

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estudio de prefactibilidad para una planta de producción de
shampoo sólido compuesto por detergentes**

Tabata Melissa Cevallos Fiscal

Ingeniería Química

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

Quito, 5 de mayo del 2020

Universidad San Francisco de Quito USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

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

**Estudio de prefactibilidad para una planta de producción de shampoo sólido
compuesto por detergentes**

Tabata Melissa Cevallos Fiscal

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca, Ph.D.

Quito, 5 de mayo de 2020

DERECHOS DE AUTOR

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

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Tabata Melissa Cevallos Fiscal

Código: 00126587

Cédula de identidad: 1716900202

Lugar y fecha: Quito, 5 de mayo de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

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

UNPUBLISHED DOCUMENT

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

RESUMEN

La industria se ha visto obligada a tomar consciencia ambiental dando como resultado la innovación de productos eco-amigables. Una de las tendencias de cuidado personal más importantes es el shampoo en barra ya que es considerado un revolucionario cosmético sustentable para el lavado diario. Se introducirá al mercado una barra de shampoo compuesta por el surfactante natural *cocoil isetionato de sodio* (SCI). No tiene una envoltura plástica, la barra está compuesta por un surfactante natural ideal para pieles sensibles, y es un producto que rinde más que el shampoo líquido convencional. El objetivo principal de este proyecto es realizar un estudio de prefactibilidad para una planta de producción de shampoo sólido compuesto por detergentes. Con el fin de determinar si el proyecto es viable en el Ecuador, se plantearon 3 objetivos específicos: el desarrollo del diseño del proceso, diseño de la planta y el análisis económico. Se estableció un caudal de producción de 100 barras de shampoo al día que requiere 10 kg de materia prima. Se realizaron los balances de masa de cada operación unitaria con el fin de conocer las corrientes y flujos que entran al proceso. Se dimensionaron los equipos como parte del diseño de la planta y se realizaron los balances de energía para conocer los requisitos energéticos. Mediante el análisis económico se determinó un beneficio neto de \$68,590.51 con una inversión inicial de \$227,834.44 que se va a recuperar en un periodo de 3 años y 4 meses. Debido a que el surfactante que se utilizaría no se encuentra en el mercado ecuatoriano y debe ser importado desde el exterior, se va a presentar una propuesta alternativa en la que se utiliza el *lauril sulfato de sodio* (SLS), un tensioactivo artificial disponible regularmente en el Ecuador. Mediante el estudio de los componentes económicos, se concluyó que el proyecto es rentable, viable y factible independientemente del surfactante que se utilice. En ambos casos los ingresos son mayores a los egresos, se recupera la inversión inicial a finales del tercer año de la puesta en marcha de la planta, y el ROI es positivo.

Palabras clave: shampoo en barra, eco-amigable, surfactante, cocoil isetionato de sodio (SCI), lauril sulfato de sodio (SLS), diseño del proceso, diseño de planta, análisis económico, rentable, viable, tiempo de recuperación, ROI.

ABSTRACT

The industry has been forced to become environmentally aware resulting in the innovation of eco-friendly products. One of the most important trends in personal care is the shampoo bar as it is considered a revolutionary sustainable cosmetic for daily washing. A shampoo bar composed of the natural surfactant *sodium cocoyl isethionate* (SCI) will be introduced to the market. It's a plastic-free package product, the bar is composed of a natural surfactant ideal for sensitive skin, and it lasts longer than commercial shampoos in bottles. The main objective of this project is to carry out a pre-feasibility study for a production plant of solid shampoo composed of detergents. In order to determine if the project is viable in Ecuador, 3 specific objectives were set: the development of the process design, plant design and economic analysis. A production flow of 100 shampoo bars per day was established, requiring 10 kg of raw material. Mass balances of each unit operation were made in order to determine the mass flows that enter the process. As part of the plant design, the equipment was dimensioned, and energy balances were carried out to obtain the energy requirements. Through the economic analysis, a net benefit of \$68,590.51 was determined with an initial investment of \$227,834.44 that will be recovered in a period of 3 years and 4 months. Since the surfactant that would be used is not available in the Ecuadorian market and must be imported from abroad, an alternative proposal will be presented in which *sodium lauryl sulfate* (SLS), an artificial surfactant regularly available in Ecuador, is used. Through the study of the economic components, it was concluded that the project is profitable, viable and feasible regardless of the surfactant used. In both cases the income is higher than the expenses, the initial investment is recovered at the end of the third year of the plant's start-up, and the ROI is positive.

Keywords: shampoo bar, eco-friendly, surfactant, sodium cocoyl isethionate (SCI), sodium lauryl sulfate (SLS), process design, plant design, economic analysis, profitability, feasibility, recovery time, ROI.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Antecedentes.....	14
1.2. Propuesta de proyecto.....	17
1.3. Objetivos.....	17
1.4. Justificación	18
1.5. Resultados esperados.....	21
2. BASES DEL DISEÑO	23
2.1. Fundamentos teóricos	23
2.1.1. <i>Surfactante</i>	23
2.1.2. <i>Agentes espesantes/endurecedores</i>	24
2.1.3. <i>Aceites esenciales</i>	24
2.2. Descripción del producto.....	24
2.3. Descripción de materias primas.....	26
2.4. Normas y limitaciones	30
2.5. Ubicación de planta	32
2.6. Selección del proceso	33
3. DISEÑO DE PROCESO	37
3.1. Caudal de producción	37
3.2. Balance de masa	39
4. DISEÑO DE LA PLANTA	40
4.1. Selección de equipos	40

4.2.	Dimensionamiento de equipos y balance de energía.....	41
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO	43
5.1.	Métodos de estimación	43
5.2.	Inversión de capital fijo y capital de trabajo.....	44
5.3.	Costos de producción	45
5.4.	Componentes de los ingresos del proyecto	45
5.5.	Tiempo de recuperación y ROI	47
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
6.1.	Conclusiones.....	47
6.2.	Recomendaciones	51
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
8.	ANEXOS	56
A.	Bases del Diseño.....	56
A.1.	Ingredientes que componen las barras de shampoo.....	56
A.2.	Funciones y propiedades de aceites esenciales.....	61
A.3.	Ficha de datos de seguridad (FDS) de materia prima.....	62
B.	Diseño de proceso.....	73
B.1.	Estudio de mercado.....	73
B.2.	Horario de operación	76
C.	Metodología.....	77
C.1.	Proceso de producción de shampoo sólido	77
C.2.	Diseño de planta.....	78

C.2.1. Diagramas de bloque y flujo	78
C.2.2. Balance de masa y de energía	79
C.2.3. Dimensionamiento de equipos	86
C.3. Análisis económico	92
C.3.1. Estimación de costos aplicando distintos métodos	92
C.3.2. Inversión de capital fijo	94
C.3.3. Capital de trabajo	96
C.3.4. Ingresos de la planta	98
C.3.5. Análisis de recuperación del capital	101
D. Cálculos	101
D.1. Diseño de planta	101
D.1.1. Balance de masa	101
D.1.2. Dimensionamiento de equipos.....	104
D.1.3. Balance de energía.....	116
D.2. Análisis económico.....	122
D.2.1. Estimación de costos aplicando varios métodos.....	122
D.2.2. Inversión de capital fijo	127
D.2.3. Capital de trabajo.....	129
D.2.4. Ingreso de la planta.....	136
E. Planos de equipos	140
E.1. Planos de extrusora	140
E.2. Planos de compactadora.....	142
F. Proforma de equipos.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de shampoo sólido y shampoo líquido.....	20
Tabla 2. Corrientes obtenidas de balances de materia.....	39
Tabla 3. Resultados de dimensionamiento de equipos	42
Tabla 4. Estimación de costos utilizando distintos métodos	44
Tabla 5. Inversión de capital fijo y capital de trabajo	44
Tabla 6. Costos anuales de producción variables y fijos y CCOP	45
Tabla 7. Ingresos por ventas anuales considerando dos distintos surfactantes	46
Tabla 8. Margen bruto del proyecto	46
Tabla 9. Inversión total y beneficio neto anual de la planta	46
Tabla 10. Tiempo de recuperación y retorno de inversión (ROI)	47
Tabla A.1. 1. Ingredientes base que componen las barras de shampoo.....	56
Tabla A.1. 2. Ingredientes de shampoo para cabello reseco.....	58
Tabla A.1. 3. Ingredientes de shampoo para cabello graso	59
Tabla A.1. 4. Ingredientes de shampoo para cabello maltratado.....	60
Tabla A.2. 1. Propiedades y funciones de aceites esenciales.....	61
Tabla A.3. 1. FDS lauril sulfato de sodio.....	62
Tabla A.3. 2. FDS cocoil isetionato de sodio	63
Tabla A.3. 3. FDS vinagre de manzana.....	64
Tabla A.3. 4. FDS manteca de cacao.....	64
Tabla A.3. 5. FDS ácido esteárico	65
Tabla A.3. 6. FDS ácido alcohol cetílico.....	66
Tabla A.3. 7. FDS glicerina vegetal	67

Tabla A.3. 8. FDS aceite esencial menta piperita.....	68
Tabla A.3. 9. FDS aceite de coco	68
Tabla A.3. 10. FDS aceite esencial de jojoba.....	69
Tabla A.3. 11. FDS aceite esencial de limón	69
Tabla A.3. 12. FDS aceite de lavanda	70
Tabla A.3. 13. FDS aceite de árbol de té.....	70
Tabla A.3. 14. FDS aceite de almendra.....	71
Tabla A.3. 15. FDS aceite de oliva.....	71
Tabla A.3. 16. FDS aceite de ylang ylang.....	72
Tabla B.2. 1. Horario de operación de la planta.....	76
Tabla D.1.2. 1. Dimensiones de tanque de mezcladora.....	107
Tabla D.1.2. 2. Características de tanque de mezcladora	107
Tabla D.1.2. 3. Dimensiones de equipo baño maría.....	109
Tabla D.1.2. 4. Dimensiones de tornillo sin fin.....	109
Tabla D.1.2. 5. Dimensiones de base menor de tolva	110
Tabla D.1.2. 6. Dimensiones de base mayor de tolva	110
Tabla D.1.2. 7. Dimensiones de tolva de extrusora.....	111
Tabla D.1.2. 8. Dimensiones de tornillo sin fin de extrusora.....	112
Tabla D.1.2. 9. Dimensiones de carcasa de extrusora	112
Tabla D.1.2. 10. Número de cilindros que requiere la compactadora	113
Tabla D.1.2. 11. Características de tanques de almacenamiento de materia prima.....	115
Tabla D.1.3. 5. Características de cilindro de compactadora.....	114

Tabla D.2.1. 1. Costos de equipos	125
Tabla D.2.2. 1. Costos de equipos de oficina.....	128
Tabla D.2.2. 2. Costos para calcular inversión de capital fijo.....	128
Tabla D.2.3. 1. Inventario materia prima considerando dos surfactantes diferentes.....	129
Tabla D.2.3. 2. Inventario materia prima considerando dos surfactantes diferentes.....	129
Tabla D.2.3. 3. Energía eléctrica que ocupan los equipos.....	130
Tabla D.2.3. 4. Energía eléctrica que ocupa la planta	130
Tabla D.2.3. 5. Agua potable que consume la planta	131
Tabla D.2.3. 6. Servicio de internet y teléfono.....	131
Tabla D.2.3. 7. Empaque para distribución	131
Tabla D.2.3. 8. Empaque de producto	131
Tabla D.2.3. 9. Costo de transporte	132
Tabla D.2.3. 10. Costos de producción variables para barra con SLS	132
Tabla D.2.3. 11. Costos de producción variables para barra con SCI.....	132
Tabla D.2.3. 12. Labor de operación de la planta.....	133
Tabla D.2.3. 13. Licencia de registro sanitario.....	134
Tabla D.2.3. 14. Costos de producción fijos para 2 semanas	134
Tabla D.2.3. 15. Efectivo en caja considerando 2 surfactantes distintos	135
Tabla D.2.3. 16. Cuentas por cobrar considerando 2 surfactantes distintos.....	135
Tabla D.2.3. 17. Créditos cuentas pendientes considerando 2 surfactantes distintos.....	135
Tabla D.2.3. 18. Capital de trabajo total considerando 2 surfactantes distintos.....	135
Tabla D.2.4. 1. Ingresos por ventas anuales considerando dos distintos costos del producto....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloque de proceso de producción de shampoo en barra utilizando saponificación.....	34
Figura 2. Diagrama de bloque de proceso de producción industrializado de shampoo en barra ..	35
Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de producción del shampoo sólido.....	41
Figura B.1. 1. Encuestas y estadísticas de respuestas.....	76
Figura C.1. 1. Forma geométrica de barra de shampoo.....	77
Figura C.3.4. 1. Tabla de impuesto a la renta de personas naturales para el año 2020.....	100
Figura D.1.2. 1. Cabezal elipsoidal.....	105
Figura D.1.2. 2. Dimensiones de base menor de tolva de acuerdo con el diámetro del tornillo ..	110
Figura E.1. 1. Planos de extrusora.....	140
Figura E.1. 2. Diseño 3D de extrusora	141
Figura E.2. 1. Planos de compactadora.....	142
Figura E.2. 2. Diseño 3D de compactadora.....	143
Figura F. 1. Proforma de equipos.....	148

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El shampoo es un producto relativamente joven, sin embargo, el cuidado y lavado del cabello es una actividad que se practica desde hace más de mil años. En la antigüedad se utilizaban ingredientes naturales como hierbas aromáticas, minerales, grasas vegetales y animales para dar brillo y aroma al cabello. Con el paso de los años, el cuidado y la limpieza del cabello ha ido evolucionando desde el uso de ingredientes naturales hasta la elaboración de barras de jabón de lejía que provocaban la resequedad del cabello y consecuentemente la irritación y alergias de la piel. Para aliviar estos síntomas, en 1920 se introdujo al mercado el primer shampoo líquido con características similares a los productos actuales. Hoy en día el shampoo es considerado un producto de primera necesidad esencial para el aseo personal.

La higiene personal se refiere a las medidas que se toman para mantener la limpieza del cuerpo con el fin de prevenir enfermedades y preservar la salud. Los seres humanos están expuestos a gérmenes y parásitos que al acumularse en el cuerpo pueden provocar enfermedades, por lo tanto, es necesario practicar buenos hábitos de cuidado personal [1]. La limpieza del cabello es importante debido a que el cuero cabelludo secreta sebo, acumula grasa y está expuesto a la contaminación del medio ambiente. La acumulación excesiva de estas partículas puede provocar molestias como inflamación, comezón, ardor y caída del cabello, y consecuentemente se pueden producir enfermedades como caspa, dermatitis y otras infecciones [2]. El shampoo es un producto del cuidado del cabello que elimina efectivamente los residuos de grasa y suciedad, evitando enfermedades del cuero cabelludo.

A pesar de que en español el término se denomina champú, en el Ecuador también se utiliza la palabra shampoo, la misma que será utilizada en el desarrollo de este proyecto.

Shampoo líquido

El shampoo es un producto para la higiene cuya función es eliminar la suciedad del cabello mientras lo mantiene saludable. Este producto generalmente se presenta en la forma de un líquido viscoso y está compuesto por una mezcla de químicos. Contiene compuestos tales como: tensioactivos o surfactantes que son detergentes que limpian y jabonan, conservantes (parabenos) que previenen la acumulación de bacteria en el producto, agentes espumantes, agentes espesantes, alcoholes, fragancias sintéticas y colorantes. El surfactante que se utiliza comúnmente en la producción del shampoo líquido es el lauril éter sulfato de sodio (SLES de sus siglas en inglés). Este es un tensioactivo líquido que es responsable de generar espuma y limpiar el cuero cabelludo. Una de las propiedades químicas más importantes del shampoo es el pH ya que este debe ser similar al pH del cuero cabelludo humano; la mayoría de shampoos tienen un pH de entre 5 y 7 [3].

Shampoo líquido y el medio ambiente

El shampoo es un producto de consumo masivo que es utilizado por todo tipo de consumidor, independientemente de su edad, género o clase social. Siendo un producto de alta demanda y competitivo en el mercado, su calidad debe satisfacer las necesidades del consumidor al igual que los requisitos ambientales. En la actualidad, la industria se ha visto obligada a tomar consciencia ambiental dando como resultado la innovación de productos eco-amigables. Los productos eco-amigables son aquellos que tienen poco o ningún impacto ambiental, lo que significa que su proceso de producción, utilización o disposición final no dañan al medio ambiente [4]. El shampoo líquido tiene un impacto negativo en el ambiente por el uso del

surfactante que lo compone cuya producción genera subproductos químicos que contaminan el suelo y el agua [5].

Además, el shampoo líquido es comercializado en envases plásticos que son desechados incorrectamente y contaminan el medio ambiente. Cada año, más de 8 mil millones de kg de residuos plásticos ingresan al océano; alrededor del 40% de todo el plástico producido se destina al empaquetado, y la mayoría se desecha después de utilizarse solo una vez [6]. De acuerdo con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), los envases plásticos tardan entre 400 y 700 años en descomponerse, además la producción de plástico es masiva, se producen alrededor de 380 millones de toneladas mundialmente al año. La mayoría de los desechos plásticos no son reciclados y terminan en el océano, lo que significa que, en un futuro muy cercano, habrá más plástico que pescados en el mar [7].

Shampoo en barra

El shampoo en barra es shampoo en forma sólida que no contiene agua y es una alternativa eco-amigable del shampoo líquido tradicional. Debido a que la mayoría de sus ingredientes son sólidos, este producto es altamente concentrado y se activa o genera espuma, al hacer contacto con el agua. La barra de shampoo cumple con las mismas funciones que el shampoo líquido con la diferencia de que está compuesta en su mayoría por ingredientes sólidos y no es comercializada en envases plásticos. Existen dos tipos de shampoo en barra que se obtienen a partir de distintos procesos de producción: barras de shampoo compuestas por detergentes sintéticos (surfactantes) y shampoo sólido a base de jabón. Las barras de shampoo a base de detergentes están compuestas comúnmente por surfactantes sólidos, agentes espesantes y endurecedores y aceites esenciales que protegen y cuidan el cabello. Una de las tendencias de cuidado personal más importantes es el

shampoo en barra ya que es considerado un revolucionario cosmético sustentable para el lavado diario.

1.2. Propuesta de proyecto

Con el fin de introducir en el mercado un producto novedoso que cumpla con las necesidades tanto del consumidor como del medio ambiente, se va a estudiar la posibilidad de poner en marcha una planta de producción de shampoo sólido compuesto por detergentes. La barra estará compuesta principalmente por el surfactante natural *coccol isetionato de sodio* que se abrevia SCI por sus sigas en inglés. Más adelante se definirá el concepto “surfactante” y se detallarán las propiedades del SCI. Debido a que esta materia prima no se encuentra en el mercado ecuatoriano y debe ser importada desde el exterior, se va a presentar una propuesta alternativa en la que se reemplaza el surfactante SCI por el *lauril sulfato de sodio* (SLS de sus siglas en inglés), un tensioactivo artificial disponible regularmente en el Ecuador.

1.3. Objetivos

El objetivo general que engloba la totalidad de este proyecto es realizar un estudio de prefactibilidad para una planta de producción de shampoo sólido compuesto por detergentes. Para alcanzar el objetivo general se plantearon objetivos específicos que incluyen procesos necesarios para cumplir con metas a corto plazo. Primero, se seleccionó el proceso de producción y se determinó el caudal de producción para realizar los balances de masa y de energía que facilitaron el dimensionamiento de equipos involucrados en el proceso. Finalmente, se realizó el análisis económico que incluye la alternativa de reemplazar un surfactante natural por uno artificial, en caso de que no sea posible adquirir el primero. A partir de este análisis será posible determinar el

capital que se debe invertir en la construcción de la planta y los ingresos que se van a obtener a partir de la venta del producto para determinar la rentabilidad del proyecto.

1.4. Justificación

El shampoo sólido tiene varios beneficios tanto medioambientales como económicos y presenta múltiples ventajas para el consumidor. A continuación, se detallan los beneficios y se realiza una comparación detallada entre el shampoo líquido y el shampoo sólido compuesto por el surfactante natural SCI.

Beneficios medioambientales

El shampoo en barra es un producto amigable con el medio ambiente ya que por su forma sólida no requiere de una envoltura plástica. Este producto es comúnmente comercializado en papel o cartón biodegradable, eliminando totalmente el uso de envases plásticos que son desechados irresponsablemente en el ambiente. Con la compra de barras de shampoo, en la última década se han ahorrado más de 2,850 toneladas de plástico que equivale a aproximadamente 114 millones de envases plásticos de shampoo [8]. Suponiendo que el consumidor promedio adquiere una botella de shampoo al mes, se estaría ahorrando 12 envases plásticos anuales por cada persona.

Beneficios para la salud del consumidor

El shampoo sólido es un producto que no solo limpia el cabello, sino que lo cuida y lo mantiene saludable. La mayoría de los ingredientes líquidos utilizados en la producción del shampoo convencional serán reemplazados por ingredientes sólidos que tienen mejores

propiedades. Los surfactantes líquidos utilizados en la industria cosmética son muy eficientes en cuanto a la función que cumplen de emulsionar, generar espuma y limpiar, sin embargo, la mayoría de estos compuestos pueden ser irritantes para la piel si se utilizan en altas concentraciones y por un tiempo prolongado. El tensioactivo que se utiliza comúnmente en la producción del shampoo líquido es el *lauril éter sulfato de sodio* (SLES) que genera abundante espuma y atrapa eficientemente todas las partículas de grasa y suciedad del cabello. A pesar de ello, remueve la mayoría de sus aceites naturales y destruye los lípidos naturales que genera la piel, dejando al cabello, quebradizo y sin brillo [9]. Por otra parte, el tensioactivo SCI es suave y no le quita al cabello aceites propios, lo que permite que el cabello retenga la humedad y equilibra la producción de aceite capilar [10].

El surfactante SCI es considerado natural por que proviene de componentes vegetales y su elaboración no implica la formación de subproductos químicos tóxicos. Por otro lado, la elaboración de SLES produce compuestos carcinógenos que pueden provocar irritación en la piel y caspa en el cuero cabelludo. El óxido de etileno aplicado al SLES puede dar como resultado el carcinógeno 1,4-dioxano, que provoca irritación y caspa [11]. Otros ingredientes líquidos utilizados en la producción del shampoo convencional que eliminan la humedad del cabello y cuero cabelludo son: fragancias sintéticas, alcoholes, conservantes y aditivos.

Beneficios económicos

Debido a que el shampoo en barra es altamente concentrado y no contiene agua, rinde más que el shampoo líquido. Una barra de shampoo de aproximadamente 2 oz puede durar hasta 80 lavadas que equivale a 3 botellas medianas de shampoo. Una barra de shampoo va a rendir aproximadamente 3 meses, mientras la persona promedio adquiere una botella de shampoo al

mes; esto disminuye la frecuencia con la cual se compra el producto y supone un ahorro económico para el consumidor [12]. Adicionalmente, el surfactante que se emplea en la producción de la barra es suave y puede utilizarse directamente en la piel, lo cual reemplazaría al jabón de cuerpo de ser necesario. El SCI tiene un efecto acondicionador en la piel y esto implica que no es necesario incluir el acondicionador en la rutina de lavado. En contraste, el surfactante líquido en el shampoo convencional reseca al cuero cabelludo y remueve los aceites naturales del cabello provocando que este pierda su humedad y brillo natural, lo que obliga al consumidor a adquirir productos adicionales para el aseo de su cabello. Una ventaja adicional de este producto es que por su forma sólida ahorra espacio en la bañera, no se derrama y es ideal para llevar en viajes.

A continuación, se presenta una tabla en la cuál se resumen las ventajas del producto sólido versus las desventajas del shampoo líquido, que se explicaron a detalle previamente:

Tabla 1. Comparación de shampoo sólido y shampoo líquido

Shampoo sólido compuesto por surfactante natural	Shampoo líquido
Es comúnmente comercializado en papel o cartón biodegradable.	Es comercializado en envases plásticos que son desechados irresponsablemente en el ambiente.
Contiene surfactante natural sólido (SCI) que aporta bastante espuma sin reseca	Contiene surfactante artificial líquido (SLES) que puede producir irritación severa y pérdida de cabello.
La elaboración del tensioactivo no implica la formación de subproductos químicos tóxicos.	El proceso de producción del SLES puede dar como resultado un carcinógeno.
El SCI tiene un efecto acondicionador en la piel, puede ser utilizada como jabón de cuerpo.	El SLES reseca el cuero cabelludo y remueve los aceites naturales del cabello.
Una barra de shampoo de 3.5 oz. rinde alrededor de 120 lavadas.	Una botella mediana de shampoo de 300 ml rinde alrededor de 25 lavadas.

1.5. Resultados esperados

Una vez que se haya implementado el proyecto se espera posicionar el producto en líneas de mercado mayoritario como lo son supermercados y farmacias reconocidas. Al industrializar un proceso de producción que en la actualidad en el país es artesanal, se crea un producto consistente y de calidad en menos cantidad de tiempo. Este producto será ideal para introducir en grandes líneas de mercadeo. Además, se espera que el shampoo sólido tenga una buena acogida, y al igual que el shampoo líquido, se convierta en un producto de consumo masivo. Es importante destacar que en la actualidad no existe otra industria en el Ecuador que se dedique a la fabricación de shampoo sólido, por lo tanto, la única competencia que existe es la de producción de shampoo líquido. A pesar de que ambos productos tienen las mismas funciones, el shampoo en barra tiene mayores beneficios tanto para el consumidor como para el medio ambiente, por lo tanto, se espera que en un futuro el shampoo en barra tenga incluso más ventas que el shampoo convencional.

Expansión de línea de productos

Tomando en cuenta que el producto va a ser parte de un mercado competitivo en el cual se presentan ideas innovadoras a diario, es importante mantener al producto actualizado y en tendencia. En un principio, se van a introducir 3 formulaciones de shampoo al mercado: shampoo para cabello reseco, shampoo para cabello graso y shampoo para cabello maltratado. Una vez que la planta esté funcionando y se haya recuperado el capital invertido, se planea expandir la línea de producción para satisfacer la diversa demanda del consumidor, pues ya existe una amplia línea de opciones de shampoo líquido que tratan distintos tipos de cabello. No solo se va a innovar en nuevas formulaciones de shampoo, sino que también se va a crear una línea completa de productos de aseo que incluye: cremas de cuerpo, desodorante, pasta de dientes, jabón de manos y cuerpo,

entre otros. Además, también se creará una línea de productos de higiene exclusivamente para hombres. Todos estos productos serán conocidos por ser eco-amigables y únicos dentro de su categoría, compartiendo los mismos beneficios que el shampoo en barra.

Expansión de línea de producción

Dos ingredientes que son indispensables y se utilizan en grandes cantidades para la producción de shampoo sólido son: surfactantes y aceites esenciales. Con el fin de abarcar más mercado e incentivar el uso de materias primas naturales, se pretende expandir la línea de producción. La planta también se dedicará a la producción del surfactante cocoil isetionato de sodio (SCI) y de los aceites esenciales que se utilizan en mayor volumen. Es importante tomar en consideración que el surfactante mencionado no se produce ni tampoco se comercializa en el Ecuador actualmente; esta sería la primera empresa ecuatoriana en ofrecer esta materia prima. La materia prima producida se utilizará en el proceso de producción del shampoo sólido, y se distribuirá el surfactante y los aceites esenciales a empresas con actividades afines.

Apertura de una tienda propia

Finalmente, una vez implementado el proyecto, se pretende abrir un local propio en el cual se van a vender todos los productos de la empresa, tanto el shampoo sólido, como el resto de los productos de aseo. En este local no solo se podrá adquirir los productos fabricados, sino que el cliente también tendrá la oportunidad de preparar su propio shampoo de acuerdo con sus necesidades. Es decir, podrá escoger los aceites esenciales que componen su barra, creando un producto personalizado y distinto a los que se encuentran en el mercado. Esta es una idea novedosa

que va a permitir que el shampoo en barra se haga más conocido y le va a brindar al consumidor más que un producto, una experiencia.

2. BASES DEL DISEÑO

2.1. Fundamentos teóricos

2.1.1. Surfactante

Los surfactantes son agentes tensioactivos capaces de reducir la tensión superficial de una solución. Estos compuestos tienen una estructura que consta de una cabeza hidrofílica o soluble en agua, que le permite unirse a las moléculas de agua, y una cola lipofílica que se adhiere a partículas de aceite y suciedad [5]. En la fase bulk acuosa, los tensioactivos forman agregados conocidos como micelas, en donde las colas hidrofóbicas forman el núcleo de la micela y las cabezas hidrofílicas están en contacto con el líquido que las rodea. Las micelas capturan el aceite y la suciedad, cuando se enjuaga el cabello, se lavan disolviendo la grasa efectivamente [13]. Los surfactantes pueden derivar de fuentes naturales como el aceite de palma y de coco, y se producen sintéticamente combinando aceites vegetales con moléculas afines al agua, como iones de amonio o sulfato. Los surfactantes en los productos de aseo cumplen la función de limpiar y crear espuma, y se clasifican en función de la carga de su cabeza polar que puede ser positiva, negativa o sin carga. Los detergentes de shampoo se clasifican en 5 categorías diferentes: aniónicos, catiónicos, no iónicos, anfóteros y naturales; cada detergente posee diferentes características de limpieza y acondicionamiento del cabello [14].

2.1.2. Agentes espesantes/endurecedores

Los agentes espesantes o endurecedores son compuestos que aumentan la viscosidad de una mezcla sin modificar el resto de sus propiedades. Estos agentes aportan consistencia, textura y forma a las mezclas. Los agentes espesantes que se utilizan en formulaciones cosméticas son espesantes lipídicos y están compuestos principalmente de materiales lipofílicos. Típicamente, estos compuestos son sólidos a temperatura ambiente, pero al calentarse son líquidos viscosos para incorporarse en emulsiones. Son utilizados en cremas, shampoos y pasta de dientes [15].

2.1.3. Aceites esenciales

Los aceites esenciales son sustancias que se extraen de flores, frutas y vegetales y tienen varias propiedades beneficiosas para el ser humano. Se obtienen a partir de destilación o prensado mecánico y el extracto obtenido retiene el olor y sabor natural de su fuente. Cada aceite esencial tiene una composición única de compuestos químicos que le da su olor y propiedades particulares. Típicamente, los aceites esenciales son utilizados en aromaterapia y en la industria cosmética [16].

2.2. Descripción del producto

Para el desarrollo de este proyecto se crearon 3 distintos tipos de shampoo sólido según la necesidad del consumidor: shampoo para cabello reseco, shampoo para cabello graso, shampoo para cabello maltratado. Todas las barras están compuestas por la misma base de ingredientes y se diferencian por los aceites esenciales, las fragancias y los pigmentos utilizados. Es importante tomar en cuenta que los aceites esenciales se escogieron de acuerdo con el tipo de cabello que se desea tratar. Las formulaciones de los 3 tipos de shampoo se presentan en las tablas A.1.1. a A.1.4.

que se encuentran en Anexos A.1., e incluyen la siguiente información: ingredientes, función de cada ingrediente, cantidad, proveedor y precio de producción de una sola barra.

Características físicas de la barra de shampoo

El producto recién obtenido va a ser una barra redonda de shampoo sólido de peso 100 g o 3.5 oz, y con dimensiones de 6 cm de diámetro y 2 cm de ancho; esta barra rendirá alrededor de 120 lavadas que equivale a 5 botellas medianas de shampoo líquido de 300 ml. Cada formulación de shampoo se va a distinguir por su fragancia y color característico, por ejemplo, la presentación del shampoo para cabello reseco es una barra amarilla con olor característico a coco. El shampoo para cabello graso es una barra de color verde con olor refrescante a limón hierbabuena, y el shampoo para cabello graso se distingue por ser una barra de color lila de fragancia floral. Este producto va a ser comercializado en cajas de cartulina antigrasa, que serán elaboradas con fibra de caña de azúcar. El interior de la caja es encerado con el fin de evitar que los aceites que contiene la barra de shampoo transpiren hacia el exterior del empaque. La caja del shampoo va a incluir el logo del producto, el nombre del shampoo y el peso en onzas; en la parte posterior de la caja se presentan los ingredientes del producto.

Almacenamiento de producto y materias primas

El producto se va a almacenar en bodegas con temperatura adecuada para conservarlo, y se transportará en camioneta. Para determinar la temperatura a la cual se debe almacenar y transportar el producto y las materias primas, se crea una ficha de datos de seguridad (FDS) para cada ingrediente involucrado en el proceso de producción (Referencia Anexo A.3.). Estas fichas técnicas incluyen información importante como: punto de ebullición, fusión e inflamación de cada

compuesto. A partir de estos datos fue posible determinar no solo la temperatura a la cual se van a almacenar tanto las barras de shampoo como las materias primas que la componen, si no que también se establecieron las condiciones de operación. En cuanto al almacenamiento del producto y de materias primas, se deben mantener en un espacio ventilado, fresco y lejos de fuentes de calor, ignición y de la acción directa de los rayos solares. La bodega de almacenamiento debe mantenerse a una temperatura de 20 °C sin sobrepasar la temperatura ambiente. Esto se va a lograr con ventiladores que van a ayudar a que circule el aire y manteniendo el espacio oscuro.

2.3. Descripción de materias primas

Cocoil isetionato de sodio

Los surfactantes naturales son efectivos y no tienen un efecto irritante en la piel; se consideran naturales por que provienen de componentes vegetales y su elaboración no implica la formación de subproductos químicos tóxicos. El *cocoil isetionato de sodio* (SCI) es un surfactante aniónico sólido de origen vegetal que se obtiene de los ácidos grasos procedentes del coco. El SCI es un polvo blanco o granulado (micro pellets) con pH de entre 4.5 y 7.5. Es un excelente detergente y emulsionante y aporta abundante espuma a las formulaciones cosméticas sin reseca la piel ni el cuero cabelludo. Tiene un efecto acondicionador y humectante en la piel y en el cabello, y es compatible con otros tensioactivos aniónicos. Este surfactante se considera más suave que los tensioactivos artificiales, debido a que su densidad de carga micelar es baja y a que el tamaño de sus micelas dificulta su penetración a la piel [10]. Este agente limpiador es lo suficientemente suave para usar en pieles delicadas, lo que le convierte en un surfactante ideal para cosméticos y productos de aseo.

Vinagre de manzana

El vinagre de manzana tiene varias propiedades que benefician al cabello; por ejemplo, ayuda a equilibrar el balance ácido del cabello y cuero cabelludo ya que restaura el pH natural del mismo sin despojarlo de sus aceites naturales. El vinagre de manzana también ayuda a sellar la cutícula del cabello haciendo que luzca suave y brillante. Este ingrediente funciona como acondicionador natural, ayuda a desenredar el cabello, lo suaviza y disminuye el frizz. Es un buen agente de limpieza, así como un eficaz eliminador de germen; las propiedades antisépticas y desinfectantes del vinagre de manzana, ayudan a combatir la caspa. Finalmente, ayuda al crecimiento del cabello ya que estimula la circulación de los folículos pilosos, fortaleciendo las raíces del cabello y promoviendo su crecimiento saludable [17]. Para garantizar la obtención de un producto de aseo personal efectivo y suave para la piel del consumidor, es posible controlar y modificar el comportamiento fisicoquímico de un tensioactivo, con el fin de minimizar sus propiedades irritantes en caso de que se utilice un surfactante artificial. Al mezclar diferentes tipos de surfactantes compatibles e incompatibles, sólidos y líquidos, naturales y artificiales, disminuyen los efectos irritantes del surfactante artificial [18]. El vinagre de manzana se considera un surfactante natural ya que cuando se disocia en el agua, se reduce la tensión superficial de la solución [19].

Ácido esteárico

Con el fin de obtener un producto sólido que no se desintegre ni se rompa con facilidad, se utilizan agentes espesantes y endurecedores como lo son el ácido esteárico y el alcohol cetílico. El ácido esteárico es un ácido graso saturado que está presente en la mayoría de las grasas animales y vegetales. A temperatura ambiente es un polvo blanco prácticamente inodoro. Este compuesto

se utiliza en la industria cosmética como endurecedor de jabón y emulsionante en cremas. En cuanto a la producción de shampoo sólido, este ácido actúa como agente espesante y proporciona dureza al producto, ajusta el pH del shampoo en el caso de que este sea muy alcalino, y sirve como humectante del cuero cabelludo [20].

Alcohol cetílico

El alcohol cetílico es un alcohol graso que se obtiene a partir de aceites de vegetales como la palma o el coco. A temperatura ambiente este compuesto se presenta como un sólido blanco y ceroso. Actúa como agente espesante y emulsionante evitando la separación de los ingredientes que conforman la barra de shampoo sólido. Este también es un ingrediente suavizante e hidratante que humecta y protege tanto el cuero cabelludo como el cabello [21].

Manteca de cacao

Tanto la manteca de cacao como la glicerina vegetal son materias primas naturales que humectan la piel y el cabello. Estos compuestos también son considerados agentes compactantes o “binders” naturales que ayudan a endurecer al shampoo sólido. La manteca de cacao es una grasa de origen vegetal comestible procedente del haba de cacao. Tiene un olor agradable dulce que es aprovechado en la producción de productos de belleza e higiene. Contiene varios ácidos grasos como: ácido esteárico, ácido palmítico, ácido araquídico y ácido láurico. La manteca de cacao es un lubricante natural con varias propiedades beneficiosas para el ser humano. Es un potente humectante y restaurador de la piel seca y gracias a su contenido en vitaminas A y C restaura las células de la piel [22].

Glicerina vegetal

La glicerina vegetal es una sustancia capaz de absorber la humedad del medio, se obtiene a partir de los vegetales y se utiliza en la elaboración de diversos productos cosméticos. Su presentación es un líquido viscoso transparente, y su principal beneficio es el de humectar y suavizar la piel y el cabello. La glicerina vegetal ayuda a rehabilitar cabellos secos y quebradizos ya que refuerza sus raíces y calma la irritación del cuero cabelludo. Además, sus propiedades hiperalérgicas son ideales para pieles sensibles [23].

Aceites esenciales

Los aceites esenciales que se emplean en la producción del shampoo sólido son componentes importantes del producto ya que son los responsables de dar un tratamiento adecuado a cada tipo de cabello. Además, brindan un olor agradable y característico a la barra. Para el tratamiento de cabello reseco se utiliza aceite esencial de menta piperita y de jojoba y aceite vegetal de coco. En la formulación del shampoo para cabello graso se utilizan los aceites esenciales de limón, lavanda y árbol de té. Para el cabello maltratado, de igual manera se utilizaron 3 distintos aceites: aceite de almendras, aceite de oliva y aceite esencial de ylang ylang. En la Tabla A.2.1. del Anexo A.2. se presentan todas las funciones y propiedades de los aceites mencionados.

Esencias aromáticas y pigmentos naturales

A pesar de que los aceites esenciales y vegetales tienen un olor fuerte característico, la cantidad que se utiliza es pequeña, por lo tanto, su aroma no es muy notable en el producto final. Además, es importante tomar en cuenta que el olor del surfactante secundario, vinagre de manzana, es fuerte y en ciertos casos puede ser abrumador. De hecho, uno de los olores que predomina es el

de vinagre de manzana a pesar de que está diluido y se utiliza en pequeñas cantidades. Con el fin de crear un producto con olor agradable para el consumidor, se agregan esencias aromáticas o fragancias a cada tipo de formulación de shampoo. Las esencias aromáticas no contienen activos cosméticos y no aportan ninguna propiedad a las mezclas, por lo tanto, su única finalidad es perfumar. De esta manera cada barra tendrá un olor característico y será posible identificar el tipo de shampoo con mayor facilidad. Por otro lado, los compuestos utilizados para la producción de shampoo sólido son de color blanco o transparente, dando como resultado, una barra de shampoo blanca. Para que se distingan los diferentes tipos de shampoo y el producto sea más atractivo para el consumidor, se utilizan pigmentos en polvo. Estos pigmentos son de grado cosmético y no se transfieren a la piel ni a la ropa.

2.4. Normas y limitaciones

Normas

La fabricación de un producto cosmético implica sujetarse a normas y legislaciones apropiadas para el tipo de proceso de producción que se va a llevar a cabo. Es importante registrarse a las normativas establecidas por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA), que es una entidad pública adscrita al Ministerio de Salud Pública (MSP). Esta entidad se encarga de controlar y vigilar la calidad, seguridad, eficacia e inocuidad de los productos de uso y consumo humano [24]. Además, se va a lograr un elevado nivel de protección de la salud por medio de la Notificación Sanitaria Obligatoria (NSO) y el control y vigilancia de los productos cosméticos. La NSO es la comunicación con la cual se notifica a las Autoridades Nacionales Competentes, sobre un producto cosmético que será comercializado en el país [25]. Finalmente, también se van a tomar en cuenta las normas de la Organización Internacional de

Normalización (ISO) que aseguran la calidad, seguridad y eficiencia de productos y servicios. Una de las limitaciones a las cuales está sujeto el desarrollo del proyecto, es cumplir con todas las normas y legislaciones mencionadas que implican la fabricación de un producto cosmético.

Limitaciones

El reactivo limitante que va a definir el caudal de producción es el surfactante cocoil isetonato de sodio debido a que no se produce ni se distribuye en el Ecuador. Esta materia prima tendría que ser importada de otro país, lo que implica una dificultad en su adquisición y falta de disponibilidad. Para evitar escasez de materia prima, se va a almacenar un suministro de 6 meses del surfactante en bodegas adecuadas. Además, en el caso de que no sea posible adquirir el surfactante SCI por cuestiones aduaneras o falta de distribuidores extranjeros, se estudia la posibilidad de trabajar con el surfactante artificial SLS que se distribuye regularmente en el Ecuador. Existen varias empresas que comercializan este compuesto en presentación líquida y sólida. Se va a realizar el análisis económico tomando en cuenta el uso de ambos surfactantes.

Uno de los factores que se debe tomar en cuenta para llevar a cabo una producción exitosa en la cual el resultado sea la obtención de un producto consistente y de calidad, son las características fisicoquímicas de las materias primas. Para conocer las condiciones de operación es necesario conocer puntos de ebullición, fusión e inflamación para determinar las temperaturas a las cuales se va a trabajar durante el proceso. Si se trabaja a temperaturas inadecuadas, se puede perder propiedades importantes de las materias primas, y como consecuencia no cumplirían su función; esto resultaría en la obtención de una barra de shampoo inconsistente que no cumpliría con las especificaciones del producto y las expectativas de los consumidores. Por ejemplo, si se calientan

los agentes endurecedores a una temperatura mayor a su punto de ebullición, estos cambian su composición y dejan de endurecer y espesar el producto.

Si los aceites esenciales son sometidos a temperaturas mayores a sus puntos de humeo, estos pueden descomponerse, perder propiedades y disminuir su calidad. En el caso del surfactante, si se mezcla con una solución caliente que sobrepase su temperatura de ebullición, el compuesto se descompone y pierde sus efectos espumantes y de limpieza. Para conocer las condiciones de operación y almacenar correctamente todas las materias primas que componen al producto, es necesario conocer sus características fisicoquímicas. Por esta razón, se crearon fichas de seguridad para cada materia prima que se encuentran en el Anexo A.3.

2.5. Ubicación de planta

Debido a que los proveedores se encuentran tanto en Quito como en Guayaquil, la planta podría ubicarse en cualquiera de estas dos ciudades. La planta se va a ubicar en la capital del país, específicamente en la zona industrial de Tambillo. La Parroquia de Tambillo se encuentra situada en el Cantón Mejía, al norte de la cabecera cantonal Machachi. Está ubicado a 2,800 m sobre el nivel del mar y presenta un clima húmedo templado durante todo el año. La temperatura media anual es de 18.1°C y los meses lluviosos son septiembre y mayo mientras que los más secos son julio y agosto. Tambillo se encuentra a 20 minutos de la ciudad de Quito y está ubicada sobre la Vía Panamericana, la cual le da fácil acceso a las parroquias aledañas [26]. La empresa se ubicaría estratégicamente en este sector que es conocido como industrial y ganadero debido a que es alejado de la ciudad y tiene una población pequeña de 7,000 habitantes. En cuanto a la movilización entre parroquias y a la ciudad de Quito, Tambillo cuenta con buses inter parroquiales.

2.6. Selección del proceso

Actualmente existen dos diferentes tipos de shampoo sólido en el mercado, el uno es una barra de shampoo a base de jabón que se produce por medio de saponificación y utiliza ácidos grasos saturados. El otro tipo de shampoo que se comercializa, es conocido como shampoo syndet (abreviatura en inglés “synthetic detergents”). Este tipo de shampoo sólido es el producto que se obtiene a partir de la mezcla de distintos detergentes sintéticos. Estos detergentes que tienen afinidad por los aceites, rodean a la grasa y a la suciedad del cabello con pequeñas estructuras (micelas) que son removidas con agua [27].

Shampoo sólido a base de jabón

El proceso para elaborar barras de shampoo sólido a base de jabón, se conoce como saponificación y no utiliza surfactantes de ningún tipo. La barra está compuesta por una variedad de ácidos grasos saturados que producen espuma cuando se saponifican con otros aceites y mantecas naturales. La saponificación consiste en mezclar grasas y aceites con hidróxido de sodio o potasio. El hidróxido de sodio se conoce más comúnmente como sosa cáustica o lejía. Cuando se combina con triglicéridos, solidifica los aceites y su resultado es jabón o en este caso, shampoo en barra. Primero se cocinan y se mezclan los aceites y las mantecas en un baño maría. Mientras tanto se agrega agua al hidróxido de sodio y se calienta hasta diluir. Una vez que la mezcla de aceites y la mezcla de hidróxido de sodio hayan llegado a una temperatura entre 30 y 45°C, se combinan hasta obtener una consistencia espesa. Finalmente se coloca la mezcla en un molde y se deja reposar por un tiempo mínimo de 24 horas, este tiempo se conoce como curado. Después del

curado es posible cortar y moldear la barra [28]. A continuación, se representa el proceso explicado en un diagrama de bloque:

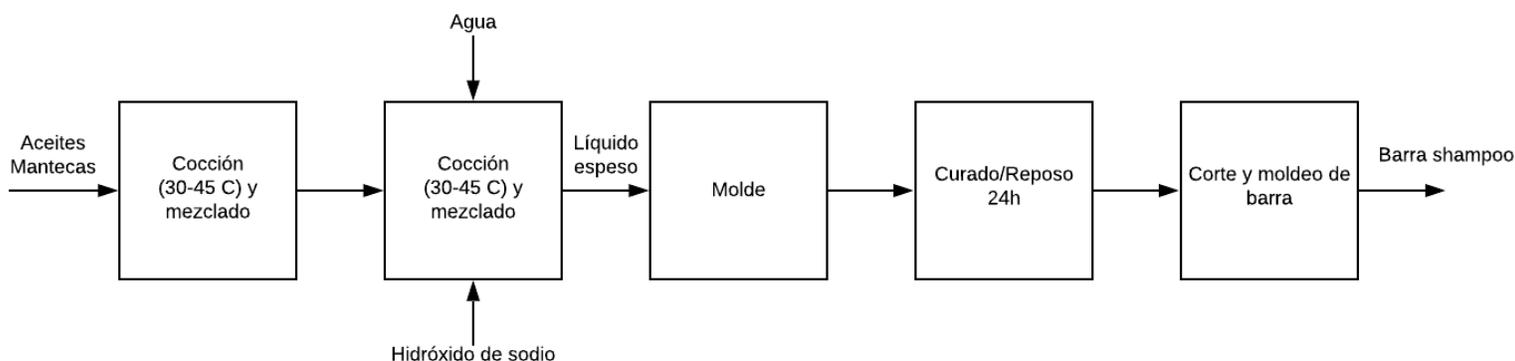


Figura 1. Diagrama de bloque de proceso de producción de shampoo en barra utilizando saponificación

Desventajas de shampoo sólido a base de jabón

A pesar de que las barras de shampoo a base de jabón no contienen detergentes sintéticos que pueden irritar la piel, son más alcalinas de lo considerado compatible con el pH natural del cabello; esto provoca que quede seco y sin brillo. De hecho, para nuevamente equilibrar el pH del cabello después de haber utilizado esta barra, se recomienda enjuagarlo con vinagre de manzana diluido. Al repetir este proceso varias veces el cabello está expuesto a debilitarse perdiendo su brillo natural y provocando su caída. Por otro lado, este tipo de shampoo contiene un alto contenido de glicerina, grasas y mantecas que pueden dejar al cabello sebo. Finalmente, vale la pena recalcar que debido a que esta barra de shampoo esta compuesta por ingredientes diferentes a los que componen al shampoo líquido tradicional, existe un periodo de transición durante el cual el cabello se acostumbra al producto nuevo. Existen casos en los cuales el cabello no tolera al nuevo tratamiento que está recibiendo y el consumidor debe buscar otra opción.

Shampoo sólido con detergentes sintéticos

El proceso para la elaboración de las barras de shampoo compuestas por detergentes sintéticos, barras de shampoo syndet, no involucra una reacción química ya que consiste únicamente en la mezcla de las materias primas. En una mezcladora se mezclan los siguientes compuestos: surfactante, vinagre de manzana, glicerina vegetal y el pigmento en polvo; esta es la mezcla seca. Se calientan los agentes espesantes y endurecedores en baño maría hasta obtener una mezcla homogénea líquida viscosa. Se retira la mezcla líquida del baño maría, se deja reposar un minuto y se procede a añadir los aceites esenciales y la fragancia. Se combina la mezcla seca con la mezcla líquida en la mezcladora hasta obtener una masa arenosa que se pueda compactar. Para homogenizar la mezcla se coloca en la extrusora y se obtienen pellets de shampoo similares a la forma final de la barra de shampoo (cilindros de 3 cm de diámetro y 5 cm de ancho). Se colocan uno por uno los cilindros de shampoo en las cavidades de la compactadora, y se compacta el producto para obtener la forma redonda de la barra. El proceso de producción se representa con el siguiente diagrama de bloque:

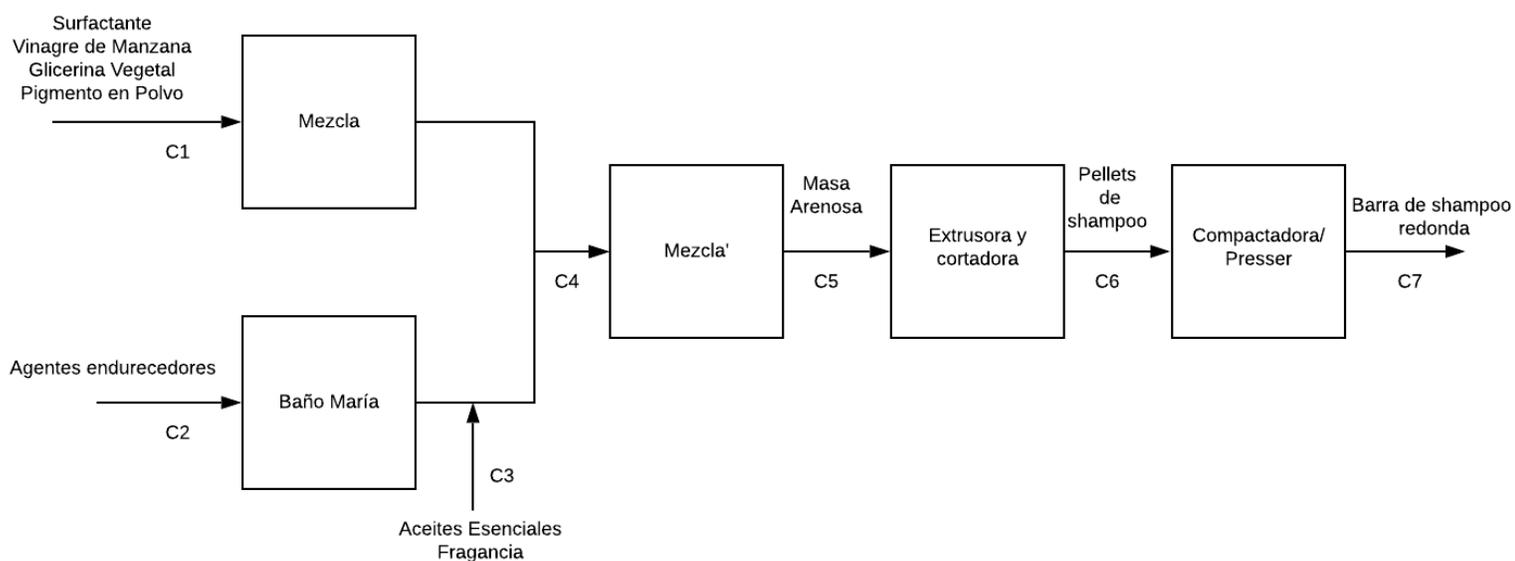


Figura 2. Diagrama de bloque de proceso de producción industrializado de shampoo en barra

Ventajas del shampoo sólido con detergentes sintéticos

Las barras de shampoo producidas con detergentes sintéticos tienen varios beneficios para el consumidor. Primero, crean bastante espuma lo que ayuda a lavar el cabello efectivamente. A diferencia de las barras de shampoo a base de jabón, e incluso el shampoo líquido tradicional, este tipo de shampoo genera una cantidad generosa de espuma que mejora la experiencia de aseo y lava el cabello más fácilmente. Las barras de shampoo syndet no remueven en exceso los aceites naturales del cabello, fortaleciéndolo y manteniéndole sano. Finalmente, estas barras tienen un pH menor a las barras de shampoo a base de jabón, similar al pH natural del cuero cabelludo. El cabello no es maltratado y no es necesario atravesar por una etapa de transición que implica probar un producto nuevo. Las barras syndet funcionan de la misma manera que el shampoo líquido tradicional, por lo tanto, desde su primer uso se obtienen los mismos resultados.

Selección de proceso

El proceso de producción de una barra de shampoo que utiliza detergentes es más simple ya que solo implica la mezcla de distintos componentes, mientras que el otro proceso mencionado implica una reacción química. Además, el proceso de elaboración de barras syndet no requiere de tiempos prologados para obtener el producto final, ya que las barras de shampoo serán compactadas y no tendrán que pasar por la etapa de reposo o curado. La elaboración de las barras de shampoo a base de jabón requiere de un tiempo mínimo de 24 horas que retrasa y entorpece el tiempo de producción. Por estas razones, el procedimiento que se llevará a cabo es aquel que se emplea para producir barras de shampoo syndet

Procesos aduaneros

Una vez establecido el tipo de proceso y barra que se va a producir, se ha determinado que se va a utilizar el surfactante natural cocoil isetionato de sodio (SCI). Actualmente en el Ecuador no existe ninguna empresa que importe el tensioactivo SCI, por lo tanto, el proveedor de este compuesto será la empresa china “Landy Enterprise Limited” ubicada en Anhui. Esta empresa es distribuidora de productos químicos y trabaja con un modelo de comercio internacional de primer nivel [29]. Al ser la primera empresa que va a importar este producto, es necesario regirse a las normas y regulaciones de importación impuestas por el país. Como primera instancia es necesario adquirir una licencia para importaciones; todo este trámite se puede llevar a cabo con la asesoría de un agente aduanero. Los productos que se importan al país son clasificados según sus propiedades y función; a cada uno de ellos le corresponde una subpartida arancelaria. Mediante este código arancelario es posible conocer todos los requisitos para importar la materia prima, en el caso de que esté permitido. Una vez finalizado este procedimiento, se conocería las cantidades permitidas que se puede importar y costos de impuestos arancelarios. Si no se conoce la subpartida arancelaria del producto, el Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE), sugiere que para obtener un costo aproximado del producto que se quiere importar, se suma el 30% al costo original del mismo [30].

3. DISEÑO DE PROCESO

3.1. Caudal de producción

Estudio de mercado

Con el objetivo de establecer un caudal de producción adecuado, se estudió al mercado por medio de encuestas que ayudaron a determinar qué porcentaje de una población estimada

compraría el producto. Se realizó una encuesta de 9 preguntas a 100 personas al azar (la encuesta y resultados se encuentran en el Anexo B.1.) por medio de redes sociales, ya que en esta plataforma existe un mercado amplio de consumidores. A partir de la información recolectada, fue posible determinar que efectivamente el shampoo es considerado muy importante en la rutina de aseo personal. Esta información justifica la predicción realizada en resultados esperados de que el shampoo es un producto de primera necesidad utilizado por todo tipo de consumidor. También se determinó que la persona promedio compra una botella de shampoo de 300 ml en un lapso de 1 a 2 meses, pagando por ella aproximadamente de 4 a 7 dólares. Este dato comprueba el hecho de que el shampoo líquido convencional rinde la mitad de lavadas que el shampoo en barra. Los resultados de las encuestas indican que el 90% de la población estaría dispuesto a probar el shampoo en barra, lo que permite pronosticar que el producto tendrá una buena acogida y aceptación.

Reactivo limitante

Para establecer un caudal de producción, es importante determinar los reactivos o materia prima limitante dentro del proceso. Como se había mencionado anteriormente, el cocoil isetionato de sodio es un surfactante que no se produce ni se distribuye en el Ecuador. Se recomienda tener una provisión que dure 6 meses para así evitar la discontinuidad de la producción. También se estudia la posibilidad de utilizar un tensioactivo artificial que se comercializa en el país.

Caudal de producción

Basándose en el estudio de mercado y en la determinación del reactivo limitante, se van a elaborar 100 barras de cada formulación de shampoo por día, lo que implica una producción de

300 barras semanales, 1,200 barras mensuales y 14,400 barras de shampoo sólido anuales. Inicialmente, la producción abastecerá únicamente el mercado de consumidores que deseen incursionar con el producto. Una vez que el producto haya sido aprobado y sea demandado por el consumidor, la producción anual incrementaría para satisfacer las necesidades del cliente. La planta va a operar 4 días a la semana, de lunes a jueves; lunes, martes y miércoles se destinarán a la producción de un tipo de shampoo por día. Los días jueves se empaquetará y transportará el producto para su distribución. Esta logística se detalla en la Tabla B.2.1 del Anexo B.2.

3.2. Balance de masa

Para el diseño del proceso es necesario definir caudales y composiciones de las corrientes involucradas (ver diagrama de bloque en Figura 2). A partir del caudal de producción se realizaron los balances de masa para cada operación unitaria según la metodología detallada en el Anexo C.2.2. En la siguiente tabla se resumen las corrientes y caudales que ingresan al proceso:

Tabla 2. Corrientes obtenidas de balances de materia

Corriente	Operación Unitaria	Materia prima	Flujo [kg/día]	Flujo total [kg/día]
C1	Mezcla	Surfactante	7.0	7.95
		Vinagre de manzana	0.50	
		Glicerina vegetal	0.40	
		Pigmento en polvo	0.05	
C2	Baño maría	Alcohol cetílico	0.30	1.25
		Ácido esteárico	0.55	
		Manteca de cacao	0.40	
C3	-	Aceites esenciales	0.70	0.80
		Fragancia	0.10	
C4=C1+C2+C3	Mezcla'	Mezcla	10	10
C5=C4	Extrusión	Mezcla arenosa	10	10
C6=C5=C4	Compactación	Cilindros de shampoo	10	10
C7	-	Barra shampoo redonda	100 barras	100 barras

Se utilizan 10 kg de materia prima para producir 100 barras de shampoo sólido, tomando en cuenta que cada barra tiene un peso de 100 g.

4. DISEÑO DE LA PLANTA

4.1. Selección de equipos

El proceso de producción consta de 4 operaciones unitarias que se llevarán a cabo en una mezcladora, equipo industrial de baño maría, extrusora y compactadora. Es importante aclarar que a pesar de que hay dos operaciones unitarias de mezcla, se va a utilizar solo un equipo para este proceso tomando en cuenta el volumen mayor que ingresa. En el mercado, la mezcladora y el equipo de baño maría se encuentran disponibles tanto para producciones pequeñas como para producciones en masa, por lo tanto, se van a adquirir estos equipos con características similares a las requeridas directamente de un distribuidor. Por otro lado, existe una variedad de extrusoras en la industria para distintos propósitos, en este caso se necesita una extrusora de jabón, sin embargo, este equipo típicamente es diseñado para caudales de producción grandes. Tomando en consideración que la producción de la planta es pequeña, se considera más efectivo diseñar y construir una extrusora de shampoo sólido que cumpla con los requerimientos. Además, debido a que no existen compactadoras industriales de shampoo sólido en el mercado, también se va a diseñar este equipo con el cual será posible compactar varias barras de shampoo a la vez, optimizando el tiempo de producción y asegurando que el producto cumpla con altos estándares de calidad. Los diseños 3D de los equipos y sus respectivas proformas se encuentran en el Anexo E y F respectivamente.

4.2. Dimensionamiento de equipos y balance de energía

A partir de los caudales obtenidos de los balances de masa, es posible determinar la capacidad de los equipos. Con esta información se dimensiona cada equipo utilizando la metodología presentada en el Anexo C.2.3. En base al balance de masa y el dimensionamiento de equipos se realizan los balances de energía para obtener sus requisitos energéticos. La mezcladora, la extrusora y la compactadora son equipos potenciados por un motor; el equipo de baño maría es un equipo de calentamiento que requiere calor. El procedimiento para realizar el balance de energía se encuentra en el Anexo C.2.2. y los respectivos cálculos en el Anexo D.1.3.

Diagrama de flujo

La Tabla 3 se resumen los datos más relevantes que se obtuvieron a partir del dimensionamiento de equipos y balances de energía. También se presenta el diagrama de flujo que indica las operaciones unitarias y las corrientes del proceso que se detallan en la Tabla 3. Este diagrama incluye el compresor (C-1) que recibe corriente de aire atmosférico (C8) que activa la compactadora.

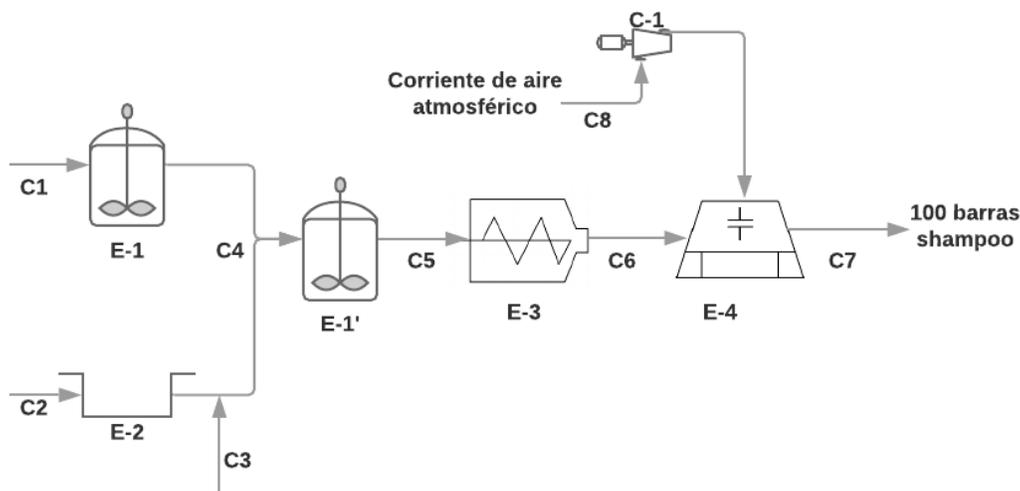


Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de producción del shampoo sólido

Tabla 3. Resultados de dimensionamiento de equipos

Equipo	Características Principales	Valor	Unidad
E-1: Mezcladora de paleta	Capacidad/Volumen	0.0235	m ³
	Diámetro de tanque	0.247	m
	Longitud de tanque	0.592	m
	Tipo agitador	Paleta ancla	-
	Diámetro de agitador	0.0822	m
	Velocidad de agitador	150	rpm
	Potencia de motor	1.131×10^{-3}	kW
E-2: Baño maría	Capacidad/Volumen	0.0182	m ³
	Largo	0.722	m
	Alto	0.417	m
	Ancho	0.209	m
	Eficiencia	70	%
	Calor requerido	5.594×10^{-3}	kW
E-3: Extrusora de tornillo	Capacidad/Volumen	0.0235	m ³
	Longitud de carcasa	0.66	m
	Diámetro de carcasa	0.151	m
	Longitud de tornillo	0.60	m
	Diámetro de tornillo	0.15	m
	Altura de tolva	0.263	m
	Potencia de motor	0.0333	kW
E-4: Compactadora	Capacidad/Matriz	25	cavidades
	Presión de compresión	137.90	psi
	Tipo de cilindro	ADN doble efecto	-
	Número de cilindros	8	-
	Fuerza de cilindro	7,363	N
	Diámetro de vástago	20	mm
	Diámetro émbolo	80	mm
C-1: compresor	Consumo de aire	0.6	cfm
	Volumen de tanque	0.296	m ³
	Potencia de motor	5.59	kW

A partir del dimensionamiento de los equipos y los balances de energía realizados, se calculan los costos de equipos, costos de producción y costos de la planta que se detallan en el próximo capítulo.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

Uno de los inconvenientes que se presenta es la dificultad de adquirir el surfactante natural *cocoil isetionato de sodio* (SCI) que no es producido ni comercializado en el país. En caso de existir problemas en la importación de la materia prima, existe la posibilidad de reemplazar el surfactante natural por el surfactante artificial *lauril sulfato de sodio* (SLS) en polvo, que está disponible permanente en el mercado ecuatoriano. El lauril sulfato de sodio es un excelente detergente y espumante pero irrita la piel al remover en exceso sus aceites naturales [31]. A pesar de esta propiedad, el SLS es ampliamente utilizado en productos cosméticos y de cuidado personal ya que se ha determinado como seguro para los consumidores y el medio ambiente [32]. Para el desarrollo del análisis económico se toma en cuenta una producción que utiliza el SCI y otra producción que utiliza el SLS. La metodología que se utiliza para calcular todos los componentes que incluye el análisis económico se detalla en el Anexo C.3.

5.1. Métodos de estimación

La estimación de la inversión se considera el primer presupuesto para la implementación de la planta y permite decidir la viabilidad del proyecto [33]. Se va a emplear 3 métodos para la estimación de costos: método de Lang, de Hand y método factorial detallado. Cada método considera diferentes factores correctivos y de instalación de equipos.

Los costos que se obtuvieron a partir de los distintos métodos son:

Tabla 4. Estimación de costos utilizando distintos métodos

Estimación de costos		
Método de Lang	Método de Hand	Método factorial detallado
C_L [\$]	C_H [\$]	C_{FD} [\$]
120,804.84	98,153.94	90,719.51

La estimación más alta se obtiene a partir del método de Lang, esto se debe a que es menos específico ya que solo considera un factor que depende del tipo de procesamiento. Por otro lado, el método de Hand y el método factorial detallado consideran otros factores como factor de material, de montaje de equipo, de tuberías, entre otros, que resulta en la obtención de costos más cercanos a la realidad.

5.2. Inversión de capital fijo y capital de trabajo

La inversión de capital fijo incluye el costo total de diseño, construcción e instalación de la planta. Esta inversión se compone del costo ISBL, costo OSBL, costos de ingeniería y construcción, y los gastos imprevistos. Por otra parte, el capital de trabajo es la inversión adicional que se requiere para poner en marcha el proyecto hasta que este empiece a generar ingresos. Los valores de los costos mencionados se presentan a continuación:

Tabla 5. Inversión de capital fijo y capital de trabajo

Costo ISBL [\$]	Costo OSBL [\$]	Inversión capital fijo [\$]	Inversión capital de trabajo [\$]	
93,321.56	37,328.62	183,760.26	Barra con SLS	Barra con SCI
			42,733.54	44,074.18

5.3. Costos de producción

Uno de los componentes del capital de trabajo es el valor de inventario de productos y subproductos que se calcula a partir de los costos de producción que incluye costos de producción variables y fijos. Los costos de producción variables son los costos proporcionales al rendimiento y al caudal de producción. Se toma en cuenta el costo de materias primas, servicios básicos, transporte y embalaje. Al contrario, los costos de producción fijos no son susceptibles a cambios en la eficiencia del proyecto e incluyen costos de labor de operación, supervisión, gastos salariales, mantenimiento, impuestos sobre propiedad, alquiler de tierra, gastos generales de planta, gastos medioambientales y licencias. El costo en efectivo de producción anual (CCOP) es la suma de los costos de producción fijos y variables. La siguiente tabla muestra los costos de producción.

Tabla 6. Costos anuales de producción variables y fijos y CCOP

Costos de producción variables <i>VCOP</i> [\$]		Costos de producción fijos <i>FCOP</i> [\$]		Costo en efectivo de producción <i>CCOP</i> [\$]	
Barra SLS	Barra SCI	Barra SLS	Barra SCI	Barra SLS	Barra SCI
30,527.11	35,768.71	55,848.95		86,376.06	91,617.66

5.4. Componentes de los ingresos del proyecto

Ingresos

Se calculan los ingresos anuales que se obtienen a partir de la venta de shampoo compuesto por SCI y por SLS. Debido a que el surfactante natural es más costoso que el surfactante artificial ya que tiene mejores propiedades, la barra de SCI tiene un precio de venta superior que consecuentemente va a generar mayores ingresos, como se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7. Ingresos por ventas anuales considerando dos distintos surfactantes

Caudal de producción anual	Costo barra incluido IVA [\$]	Ingresos por venta anuales [\$]
14,400 barras SCI	11.00	158,400.00
14,400 barras SLS	12.00	172,800.00

Margen bruto

El margen bruto es igual a los ingresos por ventas menos el costo de materia prima. A continuación, se compara el precio de venta de la barra con su costo de producción tomando en cuenta solamente las materias primas.

Tabla 8. Margen bruto del proyecto

Tipo de barra	Costo de producción barra [\$]	Precio de venta al público [\$]	Margen bruto [%]
Formulación 1: cabello reseco	1.44	12.00	88
Formulación 1: cabello grasoso	1.67		86
Formulación 1: cabello maltratado	1.59		87

Beneficios

Para analizar la rentabilidad del proyecto se calcula la inversión inicial total, que es la suma del capital fijo y del capital de trabajo, y el beneficio neto anual de la planta que es el ingreso por ventas menos costos de producción e impuestos. El costo de inversión inicial y el beneficio neto se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Inversión total y beneficio neto anual de la planta

Inversión inicial total [\$]		Beneficio neto [\$]	
Barra SLS	Barra SCI	Barra SLS	Barra SCI
226,493.80	227,834.44	61,721.71	68,590.51

5.5. Tiempo de recuperación y ROI

El tiempo en el cual se va a recuperar el capital invertido para la ejecución del proyecto se conoce como el tiempo de recuperación. El periodo de recuperación es un factor importante que ayuda a determinar si es factible emprender el proyecto; un tiempo de recuperación muy extenso puede significar pérdidas para la planta y una mayor inversión en repuestos y mantenimiento. El ROI (en inglés return on investment) es el retorno de inversión y es un indicador financiero que ayuda a medir y proyectar los resultados económicos de las inversiones de un proyecto y su viabilidad [34]. Representa la relación entre la inversión inicial y el beneficio bruto e indica qué porcentaje de lo invertido se ha recuperado.

Tabla 10. Tiempo de recuperación y retorno de inversión (ROI)

Tiempo de recuperación [años]		ROI [%]	
Barra SLS	Barra SCI	Barra SLS	Barra SCI
3.67	3.32	27.25	30.11

Como se puede apreciar en la Tabla 10, el tiempo de recuperación considerando dos producciones con distintos surfactantes es aproximadamente 4 años. Además, el ROI indica qué porcentaje de lo invertido se ha recuperado, ya que este valor es positivo, en definitiva, se están generando ingresos. A partir de los componentes de los ingresos del proyecto es posible analizar si es rentable, factible y viable.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El shampoo es un producto básico de higiene personal que se utiliza para la limpieza y cuidado del cabello. En la actualidad, es un producto de primera necesidad que se consume de

manera masiva a nivel mundial, sin embargo, representa un impacto negativo en el ambiente ya que los envases plásticos en los que se comercializa son desechados irresponsablemente aumentando la contaminación de plástico en océanos y botaderos. Una de las tendencias de cuidado personal más importantes es el shampoo en barra ya que es considerado un revolucionario cosmético sustentable para el lavado diario. Se introducirá al mercado una barra de shampoo compuesta por el surfactante o detergente natural cocoil isetionato de sodio (SCI). No tiene una envoltura plástica, la barra está compuesta por un surfactante natural ideal para pieles sensibles, es un producto que rinde más que el shampoo convencional y es multipropósito. El objetivo principal de este proyecto es realizar un estudio de prefactibilidad para una planta de producción de shampoo sólido compuesto por detergentes. Con el fin de determinar si el proyecto es viable en el Ecuador, se plantearon 3 objetivos específicos: el desarrollo del diseño del proceso, diseño de la planta y el análisis económico.

Como primer paso, se seleccionó el proceso de producción del shampoo sólido, tomando en cuenta que se van a producir barras de shampoo syndet (compuestas por detergentes). Este proceso es sencillo ya que solo implica la mezcla física de las materias primas y los balances de masa son representados por la ecuación entrada es igual a salida. Para el diseño del proceso, se estableció un caudal de producción pequeño, de apenas 10 kg de shampoo sólido al día. Esta decisión influyó en el dimensionamiento de los equipos ya que sus capacidades son pequeñas a diferencia de los de una planta industrial convencional. Tanto las dimensiones de los equipos como sus requisitos energéticos que se muestran en la Tabla 2, son pequeños. Es más, los motores que se van a escoger para potenciar a la mezcladora y a la compactadora son de apenas medio caballo de fuerza. Una producción pequeña tiene varias ventajas; no requiere una gran inversión para la compra de materia prima y la construcción de los equipos. Se concluye que el precio que se asigna

a la barra permite que haya ganancias a pesar de que solo se producirán 1,200 barras de shampoo al mes. En la Tabla 8 se muestra el margen bruto que indica que se va a recuperar aproximadamente 8 veces lo invertido en la adquisición de materia prima con la venta del producto. Una vez que el shampoo sólido se establezca en el mercado, su consumo aumentará y por ende el caudal de producción.

Mediante el estudio de los componentes económicos, se concluyó que el proyecto es rentable, viable y factible. Es rentable debido a que los ingresos por ventas del producto son mayores a los costos de producción. En ambos casos, ya sea que se considere una producción con surfactante natural o con surfactante artificial, los ingresos serán mayores a los egresos como se puede confirmar en la Tabla 9. Esto se comprueba con el factor ROI que se utiliza para determinar el rendimiento que se ha obtenido de una inversión. Una inversión es rentable cuando el ROI es positivo, caso contrario, si este valor fuera negativo significaría pérdidas de capital. Se obtiene un retorno de inversión positivo del 30.11 % (Tabla 10) para una producción con SCI, lo que significa que por cada dólar invertido se está recuperando aproximadamente 30 centavos. En el caso de que sea necesario utilizar el surfactante SLS también se obtiene un ROI positivo de 27.25%, por lo tanto, se concluye que el proyecto es rentable considerando cualquiera de los dos surfactantes.

A partir del tercer año de la puesta en marcha de la planta, se empieza a obtener una ganancia total por el producto con cualquiera de los dos surfactantes, lo que indica que este proyecto es viable (Tabla 10). Tomando en cuenta que la ejecución del proyecto implica una inversión a largo plazo en la cual se incluye la compra de infraestructura y la adquisición de maquinaria, el tiempo de recuperación es lógico. Mientras se recupera la inversión inicial se obtienen ganancias importantes, sin embargo, este capital se destina al pago de costos fijos y variables que incluyen compra de materia prima, pago de servicios básicos, pago de salarios, entre

otros gastos, al igual que costos propios de la inversión como el pago de la adquisición de equipos y la infraestructura. Sin embargo, a finales del tercer año, se cumple con el periodo de recuperación y los ingresos por venta del producto serán netos, pues la inversión alcanza un punto de equilibrio necesario para seguir funcionando. Además, una vez culminado este periodo se pronostica que el ROI aumentará al igual que la ganancia por cada dólar invertido. Cuanto más corto sea el periodo de recuperación, más deseable y atractiva es la inversión.

Se concluye que el proyecto es factible ya que se va a introducir al mercado un producto innovador de primera necesidad y alta demanda. El shampoo en barra cumple las mismas funciones que el shampoo convencional con beneficios agregados que lo hacen más atractivo, por lo que se estima que su consumo superará al del shampoo líquido. Adicionalmente, el surfactante que se utiliza, cocoil isetionato de sodio, es un tensioactivo natural ideal para pieles sensibles. Esta ventaja supone una expansión del mercado debido a que el consumidor con piel sensible o problemas dermatológicos podrá utilizar la barra de shampoo sin agravar su condición. Finalmente, a pesar de las limitaciones que se puedan presentar por la falta de disponibilidad de materia prima (cocoil isetionato de sodio), se presenta un plan económico alternativo que justifica la rentabilidad, viabilidad y factibilidad del proyecto al utilizar el surfactante artificial lauril sulfato de sodio. Para una producción con SCI se determinó un beneficio neto de \$68,590.51 con una inversión inicial de \$227,834.44 que se va a recuperar en un periodo de 3 años y 4 meses. Para una producción con SLS se determinó un beneficio neto de \$61,721.71 con una inversión inicial de \$226,493.80 que se recuperará en el transcurso de 3 años y 8 meses. Las tablas de la 6 a la 10, presentan valores que indican que con cualquiera de los dos surfactantes los ingresos son mayores que los egresos, el tiempo de recuperación de la inversión inicial es corto, y el ROI es positivo. En definitiva, es posible llevar a cabo este proyecto pese las limitaciones que se puedan enfrentar.

6.2. Recomendaciones

El proceso de producción del shampoo sólido que se ha seleccionado es efectivo y no requiere de cambios importantes. Se pueden realizar modificaciones en el diseño del proceso, por ejemplo, con el fin de abaratar costos de materia prima, se podrían incorporar el cocoil isetionato de sodio y el lauril sulfato de sodio en las formulaciones del shampoo. El costo del tensioactivo natural es dos veces más caro que el surfactante artificial, al utilizar ambos detergentes se reduce la inversión de la materia prima. Además, como se había mencionado en el capítulo 3, es posible mezclar surfactantes con diferentes propiedades para obtener un detergente mejorado. Al mezclar un surfactante natural con uno artificial, se va a minimizar las propiedades irritantes del artificial.

Por otra parte, en cuanto al desarrollo del análisis económico, se recomienda considerar los precios de equipos disponibles en el mercado. Al calcular el costo de equipos por medio de los distintos métodos aplicados, se está considerando el peor escenario posible, por lo que los precios calculados son exagerados y muy alejados a los que se encuentran en el mercado. Con el propósito de obtener una estimación de la inversión inicial más cercana a la realidad, se sugiere calcular el promedio entre los costos de equipos calculados mediante los distintos métodos, y los costos de los equipos que se encuentran disponibles en el mercado.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Australian Government Department of Health,” *Personal Hygiene*, 2010.
<https://www1.health.gov.au/internet/publications/publishing.nsf/Content/ohp-enhealth-manual-atsi-cnt-l~ohp-enhealth-manual-atsi-cnt-l-ch3~ohp-enhealth-manual-atsi-cnt-l-ch3.7>.
- [2] B. E. Elewski, “Clinical diagnosis of common scalp disorders.,” *J. Investig. Dermatol. Symp. Proc.*, vol. 10, no. 3, pp. 190–193, 2005, doi: 10.1111/j.1087-0024.2005.10103.x.
- [3] K. Sakamoto, R. Y. Lochhead, H. I. Maibach, and Y. Yamashita, *Cosmetic Science and Technology: Theoretical Principles and Applications*. 2017.
- [4] P. Pusporini, K. Abhary, and L. Luong, “Integrating Environmental Requirements into Quality Function Deployment for Designing Eco-Friendly Product,” *Int. J. Mater. Mech. Manuf.*, 2013, doi: 10.7763/ijmmm.2013.v1.17.
- [5] S. Rebello, A. K. Asok, S. Mundayoor, and M. S. Jisha, “Surfactants: Toxicity, remediation and green surfactants,” *Environmental Chemistry Letters*. 2014, doi: 10.1007/s10311-014-0466-2.
- [6] B. Howard, “National Geographic,” *Acciones para combatir la contaminación plástica*, 2018. <https://www.nationalgeographic.com/planeta-o-plastico/2018/07/acciones-para-combatir-la-contaminacion-plastica>.
- [7] M. Bergmann, M. B. Tekman, and L. Gutow, “Marine litter: Sea change for plastic pollution,” *Nature*, vol. 544, no. 7650, p. 297, 2017, doi: 10.1038/544297a.
- [8] A. Morales, “Vogue,” *Mis amigas han decidido cambiar su champú tradicional*, 2019.
- [9] A. Barra Caracciolo, M. Cardoni, T. Pescatore, and L. Patrolecco, “Characteristics and environmental fate of the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate (SLES) used as

- the main component in foaming agents for mechanized tunnelling,” *Environmental Pollution*. 2017, doi: 10.1016/j.envpol.2017.04.008.
- [10] S. Ghosh and D. Blankschtein, “Why is sodium cocoyl isethionate (SCI) mild to the skin barrier? - An in vitro investigation based on the relative sizes of the SCI micelles and the skin aqueous pores,” *J. Cosmet. Sci.*, 2007, doi: 10.1111/j.1468-2494.2007.00405_3.x.
- [11] S. White, “eHow,” *Desventajas del lauril éter sulfato de sodio*, 2017.
- [12] M. Toledo, M. Fernanda, P. Romero, A. Lorena, V. Gutierrez, and M. Carmen, “Champú en barra Nash,” Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2019.
- [13] “The Eco Well,” *Surfactant Basics*, 2019. <https://www.theecowell.com/blog/surfactant-basics> (accessed Mar. 05, 2020).
- [14] P. D’Souza and S. K. Rathi, “Shampoo and conditioners: What a dermatologist should know?,” *Indian Journal of Dermatology*. 2015, doi: 10.4103/0019-5154.156355.
- [15] U. Kortemeier, J. Venzmer, A. Howe, B. Grüning, and S. Herrwerth, “Thickening Agents for Surfactant Systems,” *SOFW-Journal*, vol. 136, pp. 29–38, 2010.
- [16] “National Institute of Environmental Health Sciences,” *Essential Oils*, 2018. <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/essential-oils/index.cfm> (accedido el 5 de marzo del 2020).
- [17] “Ecoportal,” *Vinagre de manzana para tu cabello, resultados alucinantes*, 2018. <https://www.ecoportal.net/paises/vinagre-de-manzana-para-tu-cabello-resultados-alucinantes/?cn-reloaded=1&cn-reloaded=1> (accedido el 5 de marzo del 2020).
- [18] J. Vilaplana *et al.*, “A physicochemical approach to minimize the irritant capacity of anionic surfactants,” *Exog. Dermatology*, 2002, doi: 10.1159/000047987.
- [19] S. Badui Dergal, *Química de los alimentos*. 2006.

- [20] “PubChem,” *Stearic Acid*, 2004. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Stearic-acid> (accedido el 5 marzo del 2020).
- [21] “Cosmetics Info,” *Cetyl Alcohol*, 2018. <https://cosmeticsinfo.org/ingredient/cetyl-alcohol> (accedido el 5 de marzo del 2020).
- [22] “Aromium,” *Las ocho principales beneficios y usos de la manteca de cacao*, 2018.
- [23] R. Ruth, “Glicerina,” *Usos de la glicerina vegetal*, 2017. <https://glicerina.net/usos-y-beneficios-de-la-glicerina-vegetal/> (accedido el 5 marzo del 2020).
- [24] “ARCSA,” *ARCSA, una institución que mejora continuamente su servicio de atención al usuario*, 2020. <https://www.controlsanitario.gob.ec/arcsa-una-institucion-que-mejora-continuamente-su-servicio-de-atencion-al-usuario/> (accedido el 5 de marzo del 2020).
- [25] “ARCSA,” *Normativa sanitaria para productos cosméticos, productos de higiene*, 2017. <https://www.controlsanitario.gob.ec/arcsa-una-institucion-que-mejora-continuamente-su-servicio-de-atencion-al-usuario/> (accedido el 5 de marzo del 2020).
- [26] “Tambillo Gobierno Parroquial,” *Historia de la parroquia de Tambillo*, 2015. <http://www.gadtambillo.gob.ec/inicio/index.php/la-parroquia/historia/14-la-parroquia> (accedido el 5 de marzo del 2020).
- [27] “Cosmetic benefits of mild cleansing syndet bars versus soap,” *J. Am. Acad. Dermatol.*, 2005, doi: 10.1016/j.jaad.2004.10.359.
- [28] “The soap kitchen,” *Natural cold process solid shampoo*, 2019. <https://www.thesoapkitchen.co.uk/recipe-solid-shampoo/> (accedido el 5 de marzo del 2020).
- [29] “Landy Enterprise Limited,” *Cocoil isetionato de sodio*, 2019. <https://ahlandy.en.alibaba.com> (accedido el 5 de marzo del 2020).

- [30] “Servicio nacional de aduana del Ecuador SENAEC,” *Para importar*, 2019.
<https://www.aduana.gob.ec/para-importar/> (accedido el 5 de marzo del 2020).
- [31] J. Schwitulla, J. Brasch, H. Löffler, A. Schnuch, J. Geier, and W. Uter, “Skin irritability to sodium lauryl sulfate is associated with increased positive patch test reactions,” *Br. J. Dermatol.*, 2014, doi: 10.1111/bjd.12893.
- [32] K. Subramanyan and K. P. Ananthapadmanabhan, “Personal Cleansing,” *Handb. Cleaning/Decontamination Surfaces*, vol. 1, pp. 256–276, 2007, doi: 10.1016/B978-044451664-0/50007-3.
- [33] M. E. Tovar de Rivera, “Estimación de costos en plantas químicas,” Universidad Técnica de Oruro.
- [34] P. Pulliam and J. Phillips, *Return on investment basics*. ASTD Press, 2005.
- [35] “Aceites Esenciales,” *Aceites esenciales: propiedades, usos, listado, beneficios*, 2016.
<https://aceites-esenciales.org> (accedido el 5 de marzo del 2020).
- [36] R. K. Sinnott and G. Towler, *Chemical Engineering Design*. 2013.
- [37] “SRI,” *Impuesto a la renta*, 2019.
- [38] “Control Sanitario Ecuador,” *Tasas registros sanitarios*, 2020.

8. ANEXOS

A. Bases del Diseño

A.1. Ingredientes que componen las barras de shampoo

A continuación, se presentan las tablas en las cuales se resume los ingredientes que componen cada formulación de shampoo, la función de cada ingrediente, su cantidad, proveedor y precio de producción de una sola barra.

Tabla A.1. 1. Ingredientes base que componen las barras de shampoo

Ingredientes base de 3 formulaciones de shampoo						
Ingrediente	Función	% (w/w) [g]	Proveedor	Precio x Mayor [\$ /kg] [\$ /ml]	Precio x unidad [\$ /kg] [\$ /ml]	Precio Producción [\$]
Cocoil isetonato de sodio SCI	Surfactante primario natural. Es un detergente y espumante.	70	Landy Enterprise	\$208.00/20kg	\$10.40/kg	0.728
Lauril Sulfato de Sodio SLS (Polvo)	Surfactante primario artificial. Es un detergente y espumante.	70	Globalquim	\$112.00/20kg Caneca	\$5.60/kg	0.392
Vinagre de Manzana 5% acidez	Surfactante secundario. Mantiene el balance ácido del cabello. Es un buen agente acondicionador y de limpieza, así como un eficaz eliminador de germen.	5	Naturista San Carlos	\$3.80/500ml	\$0.0076/ml	0.038
Ácido Esteárico	Espesante y agente endurecedor.	5.5	Globalquim	\$61.75/25kg Caneca	\$2.47/kg	0.0136
Alcohol Cetílico	Espesante y emoliente. Es un	3	Globalquim	\$65.00/20kg Caneca	\$3.25/kg	0.00975

	ingrediente suavizante e hidratante.					
Manteca de Cacao	Espesante y emoliente. Forma una gran barrera protectora en la piel y tiene un olor natural agradable.	4	Productos Ecuador	\$12.50/kg	\$12.50/kg	0.05
Glicerina Vegetal	Es humectante e hidrata la piel y cabello sin aceites ni ceras.	4	Globalquim	\$296.80/265kg Tambor	\$1.12/kg	0.00448
Precio de base de shampoo con SLS [\$]						0.508
Precio de base de shampoo con SCI [\$]						0.844

En las dos filas que están resaltadas en la Tabla A.1. se presenta la información de los dos surfactantes que pueden componer las barras de shampoo sólido. El precio total de la base de ingredientes es distinto al considerar los dos surfactantes diferentes, pues el tensioactivo natural es más costoso. El precio por kilogramo de cocoil isetionato de sodio se encuentra en \$8.00; a este valor se debe aumentar el 30% de costos arancelarios lo que da un costo final de \$10.40. Como se puede observar en la tabla, el precio por unidad o kilogramo del surfactante SCI es aproximadamente el doble del precio por unidad del SLS. De igual manera, el precio de producción para una barra tomando en cuenta el SCI, es el doble del precio de producción al utilizar SLS.

Tabla A.1. 2. Ingredientes de shampoo para cabello reseco

Formulación 1: Shampoo para cabello reseco						
Ingrediente	Función	% (w/w) [g]	Proveedor	Precio x Mayor [\$/kg] [\$/ml]	Precio x unidad [\$/kg] [\$/ml]	Precio Producción [\$]
Aceite Esencial Menta Piperita	Refrescante fragancia a menta. Alisante natural.	2	Aromalab	\$44.35/500ml	\$0.0887/ml	0.198
Aceite de Coco	Evita la resequedad del cabello y del cuero cabelludo, nutre toda la fibra capilar.	3	Coconut Ecuador	\$25.00/L	\$0.025/ml	0.0826
Aceite Esencial de Jojoba	Hidrata profundamente el cabello sin dejar sensación grasosa, sella las puntas y lo deja brillante.	2	Aromalab	\$55.00/500ml	\$0.11/ml	0.255
Fragancia Coco	Fragancia frutal a coco. Su aroma es una sinergia de frutos rojos.	1	Aromalab	\$22.00/500ml	\$0.044/ml	0.0453
Pigmento en polvo amarillo	Pigmento en polvo para uso cosmético.	0.5	Produquimic	\$25.00/kg	\$25.00/kg	0.0125
Precio de producción de 1 barra de shampoo de 100 g con SLS [\$]						1.10
Precio de producción de 1 barra de shampoo de 100 g con SCI [\$]						1.44

Tabla A.1. 3. Ingredientes de shampoo para cabello graso

Formulación 2: Shampoo para cabello graso						
Ingrediente	Función	% (w/w) [g]	Proveedor	Precio x Mayor [\$/kg] [\$/ml]	Precio x unidad [\$/kg] [\$/ml]	Precio Producción [\$]
Aceite Esencial de Limón	Tiene propiedades astringentes. Al utilizarlo en el cuerpo cabelludo ayuda a eliminar todo tipo de suciedad, la caspa y sobre todo la grasa del cabello.	3	Aromalab	\$47.31/500ml	\$0.0946/ml	0.336
Aceite Esencial de Lavanda	Libera al cabello de exceso de grasa. Equilibra el pH del cuero cabelludo. También combate la caspa y ayuda a promover el crecimiento del cabello.	2	Aromalab	\$47.31/500ml	\$0.0946/ml	0.216
Aceite Esencial de Árbol de Té	Controla la producción excesiva de sebo en las glándulas sebáceas.	2	Aromalab	\$47.80/500ml	\$0.0956/ml	0.216
Fragancia Limón Hierbabuena	Su aroma es una fusión cítrica con notas de hierba aromática.	1	Aromalab	\$18.00/500ml	\$0.036/ml	0.04
Pigmento en polvo verde	Pigmento en polvo para uso cosmético.	0.5	Produquimic	\$32.00/kg	\$32.00/kg	0.016
Precio de producción de 1 barra de shampoo de 100 g con SLS [\$]						1.33
Precio de producción de 1 barra de shampoo de 100 g con SCI [\$]						1.67

Tabla A.1. 4. Ingredientes de shampoo para cabello maltratado

Formulación 3: Shampoo para cabello maltratado						
Ingrediente	Función	% (w/w) [g]	Proveedor	Precio x Mayor [\$/kg] [\$/ml]	Precio x unidad [\$/kg] [\$/ml]	Precio Producción [\$]
Aceite de Almendras	Contiene omega 3 y 6 además de vitamina E, que ayudan a reparar las fibras dañadas e hidrata las puntas.	3	Florasíntesis	\$40.00/500ml	\$0.08/ml	0.261
Aceite de Oliva	Tiene vitaminas, antioxidantes y ácidos esenciales que recupera fuerza e hidratación si cabello ha sido teñido o quemado.	2	Florasíntesis	\$15.00/500ml	\$0.03/ml	0.0656
Aceite Esencial Ylang Ylang	Mejora el crecimiento del cabello y los estados descamativos del cuero cabelludo. Brinda un olor dulce y agradable. Mejora condición y brillo. Calma condiciones inflamatorias de la piel.	2	Aromalab	\$80.00/500ml	\$0.16/ml	0.356
Fragancia Black Cardamom y Ylang	Fragancia amaderada. Fusión de especies y flores dulces de origen asiático.	1	Aromalab	\$20.00/500ml	\$0.04/ml	0.0436
Pigmento en polvo lila	Pigmento en polvo para uso cosmético.	0.5	Produquimic	\$30.00/kg	\$30.00/kg	0.015
Precio de producción de 1 barra de shampoo de 100 g con SLS [\$]						1.25
Precio de producción de 1 barra de shampoo de 100 g con SCI [\$]						1.58

A.2. Funciones y propiedades de aceites esenciales

En la siguiente tabla se describen en detalle las propiedades y funciones de los aceites esenciales utilizados en las formulaciones de las distintas barras de shampoo [35].

Tabla A.2. 1. Propiedades y funciones de aceites esenciales

Ingrediente	Función
Shampoo para cabello reseco	
Aceite esencial menta piperita	Aporta una fragancia refrescante natural al shampoo y regula la producción de grasa en el cuero cabelludo. Es considerado un desodorante que elimina olores de forma natural.
Aceite esencial de jojoba	Es rico en ceramidas, que son sustancias oleosas que promueven la hidratación y nutrición de la piel. Hidrata profundamente el cabello sin dejar sensación grasosa, sella las puntas y lo deja brillante. Está compuesto por agentes que regulan el pH natural y evitan la producción excesiva de sebo por parte de las glándulas sebáceas.
Aceite vegetal de coco	Hidrata y protege la piel y el cabello. Se utiliza como tratamiento para la sequedad del cuero cabelludo o el cabello ya que nutre toda la fibra capilar. Este aceite vegetal ayuda al crecimiento saludable del cabello y aporta brillo y suavidad al mismo
Shampoo para cabello graso	
Aceite esencial de limón	Tiene una fragancia refrescante natural y posee propiedades astringentes que ayuda a eliminar y reducir la grasa que produce la piel o el cuero cabelludo.
Aceite esencial de lavanda	Posee características antimicrobianas y antisépticas capaces de equilibrar el pH del cabello. Ayuda a reducir la segregación de sebo que se produce por un desequilibrio del pH.
Aceite esencial de árbol de té	Hidrata el cabello y el cuero cabelludo a la vez que previene la acumulación de exceso de grasa.
Shampoo para cabello maltratado	
Aceite de almendras	Ideal para cabellos tinturados o que han sido manipulados frecuentemente con equipos de calor como secadora, plancha o rulo. Repara las fibras dañadas e hidrata las puntas; debido a que contiene altas cantidades de vitamina E, ayuda a suavizar y fortalecer el cabello, dándole una apariencia saludable
Aceite de oliva	Ayuda a prevenir los daños capilares que se provocan por la exposición al sol
Aceite esencial de ylang ylang	Previene la caída del cabello, mejora el crecimiento de este, regenera la piel y favorece la salud del cabello utilizado como tónico capilar

A.3. Ficha de datos de seguridad (FDS) de materia prima

Se presentan las fichas técnicas de las materias primas más importantes para determinar las condiciones de operación y las condiciones de transporte y almacenamiento.

Tabla A.3. 1. FDS lauril sulfato de sodio

Nombre Común	Lauril sulfato de sodio (SLS)
Nombre Químico	Sulfato de sodio dodecilo
Fórmula Química	$CH_3(CH_2)_{11}SO_4Na$
Usos	Detergente, emulsionante, dispersante
Presentación	Polvo
Color	Blanco
Peso Molecular	289 g/mol
pH (1%)	8.5 – 10.5
Punto de Ebullición	216 °C *La sustancia se descompone
Punto de Fusión	205.5 °C
Punto de Inflamación	170 °C
Densidad (20 °C)	1.03 g/ml
Solubilidad (20 °C)	> 130 g/L *Moderadamente soluble en agua.
EPP	Guantes, gafas y máscara de protección.
Almacenamiento	Lugar ventilado, fresco y seco. Lejos de fuente de calor e ignición. Si el SLS se conserva en los recipientes originales permanece estable por un mínimo de 1 año, siempre y cuando se proteja de la humedad y se mantenga a temperaturas ≤ 30 °C.
Información Adicional	<ul style="list-style-type: none"> El producto es químicamente estable y no requiere de estabilizantes. El producto es fácilmente biodegradable.
Clasificación NFPA	

Tabla A.3. 2. FDS cocoil isetionato de sodio

Nombre Común	Cocoil isetionato de sodio (SCI)
Nombre Químico	Esteres 2-sufetofílicos
Formula Química	$C_6H_{11}NaO_5S$
Usos	Detergente, emulsionante, dispersante, humectante.
Presentación	Escamas/pellets
Color	Blanco
Peso Molecular	218.21 g/mol
pH (1%)	4.0-6.0
Punto de Fusión	190-210 °C
Densidad (20 °C)	1.625 g/ml
EPP	Guantes, gafas y máscara de protección.
Almacenamiento	Lugar ventilado, fresco y seco. Lejos de fuente de calor e ignición. Si el SLS se conserva en los recipientes originales permanece estable por un mínimo de 1 año, siempre y cuando se proteja de la humedad y se mantenga a temperaturas entre 15-25°C.
Clasificación NFPA	

Tabla A.3. 3. FDS vinagre de manzana

Nombre Común	Vinagre de manzana 5% acidez
Nombre Químico	Vinagre de sidra de manzana
Usos	Detergente, surfactante natural.
Presentación	Líquido
Color	Café
Peso Molecular	60.05 g/mol
pH (1%)	3.5 - 4
Punto de Ebullición	118 °C
Punto de Fusión	17 °C
Punto de Inflamación	43 °C
Densidad (20 °C)	1.01 g/ml
EPP	Guantes
Almacenamiento	Lugares ventilados y sin exposición a la luz.

Tabla A.3. 4. FDS manteca de cacao

Nombre Común	Manteca de Cacao
Usos	Espesante y emoliente.
Presentación	Sólido (Manteca)
Color	Amarillo Pálido
pH	4.5 – 6.0
Punto de Ebullición	> 300 °C
Punto de Fusión	33 - 35 °C
Punto de Inflamación	> 250 °C
Densidad (20 °C)	0.90 – 0.93 g/ml
Solubilidad	Insoluble en agua.
EPP	Guantes.
Almacenamiento	Lugar ventilado, fresco y sin exposición a la luz. Almacenar a temperaturas menores de 28 °C en lugar libre de olores fuertes. Vida útil: 2 años.
Información Adicional	El producto es incompatible con agentes oxidantes.

Tabla A.3. 5. FDS ácido esteárico

Nombre Común	Ácido esteárico
Nombre Químico	Ácido Octadecanoico
Fórmula Química	$C_{18}H_{36}O_2$
Usos	Espesante y agente endurecedor.
Presentación	Polvo
Color	Blanco
Peso Molecular	284.48 g/mol
Punto de Ebullición	383 °C
Punto de Fusión	69 °C
Punto de Inflamación	195 °C
Densidad (20 °C)	0.87 g/ml
Solubilidad	Soluble en alcohol, éter, cloroformo, sulfuro de carbono.
EPP	Guantes, gafas y máscara de protección.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Lejos de fuentes de calor, ignición y de la acción directa de los rayos solares. Mantener en recipiente herméticamente cerrado. Temperatura de almacenamiento recomendada: 15 – 25 °C
Información Adicional	El producto es incompatible con oxidantes y bases fuertes.
Clasificación NFPA	

Tabla A.3. 6. FDS ácido alcohol cetílico

Nombre Común	Alcohol cetílico
Nombre Químico	1-Hexadecanol
Fórmula Química	$C_{16}H_{34}O$
Usos	Espesante y emoliente. Estabilizador de espuma en detergentes.
Presentación	Sólido (Cera)
Color	Blanco
Peso Molecular	242.4 g/mol
Punto de Ebullición	305 - 330 °C
Punto de Fusión	46 - 54 °C
Punto de Inflamación	150 - 155 °C
Densidad (20 °C)	0.82 g/ml
Solubilidad (20 °C)	< 0.0001 g/L *Insoluble en agua.
EPP	Guantes, gafas y máscara de protección.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Lejos de fuentes de calor, ignición y de la acción directa de los rayos solares. Mantener en recipiente herméticamente cerrado. Temperatura de almacenamiento recomendada: 15 – 25 °C
Información Adicional	<ul style="list-style-type: none"> • Es una materia básica neutra con buena compatibilidad con la piel y las mucosas. • Incompatible con agentes oxidantes fuertes.
Clasificación NFPA	

Tabla A.3. 7. FDS glicerina vegetal

Nombre Común	Glicerina vegetal
Nombre Químico	Glicerina USP
Fórmula Química	C_3H_8O
Usos	Humectante.
Presentación	Líquido Aceitoso
Color	Incoloro
Peso Molecular	92.09 g/mol
Punto de Ebullición	290 °C
Punto de Fusión	18 °C
Punto de Inflamación	180 °C
Densidad (20 °C)	1.26 g/ml
EPP	Guante y gafas.
Almacenamiento	Lugar ventilado, fresco y seco. Lejos de agentes oxidantes y de materiales fuertemente ácidos o alcalinos. Almacenar a temperaturas entre 5 – 35 °C.
Información Adicional	El producto es incompatible con agentes oxidantes fuertes, ácidos y bases.
Clasificación NFPA	

Tabla A.3. 8. FDS aceite esencial menta piperita

Nombre Común	Aceite esencial menta piperita
Nombre Químico	Menta piperita labiatae
Aspecto	Líquido viscoso transparente, desde incoloro a amarillo pálido.
Olor	Característico, fresco, mentolado.
Índice de Refracción (20 °C)	1.4559 – 1.465
Punto de Ebullición	212 °C
Punto de Fusión	184 °C
Punto de Inflamación	76 °C
Densidad (20 °C)	0.898 – 0.918 g/ml
Solubilidad (20 °C)	Insoluble en agua. Soluble en etanol.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un lugar bien protegido de la luz. No exponer a temperaturas elevadas.

Tabla A.3. 9. FDS aceite de coco

Nombre Común	Aceite de Coco
Aspecto	Líquido viscoso transparente.
Olor	Característico.
Índice de Refracción (20 °C)	1.4490 – 1.4510
Punto de Humo	232 °C
Punto de Ebullición	300 °C
Punto de Fusión	18 - 26 °C
Punto de Inflamación	288 °C
Densidad (20 °C)	0.960 g/ml
Solubilidad (20 °C)	Insoluble en agua. Soluble en etanol.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un lugar bien protegido de la luz. No exponer a temperaturas elevadas. Vida útil de 1 a 2 años.

Tabla A.3. 10. FDS aceite esencial de jojoba

Nombre Común	Aceite esencial de jojoba
Aspecto	Líquido algo viscoso transparente incoloro a amarillo.
Olor	Jabonosa
Índice de Refracción (20 °C)	1.4600 – 1.4680
Punto de Fusión	7 °C
Punto de Inflamación	295 °C
Densidad (20 °C)	0.860– 0.873 g/ml
Solubilidad (20 °C)	Insoluble en agua. Soluble en etanol.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un lugar bien protegido de la luz. No exponer a temperaturas elevadas.

Tabla A.3. 11. FDS aceite esencial de limón

Nombre Común	Aceite esencial de limón
Aspecto	Líquido viscoso amarillo verdoso pálido.
Olor	Intenso y dulce.
Índice de Refracción (20 °C)	1.4490 – 1.4510
Punto de Humo	232 °C
Punto de Ebullición	300 °C
Punto de Fusión	18 - 26 °C
Punto de Inflamación	288 °C
Densidad (20 °C)	0.81 – 0.85 g/ml
Solubilidad (20 °C)	Insoluble en agua. Soluble en etanol.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un lugar bien protegido de la luz. No exponer a temperaturas elevadas. Vida útil de 1 año.

Tabla A.3. 12. FDS aceite de lavanda

Nombre Común	Aceite de lavanda
Aspecto	Líquido viscoso amarillo claro.
Olor	Característico, fresco herbáceo.
Índice de Refracción (20 °C)	1.4570 – 1.4670
Punto de Ebullición	185-188 °C
Punto de Inflamación	65-76 °C
Densidad (20 °C)	0.878 g/ml
Solubilidad (20 °C)	Insoluble en agua. Soluble en etanol.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un lugar bien protegido de la luz. No exponer a temperaturas elevadas. Vida útil de 1 a 2 años.

Tabla A.3. 13. FDS aceite de árbol de té

Nombre Común	Aceite esencial de árbol de té
Aspecto	Líquido de color ámbar pálido.
Olor	Amaderado, a tierra.
Índice de Refracción (20 °C)	1.475-1.482
Punto de Ebullición	95 °C
Punto de Fusión	-22°C
Punto de Inflamación	57°C
Densidad (20 °C)	0.885 g/ml
Solubilidad (20 °C)	Insoluble en agua. Soluble en etanol.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un lugar bien protegido de la luz. No exponer a temperaturas elevadas.

Tabla A.3. 14. FDS aceite de almendra

Nombre Común	Aceite vegetal de almendra
Aspecto	Líquido con toques amarillos y dorados.
Olor	Dulce.
Índice de Refracción (20 °C)	1.4708-1.4733
Punto de Ebullición	> 316 °C
Punto de Inflamación	> 215 °C
Densidad (20 °C)	0.92 g/ml
Solubilidad (20 °C)	Insoluble en agua. Soluble en etanol.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un lugar bien protegido de la luz. Temperatura de almacenaje recomendada: 15-25°C.

Tabla A.3. 15. FDS aceite de oliva

Nombre Común	Aceite de oliva
Aspecto	Líquido amarillo oro verdoso.
Olor	Afrutado, intenso y fresco.
Índice de Refracción (20 °C)	1.4677-1.4705
Punto de Humo	215 °C
Punto de Ebullición	190 °C
Punto de Fusión	-41 °C
Punto de Inflamación	288 °C
Densidad (20 °C)	0.914 g/ml
Solubilidad (20 °C)	Insoluble en agua. Soluble en etanol.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un lugar bien protegido de la luz. No exponer a temperaturas elevadas. Vida útil de 1 año.

Tabla A.3. 16. FDS aceite de ylang ylang

Nombre Común	Aceite esencial de ylang ylang
Aspecto	Líquido amarillo pálido.
Olor	Floral, jazmín
Índice de Refracción (20 °C)	1.5030-1.5130
Punto de Inflamación	75 °C
Densidad (20 °C)	0.9 g/ml
Solubilidad (20 °C)	Insoluble en agua. Soluble en etanol.
Almacenamiento	Lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un lugar bien protegido de la luz. No exponer a temperaturas elevadas. Vida útil de 1 año.

B. Diseño de proceso

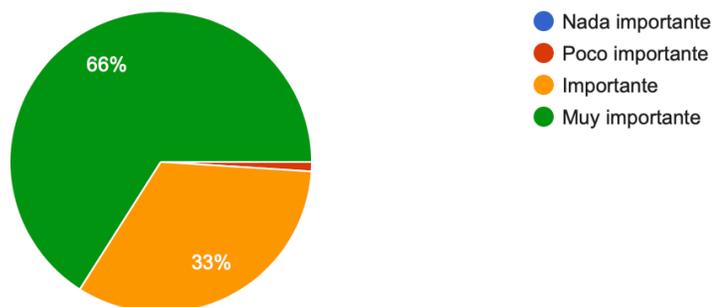
B.1. Estudio de mercado

Encuesta

Se realizó una encuesta a una población de 100 personas con el fin de estudiar el posible mercado del producto. La encuesta se creó en la plataforma “Google Surveys” y sus resultados se presentan a continuación:

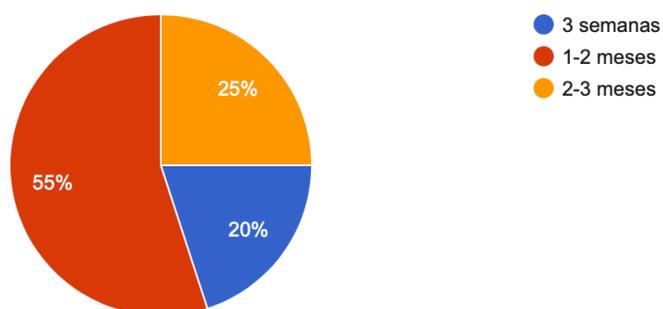
¿Qué tan importante consideras que es el shampoo en tu rutina de aseo personal?

100 responses



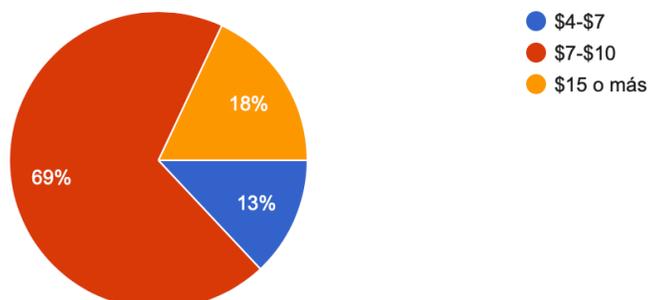
¿Cuánto tiempo te dura una botella mediana de shampoo (300 ml)?

100 responses



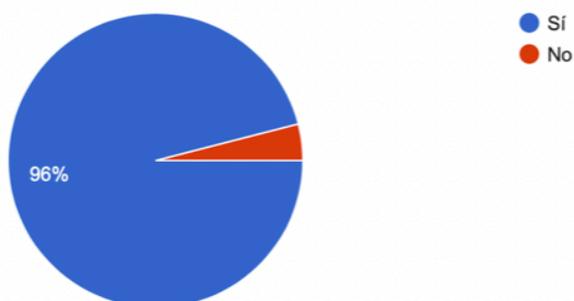
¿Aproximadamente cuánto paga por una botella mediana de shampoo líquido?

100 responses



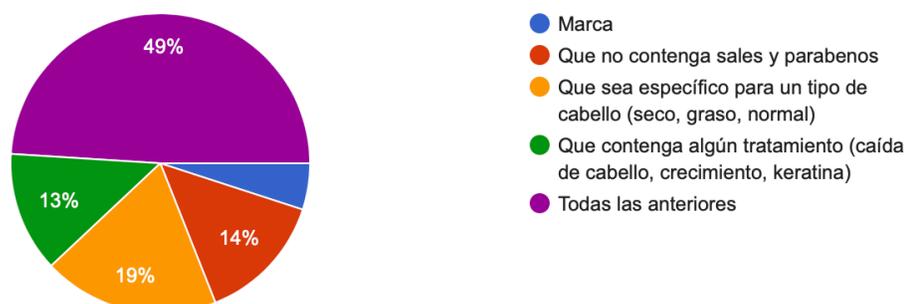
¿Le interesa el cuidado del medio ambiente o realiza alguna práctica para cuidarlo?

100 responses



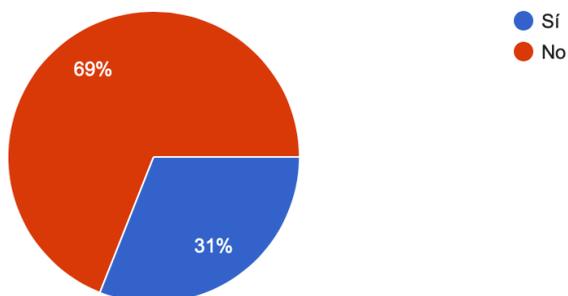
¿Qué información es importante para usted al momento de comprar un shampoo?

100 responses



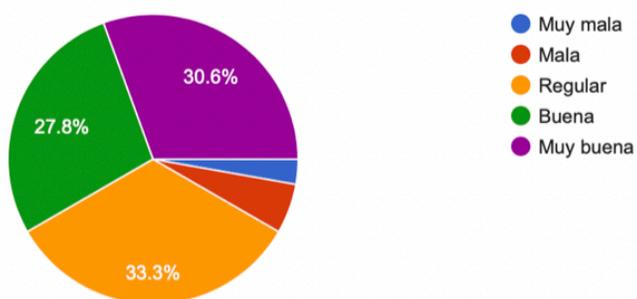
¿Alguna vez ha utilizado el producto shampoo en barra?

100 responses



Si su respuesta anterior es positiva, ¿cómo fue su experiencia al utilizar este producto?

36 responses



¿Estaría usted dispuesto a utilizar o intentar nuevamente el shampoo en barra?

86 responses

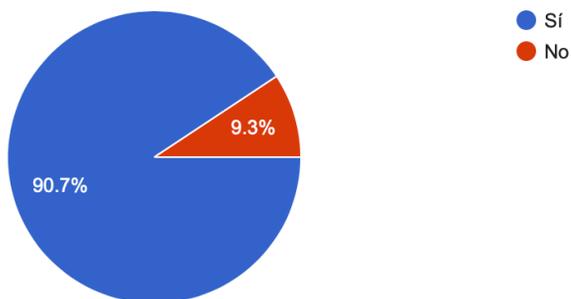




Figura B.1. 1. Encuestas y estadísticas de respuestas

B.2. Horario de operación

En la siguiente tabla se resumen las actividades que se van a realizar en el transcurso de la semana laboral. La planta va a trabajar 4 días a la semana, de lunes a jueves, y la jornada laboral es de 9 de la mañana hasta las 2 de la tarde.

Tabla B.2. 1. Horario de operación de la planta

Horas	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves
1	Preparación/medición de materia prima.	Preparación/medición de materia prima.	Preparación/medición de materia prima.	Empaquetamiento, transporte e inventario.
2	Elaboración de formulación 1: shampoo para cabello reseco.	Elaboración de formulación 2: shampoo para cabello graso.	Elaboración de formulación 3: shampoo para cabello maltratado.	
1	Limpieza de equipos y planta.	Limpieza de equipos y planta.	Limpieza de equipos y planta.	
1	Demora/imprevistos	Demora/imprevistos	Demora/imprevistos	

C. Metodología

C.1. Proceso de producción de shampoo sólido

Para producir una barra de shampoo de peso 100 gramos, se siguen los siguientes pasos:

1. Se diluye el vinagre de manzana 1:1.
2. En la mezcladora, se prepara la mezcla seca mezclando el lauril sulfato de sodio, el vinagre diluido, la glicerina vegetal y el pigmento en polvo respectivo.
3. En baño maría se calientan los compuestos sólidos: alcohol cetílico, ácido esteárico y manteca de cacao, hasta obtener una mezcla líquida.
4. Una vez que se saca la mezcla líquida del baño maría, se deja reposar 3 minutos y se procede a añadir la fragancia y los aceites esenciales correspondientes.
5. En la mezcladora se combinan la mezcla seca y líquida hasta obtener una mixtura grumosa que se pueda compactar.
6. Se introduce la mezcla arenosa a la extrusora con el fin de homogenizarla y darle forma.
7. Se compacta esta mezcla en la compactadora de tal forma que quede una barra redonda de 6 cm de diámetro y 2 cm de ancho. A continuación, se muestra la figura que indica la forma de la barra del shampoo.

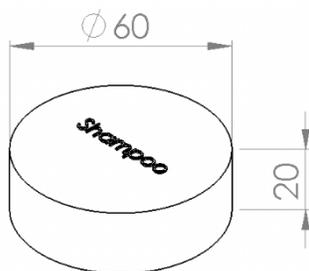


Figura C.1. 1. Forma geométrica de barra de shampoo

C.2. Diseño de planta

C.2.1. Diagramas de bloque y flujo

Para realizar los cálculos de balance de masa y de energía, es necesario hacer los diagramas de bloque y de flujo que representan gráficamente un proceso de producción. A continuación, se explica paso a paso el procedimiento para realizar estos diagramas.

Diagrama de bloque

Un diagrama de bloque consiste en una serie de rectángulos, que representan operaciones unitarias, conectados con líneas de ingreso y salida, que usualmente representan tuberías. A continuación, se presentan los pasos para realizar un diagrama de bloque.

1. Establecer condiciones importantes del proceso.
2. Al inicio se coloca una flecha que ingresa al primer rectángulo del proceso que representa la primera operación unitaria. Esta flecha indica los compuestos/materia prima que entran al proceso.
3. Se colocan las operaciones unitarias en orden, de izquierda a derecha, en rectángulos que se unen por medio de líneas.
4. Se coloca una flecha que sale del último rectángulo que indica los componentes o el producto que sale del proceso.
5. Se incluyen los caudales y composiciones conocidas antes o después de cada operación (rectángulo). Para simplificar información, se recomienda representar las variables tanto conocidas como desconocidas con símbolos definidos.
6. Se incluyen temperaturas y presiones conocidas.

Diagrama de flujo

1. Una vez determinadas las operaciones unitarias se elijen los equipos en los cuales se van a llevar acabo. Se representan los equipos con íconos generalmente aceptados.
2. Los equipos principales deben ser codificados con sus respectivos nombres y código único.
3. Al inicio se coloca una flecha que ingresa al primer equipo en el cual se va a llevar a cabo la operación unitaria. Esta flecha indica los componentes o la materia prima que entra al proceso. Se colocan los equipos en orden.
4. Se unen los equipos con líneas que representan las corrientes del proceso que deben ser identificadas y numeradas.
5. Se coloca una flecha que sale del último equipo que indica los componentes o el producto que sale del proceso.
6. Se incluyen las condiciones y las composiciones de cada corriente y se resume esta información en una tabla.

C.2.2. Balance de masa y de energía

Análisis grados de libertad según tipo de balance

A partir del análisis de grados de libertad se conoce si es posible resolver el balance de masa. Si se obtiene un valor de cero, entonces el problema tiene una única solución y se procede a resolver el balance de masa. Si el grado de libertad es mayor a cero, el problema tiene infinitas soluciones y se requiere de más relaciones para que haya una única solución. Si el grado de libertad es menor a cero, hay información de más y es posible que el problema esté mal planteado. Para el proceso de producción del shampoo sólido se realiza el análisis de grados de libertad para un balance atómico.

Se realiza la siguiente operación matemática:

1. Se suma el número de incógnitas del proceso.
2. Se resta el número de balances de especies atómicas independientes reactivas. (¿Cuántos tipos de átomos hay?)
3. Se resta el número de balances moleculares de especies moleculares no reactivas. (¿Cuántos tipos de moléculas no reactivas hay?)
4. De haberlas, se resta el número de otras ecuaciones.

Balance de masa

Para realizar el balance de masa se debe tomar en cuenta la siguiente ecuación que lo representa:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

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

Debido a que el proceso de producción de shampoo sólido no implica una reacción, entonces se emplea la siguiente ecuación que representa el balance de masa atómico:

$$E = S$$

Se siguen los siguientes pasos para realizar el procedimiento general de balance de masa:

1. Se elige una base de cálculo seleccionando uno de los caudales principales conocidos de la alimentación o del producto final. En el caso de que no haya un caudal conocido, se asume un caudal múltiplo de 100.
2. Se realiza el diagrama de bloque anotando todas las variables conocidas, tanto caudales como composiciones.
3. Se expresa lo que se debe calcular (incógnitas) en términos de símbolos definidos.

4. Se realiza la conversión de unidades con el fin de unificar las unidades de todas las variables y simplificar los cálculos que se deben realizar.
5. Se realiza el análisis de grados de libertad global y para cada subsistema.
6. Se determinan las ecuaciones de balance de masa global y para cada operación unitaria considerando los átomos involucrados en el proceso. Se escriben las ecuaciones en orden de complejidad.
7. Se resuelve el sistema de ecuaciones ayudándose de las variables conocidas y las condiciones del proceso. Se resuelve para las incógnitas que se determinaron anteriormente.
8. Finalmente, se realiza el escalonamiento del balance de masa que implica ajustar la base del cálculo a datos reales.

Balance de energía

1. Se determinan los equipos que requieren un consumo energético para realizar su respectivo balance de energía.
2. Se identifican las variables conocidas, ya sea flujo másico, temperaturas o entalpías (H).
3. A partir de bibliografía, se obtiene el calor específico (C_p) de todos los compuestos involucrados en el proceso.
4. Se calcula el calor específico de la mezcla que es igual al valor promedio de los calores específicos que componen la mezcla. En el caso de que se esté trabajando con entalpías entonces se calcula la entalpía de la mezcla de la misma manera.
5. Para cada operación unitaria se calcula la diferencia de temperaturas.

6. Dependiendo de las variables conocidas de cada operación unitaria, se calcula el calor requerido (Q) ya sea con el calor específico de la mezcla o la entalpía de la mezcla; se muestran las ecuaciones respectivamente:

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T$$

$$Q = \dot{m}\Delta H$$

7. En el caso de considerar la eficiencia de los equipos, se calcula el nuevo calor requerido.
8. En el caso de bombas y compresores, primero se calcula el balance de energía mecánico con el fin de calcular la potencia y con este dato calcular el consumo energético.
9. En cuanto a motores, se realizan los cálculos pertinentes para hallar la potencia de este dependiendo del equipo.

El balance de energía se calcula de distinta forma dependiendo del equipo que se está analizando. A continuación, se presenta la metodología para calcular el balance de energía para cada equipo:

Mezcladora

Para hallar la potencia del motor de la mezcladora es necesario calcular el número de Reynolds para calcular el número de potencia. Para hallar el número de Reynolds se aplica la siguiente ecuación:

$$N_{Re} = \frac{(D_a)^2(N)(\rho_b)}{\mu_M}$$

Donde D_a es el diámetro del agitador, N es la velocidad de rotación en rev/s, ρ_b es la densidad bulk y μ_M es la viscosidad de la mezcla. El número de potencia de un agitador simple de tipo ancla cuando el $N_{Re} < 100$ se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$N_p = 215 (N_{Re})^{-0.955}$$

Finalmente, para calcular la potencia del motor se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = (N_p)(\rho_b)(N^3)(D_a^5)$$

Extrusora

Para calcular la potencia del motor de la extrusora se aplica la siguiente ecuación:

$$P_o = P \times Q$$

Donde P_o es la potencia eléctrica del motor de la extrusora, P es la presión que se aplica en la extrusión y Q es el flujo volumétrico. La presión que se debe aplicar para que la mezcla de las materias primas (mezcla arenosa) se compacte es de $P = 120 \text{ Psi} = 0.827 \text{ MPa}$.

Para conocer el flujo volumétrico o la producción del tornillo es necesario calcular el flujo de arrastre, el flujo de presión y el flujo de filtración. La capacidad de producción que posee el tornillo es denominada Q y se expresa como flujo volumétrico. Dentro del cilindro se generan 3 tipos de flujos:

- **Flujo de arrastre (α):** material que arrastra el tornillo y es producido por el movimiento del cilindro.
- **Flujo de presión (β):** es aquel que se opone al flujo del sistema, es un flujo de retorno que se opone al movimiento.
- **Flujo de filtración (γ):** reduce la producción debido a las pérdidas del material que se produce en la holgura entre el cilindro y el tornillo.

El flujo volumétrico se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \left(\frac{\alpha K}{K + \gamma + \beta} \right) N$$

Donde K es la forma geométrica de la boquilla y N es el número de revoluciones por minuto. De la bibliografía se conoce que un motor de 1 HP tiene una caja reductora de 220 rpm.

Flujo de arrastre

Para calcular el flujo de arrastre se utiliza la siguiente formula:

$$\alpha = \frac{\pi m D h \left(\frac{t}{m} - e \right) (\cos \varphi)^2}{2}$$

Se tiene en cuenta que m es el número de canales del filete, en este caso 1.

Flujo de presión

Se calcula el flujo de presión con la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{m h^3 \left(\frac{t}{m} - e \right) \sin \varphi \cos \varphi}{12 L}$$

L representa la longitud del tornillo.

Flujo de pérdidas

Se aplica la siguiente formula para calcular el flujo de pérdidas:

$$\gamma = \frac{\pi^2 D^2 H^3 \tan \varphi}{10 e L}$$

Factor K para la forma geométrica de la boquilla

$$K = \frac{3 \pi d_1^3 d_2^3}{128 l (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2)}$$

Donde d_1 es el diámetro de ingreso del material, d_2 es el diámetro de salida del material y l es la longitud de la boquilla. Se toma en cuenta que $d_1 = 0.15045 \text{ m}$ y corresponde al diámetro del tornillo más su holgura, y $d_2 = 0.03 \text{ m}$ y corresponde al diámetro del producto final para la etapa de compactado. Estos son los diámetros por donde ingresa y sale el material.

Flujo volumétrico

Para calcular el flujo volumétrico se toma en cuenta las variables calculadas anteriormente y se aplica la ecuación que se muestra a continuación:

$$Q = \left(\frac{\alpha K}{K + \gamma + \beta} \right) N$$

Para transformar flujo volumétrico a flujo másico se utiliza la densidad bulk.

Compactadora

Para seleccionar el motor que accionará al compresor de la compactadora en el catálogo Festo, es necesario hallar el consumo de aire con la siguiente ecuación:

$$Q_{gasto\ cilindro} = \left(\frac{C D_{\acute{e}mbolo}^2 \pi}{4} + \frac{C (D_{\acute{e}mbolo}^2 - D_{v\acute{a}stago}^2) \pi}{4} \right) n \frac{1.013 + P_{operaci\acute{o}n}}{1.013}$$

Donde C es la longitud de la carrera; el rango estándar de la longitud de carrera se encuentra entre 1 a 500 mm. Debido a que se está trabajando con una mezcla arenosa de poca densidad, y no requiere de una carrera larga que la empuja, se determina un valor de 150 mm de longitud. Por otro lado, n representa el número de carrera por minuto, en este caso se realiza una carrera cada 5 minutos. Debido a que la compactadora está compuesta por 8 cilindros, se calcula el consumo de aire mediante la siguiente ecuación, tomando en cuenta 5% de pérdida de fugas:

$$Q_{gasto\ total} = Q_{gasto\ cilindro} \times 8 \times 105\%$$

Se calcula el volumen del tanque de almacenamiento de aire del compresor con la siguiente ecuación:

$$V_{tanque} = \frac{15(Q_{gasto\ total})(P_{admisión})}{(\Delta P)N}$$

Donde $P_{admisión}$ es la presión en la admisión y se asume que tiene un valor de 1 bar y ΔP representa la diferencia de presión en el tanque de almacenamiento. Un rango estándar de presiones es de 90 psi como presión final y 40 psi como presión inicial. N representa los ciclos de conmutación/hora de funcionamiento del compresor que en este caso es 15. Una frecuencia mayor implicaría un desgaste excesivo de las diferentes partes del compresor lo que reduciría la vida útil del equipo.

C.2.3. Dimensionamiento de equipos

Para realizar el dimensionamiento de equipos se utiliza la información obtenida a partir de los balances de masa. A continuación, se detalla la metodología que se debe emplear para conocer las características principales de cada equipo:

Mezcladora

Primero, se elije el tipo de mezcladora que se desea diseñar. Se determina la geometría del recipiente que usualmente es cilíndrica. También se elije el material con el cuál se va a trabajar. Se calcula el volumen operativo utilizando información obtenida a partir del balance de masa. El volumen se calcula dividiendo la masa de la mezcla que entra a la mezcladora para la densidad de esta. Se emplea la siguiente ecuación:

$$V_{mezcla} = \frac{m_{mezcla}}{\rho_b}$$

Para calcular la densidad teórica de la mezcla también conocida como densidad bulk, primero se preparó la mezcla de shampoo siguiendo los pasos del anexo C.1. Se coloca la mezcla preparada en un vaso de precipitación hasta un volumen determinado. Se pesa la mezcla en una balanza y se divide la masa calculada para el volumen hasta donde se llenó el vaso de precipitación.

Se emplea la siguiente ecuación para calcular la densidad bulk:

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

Se procede a calcular el diámetro del tanque de la mezcladora con la siguiente ecuación:

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

Se calcula la longitud del tanque de la mezcladora con el diámetro calculado; además, se aumenta 20% de longitud por cuestiones de seguridad. Se emplea la siguiente ecuación:

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

Para el diseño del recipiente se toma en cuenta la norma ASME PBV que indica el espesor mínimo de la pared con respecto al diámetro del recipiente. Este dato se puede encontrar en tablas. Para calcular el espesor de la pared del tanque de la mezcladora se aplica la siguiente ecuación:

$$t_{wP} = \frac{P_i D}{2SE - 1.2P_i}$$

Donde t_w es el espesor de la pared, D_i es el diámetro interno del tanque, S es el esfuerzo máximo permisible y P_i es la presión interna del tanque. Se considera el material del equipo y se obtiene el esfuerzo máximo permisible (S) a partir de la Tabla 13.2. del libro Chemical Engineering [36].

Se calcula la masa del material que ocupa el tanque de la mezcladora con la siguiente formula:

$$m_{tanque} = (\pi)(D)(L)(t_{wP})(\rho_{304})$$

Para calcular el espesor del cabezal o base del tanque primero, se debe determinar la geometría de este. Para un cabezal elipsoidal, el espesor de la pared se calcula con la siguiente ecuación:

$$t_{wC} = \frac{P_i D}{2SE - 0.2P_i}$$

Se calcula la masa del material que ocupa la base de la mezcladora con la siguiente formula:

$$m_{base} = (\pi)(D^2)(t_{wc})(\rho_{304})$$

La masa total del tanque de la mezcladora se calcula sumando la masa del tanque y la masa de la base del tanque:

$$m_T = m_{tanque} + m_{base}$$

Se elije el tipo de aspas que cumplan con las necesidades del proceso y se procede a calcular su diámetro con la siguiente relación:

$$\frac{D_a}{D} = \frac{1}{3}$$

Donde D_a es el diámetro del agitador y D es el diámetro del tanque.

Baño maría industrial

El baño maría es un método que se utiliza para calentar de forma lenta y constante una sustancia líquida o sólida, sumergiendo el recipiente rectangular que la contiene en otro de mayores dimensiones en el cual hay agua que se lleva a ebullición. Para el dimensionamiento de este equipo en específico, se calcula las dimensiones de la bandeja interna y de la carcasa externa de la máquina de baño maría. Primero se elije el material con el cual se va a fabricar el recipiente, esto depende del uso que se le va a dar. En este caso, como se aplica calor, se utiliza el acero inoxidable 304 que es resistente al calor. Se determina qué tipo de recipiente se va a utilizar, en este caso se necesita un recipiente abierto.

Se establecen las dimensiones del recipiente rectangular (largo, alto, ancho) en función del largo (L) y se calcula el volumen en función de la longitud. A partir del balance de masa se conoce el volumen de la mezcla que entra al equipo industrial de baño maría.

Con el volumen, se obtiene el valor de la longitud al emplear la siguiente fórmula:

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

Donde L es la longitud del recipiente rectangular y V es el volumen de operación.

Para calcular las dimensiones del recipiente externo del equipo de baño maría, se suma 20% a las dimensiones del recipiente interno. Con respecto a las dimensiones del equipo en sí, se aumenta 20 cm a la longitud del recipiente externo, y para obtener la altura y el ancho del equipo se aumenta 20% a las dimensiones del recipiente externo.

Extrusora

Se elige la geometría de la camisa y el tornillo de la extrusora. Normalmente, las extrusoras industriales son de camisas cilíndricas con tornillo extrusor cilíndrico. La máquina extrusora está compuesta por las siguientes partes principales: tolva, carcasa y tornillo sin fin. Primero, se determina el diámetro y largo del tornillo tomando en cuenta la capacidad del equipo. Las extrusoras más comunes son aquellas con tornillo de un diámetro de 0.15 m y de una longitud de 0.60 m.

La tolva es diseñada de acuerdo con la capacidad de alimentación. Otro parámetro que se toma en cuenta para el diseño de la tolva es su forma geométrica que permite que la alimentación sea de flujo continuo. La base o salida de la tolva se conecta directamente con la garganta de alimentación de la extrusora, por lo tanto, las dimensiones de la base menor dependen del diámetro del tornillo sin fin. El largo de la base menor es $3/2$ del diámetro del tornillo sin fin, y el ancho es $7/10$ del diámetro. Las dimensiones de la base mayor de la tolva se establecen de acuerdo con las medidas estándar de tolvas en la industria. Para calcular la altura de la tolva se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = \frac{h}{3}(A + B + \sqrt{A \times B})$$

Donde h es la altura de la tolva, A es el área de la base mayor y B es el área de la base menor.

El dimensionamiento completo del tornillo sin fin incluye el ángulo y el espesor del filete. El transporte de la materia prima desde la alimentación de la tolva hasta la salida, depende del ángulo del filete. El ángulo del filete se calcula con la siguiente fórmula:

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{t}{\pi \times (D - h)}\right)$$

Donde D es el diámetro del tornillo, h es la profundidad de la rosca, t es el paso de la rosca y φ es el ángulo de la hélice. El paso de la rosca es la distancia que avanza un tornillo por cada vuelta que gira, este parámetro también tiene influencia en la capacidad de producción de la máquina.

El espesor de filete se determina mediante la siguiente ecuación:

$$e = 0.12 \times D$$

Para calcular las dimensiones de la carcasa que contiene al tornillo sin fin se debe tomar en cuenta la holgura que es la distancia entre el diámetro exterior del tornillo y el diámetro interior del cilindro, es decir el juego que tiene el husillo (tornillo). Para lograr una eficiencia alta de la máquina, la holgura debe ser mínima y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H = 0.003 \times D$$

Se suma la holgura multiplicado por dos al diámetro del tornillo y se obtiene el diámetro aproximado de la carcasa. En cuanto a la longitud, se aumenta 20% a la longitud de la longitud del tornillo sin fin.

Compactadora

Se determina la fuerza que aplica el cilindro mediante la siguiente formula.

$$P_{Compresión} = \frac{F_{cilindro}}{A_{Barra}}$$

Se multiplica la fuerza por la cantidad de barras que se van a compactar a la vez. Una vez que se conoce la presión que debe generar un cilindro, se selecciona el cilindro que se va a utilizar para el equipo de acuerdo con los disponibles en el catálogo Festo. A partir de la fuerza máxima que se encuentra en el catálogo, se determina la cantidad de cilindros que van a compactar el producto.

Se utiliza la siguiente ecuación.

$$n_{cilindros} = \frac{F_{cilindro}}{F_{max}}$$

Para calcular el diámetro del émbolo del cilindro se selecciona el diámetro del vástago según los disponibles en el mercado. Una vez determinado el diámetro del vástago y la presión que debe generar el cilindro, es posible determinar el diámetro del émbolo que es la cámara que tiene el cilindro por dentro. La ecuación que se emplea es la siguiente:

$$A_{Avance} = \frac{F_{cilindro}}{P_{min\ trabajo}}$$

Donde A_{Avance} es el área de avance que a su vez se determina con la siguiente ecuación:

$$A_{Avance} = A_{émbolo} - A_{vástago}$$

$F_{cilindro}$ es la fuerza del cilindro neumático y $P_{min\ trabajo}$ es la presión mínima de trabajo del sistema. La ecuación para determinar el diámetro del émbolo queda de la siguiente forma:

$$D_{émbolo} = \sqrt{\frac{4F_{cilindro}}{\pi P_{min\ trabajo}} + D_{vástago}^2}$$

Obtenido el diámetro del émbolo se tiene todas las características principales de los cilindros neumáticos.

C.3. Análisis económico

C.3.1. Estimación de costos aplicando distintos métodos

A partir del dimensionamiento de los equipos se obtienen sus capacidades con el fin de estimar sus costos. Para el caso de equipos diseñados no es necesario calcular su costo aproximado si no que se considera el costo designado por la empresa que va a construir el equipo (proforma). Existen varios métodos para estimar el capital que se debe invertir para poner en marcha la planta, los métodos que se van a aplicar para el desarrollo de este proyecto son: método de Lang, método de Hand y método factorial detallado. A continuación, se describe la metodología que se aplica para calcular la estimación de costos mediante los distintos métodos mencionados.

Estimación de costos de equipos

Para calcular el costo de los equipos se considera la siguiente ecuación:

$$C_e = a + bS^n$$

Donde C_e es el costo del equipo, a y b son constantes de costo, S representa el parámetro de tamaño o la capacidad del equipo, y n es el exponente específico de cada equipo. Según la capacidad del equipo, es posible determinar las constantes de costo y el exponente n , que se encuentran en la Tabla 6.6. del libro Chemical Engineering Design.

Estimación de costos según el método de Lang

Una vez que se hayan determinado los costos de los equipos, es posible realizar la estimación de costos según el factor de Lang que depende del tipo de procesamiento. Lang propuso ajuste por factor según el tipo de proceso. Los valores de los factores están relacionados a escala de la planta, a mayor producción menor el factor de Lang. Los tipos de procesamiento con su respectivo factor de Lang se presentan a continuación:

- $F_L = 3$ Procesamiento sólido
- $F_L = 5$ Procesamiento fluido
- $F_L = 4$ Procesamiento mixto

Con el factor de Lang y el costo de los equipos se emplea la siguiente ecuación:

$$C_L = F_L \sum C_e$$

Donde F_L es el factor de Lang o el factor de instalación. Se determina el factor de Lang según el procesamiento.

Estimación de costos según el método de Hand

Para la estimación de costos aplicando el método de Hand se toman los mismos costos de los equipos calculados anteriormente, sin embargo, esta vez se determinan otros factores. Se toma en cuenta el factor del material y se toma en cuenta el factor de instalación de Hand que depende del tipo de equipo. Con el fin de obtener el costo total de cada equipo, se multiplica el costo por el factor del material y el factor de Hand y se suma el costo de cada equipo para obtener el costo total de la planta, tal y como indica la siguiente ecuación:

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

Donde F_H representa al factor de Hand que depende de cada equipo y f_m es el factor del material utilizado.

Estimación de costos según el método factorial detallado

Para este método se toma en cuenta varios factores: factor de material (f_m), factor de montaje de equipo (f_{er}), factor eléctrico (f_{el}), factor de instrumento de control (f_i), factor civil (f_c), factor de estructura (f_s) y factor de “lining” (f_l). Estos factores dependen del tipo de procesamiento ya sea este líquido, sólido o mixto. Para obtener el costo total de cada equipo, se multiplica el costo por el factor del material y los factores de instalación de cada equipo. La siguiente ecuación se utiliza para obtener el costo de la planta tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente:

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

C.3.2. Inversión de capital fijo

La inversión de capital fijo es el costo total del diseño, la construcción y la instalación de una planta. Se compone de los costos OSBL, costos ISBL, costos de ingeniería y construcción, y gastos imprevistos.

Costos ISBL

Los costos ISBL (Inside Battery Limits) se refiere a los costos de la planta en sí y calcula a partir de la estimación de costos aplicando el método de Hand y el método factorial detallado.

Primero se calcula el $\pm 30\%$ del costo obtenido a partir del método de Hand y se calcula el $\pm 30\%$ del costo obtenido a partir del método factorial detallado. El costo ISBL es el promedio del límite mayor del costo Hand y el límite menor del costo factorial detallado.

Costos OSBL

Los costos OSBL (Outside Battery Limits) se refiere a los costos por modificaciones o mejoras a la infraestructura del sitio. Este costo es usualmente entre el 20% y el 50% del costo del ISBL, y el 40% es usualmente usado como una estimación inicial si no se conocen los detalles del sitio. En este caso se considera como el 40% del costo ISBL.

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

Costos de ingeniería y construcción

Los costos de ingeniería incluyen los costos del diseño detallado y otros servicios de ingeniería necesarios para llevar a cabo el proyecto. Para proyectos pequeños, los costos de ingeniería son el 30% del coste de ISBL más OSBL, y para proyecto más grandes son el 10% del coste de ISBL más OSBL. Considerando que este es un proyecto pequeño se emplea la siguiente ecuación:

$$C_{Ing.y\ const.} = (30\%)(C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

Dentro de costos de ingeniería y construcción también se suma el costo de los equipos de oficina.

Gastos imprevistos

Los gastos imprevistos son 10% del costo de ISBL más OSBL, como lo muestra la siguiente ecuación:

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

C.3.3. Capital de trabajo

El capital de trabajo es el dinero adicional al costo de construcción de la planta y su puesta en marcha. Típicamente incluye el valor de inventario de materia prima, el valor de inventario de productos y subproductos, efectivo en caja, cuentas a cobrar, créditos de cuentas pendientes e inventario de repuestos. A su vez, el valor de inventario de productos y subproductos se calcula a partir de los costos de producción. A continuación, se presenta la metodología para calcular los costos que incluye el capital del trabajo.

1. **Valor de inventario de materia prima:** estimado como costos de materia prima utilizadas en 2 semanas de producción.
2. **Valor inventario productos y subproductos:** estimado como costo de producción para 2 semanas. El costo de producción se calcula como se indica a continuación.

Costos de producción

Los costos de producción están compuestos por los costos de producción variables y costos de producción fijos.

Costos de producción variables

Estos costos son proporcionales al rendimiento y caudal de producción e incluye el costo de: materia prima, servicios de agua potable y de electricidad, transporte y envasado del producto final. Todos estos gastos se calculan para un tiempo de 2 semanas.

Costos de producción fijos

Los costos de producción fijos no dependen del caudal de producción y no son susceptibles a cambios en la eficiencia del proceso. Estos costos incluyen costos de:

- **Labor operación:** se toma en cuenta el número de empleados que van a trabajar en la planta, tanto operarios como empleados de puestos administrativos. Se establece un valor de salario y se considera que cada empleado va a recibir el décimo tercero y el décimo cuarto.

- **Supervisión:** es el 25% de labor de operación + administración.

$$C_{supervisión} = 25\% (labor\ operación)$$

- **Gastos salariales directos:** son el 50% de labor de operación + administración.

$$C_{salariales} = 50\% (labor\ operación + supervisión)$$

- **Mantenimiento:** es 3 – 5 % del costo ISBL.

$$C_{mantenimiento} = 3 - 5\% (C_{ISBL})$$

- **Impuestos sobre la propiedad:** es el 1 – 2 % del costo ISBL.

$$C_{impuesto\ renta} = 1 - 2\% (C_{ISBL})$$

- **Alquiler tierra:** es 1 – 2% del costo ISBL + costo OSBL.

$$C_{alquiler\ tierra} = 1 - 2\% (C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

- **Gastos generales:** son el 65% de la labor de operación + supervisión + gastos salariales + mantenimiento

$$C_{generales} = 65\% (C_{labor\ op.} + C_{supervisión} + C_{salariales} + C_{mantenimiento})$$

- **Gastos medio ambientales:** son el 1% del costo ISBL + costo OSBL.

$$C_{medioambientales} = 1\% ((C_{ISBL} + C_{OSBL}))$$

- **Costo por licencias de funcionamiento:** para este proyecto se considera licencia de registro sanitario y permisos de bomberos.

3. **Efectivo en caja:** Se estima como el costo de producción de 1 semana

4. **Cuentas por cobrar:** se refiere a productos ya suministrados, pero aún no cobrados. Se estima como el costo de producción de 1 mes.

5. **Créditos cuentas pendientes:** se refiere a los costos de materiales y equipos ya recibidos, pero no pagados aún. Se estima como el valor de inventario de materia prima de 1 mes.

6. **Inventario de repuestos:** se calcula como el 1-2% del costo ISBL + costo OSBL.

$$C_{repuestos} = 1 - 2\% (C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

C.3.4. Ingresos de la planta

Los ingresos de la planta se obtienen principalmente de la venta de productos principales y secundarios. Se establece un precio fijo que incluye IVA del producto y se multiplica por el caudal de producción.

Margen

Es la suma de los ingresos anuales por venta de productos y subproductos menos el costo anual de materia prima.

$$\text{Margen} = \text{Ingresos} - \text{materia prima}$$

Costo en efectivo de producción (CCOP)

Se obtiene a partir de la suma de los costos anuales de producción variables y los costos anuales de producción fijos.

$$CCOP = C_v + C_f$$

Beneficio bruto

El beneficio bruto es el ingreso por venta del producto principal menos el costo en efectivo de producción. El beneficio bruto es distinto al margen bruto porque es más detallado ya que incluye los costos variables y costos fijos, no solo considera costos de materia prima.

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

Beneficio neto

El beneficio neto es el resultado del beneficio bruto menos impuestos. En este caso se considera solamente el impuesto a la renta.

Impuesto a la renta

De acuerdo con el beneficio bruto se determina el impuesto sobre la fracción básica y el porcentaje del impuesto sobre la fracción excedente, con la siguiente tabla [37]:

AÑO 2020			
En dólares			
Fracción Básica	Exceso hasta	Impuesto sobre la fracción básica	% Impuesto sobre la fracción excedente
0	11.315,00	-	0%
11.315,01	14.416,00	-	5%
14.416,01	18.018,00	155	10%
18.018,01	21.639,00	515	12%
21.639,01	43.268,00	950	15%
43.268,01	64.887,00	4.194	20%
64.887,01	86.516,00	8.518	25%

Figura C.3.4. 1. Tabla de impuesto a la renta de personas naturales para el año 2020

El impuesto sobre la fracción excedente se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

El impuesto a la renta se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Impuesto renta} = \text{impuesto fracción básica} + \text{impuesto fracción excedente}$$

C.3.5. Análisis de recuperación del capital

Tiempo de recuperación

Con el costo de inversión total de planta se obtiene el tiempo de recuperación del capital con la siguiente formula:

$$T_{Recuperación} = \frac{\textit{inversión inicial total}}{\textit{flujo de caja neto anual promedio}}$$

La inversión inicial total es la suma de la inversión de capital fijo mas el capital de trabajo. El flujo de caja neto es igual al beneficio neto anual.

$$\textit{inversión inicial total} = \textit{capital fijo} + \textit{capital trabajo}$$

Con el tiempo de recuperación se puede observar desde que año se puede obtener una ganancia total por el producto. Con esta información es posible determinar si el proyecto es viable o no.

ROI

El retorno de inversión (ROI) se calcula con la siguiente ecuación:

$$ROI = \frac{\textit{beneficio neto anual}}{\textit{inversión inicial total}} * 100\%$$

D. Cálculos

D.1. Diseño de planta

D.1.1. Balance de masa

Grados de libertad de balance atómico

$$GL = \# \textit{incógnitas} - \# \textit{balances especies atómicas independientes} \\ - \# \textit{balances moleculares de especies} - \# \textit{otras ecuaciones}$$

$$GL = 5 - 5 - 0 - 0$$

$$GL = 0$$

Al obtener un grado de libertad de cero, se demuestra que el balance de masa se puede resolver.

Balance de masa

Todo lo que entra al proceso sale con una consistencia distinta; las materias primas se combinan creando una mezcla arenosa la cual se compacta para crear una barra de shampoo redonda. Se determinan los caudales y corrientes del proceso mediante sencillos balances de masa atómicos para cada operación unitaria, tomando en cuenta que entrada es igual a salida.

Mezcla

$$I_1 = \text{SLS} = 7 \text{ kg/día}$$

$$I_2 = \text{vinagre manzana} = 0.50 \text{ kg/día}$$

$$I_3 = \text{glicerina vegetal} = 0.40 \text{ kg/día}$$

$$I_4 = \text{pigmento} = 0.05 \text{ kg/día}$$

$$E = S$$

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = C_1$$

$$(7 + 0.50 + 0.40 + 0.05) \text{ kg/día} = 7.95 \text{ kg/día}$$

$$C_1 = 7.95 \text{ kg/día}$$

Baño maría

$$I_5 = \text{alcohol cetílico} = 0.30 \text{ kg/día}$$

$$I_6 = \text{ácido esteárico} = 0.55 \text{ kg/día}$$

$$I_7 = \text{manteca de cacao} = 0.40 \text{ kg/día}$$

$$I_8 = \text{aceites esenciales} = 0.70 \text{ kg/día}$$

$I_9 = \text{fragancia} = 0.10 \text{ kg/día}$

$$E = S$$

$$(I_5 + I_6 + I_7) + (I_8 + I_9) = C_2 + C_3$$

$$(0.3 + 0.55 + .40) + (0.70 + 0.10) \text{ kg/día} = 2.05 \text{ kg/día}$$

$$C_2 + C_3 = 2.05 \text{ kg/día}$$

Mezcla'

$$E = S$$

$$C_1 + C_2 + C_3 = C_4$$

$$(7.95 + 2.05) \text{ kg/día} = 10 \text{ kg/día}$$

$$C_4 = 10 \text{ kg/día}$$

Extrusora

$$E = S$$

$$C_4 = C_5$$

$$C_5 = 10 \text{ kg/día}$$

Compactadora

$$E = S$$

$$C_5 = C_6$$

$$C_6 = 10 \text{ kg/día}$$

D.1.2. Dimensionamiento de equipos

Mezcladora

Volumen de mezcla

$$V_{mezcla} = \frac{m_{mezcla}}{\rho_b}$$

$$V_{mezcla} = \frac{10 \text{ kg}}{425 \text{ kg/m}^3} = 0.02353 \text{ m}^3$$

$$V_{mezcla} = 23.53 \text{ L}$$

Diámetro de tanque de mezcladora

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

$$D = \sqrt[3]{\frac{2(0.02353 \text{ m}^3)}{\pi}} = 0.247 \text{ m}$$

Longitud de tanque de mezcladora

$$L = 2D$$

$$L = 2(0.247 \text{ m}) = 0.493 \text{ m}$$

Se aumenta 20% de longitud por cuestiones de seguridad:

$$L = 0.493 \text{ m} + 20\%$$

$$L = 0.592 \text{ m}$$

Espesor de pared de tanque

$$t_{wP} = \frac{P_i D}{2SE - 1.2P_i}$$

El material con el cual se va a construir la mezcladora es acero inoxidable 304; el esfuerzo máximo permisible (S) depende del material y de la temperatura. Este valor se recupera de la Tabla 13.2 del capítulo 13 del libro de Ray Sinnott.

$$S = 137.90 \text{ N/mm}^2$$

Se utiliza la presión ambiente de $P = 0.101 \text{ N/mm}^2$.

Se considera una eficiencia de la soldadura muy buena de $E = 1$.

$$t_{wP} = \frac{(0.101 \text{ N/mm}^2)(0.247)}{(2)(137.90 \text{ N/mm}^2)(1) - (1.2)(0.101 \text{ N/mm}^2)}$$

Al espesor de la pared del tanque de mezcladora se suma 2 mm por cuestiones de seguridad:

$$t_{wP} = 9.03 \times 10^{-5} \text{ m} = 0.0903 \text{ mm} + 2 \text{ mm}$$

$$t_{wP} = 2.0903 \text{ mm} = 2.0903 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Masa de material que ocupa el tanque de la mezcladora

$$m_{tanque} = (\pi)(D)(L)(t_{wP})(\rho_{304})$$

$$m_{tanque} = (\pi)(0.247 \text{ m})(0.6 \text{ m})(2.0903 \times 10^{-3} \text{ m})(8,000 \text{ kg/m}^3)$$

$$m_{tanque} = 7.662 \text{ kg}$$

Espesor de cabezal elipsoidal

Un tanque cilíndrico con cabezal elipsoidal se ve de la siguiente forma:

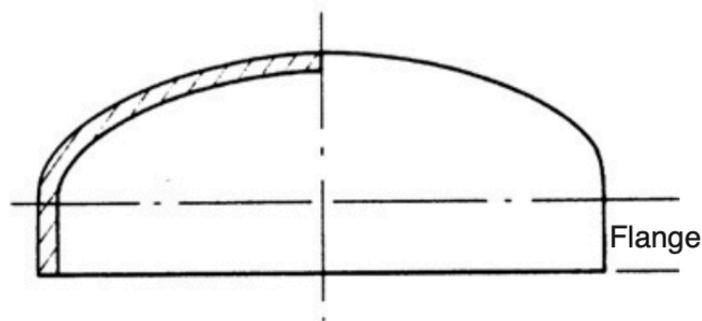


Figura D.1.2. 1. Cabezal elipsoidal

$$t_{wC} = \frac{P_i D}{2SE - 0.2P_i}$$

$$t_{wC} = \frac{(0.101 \text{ N/mm}^2)(0.274)}{(2)(137.90 \text{ N/mm}^2)(1) - (0.2)(0.101 \text{ N/mm}^2)}$$

$$t_{wC} = 9.03 \times 10^{-5} \text{ m} = 0.0903 \text{ mm} + 2 \text{ mm}$$

$$t_{wC} = 2.0903 \text{ mm} = 2.0903 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Masa de material que ocupa la base de la mezcladora

$$m_{base} = (\pi)(D^2)(t_{wC})(\rho_{304})$$

$$m_{base} = (\pi)(0.274 \text{ m})^2(2.0903 \times 10^{-3} \text{ m})(8,000 \text{ kg/m}^3)$$

$$m_{base} = 3.192 \text{ kg}$$

Masa total de material de tanque de la mezcladora

$$m_T = m_{tanque} + m_{base}$$

$$m_T = (7.662 + 3.192) \text{ kg}$$

$$m_T = 10.854 \text{ kg}$$

Diámetro de agitador

De acuerdo con las proporciones geométricas para un sistema de agitación normal del libro de “Procesos de transporte y operaciones unitarias” de C.J. Geankoplis (1998):

$$\frac{D_a}{D} = \frac{1}{3}$$

$$D_a = \frac{D}{3} = \frac{0.274 \text{ m}}{3}$$

$$D_a = 0.0913 \text{ m}$$

Se resumen todos los resultados obtenidos previamente para el dimensionamiento de la mezcladora en las siguientes tablas:

Tabla D.1.2. 1. Dimensiones de tanque de mezcladora

Volumen de mezcla	Diámetro de tanque	Longitud de tanque	Diámetro de agitador
$V_{mezcla} [m^3]$	$D_{tanque} [m]$	$L_{tanque} [m]$	$D_{agitador} [m]$
0.0235	0.247	0.592	0.0822

Tabla D.1.2. 2. Características de tanque de mezcladora

Espesor pared de tanque	Masa de tanque	Espesor cabezal elipsoidal de tanque	Masa de base de tanque	Masa total de tanque
$t_{wp} [m]$	$m_{tanque} [kg]$	$t_{wc} [m]$	$m_{base} [kg]$	$m_T [kg]$
2.0903×10^{-3}	7.662	2.0903×10^{-3}	3.192	10.854

Baño maría

El equipo de baño maría consta principalmente de un recipiente rectangular externo que contiene el agua que calienta el contenido del recipiente interno.

Recipiente interno

Se establecen las dimensiones del recipiente rectangular en función del largo (L).

$$L = 3L$$

$$H = 2L$$

$$A = L$$

$$V = L \times H \times A$$

$$V = 3L \times 2L \times L = 6L^3$$

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

$$V = \frac{m}{\rho_{\text{baño maría}}} = \frac{2.05 \text{ kg}}{112.89 \text{ kg/m}^3} = 0.0182 \text{ m}^3$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{0.0182 \text{ m}^3}{6}} = 0.145 \text{ m}$$

Dimensiones de recipiente interno

$$L = 3(0.145 \text{ m}) = 0.435 \text{ m}$$

$$H = 2(0.145 \text{ m}) = 0.290 \text{ m}$$

$$A = 0.145 \text{ m}$$

Dimensiones de recipiente externo

Para obtener las dimensiones del recipiente externo se aumenta 20% a las dimensiones del recipiente interno:

$$L = 0.522 \text{ m}$$

$$H = 0.348 \text{ m}$$

$$A = 0.174 \text{ m}$$

Dimensiones de equipo

Se aumenta 20 cm a la longitud del recipiente externo con el objetivo de dejar espacio para el controlador. Para obtener la altura y el ancho del recipiente se aumenta 20% a las dimensiones del recipiente externo:

$$L = 0.722 \text{ m}$$

$$H = 0.417 \text{ m}$$

$$A = 0.209 \text{ m}$$

La siguiente tabla presenta las dimensiones del equipo industrial de baño maría:

Tabla D.1.2. 3. Dimensiones de equipo baño maría

Medidas [m]	Recipiente interno	Recipiente externo	Equipo
Largo (L)	0.435	0.522	0.722
Alto (H)	0.290	0.348	0.417
Ancho (A)	0.145	0.174	0.209

Extrusora

La máquina extrusora está compuesta por las siguientes partes principales: tolva, carcasa y tornillo sin fin. A continuación, se dimensionan cada parte del equipo:

Tolva

La tolva es diseñada de acuerdo con la capacidad de alimentación, en este caso la capacidad es de 10 kg. La base o salida de la tolva se conecta directamente con la garganta de alimentación de la extrusora, por lo tanto, las dimensiones de la base menor dependen del diámetro del tornillo sin fin. El tornillo sin fin tiene las siguientes dimensiones que son estándar en la industria:

Tabla D.1.2. 4. Dimensiones de tornillo sin fin

Tornillo sin fin	
Longitud (L) [m]	Diámetro (D) [m]
0.60	0.15

De acuerdo con la siguiente imagen se establece que el largo de la base menor es $3/2$ del diámetro del tornillo sin fin, y el ancho es $7/10$ del diámetro.

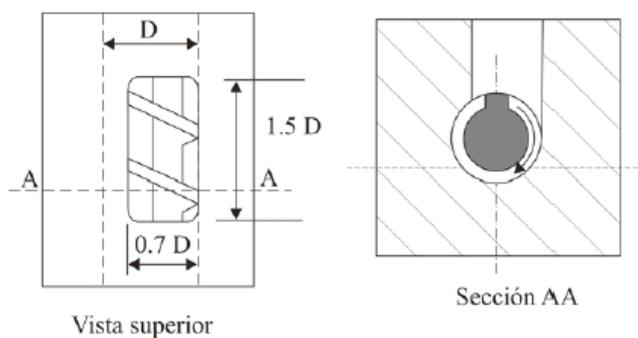


Figura D.1.2. 2. Dimensiones de base menor de tolva de acuerdo con el diámetro del tornillo
 A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la longitud y el ancho de la base menor de la tolva:

Tabla D.1.2. 5. Dimensiones de base menor de tolva

Base menor tolva	
Longitud (L) [m]	Ancho (A) [m]
0.225	0.105

Las dimensiones de la base mayor de la tolva se establecen de acuerdo con las medidas estándar de tolvas en la industria que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla D.1.2. 6. Dimensiones de base mayor de tolva

Base mayor tolva	
Longitud (L) [m]	Ancho (A) [m]
0.60	0.30

$$V = \frac{h}{3} (A + B + \sqrt{A \times B})$$

$$h_{tolva} = 0.263 \text{ m}$$

Las dimensiones de la tolva se presentan en la siguiente tabla:

Tabla D.1.2. 7. Dimensiones de tolva de extrusora

Tolva		
Partes	Largo (L) [m]	Ancho (A) [m]
Base menor B	0.225	0.105
Base mayor A	0.60	0.30
Altura (H) [m]	0.263	

Ángulo de filete

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{t}{\pi \times (D - h)} \right)$$

$$t = 0.075 \text{ m}$$

$$h = 0.025 \text{ m}$$

$$\varphi = 10.812^\circ$$

Espesor de filete

$$e = 0.12 \times D = 0.12 \times 0.15 \text{ m}$$

$$e = 0.018 \text{ m}$$

Dimensiones de carcasa

$$H = 0.003 \times D = 0.003 \times 0.15 \text{ m}$$

$$H = 4.50 \times 10^{-4} \text{ m}$$

La holgura es la distancia que existe entre el tornillo y la carcasa o chaqueta que lo contiene, por lo tanto, se suma la holgura multiplicado por dos al diámetro del tornillo y se obtiene el diámetro aproximado de la carcasa.

La siguientes tablas resumen los resultados obtenidos:

Tabla D.1.2. 8. Dimensiones de tornillo sin fin de extrusora

Tornillo sin fin					
Tornillo		Filete		Rosca	
Longitud	Diámetro tornillo	Ángulo filete	Espesor filete	Paso de rosca	Profundidad rosca
$L [m]$	$D_{\text{tornillo}} [m]$	$\varphi [^\circ]$	$e [m]$	$t [m]$	$h [m]$
0.60	0.15	10.812	0.018	0.075	0.025

Tabla D.1.2. 9. Dimensiones de carcasa de extrusora

Carcasa		
Holgura	Longitud	Diámetro
$H [m]$	$L [m]$	$D [m]$
0.00045	0.66	0.151

Compactadora

Fuerza de cilindro

Se determina la cantidad de cilindros y la fuerza que cada uno de ellos debe aplicar para compactar 25 barras de shampoo a la vez.

$$P_{\text{Compresión}} = \frac{F_{\text{cilindro}}}{A_{\text{Barra}}}$$

$$F_{\text{cilindro}} = 120 \text{ psi}(\pi r^2)$$

$$F_{\text{cilindro}} = 827,370.88 \text{ N/m}^2(\pi)(0.03 \text{ m})^2$$

$$F_{\text{cilindro}} = 2,339.336 \text{ N}$$

Esta es la fuerza que se debe aplicar para compactar una sola barra de jabón. Para calcular la fuerza que debe aplicar el cilindro para compactar 25 barras de shampoo se realiza el siguiente calculo:

$$F_{cilindro} = 2,339.34 \text{ N} \times 25 = 58,483.401 \text{ N}$$

Obtenida la presión que debe generar un cilindro, se selecciona el cilindro a utilizar para la máquina, en este caso un cilindro compacto ADN neumático doble efecto. Según el catálogo Festo, el rango de operación de fuerza teórica con 6 bar del cilindro, se encuentra entre 51 a 7363 N.

$$n_{cilindros} = \frac{F_{cilindro}}{F_{max}} = \frac{58,483.401 \text{ N}}{7,363 \text{ N}} = 7.943 \approx 8$$

Utilizando la fuerza máxima, se necesitaría emplear 8 cilindros para compactar 25 barras de shampoo. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla D.1.2. 10. Número de cilindros que requiere la compactadora

Presión de compresión	Fuerza teórica de cilindro	Fuerza total	Fuerza de catálogo	Número de cilindros
$P_{compresión} [\text{psi}]$	$F_{teórica} [\text{N}]$	$F_T [\text{N}]$	$F_{catálogo} [\text{N}]$	n
137.90	2,339.336	58,483.401	7,363	7.943 \approx 8

Diámetro de émbolo

El diámetro del vástago se selecciona dependiendo de los disponibles en el mercado:

$$D_{vástago} = 20 \text{ mm}$$

$$A_{Avance} = \frac{F_{cilindro}}{P_{\text{min trabajo}}}$$

$$A_{Avance} = A_{émbolo} - A_{vástago}$$

$$P_{\text{min trabajo}} = 6 \text{ bar} = 0.6 \text{ N/mm}^2.$$

Entonces:

$$\frac{\pi}{4}(D_{\text{émbolo}}^2 - D_{\text{vástago}}^2) = \frac{F_{\text{cilindro}}}{P_{\text{min trabajo}}}$$

$$D_{\text{émbolo}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{cilindro}}}{\pi P_{\text{min trabajo}}} + D_{\text{vástago}}^2}$$

$$D_{\text{émbolo}} = \sqrt{\frac{4(2339.34N)}{\pi(0.6 \text{ N/mm}^2)} + (20\text{mm})^2}$$

$$D_{\text{émbolo}} = 73.241 \text{ mm}$$

Obtenido el diámetro del émbolo se tiene todas las características principales de los cilindros neumáticos que se detallan en la tabla a continuación:

Tabla D.1.3. 1. Características de cilindro de compactadora

Características	Descripción
Tipo	Doble efecto
Diámetro del vástago [mm]	20
Diámetro mínimo del émbolo [mm]	73.241
Fuerza teórica de empuje a 6 [bar] [N]	2,340

Tanques de almacenamiento

Las materias primas que se utilizan para el proceso de producción de shampoo sólido, deben ser almacenadas adecuadamente con el fin de conservar sus propiedades y aprovechar su vida útil. A partir de las fichas técnicas creadas para cada materia prima, se conoce que se debe

almacenar los productos en recipientes herméticamente cerrados. Los compuestos líquidos van a ser almacenados en contenedores de forma cúbica también conocidos como contenedores IBC por sus siglas en inglés, Intermediate Bulk Container. Estos contenedores contienen dosificadores que facilitan la obtención y medición de las materias primas. Es importante mencionar que los aceites esenciales y la manteca de cacao se van a almacenar en los contenedores entregados por el distribuidor. Los aceites esenciales y fragancias aromáticas se distribuyen en envases de vidrio ámbar de 500 ml. La manteca de cacao se distribuye en tambores de plástico. Para el almacenamiento de la materia prima sólida, se van a utilizar tambores plásticos abiertos con tapa hermética. Estos tambores industriales son recipientes cilíndricos utilizados para transportar y almacenar sólidos y líquidos. Tomando en cuenta que se va a adquirir materia prima cada 6 meses, se determina la capacidad de cada tanque de almacenamiento. Esta información se resume en la tabla a continuación:

Tabla D.1.2. 11. Características de tanques de almacenamiento de materia prima

Estado	Materia prima almacenada	Cantidad adquirida 6 meses [L]	Tipo tanque	Capacidad tanque [L]
Líquido	Vinagre de manzana	36	IBC	100
	Glicerina Usp	22.86	IBC	100
Sólido	SLS	489.32	Tambor de plástico abierto	500
	Ácido esteárico	45.52	Tambor de plástico abierto	50
	Alcohol cetílico	26.34	Tambor de plástico abierto	50
	Pigmento amarillo	9	Tambor de plástico abierto	20
	Pigmento verde	9	Tambor de plástico abierto	20
	Pigmento lila	9	Tambor de plástico abierto	20

D.1.3. Balance de energía

Mezcladora

Número de Reynolds

Para calcular el número de potencia primero se debe calcular el número de Reynolds con la siguiente ecuación:

$$N_{Re} = \frac{(D_a)^2(N)(\rho_b)}{\mu_M}$$

La mezcla de la barra de shampoo es sólida, pues se utilizan los componentes líquidos en cantidades pequeñas. Por este motivo, no es posible calcular la viscosidad de la mezcla. Se opta por tomar la viscosidad más alta entre los ingredientes líquidos, que en este caso es la glicerina vegetal.

$$\mu_M = 0.43 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 0.43 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$N_{Re} = \frac{(0.0822 \text{ m})^2(2.5 \text{ rps})(425 \text{ kg/m}^3)}{1.41 \text{ kg/m} \cdot \text{s}}$$

$$N_{Re} = 5.0878$$

Número de potencia

$$N_P = 215 (N_{Re})^{-0.955}$$

$$N_P = 215 (5.0878)^{-0.955}$$

$$N_P = 45.468$$

Potencia de motor

$$P = (N_P)(\rho_b)(N^3)(D_a^5)$$

$$P = (45.468)(425 \text{ kg/m}^3)(2.5^3)(0.0822 \text{ m})^5$$

$$P = 1.131 \text{ J/s} = 1.131 \times 10^{-3} \text{ kW} = 1.517 \times 10^{-3} \text{ HP}$$

La siguiente tabla resume los datos más relevantes calculados:

D.1.3. 1. Variables utilizadas para calcular la potencia del motor de la mezcladora

Viscosidad máxima	Número de Reynolds	Número de potencia	Potencia de motor	Potencia de motor
μ Glicerina usp	N_{Re}	N_P	$P_{motor} [kW]$	$P_{motor} [HP]$
1.41	5.0878	45.468	1.131×10^{-3}	1.517×10^{-3}

Como se puede observar en la tabla, la energía que requiere el motor de la mezcladora es 1.131×10^{-3} kW. El caudal de producción es pequeño, la capacidad de los equipos también es pequeña, lo que justifica el valor calculado de la potencia del motor. En el mercado existe una variedad de motores eléctricos para distintos usos, para la mezcladora del proceso se va a utilizar un motor de medio caballo de fuerza. Es importante tomar en cuenta que existen motores con potencia hasta de un octavo de caballo de fuerza, sin embargo, considerando que en un futuro la producción de la planta va a aumentar, se escoge un motor con mayor potencia a la necesaria.

Baño maría

$$C_{p_{manteca\ cacao}} = C_{p_M} = 2,009.66 \text{ J/kg} \cdot K$$

$$C_{p_{ácido\ esteárico}} = C_{p_E} = 2,300 \text{ J/kg} \cdot K$$

$$C_{p_{alcohol\ cetílico}} = C_{p_C} = 1,967.80 \text{ J/kg} \cdot K$$

$$\dot{m} = 2.05 \frac{kg}{30min} = 0.0683 \text{ kg/min}$$

$$Q = \dot{m} \bar{C}_p \Delta T$$

$$\bar{C}_p = x_M C_{p_M} + x_E C_{p_E} + x_C C_{p_C}$$

$$\bar{C}_p = [(0.04 * 2009.66) + (0.055 * 2300) + (0.03 * 1967.80)] \text{ J/kg} \cdot K$$

$$\bar{C}_p = 265.92 \text{ J/kg} \cdot K$$

$$Q = \dot{m} \bar{C}_p \Delta T$$

$$Q = \left(0.0683 \frac{kg}{min}\right) \left(265.92 \frac{J}{kg \cdot K}\right) (310.93 - 298)K$$

$$Q = 234.954 \frac{J}{min} \times \frac{60 min}{1 h} \times \frac{1 kJ}{1000 J} = 14.097 \frac{kJ}{h} = 3.916 \times 10^{-3} kWh$$

La eficiencia estándar de equipos de calentamiento varía entre 60 a 80%. Se establece una eficiencia del 70% para el equipo de baño maría.

$$Q = \frac{3.916 \times 10^{-3} kWh}{0.70}$$

$$Q = 5.594 \times 10^{-3} kWh$$

Los resultados más importantes se presentan en la siguiente tabla:

D.1.3. 2. Calor requerido de equipo de baño maría

Flujo másico	Eficiencia de equipo	Calor requerido
\dot{m} [kg/min]	η [%]	Q [kW]
0.0683	70	5.594×10^{-3}

Extrusora

Potencia de motor

$$P_o = P \times Q$$

Primero se calcula el flujo volumétrico de la siguiente forma:

Flujo de arrastre

$$\alpha = \frac{\pi m D h \left(\frac{t}{m} - e\right) (\cos \varphi)^2}{2}$$

$$\alpha = 1.113 \times 10^{-5} m^3$$

Flujo de presión

$$\beta = \frac{m h^3 \left(\frac{t}{m} - e \right) \sin \varphi \cos \varphi}{12 L}$$

$$\beta = 2.215 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

Flujo de pérdidas

$$\gamma = \frac{\pi^2 D^2 H^3 \tan \varphi}{10 e L}$$

$$\gamma = 1.0119 \times 10^{-9} \text{ m}^3$$

Factor K

$$K = \frac{3 \pi d_1^3 d_2^3}{128 l (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2)}$$

$$K = 1.609 \times 10^{-6}$$

Flujo volumétrico

$$Q = \left(\frac{\alpha K}{K + \gamma + \beta} \right) N$$

$$Q = 0.002 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q = 0.145 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m} = 61.557 \text{ kg/h}$$

$$P = 120 \text{ Psi} = 0.8274 \text{ MPa} = 8.274 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$Q = 0.145 \text{ m}^3/\text{h} = 4.023 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_o = (8.274 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(4.023 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s})$$

$$P_o = 33.286 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 33.286 \text{ W} = 0.0333 \text{ kW}$$

$$P_o = 0.0446 \text{ HP}$$

Los datos calculados se resumen en la siguiente tabla:

D.1.3. 3. Flujos generados durante proceso de extrusión

Flujo de arrastre	Flujo de presión	Flujo de pérdidas	Factor K	Flujo volumétrico
α [m^3]	β [m^3]	γ [m^3]	K	Q [m^3/s]
1.113×10^{-5}	2.215×10^{-8}	1.0119×10^{-9}	1.609×10^{-3}	4.0234×10^{-5}

El motor que se va a adquirir para el equipo es de medio caballo de fuerza.

Compactadora

La compactadora es un equipo neumático que utiliza aire atmosférico para mover los pistones de los cilindros que compactan las barras de shampoo. El instrumento que proporciona aire al equipo se conoce como compresor, transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Por esta razón, se realiza el balance de energía del motor que potencia al compresor, como se muestra a continuación:

Consumo de aire

$$Q_{gasto\ cilindro} = \left(\frac{CD_{embolo}^2 \pi}{4} + \frac{C(D_{embolo}^2 - D_{vástago}^2) \pi}{4} \right) n \frac{1.013 + P_{operación}}{1.013}$$

$$C = 150\ mm$$

$$n = \frac{1}{5\ min}$$

$$D_{embolo} = 80\ mm$$

$$D_{vástago} = 20\ mm$$

$$P_{operación} = 6\ bar$$

$$Q_{gasto\ cilindro} = \left(\frac{(150\ mm)(80\ mm)^2 \pi}{4} + \frac{(150\ m)(80^2 - 20^2) \pi}{4} \right) \left(\frac{1}{5\ min} \right) \left(\frac{1.013 + 6\ bar}{1.013} \right)$$

$$Q_{gasto\ cilindro} = 2,022,680.16 \frac{mm^3}{min} = 2.0227 \times 10^{-3} \frac{m^3}{min}$$

Debido a que la compactadora está compuesta por 8 cilindros, se calcula el consumo de aire mediante la siguiente ecuación, tomando en cuenta 5% de pérdida de fugas:

$$Q_{gasto\ total} = Q_{gasto\ cilindro} \times 8 \times 105\%$$

$$Q_{gasto\ total} = 0.0170 \frac{m^3}{min} = 16.991 \frac{l}{min} = 0.600\ cfm$$

Volumen de tanque de almacenamiento de aire

$$V_{tanque} = \frac{15(Q_{gasto\ total})(P_{admisión})}{(\Delta P)N}$$

$$\Delta P = 50\ psi = 3.447\ bar$$

$$N = 15/h$$

$$P_{admisión} = 1\ bar$$

$$V_{tanque} = \frac{15 (0.0170\ m^3/min)(1\ bar)}{(3.447\ bar) \left(\frac{15}{h} \times \frac{1\ h}{60\ min} \right)}$$

$$V_{tanque} = 0.296\ m^3 = 296\ L$$

Potencia de motor de compresor

De acuerdo con el volumen, es posible seleccionar el compresor adecuado del catálogo SITASA, la potencia del motor requerida es:

$$P = 7.5\ HP$$

Los datos más importantes se resumen en la siguiente tabla:

D.1.3. 4. Potencia de motor de compresor de compactadora

Consumo de aire	Volumen de tanque	Potencia de motor
Q_{gasto} [cfm]	V_{tanque} [L]	P_{motor} [HP]
0.6	296	7.5

A partir de los requerimientos energéticos es posible seleccionar un compresor adecuado del catálogo SITASA. El compresor que se va a adquirir tiene un motor de potencia de 7.5 caballos de fuerza, tiene un tanque de almacenamiento de aire de 500 L y proporciona una presión máxima de 11 bar [33].

D.2. Análisis económico

D.2.1. Estimación de costos aplicando varios métodos

Costos de equipos (C_e)

$$C_e = a + bS^n$$

Mezcladora:

La mezcladora consta de un tanque y de un agitador; se encuentra el costo de cada pieza para calcular el costo del equipo completo.

Tanque

$$C_{e_{tanque}} = (5,700) + (700 \times (0.02353m^3)^{0.7})$$

$$C_{e_{tanque}} = 5,750.73$$

Agitador

$$C_{e_{agitador}} = (4,300) + (1,920 \times (1.131 \times 10^{-3} kW)^{0.8})$$

$$C_{e_{agitador}} = 4,308.43$$

Costo total mezcladora

$$C_{e_{mezcladora}} = C_{e_{tanque}} + C_{e_{agitador}} = 5,750.725 + 4,308.435$$

$$C_{e_{mezcladora}} = 10,059.16$$

Baño maría:

El equipo de baño maría consta de un recipiente interno y otro externo, sin embargo, se calcula el costo únicamente del recipiente externo. Es importante tomar en cuenta que se sobrevaloran costos, sin embargo, se compensa debido a que el equipo de baño maría también incluye un controlador y calentador automático, piezas de las cuales no se registra un costo. Además, solo se toma en cuenta el costo de uno de los dos recipientes.

Recipiente externo

$$C_{e_{externo}} = (5,700) + (700 \times (0.0314m^3)^{0.7})$$

$$C_{e_{externo}} = 5,762.91$$

Costo total baño maría

$$C_{e_{baño\ maría}} = 5,762.05$$

Costo de tanques de almacenamiento

Los costos de los tanques de almacenamiento fueron recuperados de bibliografía.

$$C_{eIBC} = 160.00$$

$$C_{etambor} = 120.00$$

$$C_{etanques} = 280.00$$

Costo total extrusora

La máquina extrusora fue diseñada con características específicas que se ajustan a la necesidad de la producción de shampoo en barra. Se obtuvo una cotización para la construcción de la extrusora, la cual indica el costo del equipo.

$$C_{eextrusora} = 9,500.00$$

Costo total compactadora

La máquina extrusora fue diseñada con características específicas que se ajustan a la necesidad de la producción de shampoo en barra. Se obtuvo una cotización para la construcción de la compactadora de la empresa experta en el diseño de proyectos industriales Franckeeng. El costo del equipo es:

$$C_{ecompactadora} = 3,000.00$$

Dentro de la cotización se incluye el precio de los cilindros, por lo tanto, se debe sumar este valor al costo de la compactadora.

$$C_{ecilindro} = 200.00 \times 8 \text{ cilindros}$$

$$C_{ecilindro} = 1,600.00$$

$$C_{ecompactadora} = 3,000.00 + 1,600.00$$

$$C_{ecompactadora} = 4,600.00$$

En la siguiente tabla se presenta el costo de los equipos que se calculó previamente:

Tabla D.2.1. 1. Costos de equipos

Equipo	Capacidad de equipo (S)	Costo equipo (C_e) [\$]
Mezcladora	$V_{mezcla} = 0.02353 \text{ m}^3$ $P = 1.131 \times 10^{-3} \text{ kW}$	10,059.16
Baño maría	$V_{baño\ maría} = 0.0314 \text{ m}^3$	5,762.05
Extrusora	Proforma	9,500.00
Compactadora	Proforma	4,600.00
Tanques de almacenamiento	$V_{IBC} = 0.1 \text{ m}^3$ $V_{tambor} = 0.5 \text{ m}^3$ $V_{tambor} = 0.05 \text{ m}^3$ $V_{tambor} = 0.02 \text{ m}^3$	280.00
Total		30,201.21

Estimación de costos según factores de Lang

El método de Lang es una aproximación que considera el costo de los equipos y un factor de ajuste que depende del tipo de proceso. En este caso se considera un proceso mixto que incluye tanto sólidos como fluidos; el factor de Lang para este tipo de procesamiento es $F_L = 4$.

$$C_L = F_L \sum C_e$$

$$C_L = F_L (C_{e\text{mezcladora}} + C_{e\text{baño maría}} + C_{e\text{tanques}} + C_{e\text{extrusora}} + C_{e\text{compactadora}})$$

$$C_L = 4(10,059.16 + 5,762.05 + 280.00 + 9,500.00 + 4,600.00)$$

$$C_L = 120,804.84$$

Estimación de costos según factores de Hand

El método de Hand es una aproximación basada en el costo de los equipos y sus respectivos factores de material y factores de instalación que dependen del equipo, denominado factor de instalación de Hand. Para el desarrollo de este proyecto se considera el factor de instalación de Hand de equipos misceláneos que es $F_H = 2.5$. El factor de material es el mismo para todos ya que se está considerando que el material de todos los equipos es acero inoxidable 304, este factor es $f_m = 1.3$.

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

$$C_H = [(C_{e_{mezcladora}} \times f_m \times F_H) + (C_{e_{baño\ maría}} \times f_m \times F_H) + (C_{e_{tanque}} \times f_m \times F_H) \\ + (C_{e_{extrusora}} \times f_m \times F_H) + (C_{e_{compactadora}} \times f_m \times F_H)]$$

$$C_H = [(10,059.16 \times 1.3 \times 2.5) + (5,762.05 \times 1.3 \times 2.5) + (280.00 \times 1.3 \times 2.5) \\ + (9,500.00 \times 1.3 \times 2.5) + (4,600.00 \times 1.3 \times 2.5)]$$

$$C_H = 98,153.94$$

Método factorial detallado

Este método es una aproximación basada en los costos de equipos y sus respectivos factores correctivos. Los factores dependen del tipo de proceso, ya sea que este involucre sólidos, fluidos o sea mixto.

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

Debido a que se trabaja con un procesamiento mixto, los factores para este método son:

$$\text{Factor material} = f_m = 1.3$$

Factor montaje equipo = $f_{er} = 0.5$

Factor eléctrico = $f_{el} = 0.2$

Factor instrumentación = $f_i = 0.3$

Factor civil = $f_c = 0.3$

Factor estructura = $f_s = 0.2$

Factor "lining" = $f_l = 0.1$

$$C_{fd} = 10,059.16[(1)1.3 + (0.5 + 0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.2 + 0.1)] + 5,762.05(2.9) \\ + 280.00(1.5) + 9,500.00(2.9) + 4,600.00((1 + 0.6)1.3 + 1.6) \\ C_{fd} = 90,719.51$$

D.2.2. Inversión de capital fijo

Costo ISBL

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

Costo OSBL

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

$$C_{OSBL} = (0.40)(86,771.51)$$

$$C_{OSBL} = 36,143.80$$

Costos de ingeniería y construcción:

$$C_{Ing.y const.} = (30\%)(C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

$$C_{Ing.y\ const.} = (0.30)(93,321.56 + 37,328.62)$$

$$C_{Ing.y\ const.} = 40,045.06$$

Dentro de estos costos también se consideran los valores de equipos de oficina que se muestran a continuación:

Tabla D.2.2. 1. Costos de equipos de oficina

Equipos oficina	Costo [\$]
Computadora escritorio	500
Impresora multiusos	300
Teléfono	50
Total	850

Gastos imprevistos

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

$$C_{Imprevistos} = (0.10)(93,321.56 + 37,328.62)$$

$$C_{Imprevistos} = 13,065.02$$

$$Inversión\ capital\ fijo = C_{ISBL} + C_{OSBL} + C_{Ing.y\ const.} + C_{Imprevistos}$$

$$Inversión\ capital\ fijo = 93,321.56 + 37,328.62 + 40,045.06 + 13,065.02$$

$$Inversión\ capital\ fijo = 183,760.26$$

Los costos de inversión de capital fijo se resumen en la siguiente tabla:

Tabla D.2.2. 2. Costos para calcular inversión de capital fijo

Costo ISBL	Costo OSBL	Costos ing. y constr.	Gastos imprevistos	Inversión Capital Fijo
C_{ISBL} [\$]	C_{OSBL} [\$]	C_I [\$]	G_I [\$]	$I_{capital\ fijo}$ [\$]
93,321.56	37,328.62	40,045.06	13,065.02	183,760.26

D.2.3. Capital de trabajo

El capital de trabajo incluye las siguientes inversiones:

1. Valor inventario de materia prima de 2 semanas

Debido a que se está realizando el análisis económico para una producción que utiliza 2 surfactantes diferentes, el valor de inventario de materia prima se debe considerar tanto para el surfactante lauril sulfato de sodio (SLS) y cocoil isetionato de sodio (SCI).

Tabla D.2.3. 1. Inventario materia prima considerando dos surfactantes diferentes

Inventario materia prima [\$]	
Barra con SLS	Barra con SCI
846.61	1,078.45

Para este inventario se está considerando la adquisición de materia prima para producir 700 barras en vez de la producción establecida de 600 barras. Se va a adquirir más materia prima de la esperada por cualquier incidente que pueda ocurrir y se requiera más ingredientes.

2. Valor inventario productos y subproductos

Costos de producción variable

Se calculan todos los componentes que conforman los costos de producción variable para 2 semanas.

Materia prima

Tabla D.2.3. 2. Inventario materia prima considerando dos surfactantes diferentes

Inventario materia prima [\$]	
Barra con SLS	Barra con SCI
736.19	937.79

Servicios básicos

Para los servicios básicos de energía, se consideran los consumos energéticos de los equipos y de la planta:

Energía eléctrica equipos*Tabla D.2.3. 3. Energía eléctrica que ocupan los equipos*

Equipo	Energía [kWh]	Tarifa [\$/kWh]	Trabajo en 1 día [min]	Trabajo 1 semana [h]	Energía consumida semanal [kWh]	Costo electricidad 2 semanas [\$]
Mezcladora	0.00113	0.85	20	1.0	1.13×10^{-3}	0.00192
Baño maría	0.00559	0.85	30	1.5	8.39×10^{-3}	0.0143
Extrusora	0.0333	0.85	13	0.65	2.16×10^{-2}	0.0368
Compactadora	5.59	0.85	10	0.50	2.80	4.752
Total						4.80

Energía eléctrica planta*Tabla D.2.3. 4. Energía eléctrica que ocupa la planta*

Equipo	Energía [kWh]	Tarifa [\$/kWh]	Trabajo en 1 día [min]	Trabajo 1 semana [h]	Energía consumida semanal [kWh]	Costo electricidad 2 semanas [\$]
10 focos industriales	0.80	0.85	5	20	16	27.2
1 computadora	0.30	0.85	5	20	6	10.2
1 teléfono	0.01	0.85	5	20	0.2	0.34
1 impresora multiusos	0.15	0.85	5	20	2.80	5.10
Total						42.84

Para los servicios básicos de agua, se consideran los consumos de la planta:

Agua potable planta

Tabla D.2.3. 5. Agua potable que consume la planta

Empleados	Tarifa [\$/ m^3]	Consumo x persona/día [m^3]	Consumo x persona/semana [m^3]	Costo agua potable 2 semanas [\$]
2	0.72	0.6	2.4	6.91

Como parte de servicios básicos se toma en cuenta servicio de internet y teléfono

Tabla D.2.3. 6. Servicio de internet y teléfono

Servicio	Costo mensual [\$]	Costo 2 semanas [\$]
Plan corporativo	50	23.08

Empaque y transporte

Empaque para transporte

Se determina la cantidad y el costo de las cajas en las cuales se va a distribuir el producto final.

Se establece que la masa máxima que puede cargar cada caja es de 5 kg.

Tabla D.2.3. 7. Empaque para distribución

Masa 1 barra [kg]	Masa caja [kg]	Unidades en caja	Producción semanal	# cajas semanales	Costo por caja [\$]	Costo 2 semanas [\$]
0.1	5	50	300	6	0.4	4.80

Empaque de producto

Tabla D.2.3. 8. Empaque de producto

Producción 2 semanas	# cajas	Costo caja [\$]	Costo caja para 2 semanas [\$]
600 barras	610	0.55	335.5

Transporte

Se toma en cuenta que el producto se va a distribuir en una camioneta cada semana. El producto va a llegar a las bodegas del distribuidor del producto. Se toma en cuenta el costo por carrea.

Tabla D.2.3. 9. Costo de transporte

Costo x carrera semanal [\$]	Costo carrera 2 semanas [\$]
10	20

Los costos de producción variables se resumen en las siguientes tablas tomando en cuenta una producción con 2 surfactantes distintos.

Tabla D.2.3. 10. Costos de producción variables para barra con SLS

Barra con SLS			
Materia prima [\$]	Servicios Básicos [\$]	Empaque y transporte [\$]	Costos de producción variables VCOP [\$]
736.19	77.63	360.30	1,174.12

Tabla D.2.3. 11. Costos de producción variables para barra con SCI

Barra con SCI			
Materia prima [\$]	Servicios Básicos [\$]	Empaque y transporte [\$]	Costos de producción variables VCOP [\$]
937.79	77.63	360.30	1,375.72

Costos de producción fijos

Labor de operación

Van a haber 2 operarios trabajando en la planta y se van a encargar del proceso de producción y la distribución del shampoo sólido. Se contratará los servicios de un contador que asistirá una vez por semana a la planta. Las funciones que va a cumplir son: pagar sueldos,

declaración de impuestos, inventario quincenal, contacto con proveedores y distribuidores, entre otros. Cada empleado va a recibir el decimo tercero y el decimo cuarto.

Tabla D.2.3. 12. Labor de operación de la planta

Empleados	Cantidad	Salario mensual [\$]	Salario anual [\$]	Sueldo que pagar [\$]	Salario 2 semanas [\$]	Total labor op. [\$]
Operarios	2	300	4,200	8,400	323.08	592.31
Contador	1	500	7,000	7,000	269.23	

Supervisión

$$C_{supervisión} = 25\% (592.31)$$

$$C_{supervisión} = 148.08$$

Gastos salariales

$$C_{salariales} = 50\% (592.31 + 148.08)$$

$$C_{salariales} = 370.19$$

Mantenimiento

$$C_{mantenimiento} = 3\% (93,321.56)$$

$$C_{mantenimiento} = 2,799.56$$

Impuestos sobre la propiedad

$$C_{impuesto renta} = 1\% (93,321.56)$$

$$C_{impuesto renta} = 933.22$$

Alquiler de tierra

$$C_{alquiler tierra} = 1\% (93,321.56 + 37,328.62)$$

$$C_{alquiler tierra} = 1,306.50$$

Gastos generales

$$C_{generales} = 65\% (592.31 + 148.08 + 370.19 + 2,799.56)$$

$$C_{generales} = 2,541.65$$

Gastos medioambientales

$$C_{medioambientales} = 1\% (93,321.56 + 37,328.62)$$

$$C_{medioambientales} = 1,306.50$$

Licencias

En cuanto a las licencias se toma en cuenta el registro sanitario para productos de higiene de pequeñas industrias [38]. El valor de esta licencia debe ser cancelado cada 5 años.

Tabla D.2.3. 13. Licencia de registro sanitario

Registro Sanitario	Costo [\$]	Vigencia [años]	Costo anual [\$]	Costo 2 semanas [\$]
Productos de higiene	197.82	5	39.56	1.52

Al sumar todos los componentes que componen a los costos de producción fijos para 2 semanas se obtiene el siguiente resultado:

Tabla D.2.3. 14. Costos de producción fijos para 2 semanas

Costos producción fijos (FCOP) [\$]
9,999.61

Los costos de producción fijos se mantienen igual para una producción con SLS y SCI ya que no dependen de la compra de materia prima.

2. Valor inventario productos y subproductos

$$Inventario\ productos_{SLS} = 11,173.73$$

$$Inventario\ productos_{SCI} = 11,375.33$$

3. Efectivo en caja

Tabla D.2.3. 15. Efectivo en caja considerando 2 surfactantes distintos

Efectivo en caja [\$]	
Barra SLS	Barra SCI
5,586.86	5,687.66

4. Cuentas por cobrar

Tabla D.2.3. 16. Cuentas por cobrar considerando 2 surfactantes distintos

Cuentas por cobrar [\$]	
Barra SLS	Barra SCI
22,347.46	22,750.66

5. Créditos cuentas pendientes

Tabla D.2.3. 17. Créditos cuentas pendientes considerando 2 surfactantes distintos

Cuentas por cobrar [\$]	
Barra SLS	Barra SCI
1,472.37	1,875.57

6. Inventario de repuestos

$$C_{\text{repuestos}} = 1\% (93,321.56 + 37,328.62)$$

$$C_{\text{repuestos}} = 1,306.50$$

El capital de trabajo total tomando en cuenta una producción con SLS y SCI es:

Tabla D.2.3. 18. Capital de trabajo total considerando 2 surfactantes distintos

Capital de trabajo [\$]	
Barra SLS	Barra SCI
42,733.54	44,074.18

D.2.4. Ingreso de la planta

Ingresos por ventas de producto

Se calculan los ingresos por ventas tomando en cuenta dos costos del producto diferentes: una barra de shampoo sólido de 11 dólares y de 12 dólares.

Tabla D.2.4. 1. Ingresos por ventas anuales considerando dos distintos costos del producto

Caudal de producción anual	Costo barra incluido IVA	Ingresos por venta anuales
barras	[\$]	[\$]
14,400	11.00	158,400
14,400	12.00	172,800

Margen

Para una producción de barras con SLS de \$11.00 el margen es:

$$\text{Margen}_{SLS} = 140,731.53$$

Para una producción de barras con SCI de \$12.00 el margen es:

$$\text{Margen}_{SCI} = 150,293.13$$

Costo en efectivo de producción (CCOP)

Para calcular el costo en efectivo de producción anual, se consideran los costos anuales de producción variables y fijos. Estos costos no dependen del precio de la barra así que solo se toma en cuenta el tipo de materia prima que compone la barra.

$$CCOP = VCOP + FCOP$$

Barra SLS:

$$CCOP_{SLS} = 30,527.11 + 55,848.95$$

$$CCOP_{SLS} = 86,376.06$$

Barra SCI:

$$CCOP_{SCI} = 35,768.71 + 55,848.95$$

$$CCOP_{SCI} = 91,617.66$$

Beneficio bruto anual

El beneficio bruto depende tanto del costo de la barra como de la materia prima de la que está compuesta.

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

Para una producción de barras con SLS de \$11.00:

$$\text{Beneficio bruto}_{SLS} = 158,400 - 86,376.06$$

$$\text{Beneficio bruto}_{SLS} = 72,023.94$$

Para una producción de barras con SCI de \$12.00:

$$\text{Beneficio bruto}_{SLS} = 172,800 - 91,617.66$$

$$\text{Beneficio bruto}_{SLS} = 81,182.34$$

Impuesto a la renta

El beneficio neto anual depende del impuesto de la renta; a partir de la tabla que se presentó en el Anexo C.3.4. de metodología, se obtiene los siguientes datos:

Para una producción de barras con SLS de \$11.00:

$$\text{Impuesto fracción excedente} = (72,023.94 - 64,887.01) 0.25$$

$$\text{Impuesto fracción excedente} = 1,784.23$$

$$\text{Impuesto renta} = 8,518 + 1,784.23$$

$$\text{Impuesto renta} = 10,302.23$$

Para una producción de barras con SCI de \$12.00:

$$\text{Impuesto fracción excedente} = (81,182.34 - 64,887.01) 0.25$$

$$\text{Impuesto fracción excedente} = 4,073.83$$

$$\text{Impuesto renta} = 8,518 + 4,073.83$$

$$\text{Impuesto renta} = 12,591.83$$

Beneficio neto anual

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

Para una producción de barras con SLS de \$11.00:

$$\text{Beneficio neto} = 72,023.94 - 10,302.23$$

$$\text{Beneficio neto} = 61,721.71$$

Para una producción de barras con SCI de \$12.00:

$$\text{Beneficio neto} = 81,182.34 - 12,591.83$$

$$\text{Beneficio neto} = 68,590.51$$

D.2.5. Análisis de recuperación del capital

Tiempo de recuperación

Para una producción de barras con SLS de \$11.00:

$$\text{inversión inicial total} = 183,760.26 + 42,733.54$$

$$\text{inversión inicial total} = 226,493.80$$

$$T_{\text{Recuperación}} = \frac{226,493.80}{61,721.71}$$

$$T_{\text{Recuperación}} = 3.67$$

Para una producción de barras con SCI de \$12.00:

$$\textit{inversión inicial total} = 183,760.26 + 44,074.18$$

$$\textit{inversión inicial total} = 227,834.34$$

$$T_{\text{Recuperación}} = \frac{227,834.34}{68,590.51}$$

$$T_{\text{Recuperación}} = 3.32$$

ROI

Para una producción de barras con SLS de \$11.00:

$$ROI = \frac{\textit{beneficio neto anual}}{\textit{inversión inicial total}} * 100\%$$

$$ROI = 30.11 \%$$

Para una producción de barras con SCI de \$12.00:

$$ROI = 27.25 \%$$

E. Planos de equipos

E.1. Planos de extrusora

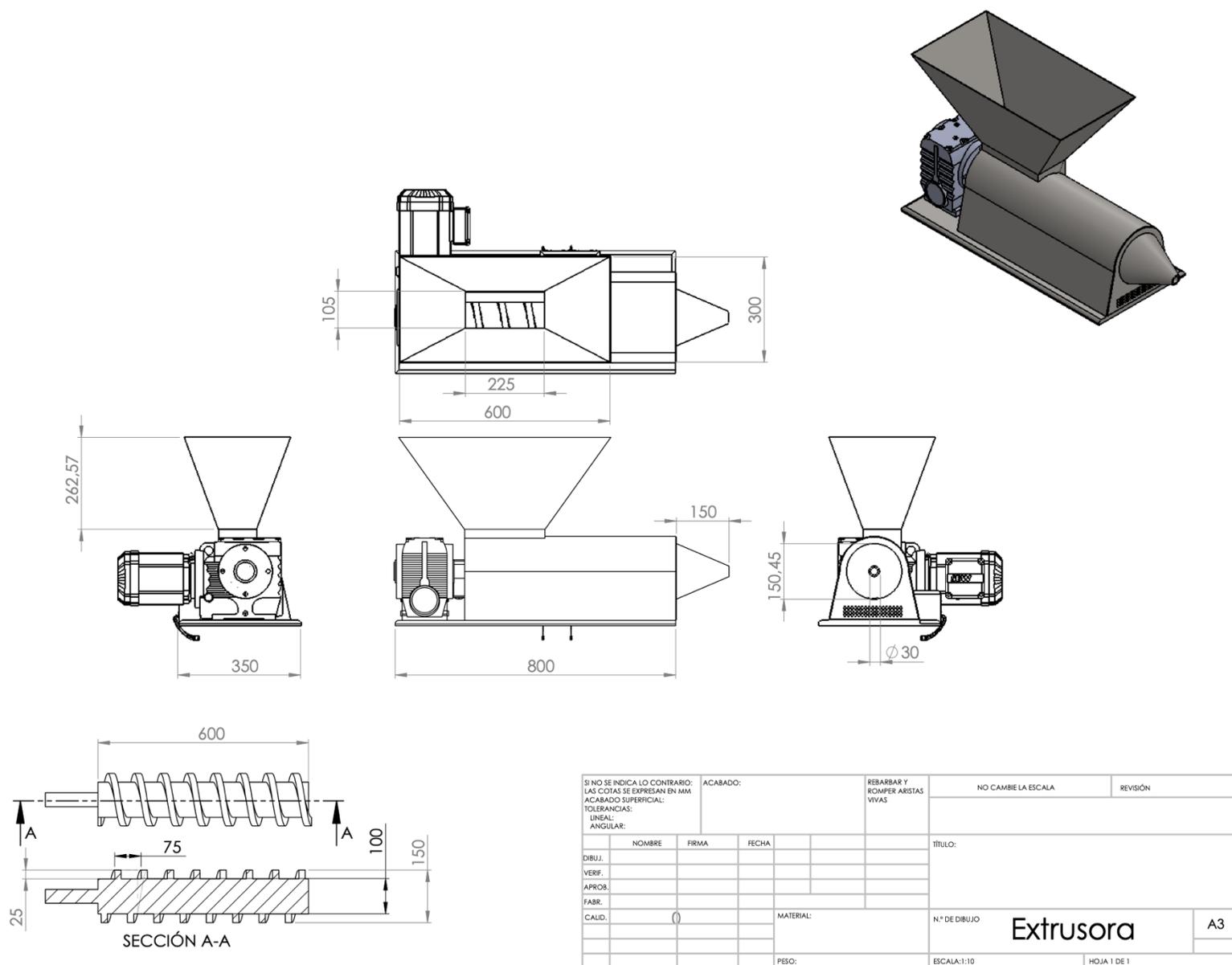


Figura E.1. 1. Planos de extrusora

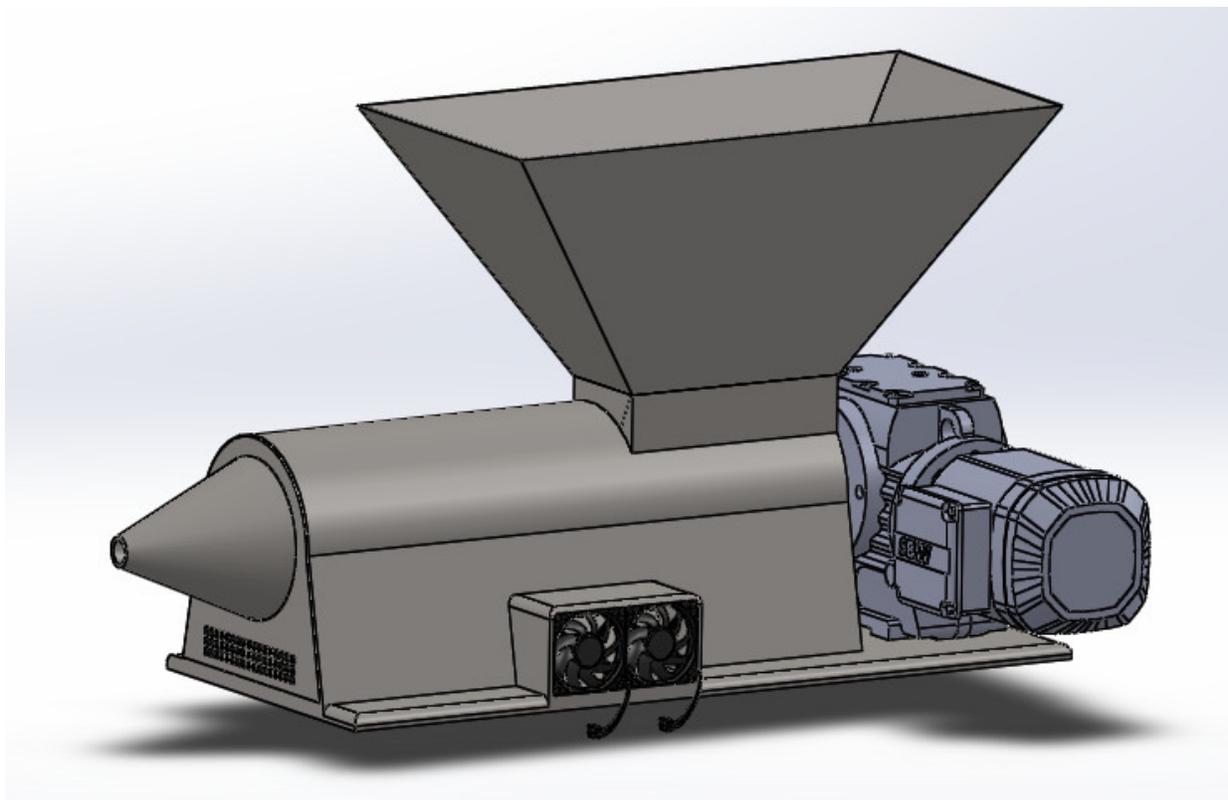


Figura E.1. 2. Diseño 3D de extrusora

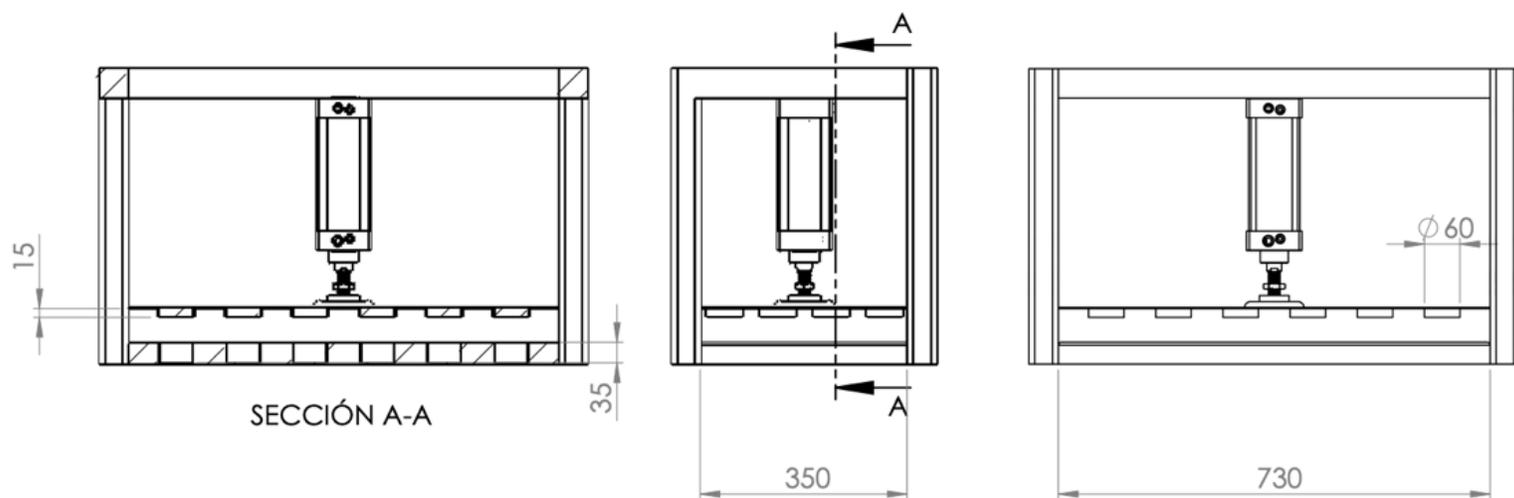
E.2. Planos de compactadora

Figura E.2. 1. Planos de compactadora

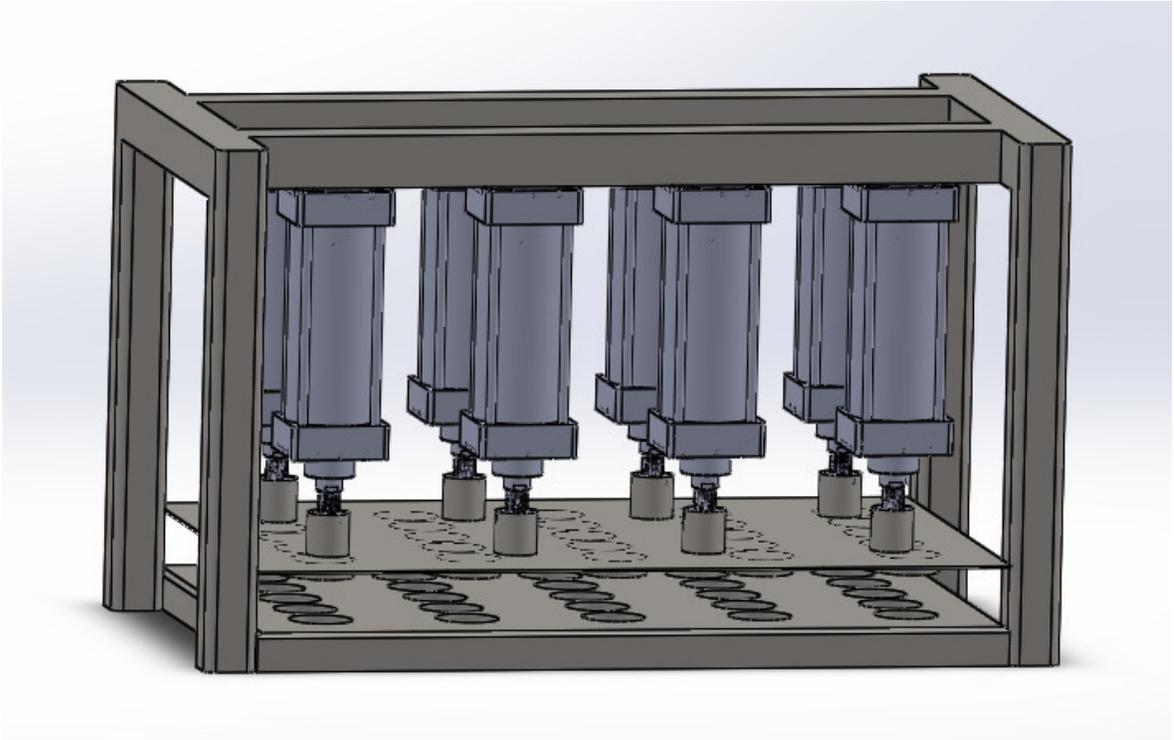


Figura E.2. 2. Diseño 3D de compactadora

F. Proforma de equipos



DISEÑO INDUSTRIAL.
MATRIGERÍA.
INYECCIÓN DE PLÁSTICOS.
TECNOLOGÍA CAD/CAM/CAE.

PROFORMA No 2020-PLA-334

Quito, 13 de Marzo del 2020

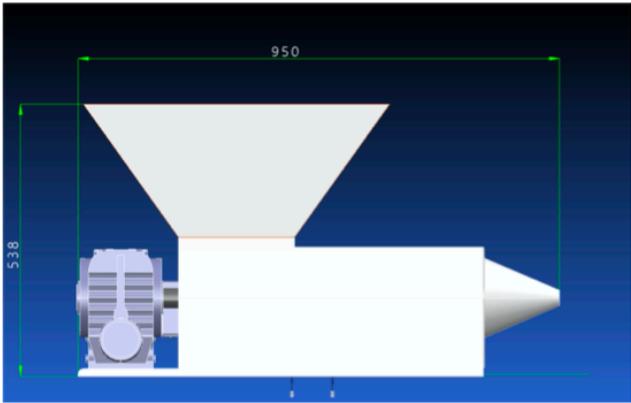
Atención

Srta. Tabata Cevallos.

Presente.-

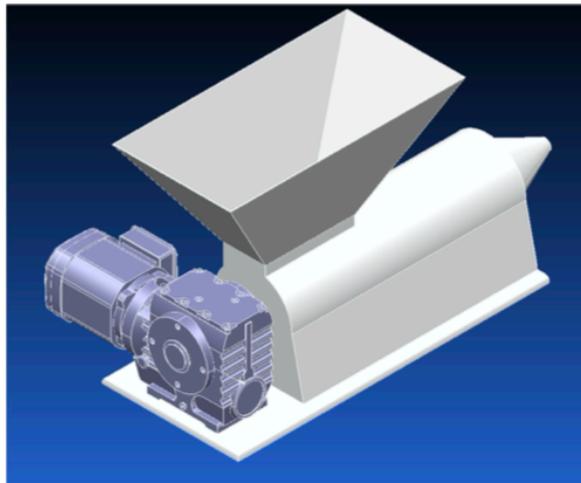
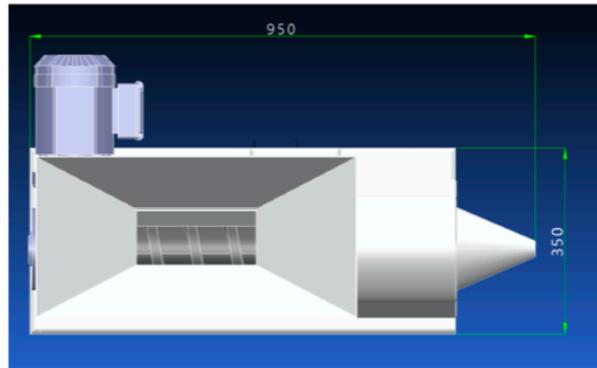
Atendiendo a su petición y luego de analizar la información entregada, pongo en consideración la siguiente oferta que se describe en la referencia.

1. CARACTERÍSTICAS:

<p>CARACTERÍSTICAS</p>	<p>Fabricacion de equipo para extrusión de jabon que consta de las siguientes partes.</p> <p>MAQUINA EXTRUSORA .</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diseño entregado por el cliente - Material de la estructura de la maquina: acero inoxidable 304 - Material del tornillo extrusor : acero inoxidable 304 - Material del barril extrusor : acero inoxidable 304 -Material accesorios para fijación de barril: acero inoxidable 304 - Tratamiento Termico del barril y tornillo: nitrurado / templado - Acabado superficial del tornillo y barril : Pulido brillante. -Dimensiones del barril : Ø170 ext *Ø150 int*600mm de longitud -Dimensiones del tornillo: Ø150 ext*760mm de longitud -Dimensiones de la maquina: 950x350x538mm - Accesorios eléctricos: motor reductor ,caja de conexiones,ventiladores,resistencias eléctricas,termocuplas 
------------------------	---



**DISEÑO INDUSTRIAL.
MATRICERÍA.
INYECCIÓN DE PLÁSTICOS.
TECNOLOGÍA CAD/CAM/CAE.**

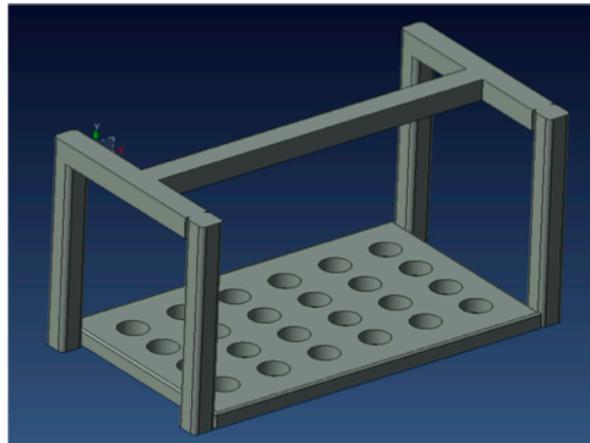
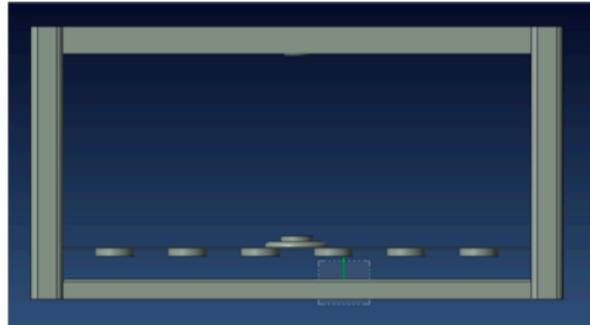




DISEÑO INDUSTRIAL.
MATRIDERÍA.
INYECCIÓN DE PLÁSTICOS.
TECNOLOGÍA CAD/CAM/CAE.

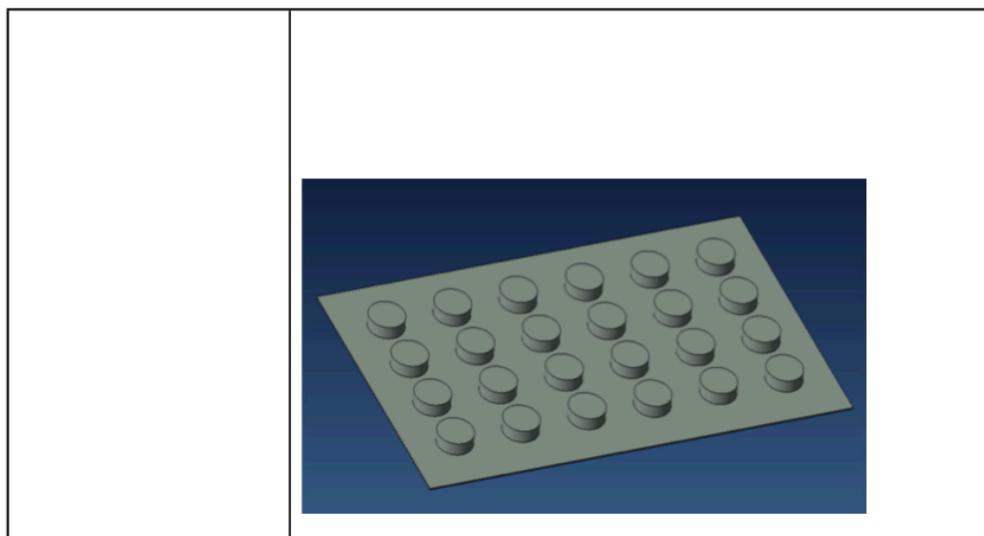
MAQUINA COMPACTADORA .

- Diseño entregado por el cliente
- Material de la estructura de la maquina: acero inoxidable 304
- Sistema neumático de compactación(cilindro neumático y conexiones)
- 1 Molde de 24 cavidades (punzones y cavidades)
- Dimensiones del molde:730x450x38mm
- Dimensiones de la maquina:830x450x500mm
- Material del molde:Duralon (plástico de ingeniería)
- Material de accesorios de fijación para molde: acero inoxidable 304
- Material de accesosios de fijación para sistema neumático: acero inoxidable.
- Material de la mesa base para fijación de la maquina compactadora: acero inoxidable 304





DISEÑO INDUSTRIAL.
MATRICERÍA.
INYECCIÓN DE PLÁSTICOS.
TECNOLOGÍA CAD/CAM/CAE.



2. DESCRIPCIÓN:

FABRICACION DE EQUIPO PARA EXTRUSION DE JABON					
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	PREC. UNIT.	PREC. PARCIAL USD
1	Maquina extrusora	maquina	1	9.500	9.500
2	Maquina compactadora	maquina	1	3.000	3.000
				TOTAL USD	12.500

3. CONDICIONES:

VALOR TOTAL DE LA OFERTA	Son \$12.500,00 USD (Doce mil quinientos con 00/100 dólares americanos)
FORMA DE PAGO	50% de anticipo 25% en las pruebas 25% contraentrega
TIEMPO DE ENTREGA	45 Días laborables a partir de puesta la orden de compra
VALIDEZ DE LA OFERTA	7 días.



DISEÑO INDUSTRIAL.
MATRICERÍA.
INYECCIÓN DE PLÁSTICOS.
TECNOLOGÍA CAD/CAM/CAE.

4. NOTAS ACLARATORIAS:

- El precio no incluye IVA
- El equipo tienen garantía de 6 meses.
- Esta cotización esta ofertada de acuerdo al diseño enviado.
- Esta cotización se revisara luego de tener el diseño definitivo.
- Los equipos se entregara en las instalaciones del cliente.

Atentos a recibir sus importantes noticias, me despido.
Atentamente,

Ing. Franklin Suntaxi
GERENTE GENERAL

Figura F. 1. Proforma de equipos