Laboratorio

Balanza Digital	
Marca	Pionner
Modelo	OHAUS
Elaborada	China
Unidades de medida	Gramos, onzas
Capacidad Máxima	210 gr

Tabla 26 Ficha técnica Balanza Digital Pionner

Termómetro	
Marca	B&C
Modelo	-
Elaborada	Alemania
Unidades de medida	° Centígrados, ° Fahrenheit
Rango de temperatura	0 – 250° C

Tabla 27 Ficha técnica Termómetro B&C

Mezcladora	
Marca	Velp Scientifica
Modelo	-
Elaborada	Europa
Tiempo máximo cronometrado	0 – 30 minutos
Revoluciones por minuto (RPM)	200
Potencia	12 V

Tabla 28 Ficha técnica Mezclador de paleta Velp Scientifica

Plancha calefactora	
Marca	Cimarec
Modelo	HP131530-33Q
Material de la placa superior	Cerámica
Tiempo máxima	540° C
Peso máximo de muestras	35 lb
Voltaje	220/240 V, 50/60Hz
Dimensiones (longitud x anchura x altura)	41 x 29 x 10 cm

Tabla 29 Ficha técnica Plancha calefactora Cimarec

11.2. Fichas Técnicas de los Equipos Usados en el Proceso

En este apartado se muestra a mayor detalle las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos seleccionados para el proceso de elaboración de la crema cosmética a base de Aloe Vera.

- Mezclador emulsionante al vacío FME:

El emulsionante al vacío está diseñado profesionalmente de acuerdo con el proceso de fabricación de productos cosméticos, etc., mediante la introducción de tecnología avanzada del extranjero. Las especificaciones del equipo se muestran en las dos tablas siguientes, una de ellas enfatizando la información general y otra la parte técnica.

No. De modelo	FME	Tipo de mezclador	Homogenizador
Trabajo	Mezclador de alta velocidad	Tipo de agitador	Espiral
Aplicación	Fluido viscoso, líquido	Certificación	CE
Área de aplicación	Agroquímicos	Tipo de diseño	Verticle
Mezcla forma tambor	Doble cono	Capacidades adicionales	Molienda
Tipo de funcionamiento	Ciclo de funcionamiento	Origen	Guangzhou China

Tabla 30 Información general del Mezclador Emulsionante al vacío FME

Modelo	Capacidad	Emulsionar		Agitador		Calefacción eléctrica
FM-500	Kg	Kw	R/min	Kw	R/min	KW
	500	7.5	0-3300	4	10-75	60

Tabla 31 Información técnica del Mezclador Emulsionante al vacío FME

- Bascula suelo Gram Xbengal de 1500 a 3000 Kg

Báscula con plataforma de suelo en acero pintada con pintura Epoxi, la pintura más resistente para trabajos intensivos. Pies regulables para mantenerla siempre horizontalmente al suelo, aunque éste tenga irregularidades. Tanto las células de carga como la caja suma están protegidas con IP-67.

Modelo	Capacidad	Unidades de pesada	Display	Alimentación	Batería
K3 XBengal 1210 - 1,5T	Kg	g, Kg, lb, onz	LCD retroiluminado	230 V / 50 Hz (Euro) 11 V AC	6V-5AH; Tiempo de servicio 25/60 horas según utilización
	500-1500				

Tabla 32 Información Técnica de la Báscula suelo Gram Xbengal

- Mesa de trabajo:

Mesa de trabajo con un estante inferior. Ensamblado en acero inoxidable, lámina #18, patas en tubo redondo de 1 1/2", terminables ajustables de acero inoxidable, totalmente soldada (no atornillada). Estructura rígida y sólida.

Ancho	Largo	Alto
1.8 m	0.7 m	0.9 m

Tabla 33 Dimensionamiento de la Mesa de Trabajo de Acero Inoxidable

- Estañón para desechos:

En la etapa de extracción del parénquima, los restos de las hojas de Aloe son agrupados y desechados en dos estañones de plástico con el fin de, posteriormente, utilizar estos residuos orgánicos como materia prima para elaborar abono orgánico.

Modelo	Capacidad	Diámetro	Altura
SKU: EP-001	55 gal - 208 L	0.55 m	0.9 m

Tabla 34 Información Técnica del Estañón para Desechos

11.3. Precios de Adquisición de Equipos para el Proceso Productivo

En este aparatado se muestran las imágenes del precio de los equipos seleccionaos para este trabajo. Cabe mencionar que el precio original de los artículos puede variar, pues los datos fueron visualizados en distintas páginas web como: Alibaba, Fuluke, Equiposab, Renvasa, etc.

Figura 31 Precio de la Báscula suelo Gram Xbengal

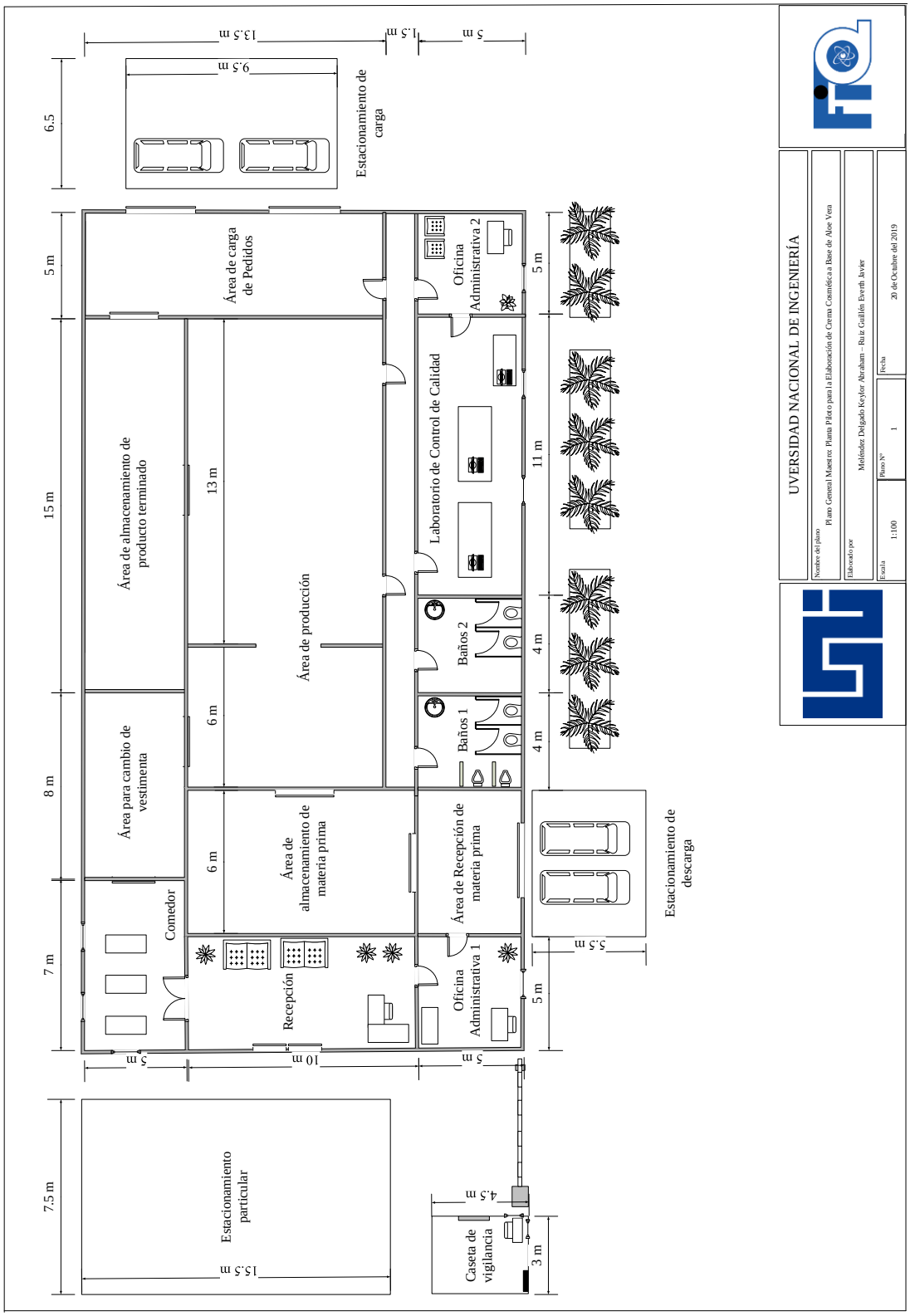
Figura 32 Precio de la Mesa de Trabajo de Acero Inoxidable

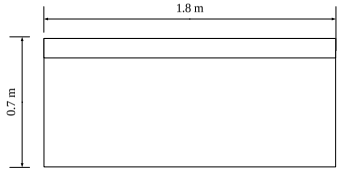
Figura 33 Precio del Set Mezclador al vacío FME

Figura 34 Precio del Estañón Plástico para Desechos

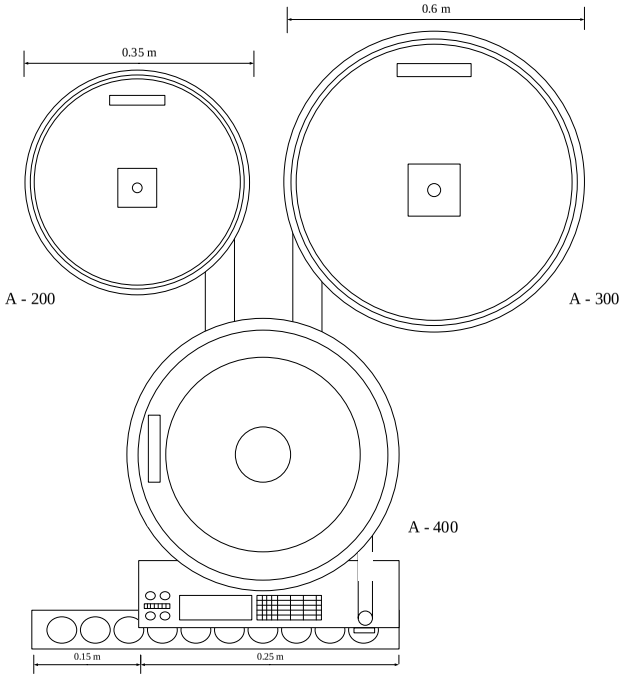
Figura 35 Precio del Montacargas

11.4. Diseño de planos





A - 100



Leyenda	
Equipo	**Referencia**
Mesa de acero inoxidable	**A - 100**
Tanque enchaquetado (Fase Oleosa)	**A - 200**
Tanque enchaquetado (Fase Acuosa)	**A - 300**
Mezclador al vacío	**A - 400**
Dosificador integrado	**A - 500**

UVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Nombre de l plano
Plano General Unitario: Planta Piloto para la Elaboración de Crema Cosmética a Base de Aloe Vera

Elaborado por
Meléndez Delgado Keylor Abraham – Ruiz Guillén Everth Javier

Escala	Plano N°	Fecha
1:100	2	20 de Octubre del 2019