

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA PILOTO PARA ELABORACIÓN DE
JABONES LÍQUIDO Y SÓLIDO CON ESENCIAS DE ROMERO, TOMILLO,
SALVIA O CIDRÓN EN EL MUNICIPIO DE SUCRE, SANTANDER.**

ADRIANA MARÍA ORTIZ PACHECO

JHON FREDY ROJAS JIMÉNEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA PILOTO PARA ELABORACIÓN DE
JABONES LÍQUIDO Y SÓLIDO CON ESENCIAS DE ROMERO, TOMILLO,
SALVIA O CIDRÓN EN EL MUNICIPIO DE SUCRE, SANTANDER.**

ADRIANA MARÍA ORTIZ PACHECO

JHON FREDY ROJAS JIMÉNEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

Directores:

ELENA STASHENKO.

Química, Ph.D.

JAIRO RENÉ MARTÍNEZ.

Químico, Ph. D.

Codirector:

RAMIRO MARTÍNEZ REY

Ingeniero Químico, Ph. D.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2010

DEDICATORIA

En primera instancia, sin duda alguna a Dios, por brindarme la fortaleza la sabiduría, y la paciencia para lograr uno de mis tantos objetivos.

A mis padres, Luis Jesús Ortiz y Rosa Helena Pacheco quienes con su ejemplo y su esfuerzo han hecho de mí una mujer con carácter y corazón noble, a ellos gracias por dedicar sus vidas para ofrecerme los mejores momentos brindándome siempre su confianza y su apoyo incondicional.

A mis hermanos José Luis y Laura Juliana por el cariño demostrado, sus palabras de aliento en los momentos más difíciles, dándome el apoyo y la fuerza necesaria para seguir adelante.

A la universidad, a sus profesores y demás personal, quienes me brindaron el conocimiento suficiente y su asesoría constante y así lograr alcanzar mi sueño.

A mis compañeros y amigos por su incondicional apoyo y por compartir conmigo una las mejores épocas de mi vida.

A mi amigo y compañero de proyecto Jhon Fredy por la dedicación, el sacrificio y todos y cada uno de aquellos momentos vividos durante esta etapa tan importante para los dos.

Espero dejar huella que perdure siempre en cada una de las personas que hacen parte de este triunfo.

ADRIANA MARÍA ORTIZ PACHECO.

A Dios, maestro y guiador de mi vida.

A mi madre Ana María Jiménez, por su apoyo, cariño y ser la razón de mi vida.

A mi padre Plinio Rojas, por su confianza y apoyo durante toda mi carrera.

A mis hermanos: Sandra, Edgar, Jairo, Diana, Guillermo, Luz Marina, Miguel y Andrea, por sus consejos y ayuda durante este logro.

A mis hermanos de universidad: Sandra Bedoya, Liliana, Alexandra, Jully, Yamile, Oscar, Javier, Camilo, Andrés, John Casas, FABIAN, Deisy y Cristian, por todas las alegrías que compartimos y por su apoyo; GRACIAS.

A mi amiga y compañera de proyecto, Adriana Ortiz, por toda la fortaleza y grandes momentos que compartimos para cumplir este logro.

JHON FREDY ROJAS JIMÉNEZ

AGRADECIMIENTOS

Al doctor Jairo René Martínez y a la doctora Elena Stashenko, por brindarnos la oportunidad de pertenecer al Centro de Investigación CENIVAM y por todo el apoyo durante el desarrollo del proyecto.

Al ingeniero químico Jesús Mendoza, por su gran colaboración y buena disponibilidad durante todo el desarrollo del proyecto.

Al ingeniero químico Quitian Alexander, por compartir sus conocimientos en diseño de reactores y estar siempre atento a nuestras dudas.

Al ingeniero mecánico Johan Reyzel Chavarro, por su colaboración y apoyo en la manufactura de la planta piloto.

A todos nuestros compañeros del Centro de Investigación de Biomoléculas, CIBIMOL y CENIVAM, por su gran colaboración en todo, por hacernos parte de su familia y por darnos la oportunidad de enriquecernos con sus conocimientos.

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; con su soporte económico y logística junto al Centro de Investigación, CENIVAM fue posible la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1.INTRODUCCIÓN	
2.CONCEPTOS TEÓRICOS.....	20
2.1 JABÓN.....	20
2.2 RESEÑA HISTÓRICA.....	20
2.3 GRASAS Y ACEITES.....	21
2.4 FUNCIÓN.....	21
2.5 SAPONIFICACIÓN.....	22
2.6 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO.....	22
2.6.1 Temperatura.....	22
2.6.2 Calidad de las grasas y aceites.....	23
2.6.3 Álcali.....	23
2.6.4 Electrolito.....	23
2.7 ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN.....	23
2.8 PROCESO PARA ELABORACIÓN DE JABÓN TOCADOR.....	24
2.8.1 Saponificación.....	24
2.8.2 Sangrado o salado.....	24
2.8.31 Moldeo.....	24
2.9 PLANTA PILOTO.....	25
2.10 REACTOR DISCONTINUO.....	25
2.11 AGITADORES DE BANDA HELICOIDAL.....	25
2.12 CALENTAMIENTO POR VAPOR.....	25

2.13 GLICERINA.....	26
2.14 ACEITES ESENCIALES.....	26
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	27
3.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	27
3.2 PRUEBAS DE SAPONIFICACIÓN.....	27
3.3 MÉTODO DE PRODUCCIÓN.....	28
3.4 DISEÑO DE PLANTA PILOTO.....	28
3.5 MONTAJE Y ESCALAMIENTO.....	29
3.6 SEGURIDAD DE LA PLANTA.....	29
3.7 CAPACITACIÓN.....	29
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	30
4.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	30
4.2 PRUEBAS DE SAPONIFICACIÓN.....	31
4.3 MÉTODO DE PRODUCCIÓN.....	32
4.4 DISEÑO DE PLANTA PILOTO.....	34
4.4.1 Bases de diseño.....	34
4.4.2 Datos entrada.....	34
4.4.3 Diagrama entrada salida.....	34
4.4.4 Consumo energético.....	36
4.4.4.1 Potencial de agitador.....	36
4.4.4.2 Balance de energía.....	37
4.4.5 Potencial económico.....	38
4.4.5.1 Balance económico.....	39
4.5 MONTAJE Y ESCALAMIENTO.....	40

4.5.1 Rendimiento del proceso.....	42
4.5.2 Balance de energía para el proceso.....	42
4.6 SEGURIDAD DE LA PLANTA.....	43
4.7 CAPACITACIÓN.....	44
5. RECOMENDACIONES.....	45
6. CONCLUSIONES.....	46
7. BIBLIOGRAFÍA.....	47
8. ANEXOS.....	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Resultados de parámetros de selección en los aceites.....	30
Tabla 2: Caracterización de aceite de palmiste.....	31
Tabla 3: Resultados de índice de saponificación para los excesos a nivel de laboratorio.....	32
Tabla 4: Balances de masa del proceso de jabón de tocador.....	36
Tabla 5: Balance de energía del proceso.....	37
Tabla 6: Dimensionamiento de planta piloto de jabón de tocador.....	38
Tabla 7: Balance económico para diseño de planta.....	39
Tabla 8: Caracterización de aceite de palmiste para piloto.....	40
Tabla 9: Determinación de tiempo de reacción del piloto.....	40
Tabla 10: Tiempos y cantidad de separación de lejía en el lavado.....	41
Tabla 11: Rendimientos de planta piloto.....	42
Tabla 12: Balance de energía en el piloto.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Proceso para elaboración de jabón de tocador.....	24
Figura 2: Cambios de pH con el tiempo a diferentes excesos en la reacción de saponificación.....	31
Figura 3: Diagrama de entrada salida para el proceso de elaboración de jabón de tocador.....	34
Figura 4: Esquema de unidades del proceso para jabón de tocador.....	35

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Principales ácidos grasos.....	49
Anexo B. Estructura del jabón.....	49
Anexo C. Etapas en reacción de saponificación.....	50
Anexo D. Índices de saponificación.....	51
Anexo E. Métodos de producción de jabón de tocador.....	52
Anexo F: Sistema de calentamiento con vapor de caldera.....	53
Anexo G. Propiedades de aceites esenciales.....	54
Anexo H. Determinación de Índice de saponificación.....	55
Anexo I. Índice de yodo y porcentaje de acidez.....	56
Anexo J. Método de producción de jabón sólido.....	58
Anexo K. Proceso para elaborar jabón líquido.....	59
Anexo L. Puntos experimentales de cambios de pH Vs tiempo para diferentes excesos de NaOH.....	60
Anexo M. Cargas determinadas para jabón.....	60
Anexo N. Pesos moleculares de reactivos y productos.....	60
Anexo O. Cálculos para los balances de masa.....	61
Anexo P. Datos para cálculo de potencia.....	63
Anexo Q. Cálculo de potencia y diagrama de agitador.....	64
Anexo R. Cálculos para balances de energía.....	64

Anexo S. Bosquejo de planta piloto para producción de jabón tocador.....	66
Anexo T. Cotizaciones de planta piloto.....	66
Anexo U. Costos de inversión para el diseño de planta.....	67
Anexo V: Fotos de montaje de planta para jabones.....	68
Anexo W: Saponificación en piloto.....	69
Anexo X. Balance de energía en el piloto.....	71
Anexo Y. Toxicidad de reactivos y productos.....	71
Anexo Z. Inflamabilidad de reactivos y productos.....	72
Anexo AA. Incompatibilidad materia prima – productos.....	72
Anexo AB. Tratamiento de glicerina.....	73
Anexo AC. Método de neutralización.....	74
Anexo AD. Manual de planta piloto de jabones.....	75
Anexo AE. Planos de planta piloto para elaboración de jabon tocador solido y liquido.....	114

RESUMEN

TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA PILOTO PARA ELABORACIÓN DE JABONES LÍQUIDO Y SÓLIDO CON ESENCIAS DE ROMERO, TOMILLO, SALVIA O CIDRÓN EN EL MUNICIPIO DE SUCRE, SANTANDER.¹

AUTORES: Ortiz Pacheco Adriana María; Rojas Jiménez Jhon Fredy²

PALABRAS CLAVE: Aceite esencial, Aceite de palmiste, Saponificación, Planta piloto, Jabón tocador, Cargas.

DESCRIPCIÓN:

En el proceso de obtención de productos de valor agregado para los aceites esenciales se diseña e implementa una planta piloto para la elaboración de jabones líquido y sólido a partir de aceite de palmiste. La planta tiene capacidad operaria de 25 kg por lote, y un rendimiento del 94% en pasta de jabón mediante saponificación. Se realizó un estudio con el que se determinaron las materias primas que proporcionarían un producto de buena calidad y un proceso rentable, y se estableció la metodología para saponificar, determinando así los parámetros de operación a nivel de laboratorio y posteriormente escalados a nivel piloto. En el diseño se tuvieron en cuenta factores importantes como fueron: el sistema de agitación, el sistema de control de temperatura, el sistema de calentamiento y por supuesto el dimensionamiento de los tanques auxiliares capaces de mantener el volumen de producción estable. Para garantizar una entrada fuerte del producto ante la competencia se trabajó en la formulación del jabón de tocador; se analizaron las cargas y los diferentes aditivos que se incorporan a nivel industrial; todo bajo los debidos estándares de calidad estipulados en las normas de ICONTEC. Se analizaron los diferentes balances de masa, energía y el respectivo balance económico demostrándose la viabilidad de la planta. Por último se capacitó a los delegados de la comunidad del municipio de Sucre-Santander mediante conocimientos teóricos, instrucciones de manejo de la planta, seguridad personal, seguridad durante el proceso y práctica de elaboración de jabón de tocador. Se escribió un manual explícito de buenas prácticas de manufactura y se construyó una simulación del proceso con la herramienta didáctica *flash*.

¹ Proyecto de grado

² Escuela De Ingeniería Química, Facultad De Ingenierías Físicoquímicas, Universidad Industrial De Santander.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF PILOT PLANT FOR PRODUCTION OF LIQUID AND SOLID SOAP ESSENCES OF ROSEMARY, THYME, SAGE OR CIDRÓN IN THE CITY OF SUCRE, SANTANDER.³

AUTHORS: Ortiz Pacheco Adriana María; Rojas Jiménez Jhon Fredy⁴

KEY WORDS: Essential oil, Palm seed oil, saponified, pilot plant, toilet soap, Charges

DESCRIPTION:

In the production attainment process of products of aggregated value for essential oils, a pilot plant is designed and implemented for the manufacturing of liquid and solid soaps made from the palm seed oil, with an operating capacity of 25 kg per lot, with an endurance of 94% in solid soap through the soaping process. For this, some research was done to determine the raw material that supplies a product of good quality and a profitable process, and a methodology for the soaping process established, determining the outline of operation at a lab level and later taking it to a pilot level. In the design many factors were held in mind: The agitation system, the temperature control system, the heating system and of course the size of auxiliary tanks capable of maintaining the volumen of production stable to guarantee a “strong entrance” of the product before the competence, a formula for the sink soap was formulated; charges of different additives were analyzed that are added at an industrial level; every thing under due standards of quality stipulated in the ICONTEC rules. Different balances of mass, energy and the respective economic balance were analyzed, demonstrating viability of the plant. Lastly delegates of the Sucre- Santander community were trained through theoretical knowledge, handling of instructions in the handling of the plant, personal security and security during the manufacturing process of the toilet soap. Furthermore the inclusion of a manual guide of recommendable practices in the manufacturing and simulation process in the flash teaching tool

³ Final Project.

⁴ Chemical Engineering School, Physical-chemical Engineering Faculty, Industrial University of Santander.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del proyecto fueron el diseño y la implementación de una planta piloto para la elaboración de jabones líquidos y sólidos cuya innovación de comercialización radica en las propiedades de los aceites esenciales. Para lograr un jabón de tocador con buena calidad se estudiaron, tanto la facilidad de obtención del aceite vegetal a saponificar, como mejores rendimientos económicos, además de una llamativa presentación

Mediante el estudio y balance de costos se determinaron la viabilidad del proceso y el valor por unidad del jabón. Se concluyó su fórmula a partir de pruebas con selección de los mejores aditivos a nivel de laboratorio. Para el diseño de la planta piloto, se consideraron factores importantes tales como: el debido dimensionamiento de equipos, la selección del mejor sistema de agitación, sistema de calentamiento, control de temperatura y control de agitación que lleven a un proceso seguro y eficiente. Para un montaje correcto y económico se referenciaron varias cotizaciones entre las cuales se escogió la opción que además de ser económica mantuviera la buena calidad de la planta.

Parte importante del proyecto consistió en determinar las mejores condiciones en las cuales la planta debía ser operada. Para ello, se realizaron pruebas tales como índice de saponificación, determinación de exceso de soda, tiempo de separación de fases, tiempo óptimo de reacción, condiciones de moldeo finales y velocidades

de agitación, todo inicialmente, a nivel de laboratorio y después escaladas al piloto, donde se realizaron balances de masa, energía y rendimientos.

En cumplimiento con el proyecto se situó la planta piloto, inicialmente en el Centro de Investigación CENIVAM, para luego ser trasladada al municipio de Sucre, Santander. En el mismo Centro se capacitaron delegados de la comunidad vinculada al proyecto de agro-industrialización de aceites esenciales que se producen mediante destilación. Dicha capacitación se basó en charla de conceptos básicos, seguridad industrial, presentación de la planta, producción de jabón e instrucción del manual de buenas prácticas de manufactura que quedó como soporte de operación.

2. CONCEPTOS TEÓRICOS

2.1 JABÓN: Químicamente, es la sal de sodio o potasio de un ácido graso no volátil que se forma por la reacción de grasas y aceites, con una solución acuosa de un álcali, en un proceso denominado saponificación.

2.2 RESEÑA HISTÓRICA: la antigua Babilonia, 2.800 A.C, hervían el cebo de cabra con las cenizas de madera para obtener un producto que se usaba para dar color y brillo al cabello, mas no como agente de limpieza. Los egipcios, (documentado 1.500 A.C.), por otra parte, se bañaban regularmente utilizando un proceso parecido, tanto para tratar enfermedades de la piel, como por limpieza personal. Moisés daba a los Israelitas leyes que gobernaban el aseo personal, ya sea para la salud o para purificación religiosa. Los griegos, se limpiaban con arcilla, cenizas y piedra pómez.

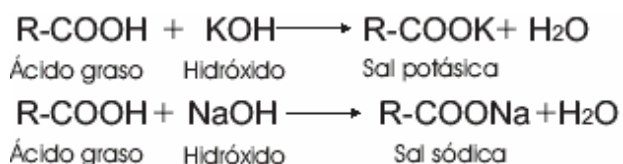
En 1783, el químico sueco Carl Wilhelm Scheele hirvió accidentalmente el aceite de oliva con óxido de plomo para producir una sustancia que él denominó *Ölsüss*, que hoy se conoce como glicerina. El descubrimiento de Scheele permitió al químico francés Michel Eugéne Chevreul, investigar la naturaleza química de las grasas y los aceites que se usaban en el proceso del jabón, descubriendo para 1823 que las grasas simples no se combinan con el álcali para formar el jabón, sino que se descomponen antes para formar ácidos grasos y glicerina. Por otro lado, en 1791, el químico francés Nicolás Leblanc inventó un proceso para la obtención de carbonato de sodio, utilizando sal ordinaria, que revolucionó la fabricación del jabón más adelante. Para los últimos años del siglo XIX, se

introdujo el calentamiento con vapor y el batido con transmisión mecánica, lo que logró un trabajo más rápido y seguro.

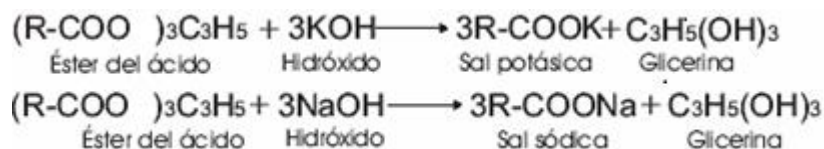
2.3 GRASAS Y ACEITES: Las grasas se extraen principalmente de tejidos animales y los aceites, de tejidos vegetales. Estos compuestos difieren en sus propiedades físicas: Las grasas son sólidas y los aceites son líquidos a la temperatura ambiente. Sin embargo, el punto de fusión de una grasa o aceite depende de la naturaleza de los grupos R de los ácidos grasos de la molécula (*Ver Anexo A: Principales ácidos grasos*). Cuando R es saturado los glicéridos son generalmente sólidos; cuando los grupos R no son saturados tiende a disminuir el punto de fusión de modo que los grupos R en un aceite son no saturados mientras que en las grasas existen pocos dobles enlaces. Las grasas y los aceites son ésteres de la glicerina y ácidos carboxílicos, se conocen con el nombre general de glicéridos.

2.4. FUNCIÓN: El jabón elimina la grasa ya que tiene una estructura molecular que actúa como un enlace entre el agua y las partículas de suciedad, soltando las partículas de las fibras subyacentes o de cualquier otra superficie que se limpie. La molécula produce este efecto porque uno de sus extremos es hidrófilo (afín con el agua) y el otro es hidrófugo (atraído por las sustancias no solubles en agua) (*Ver Anexo B: Estructura del jabón*). El extremo hidrófilo es similar en su estructura a las sales solubles en agua, y el hidrófugo por lo general formado por una cadena de hidrocarburos, que es similar en su estructura al aceite y a muchas grasas. El resultado global de esta peculiar estructura permite al jabón reducir la tensión superficial del agua (incrementando la humectación), adherir y hacer solubles en agua sustancias que normalmente no lo son.

2.5. SAPONIFICACIÓN: Reacción química entre un ácido graso (o un lípido saponificable, portador de residuos de ácidos grasos) y una base o álcali, en la que se obtiene como principal producto la sal de dicho ácido y de dicha base. Estos compuestos tienen la particularidad de ser anfipáticos, es decir tienen una parte polar y otra apolar, con lo cual pueden interactuar con sustancias de propiedades dispares. Las reacciones fundamentales son:



Las grasas generalmente no se presentan en forma de ácidos grasos puros sino como ésteres, formados entre los ácidos grasos y la glicerina. Para transformar estos ésteres en jabón es preciso, desdoblar los ácidos grasos y la glicerina. No obstante, en esta reacción el ácido graso se combina inmediatamente con el potasio o sodio para formar la sal respectiva, y se libera la glicerina. Luego las reacciones se expresan:



Durante el proceso de la saponificación se llevan a cabo tres etapas: inicial, de auto catálisis y final. (Ver Anexo C: Etapas en reacción de saponificación).

2.6. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO

2.6.1 Temperatura: El control de la temperatura en la mayoría de las etapas del proceso es muy importante para evitar el calentamiento excesivo que acelera la degradación de la materia prima en presencia del aire.

2.6.2 Calidad de las grasas y aceites: La selección de la materia prima para la fabricación de jabón, debe tener en cuenta la composición de la carga de grasa, ya que debe contener la proporción adecuada de ácidos grasos saturados e insaturados, al igual que de ácidos grasos de cadena larga y corta que se requieren para lograr la suficiente formación de espuma; (efecto visible que se produce cuando las moléculas de jabón crean la emulsión con el agua y las partículas de suciedad); la dureza del jabón (asegura la calidad del jabón); y la acción limpiadora (disminuye la tensión superficial del agua).

2.6.3 Alkali: La selección del álcali va sujeta a las características que se quieren presentar en el producto final: con hidróxido de sodio el jabón es sólido y con hidróxido de potasio el jabón se presenta de forma cremosa.

2.6.4 Electrolito: Químicamente son sustancias que contienen iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico. El porcentaje de electrolito en la pasta jabonosa es de vital importancia durante cada una de las etapas del proceso, ya que permite insolubilizar el jabón en el agua. Éste provoca una separación entre el jabón formado y la lejía. El jabón queda en la superficie de la lejía en forma sólida granulada y la lejía contiene un exceso de álcali, electrolito y glicerina. Un electrolito adecuado permite una separación efectiva y rápida al momento de dejar la masa en reposo. Dentro de los electrolitos más usados están el NaCl (sal común) y el Na₂O, los cuales presentan buenas eficiencias de graneado.

2.7 ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN: Es el número de miligramos de hidróxido de potasio requerido para saponificar 1g de grasa bajo condiciones específicas. Es una medida para calcular el peso molecular promedio de todos los ácidos grasos

presentes; por otra parte, varía para cada grasa o aceite en particular (Ver Anexo D: Índices de saponificación).

2.8 PROCESO PARA ELABORACIÓN DE JABÓN DE TOCADOR: En esencia el proceso, sea industrial o artesano, consta de tres fases: (Ver Figura 1: Proceso para elaboración de jabón tocador)



Figura 1: Proceso para elaboración de jabón de tocador

2.8.1 Saponificación: Se hierva la grasa en grandes calderas, se añade lentamente soda cáustica (NaOH) y se agita continuamente la mezcla hasta que su viscosidad sea alta (400000 cp.). La reacción que ha tenido lugar recibe el nombre de saponificación y los productos son el jabón y la lejía residual que contiene glicerina: **Grasa + álcali → jabón + glicerina.**

2.8.2 Sangrado o salado: El jabón obtenido se deposita en la superficie en forma de gránulos. Para que cuaje de una manera completa se le añade sal común (NaCl). Esta operación recibe el nombre de sangrado o salado y logra la separación total del jabón que flotará sobre la disolución de glicerina, de álcali que no ha reaccionado y de agua.

2.8.3 Moldeado: Ya habiendo realizado el sangrado, el jabón se pasa a otro recipiente o vasija donde se le pueden añadir perfumes, colorantes, productos medicinales, etc. entonces todavía caliente, se vierte en moldes, se deja enfriar y se corta en pedazos.

A nivel industrial se conocen otros métodos de producción de jabón, que se han desarrollado con la evolución de la industria cosmética (*Ver Anexo E: Métodos de producción de jabón de tocador*).

2.9 PLANTA PILOTO: Planta de proceso a escala reducida. El fin que se persigue al diseñar, construir y operar una planta piloto es obtener información sobre un determinado proceso físico o químico, que permita determinar si el proceso es técnica y económicamente viable, así como establecer los parámetros de operación óptimos de dicho proceso para el posterior diseño y construcción de la planta a escala industrial.

2.10 REACTOR DISCONTINUO: Aquel en donde no entra ni sale material durante la reacción; al inicio del proceso se cargan los materiales, se lleva a las condiciones de presión y temperatura requeridas, y se deja reaccionar por un tiempo preestablecido, al final se descargan los productos de la reacción y los reactantes no convertidos; también es conocido como reactor tipo *Batch*.

2.11 AGITADORES DE BANDA HELICOIDAL: Este tipo de agitadores se usa para soluciones sumamente viscosas y opera a pocas rpm en la región laminar. Poseen bandas que forman una trayectoria helicoidal y están unidas a un eje central. El líquido se mueve en una trayectoria de flujo tortuosa hacia abajo, en el centro y hacia arriba a los lados, con movimiento de giro, Otros tipos semejantes son el de banda helicoidal doble y el de banda helicoidal con tornillo.

2.12 CALENTAMIENTO POR VAPOR: Circulación de vapor por una cañería o radiador como sucede en los sistemas de agua caliente. Al ocurrir condensación de vapor los radiadores transmiten su calor latente. La circulación de vapor se realiza con sistemas de una y dos tuberías; éstas devuelven el agua formada por

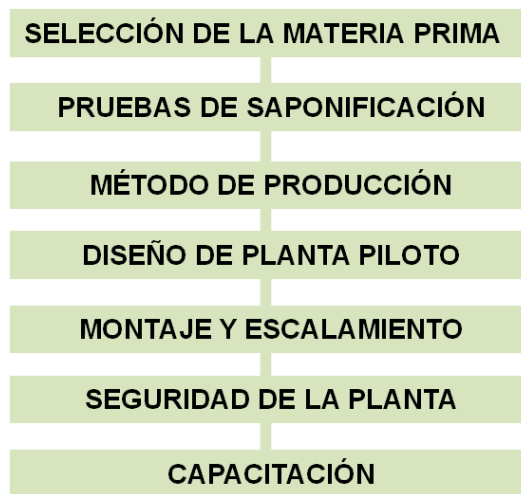
condensación, a la caldera. (*Ver Anexo F: Sistema de calentamiento con vapor de caldera*).

2.13 GLICERINA: La glicerina es un trialcohol incoloro y viscoso que tiene muchas aplicaciones en la industria, los métodos de producción son variados y dependen de la materia prima usada. Ésta también se encuentra presente en las grasas y aceites como ésteres de glicerina, en donde uno, dos o tres ácidos grasos se enlazan a una molécula de glicerina

2.14 ACEITES ESENCIALES: Los aceites esenciales son mezclas de varias sustancias químicas biosintetizadas por las plantas, que dan el olor característico a algunas flores, árboles, frutos, hierbas, especies y semillas. Se trata de productos químicos intensamente aromáticos, no grasos (por lo que no se enrancian), volátiles por naturaleza (se evaporan rápidamente) y livianos (poco densos), son insolubles en agua, levemente solubles en vinagre, y solubles en alcohol, grasas, ceras y aceites vegetales.

Las plantas de romero, salvia, tomillo, y cidrón son aromáticas, sobre éstas existen reportes de la presencia de compuestos antioxidantes, su cultivo es apto en climas templados y se ha comprobado que sus infusiones presentan propiedades medicinales y actividad antioxidante, atribuidas a sus metabolitos secundarios. Los antioxidantes son sustancias que tienen muchas aplicaciones en las industrias de alimentos, productos de aseo personal, cosméticos y fármacos, entre otras (*Ver Anexo G: Propiedades de aceites esenciales*).

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL



3.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA: Se consideraron tres aspectos importantes para su selección: en primera instancia aquellos aceites cuyo índice de saponificación no representara el manejo de grandes cantidades de álcali (bajos índices de saponificación) en segundo lugar el rendimiento y la calidad del jabón que se produjo y por último, el costo y facilidad de consecución tanto a nivel local como nacional.

3.2 PRUEBAS DE SAPONIFICACIÓN: Se determinaron el índice de saponificación mediante una técnica volumétrica (*ver Anexo H: Determinación de índice de saponificación*), índice de yodo, porcentaje de acidez, (*ver anexo I: Índice de yodo y Porcentaje Acidez*) y densidad.

Para llevar a cabo una buena reacción se determinaron parámetros tales como el exceso de soda y el tiempo de reacción, mediante cambios de concentración de pH, para llegar a la etapa final de la reacción y así saponificar toda la grasa.

3.3 MÉTODO DE PRODUCCIÓN: Entre los métodos existentes se seleccionó aquel que representara una manufactura sencilla. Aunque todos los métodos constan de un derrotero preestablecido (*Ver Anexo J: Método de producción de jabón sólido*) no siempre se sigue éste, pues de allí depende que cada jabón sea diferente.

Para la elaboración de jabón líquido (*Ver Anexo K: Proceso para elaborar jabón líquido*) sus principales diferencias se encuentran en la omisión del lavado de sal, la saponificación con potasa caustica sin exceso y su disolución en agua para el envasado.

3.4 DISEÑO DE PLANTA PILOTO: Inicialmente se determinaron las bases para el diseño, considerando aspectos importantes como el escenario o ambiente de diseño y los supuestos claves para el potencial económico. Se identificaron los datos de entrada tales como la base de cálculo del aceite de palmiste, fundamental para determinar el volumen de producción; las materias primas, los procesos de elaboración y las variables de operación.

Se representó el proceso mediante diagrama de entrada-salida y diagrama de unidades donde se realizaron balances de masa y un balance estequiométrico, luego se realizaron balances de energía y cálculo de potencia para determinar el consumo energético en el proceso, finalmente, se dimensionaron los equipos requeridos en cada unidad para el diseño de la planta y se hizo balance de costo, mostrándose de esta forma el potencial económico en el diseño.

3.5 MONTAJE Y ESCALAMIENTO: Se instaló el piloto en el Centro de Investigación, CENIVAM para someterlo a pruebas de escalamiento, se comprobó en primer lugar que los equipos entregados funcionaran correctamente, mediante una prueba en blanco (agua como reactivo) El escalamiento se hizo para comprobar que los parámetros establecidos a nivel de laboratorio funcionaran con el piloto. Inicialmente se caracterizaron los kilogramos frescos de aceite de palmiste, en seguida se determinó el tiempo de reacción para los límites (inferior y superior) del reactor, asegurando con método de índice de saponificación que la reacción llegaran a su fin, se midieron tiempos en la separación de lejía, además de rendimiento del proceso y por último un balance con datos de la planta para el cálculo de energía entregada en la reacción por la caldera y el calor que se pierde.

3.6 SEGURIDAD DE LA PLANTA: En el transcurso del diseño y la implementación de un proceso es de gran importancia considerar los riesgos de la instalación: el primer paso consistió en analizar las fichas de seguridad de los compuestos que intervienen en éste, se instalaron medidas de seguridad para los posibles peligros durante el funcionamiento del reactor y se entrenó el personal u operario en actuaciones de emergencia.

3.7 CAPACITACIÓN: Instalada la planta y escalados los parámetros, se dio capacitación a los encargados de la operación de la misma. Como prioridad se hizo referencia a los instrumentos de protección personal, adicional a esto se dejó un manual de buenas prácticas de manufactura.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA: Con las consideraciones que se mencionaron en el capítulo anterior, se destacaron dos aceites; aceite de palma y de palmiste. Colombia es el quinto país en producir estos dos aceites, y Santander se destaca por ser uno de los mayores productores a nivel nacional. Tiene un índice de saponificación considerable, que por su abundancia en comparación con los otros, hace que sea una buena opción (*Ver tabla 1: Resultados de parámetros de selección en los aceites*).

Tabla 1: Resultados de parámetros de selección de los aceites

Aceite	Índice de saponificación	Rendimiento (%)	Costo (pesos/kg)
Palma	0.141	92	\$1700
Palmiste	0,186	94	\$2000

Por índice de saponificación y costo, el aceite de palma resulta ser la mejor opción; pero, al medirse su rendimiento, éste estuvo por debajo del palmiste; su calidad y textura no era la apropiada para jabón de tocador, lo que implica un proceso adicional de clarificación. De acuerdo con todo lo anterior se seleccionó el palmiste como materia prima: buen rendimiento, buena presentación e índice de saponificación bajo.

El aceite de palmiste se caracterizó (*Ver Tabla 2: Caracterización de aceite de palmiste*). Esto es de gran importancia como primera instancia, ya que cada compra de aceite posee sus propias características y de no hacerse se obtienen diferentes resultados en el proceso de saponificación.

Tabla 2: Caracterización de aceite de palmiste.

Característica	Valor
Índice de Saponificación	0.186
Índice de Yodo	55
Porcentaje de Acidez	3%

4.2 PRUEBAS DE SAPONIFICACIÓN: Una vez caracterizado el aceite, mediante las técnicas mencionadas en el capítulo anterior, se saponificaron muestras de 100 g para determinar el exceso adecuado de álcali, efectuando una reacción que logre saponificar toda la grasa vegetal. Esta solución se trabaja concentrada al 30% tanto para sólido como para líquido, aunque cabe destacar que para el líquido no se consideró exceso, ya que no se efectúa lavado con sal, con el fin de mantener la glicerina

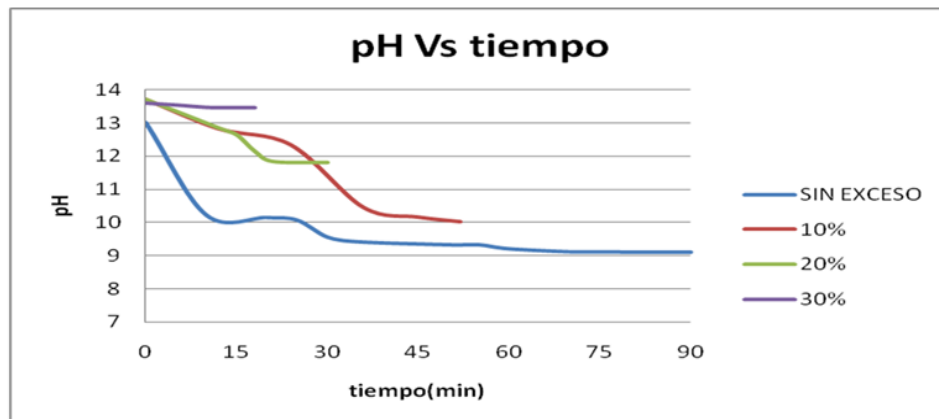


Figura 2: Cambios de pH con el tiempo a diferentes excesos en la reacción de saponificación.

Analizando los cambios de concentración mediante el pH con respecto al tiempo medido con el pHmetro en el laboratorio (Ver Anexo L: Puntos experimentales de cambios de pH Vs tiempo para diferentes excesos), se observa que a mayor

exceso de soda, el tiempo es inversamente proporcional; pero, el pH queda más alto a su vez (ver figura 2: Cambios de pH con el tiempo a diferentes excesos en la reacción de saponificación). Para el proceso se decidió usar un exceso del 10%, pues así se asegura que la reacción se complete y quede con un pH de 10, justo para neutralizar con ácido clorhídrico.

Tabla 3: Resultados de índice de saponificación para los excesos a nivel de laboratorio.

EXCESO (%)	TIEMPO	ÍNDICE SAPONIFICACIÓN
0	90	42,186
10	52	10,97
20	30	3,687
30	18	2,53

Para asegurar que las reacciones con los diferentes excesos se llevaran a saponificación completa, se realizó el método de índice de saponificación, (ver tabla 3: Resultados de índice de saponificación para los excesos a nivel de laboratorio) de esto se observó que a mayor exceso, queda menos grasa sin saponificar. El exceso de 10% escogido deja poca grasa sin saponificar; este porcentaje de grasa que queda en la pasta jabonosa se reduce en el lavado con solución concentrada de sal.

4.3 METODO DE PRODUCCIÓN: En el proceso de elaboración de jabón sólido, una vez que se caracteriza la materia prima, y teniendo ya definido trabajar con un exceso de soda del 10%, en un intervalo de temperatura de 75 a 82°C, durante una hora de reacción, se analiza el proceso de sangrado o salado, el cual se efectúa con una concentración del 20% y en cantidad proporcional al aceite saponificado; es decir, para 100gramos de aceite a saponificar, se debe lavar con 100 gramos de solución; además debe adicionarse a la misma temperatura a la que se encuentra el reactor, para que no haya un cambio brusco de temperatura y se forme en dicho sangrado una emulsión no deseada. Una vez se adiciona esta

solución de sal, se agita por 1 min para que exista el debido contacto del electrolito con la masa saponificada; a continuación se deja el tiempo necesario para observar la separación de las dos fases, en donde es de vital importancia drenar la lejía separada cuando se observe una separación estable, pues más tiempo el jabón reabsorbe la lejía y provoca una pasta con bastante humedad. Éste tiempo fue de 20 minutos para que la lejía se separe bien pero no arrastre jabón fundido.

Se procede a adicionar las cargas y aditivos para darle las propiedades al producto. Esto se hace teniendo como referencia las NTC 760 para jabón sólido de tocador, en donde se indican los intervalos en los cuales se deben adicionar las cargas. (Ver *Anexo M: Cargas determinadas para jabón*).

Las cargas cumplen la función de darle peso al jabón, para los sólidos se implementaron carbonatos metálicos, después se adicionan los aditivos entre los que se encuentran las esencias de tomillo, romero, cidrón o salvia, agregadas como último aditivo para que no se degrade la esencia por exceso de calentamiento.

La neutralización se lleva a cabo mediante la adición de ácido clorhídrico; una vez que esté alrededor de 7 (neutro) se da color a la pasta jabonosa y se procede a pasar a los moldes los jabones; en esta última etapa del proceso se dejan las barras dentro de éstos por tres días mientras se establece la humedad del 25% en peso, y por último se desmoldan y pasan a un proceso de curado donde se tapan por 20 días.

Para la elaboración de jabón líquido se manejó de igual forma la caracterización del aceite inicialmente y se saponificó con hidróxido de potasio al 30% en peso, evitando el exceso de álcali. La reacción es extremadamente rápida con un tiempo de 20 minutos de saponificación a temperatura de 75 °C, formando una pasta compacta. La disolución se realiza con agua a la misma temperatura y se mezcla hasta lograr la fundición total: la pasta jabonosa. Para éste no se separa la glicerina con el fin de conservar una textura viscosa. Se adicionaron cargas

según la norma NTC 709 para jabón líquido y ésta debe ser el silicato de sodio pues los otros se sedimentarían en este jabón. La neutralización se lleva a cabo mediante la adición de ácido clorhídrico; se acondicionaron el color y la esencia necesarios para finalmente ser envasados.

4.4 DISEÑO DE PLANTA PILOTO

4.4.1 Bases de diseño: El escenario de diseño se fundamentó en una financiación por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, con el cual se tiene ya determinada la infraestructura y una caldera usada en otros procesos establecidos en el centro de investigación. Para los balances de costo se consideró que todo el volumen de producción tendrá una demanda del 100% en el mercado; se tomaron bases de cálculo para balance de masa.

4.4.2 Datos de entrada: Las materias primas seleccionadas fueron el aceite de palmiste, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, cloruro de sodio y aditivos; Se consideró una base de cálculo de 25 kg de aceite de palmiste. Las variables de operación como la temperatura se estipuló en 75°C durante todo el proceso y la presión, atmosférica.

4.4.3 Diagrama entrada salida: (Ver figura 3: Diagrama de entrada salida para el proceso de elaboración de jabón de tocador).



Figura 3: Diagrama de entrada salida para el proceso de elaboración de jabón de tocador.

En este diagrama se observan a grandes rasgos las materias primas, que después del proceso establecido, se transforman en los productos y subproductos mostrados.

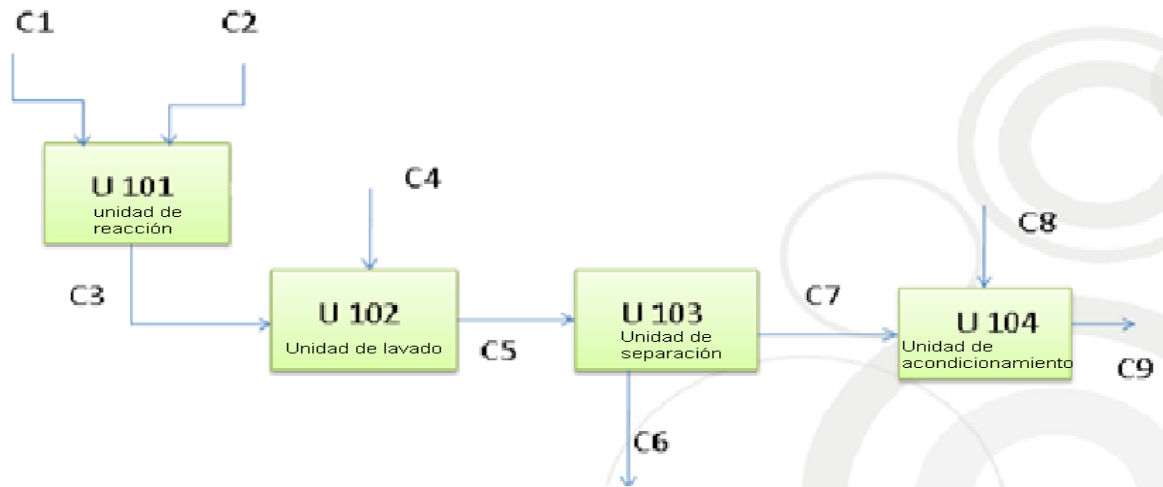
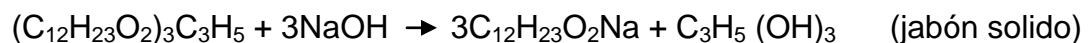


Figura 4: Esquema de unidades del proceso para jabón de tocador.

Para detallar más este diagrama se realizó un esquema (Ver Figura 4: Esquema de unidades del proceso para jabón tocador) en donde se consideran diferentes unidades como la de reacción, cuyo equipo es el reactor de saponificación, en donde se da lugar a la única reacción del proceso. Las unidades de lavado, separación y acondicionamiento tienen como equipo el mismo reactor pero operado sin reacción.

Se consideró inicialmente al aceite de palmiste como el triglicérido $(C_{12}H_{23}O_2)_3C_3H_5$ en una reacción de saponificación de la forma:



Se definieron los diferentes pesos moleculares de los productos y reactivos (Ver Anexo N: Pesos moleculares de reactivos y productos)

Se realizaron los balances de masa a cada unidad y un balance estequiométrico a la unidad de reacción (Ver Tabla 4: *Balances de masa del procesode jabón tocador*) para determinar cuántas moles de cada compuesto se obtenían al finalizar la reacción (ver Anexo O: *Cálculos de balances de masa*); en la tabla 4 se logra ver las diferentes cantidades del proceso; se obtiene un volumen de producción de 26.7 kg de jabón por lote. Estos cálculos se hicieron teniendo en cuenta la base de cálculo de 25 kg de aceite de palmiste como dato de entrada.

Tabla 4: *Balances de masa del procesode jabón de tocador*

UNIDAD	CORRIENTE	COMPONENTE	VALOR (kg)	TOTAL (kg) CORRIENTE
U101 Unidad de reacción	C1	Aceite palmiste	25	25
	C2	NaOH	4.5	4.5
	C3	Aceite palmiste	1.5	29.48
		NaOH	0.08	
		Jabón	24.52	
Glicerina		3.38		
U102 Unidad de lavado	C4	Sín NaCl	25	25
	C5	Pasta jabón	54.4	54.4
U103 Unidad de separación	C6	Glicerina	3.38	29.96
		Agua, Aceite, álcali	26,58	
	C7	Jabón	24.54	24.54
U104 Unidad de acondicionamiento	C8	Aditivos	2.54	2.54
	C9	Jabón Final	26.7	26.7

4.4.4 Consumo energético: En esta parte del diseño el consumo de energía se consideró en la potencia del agitador y el vapor suministrado por la caldera al proceso para mantener su estado isotérmico.

4.4.4.1 Potencia de agitador: El cálculo de la potencia dependió principalmente de la viscosidad de la pasta de jabón producida. Para ello se calculó inicialmente la viscosidad con el viscosímetro *Brookfield* y, a partir de esto

se calculó el número de Reynolds (*Ver Anexo Q. Ecuación 1: cálculo de Reynolds*), debido a que este pequeño Reynolds marca régimen laminar, se dificultó la lectura del número de potencia mediante gráficas; por ende se calculó dicho valor mediante la determinación de parámetros especiales para régimen laminar y haciendo el uso de ecuaciones establecidas experimentalmente (*Ver Anexo Q. Ecuación 2: Cálculo de número de potencia*). Teniendo en cuenta los últimos valores hallados (*Ver Anexo P. Datos para cálculo de potencia*) se determina la potencia (*ver Anexo Q. Ecuación 3: Cálculo de potencia*); a este valor se le adicionó la potencia mecánica, obteniéndose finalmente la potencia total de 1,2 hp (*Ver Anexo Q. Ecuación 4: cálculo de potencia total*). La selección del agitador de doble cinta helicoidal (*Ver Anexo Q: Cálculo de potencia y diagrama de agitador*), se hizo debido al movimiento de rotación que produce; genera buena transferencia de calor y buena mezcla de líquidos; es en estos aspectos más eficientes que otros agitadores.

4.4.4.2 Balance de energía: Para el proceso se realizó balance de energía a todas las unidades; para la primera unidad, se pudo observar que la reacción es endotérmica y por ello es necesario suministrarle calor mediante vapor (*Ver tabla 5: Balance de energía del proceso*). Se determinó el cambio entálpico de las especies reaccionantes desde la temperatura de la mezcla (75°C) hasta una temperatura de referencia de 25°C a la cual está calculado el calor de reacción, posteriormente se calculó el cambio entálpico de los productos desde la temperatura de referencia hasta la temperatura de la mezcla (*Ver Anexo R: cálculos de balances de energía*), para así tener el calor total de la mezcla reaccionante.

Tabla 5: Balance de energía del proceso.

UNIDAD	Reacción	Lavado	Separación	Acondicionamiento
VALOR (kcal)	18.668,07	1585.27	1585.27	1585.27

Para las otras unidades del proceso se despreció el término de calor de reacción ya que no se presenta reacción en éstas; y debido a que el proceso es isotérmico, el balance de energía se resume en la suma de la cantidad de trabajo entregado por el agitador y el vapor de caldera para mantener la temperatura constante; esto con un valor de 1.585,27 kcal/h. se tomo este valor como la energía de cada una de las tres unidades finales.

4.4.5Potencial económico: Teniendo todos los cálculos necesarios se hizo un bosquejo de la planta para la elaboración de jabón de tocador. (Ver Anexo S: *Bosquejo de planta piloto para producción de jabón de tocador*).En el diseño de los tanques y el reactor se consideró trabajar con un 20 % de factor de riesgo y su volumen se estipuló de acuerdo con la producción capaz de soportar cada lote. Se dimensionaron los equipos necesarios, los tanques auxiliares, y se estipularon las características del controlador y del agitador (Ver *Tabla 6: Dimensionamiento de planta piloto de jabón tocador*).Se consideraron en este dimensionamiento relaciones de altura con el diámetro, usadas en la industria como norma.

Tabla 6: Dimensionamiento de la planta piloto de jabón de tocador

EQUIPO	VOLUMEN (litros)	DIÁMETRO (metros)	ALTURA (metros)	CARACTERÍSTICAS
Reactor Batch	100	0,4	0,8	Acero inoxidable, con chaqueta de calentamiento y aislada, fondo cónico, visores de nivel, agitador de doble cinta helicoidal con moto-reductor
Tanque dosificador	20	0,25	0,50	Acero inoxidable con válvula de salida inferior, semitapado y conexión directa a reactor.
Tanque de glicerina	50	0,6	0,35	Acero inoxidable con marquillas de nivel.
Tanque de sal	100	0,4	0,8	Acero inoxidable con marquillas de nivel.
Tablero de control	-----	-----	-----	Variador de velocidad de 1,5 hp, sensor de termocupla. Trampa de vapor. Válvula reguladora de presión hasta 120 psi, válvula solenoide para vapor.

Se consideraron tres cotizaciones (*Ver Anexo T. Cotizaciones de planta piloto*) con valores realmente diferentes. Con el fin de obtener una planta de calidad y económica, se decidió hacer el montaje con la empresa DESING Ltda. Por su mejor propuesta frente a las otras (*Ver Anexo AF Planos de diseño para planta piloto de jabones*).

4.4.5.1 Balance económico: Se analizó el escenario para el balance económico de tal forma que las consideraciones iniciales para éste no afectaran datos de salida importantes como el precio por unidad del jabón. De este modo, se planteó el balance con el fin de recuperar la inversión del montaje de la planta como tal, sin tener en cuenta la infraestructura y la caldera que se encuentran ya preestablecidas. Para dicho balance se tuvieron en cuenta los costos de producción (*Ver Anexo U: Costos de inversión para el diseño de planta*) y se estipuló un volumen de producción de 11340 unidades de jabón por trimestre, también se calcularon los costos de las materias primas respectivas en la misma unidad de tiempo y se consideraron los balances de energía para tener el dato sobre el costo de energía por lote y servicios industriales. Se puede observar, que la mayor parte del gasto de producción se encuentra en las materias primas, seguido del gasto de la mano de obra. Con el gasto de inversión del montaje de la planta, establecido, se calcula el precio por unidad de jabón (*Ver tabla 7: Balance económico para diseño de planta*)

Tabla 7: Balance económico para diseño de planta

DESCRIPCIÓN	VALOR, pesos
Inversión de equipo	\$ 24'500.000
Tiempo de recuperación	2 años
Cuota trimestral	\$ 3'062.500
Costo de inversión	\$ 10'348.949,05
Costo de producción	\$ 13'411.449,05
Costo de producción con ganancia	\$ 15'557.280
Precio de jabón por unidad	\$ 1371

Para esto, se estima recuperar la inversión en dos años, se calculó el costo de producción con la ganancia estándar de la industria cosmética y se determinó con el volumen de producción el costo del jabón por unidad; como se observa, éste valor se encuentra en el margen de mercado, pero se puede incrementar si se desea mayor utilidad.

4.5 MONTAJE Y ESCALAMIENTO: Una vez montada la planta en las instalaciones del CENIVAM (*Ver Anexo V: Fotos de montaje de planta para jabones*), se caracterizó el aceite de palmiste (*Ver Tabla 8: Caracterización de aceite de palmiste para piloto*) mediante las mismas técnicas usadas a nivel de laboratorio; cabe destacar que para el índice de saponificación se obtiene un valor en función de KOH el cual se multiplica por una constante de 0,723 para calcular en función de NaOH, los índices de acidez y yodo no varían mucho y la densidad permanece constante.

Tabla 8: Caracterización de aceite de palmiste para piloto

Recipiente	Índice de saponificación	Índice de yodo	Índice de acidez	Densidad, kg/L
1	0,180	56	2,8	0,92
2	0,184	56	3	0,92
3	0,179	56	2,87	0,92

Tabla 9: Determinación de tiempo de reacción del piloto

Tiempo de Reacción(hora)	Índice de saponificación determinado 6,6 kg	Índice de saponificación determinado para 25 kg
1	10,77	11,97
1,5	3,93	2,89
2	2,72	2,187
2,5	2,55	1,156

Uno de los primeros parámetros a escalar fue el tiempo de reacción que se había establecido en una hora a nivel de laboratorio. Como se puede observar (*Ver Tabla 9: Determinación de tiempo de reacción del piloto*), mediante la técnica de índice de saponificación se comprueba que a dos horas, la reacción de saponificación (factor escala 2 a 1) presenta pequeños cambios; esto indica que se ha consumido la mayoría de la soda y la restante se logra neutralizar con el ácido clorhídrico.

Para las pruebas a nivel de piloto a saponificar (*ver Anexo W: Saponificación en piloto*) se escogieron los límites del reactor; 6,6 kg de aceite de palmiste como mínimo valor y 25 kg que es el límite superior del mismo. Finalmente se realizó saponificación con KOH para la realización del jabón líquido, obteniéndose un tiempo de 20 min de reacción igual que el observado a nivel de laboratorio, pues la reacción consume la soda más rápido, mostrando así un factor de escala de 1 a 1

El otro parámetro importante a escalar, fue el tiempo de separación de la lejía y la pasta de jabón, tanto para la mínima cantidad de aceite, como para el máximo de operación (*Ver Tabla 10: Tiempos y cantidad de separación de lejía en el lavado*); en esto se observó que después de media hora la separación es mucho más lenta, luego se debe abrir el flujo de glicerina cada diez minutos después de la primera media hora hasta unos 50 minutos, en donde la lejía ya no se sale (factor escala 1:1). Para el jabón líquido este paso se omite para darle más consistencia al jabón con la glicerina.

Tabla 10: Tiempos y cantidad de separación de lejía en el lavado.

Tiempo de separación	Lejía separada de 6,6 kg de aceite de palmiste(kg)	Lejía separada de 25 kg de aceite de palmiste (kg)
30 min	4,6	22
40 min	5,2	23.2
50 min	5,8	23.32

Para la adición de cargas, neutralización y caracterización, los parámetros no se modificaron con relación a los del laboratorio (factor escala 1:1); de este modo se obtiene jabón de tocador líquido y sólido con excelentes cualidades.

4.5.1 Rendimiento del proceso: Se calcularon los rendimientos teniendo en cuenta las cantidades de pasta de jabón obtenidas experimentalmente (*ver tabla 11: Rendimientos de planta piloto*), trabajando la planta con 6,6 kg y 25 kg como capacidad máxima.

Tabla 11: Rendimientos de planta piloto

Grasa a saponificar(kg)	Jabón teórico(kg)	Jabón experimental (kg)	Rendimiento de jabón (%)	Glicerina teórica (kg)	Lejía (kg)	Glicerina en lejía (%)
6.6	6.88	6.32	91,87	0.95	5.8	16.38
25	26.09	24.3	93,13	3.6	23.32	15,43

De este modo se confirmó el gran rendimiento del aceite de palmiste a la hora de saponificarlo.

Balance de energía para el proceso Se determinó qué tanto calor aporta al proceso, el flujo de vapor, mediante los condensados (*Ver anexo X: Balance de energía en el piloto*) y se obtuvo que existen pérdidas de calor con convección en el proceso, debido al aislante de recubrimiento (*Ver tabla 12: Balance de energía en el piloto*).

Tabla 12: Balance de energía en el piloto.

CALOR	total del proceso	cedido por vapor	perdido
VALOR (kcal)	18668,07	25561.53	6893.4

4.6 SEGURIDAD DE PLANTA Parte importante para operar la planta, radica en la seguridad que se debe tener al momento de manipular, tanto las materias primas, productos, subproductos, como los equipos. Para esto se analizaron la toxicidad, la inflamabilidad y la incompatibilidad de reactivos y productos. Para la toxicidad de reactivos y productos se analizaron dos parámetros, el LD50 que expresa los miligramos de sustancia tóxica por kilogramo de peso de un animal de laboratorio (ratas) y el TLV que es el límite de exposición laboral recomendado por la ACGIH (*Ver Anexo Y: Toxicidad de reactivos y productos.*). Se observaron reactivos y productos poco tóxicos lo que representa poco riesgo, pero de igual forma el uso de elementos de protección personal es importante.

Los reactivos (*Ver Anexo Z: Inflamabilidad de reactivos y productos*), se consideran inflamables, pero de bajo riesgo (la glicerina y el aceite de palmiste), lo que indica la prevención que debe tenerse a la hora de almacenarlos y sobre todo de manipularlos, por tratarse de temperaturas por encima de los 70°C.

La incompatibilidad es fundamental en el análisis de riesgo, pues se tiene un precedente, para evitar reacciones colaterales no deseadas, posiblemente con los aditivos o cargas (*Ver Anexo AA: Incompatibilidad materia prima - productos*).

Para equipos como el reactor, sobresale el riesgo de manejar temperaturas altas, (80°C), para ello, se aisló con el fin de evitar accidentes de quemaduras en el operario. Además de esto, el sistema de control está dotado con alarma de seguridad que actuará en caso de descontrol de temperatura; otro riesgo es manejar presiones de 60 psi para el calentamiento del mismo; para esto se instalaron: válvula reguladora de presión para evitar explosiones y válvula de alivio.

4.7 CAPACITACIÓN: Se realizó a los delegados del municipio de Sucre, Santander; en donde mediante una charla inicial se instruyó en todo lo que compete a jabones de tocador sólido y líquido; se les recalcó la importancia de la seguridad personal en la planta y se les dotó de los debidos elementos de protección industrial a la vez que se les explicó su uso y su beneficio en caso de emergencia. Con la ayuda del *software flash* se ilustró inicialmente a las participantes en la capacitación, sobre el proceso de saponificación y todo lo que compete a la elaboración del jabón como tal, seguidamente en el piloto y con el manual de operación (*Ver Anexo AD: Manual de planta piloto de jabones*). En cada etapa del proceso se recalcaron los riesgos y cuidados presentes pero sobre todo la buena práctica de manufactura, demostrando de este modo la funcionalidad del piloto. Por último se explicó el lavado de planta.

5 RECOMENDACIONES

Modificar el sistema de secado de los jabones de tal forma que éste sea mediante un horno diseñado especialmente para secar con los flujos de vapor que se alcanzan a escapar por la línea de condensados del reactor.

La formulación del jabón sólido o líquido mediante aditivos y cargas está sujeta a cambios siempre y cuando no se sobrepasen los límites estipulados en las normas técnicas de ICONTEC, ni conduzcan a reacciones alérgicas a la piel.

Darle un tratamiento al subproducto de la lejía, en el Centro de Investigación. Se recomienda un procedimiento de recuperación de glicerina (*Ver Anexo AB: Recuperación de Glicerina*);

Si se desea vender este subproducto, reducir por evaporación el volumen de la lejía a la mitad para venderla como materia prima en recuperación de glicerina.

Instalar una bomba que suba el hidróxido de sodio o potasio hasta el tanque de drenaje pues como la solución de álcali libera calor y el tanque dosificador es de acero inoxidable, existe transferencia de calor de la solución al recipiente aumentando su temperatura, lo cual constituye un riesgo para el operario ya que puede presentar quemaduras al momento de su manipulación.

Para llevar una neutralización rápida, usar el método de neutralización (*Ver Anexo AC: método de neutralización*) que se mide mediante titulaciones

6 CONCLUSIONES

El aceite de palmiste en la obtención de jabón de tocador líquido y sólido mediante saponificación, se presenta como una materia prima rentable por sus excelentes rendimientos en pasta de jabón, facilidad de obtención, bajo índice de saponificación y costo moderado, que conducen a un producto de calidad para el mercado cosmético.

El diseño de la planta piloto se basa tanto en la selección de equipos capaces de mantener un volumen de producción estable, como en la conservación de los parámetros de operación que demanda el proceso de saponificación como tal. Por ello, la selección de mezclado mediante agitación con doble cinta helicoidal y calentamiento mediante vapor de caldera, aseguran un consumo energético y potencial económico viable

El montaje de la planta piloto presenta altos rendimientos en la producción de jabón sólido y líquido, bajo consumo energético, facilidad de operación, productos de calidad competitiva y buena rentabilidad que no solo asegura una recuperación de inversión rápida, sino también la viabilidad de producción de jabón tocador a partir de aceite de palmiste.

7 BIBLIOGRAFÍA

[1]BAILEY, Alton. Aceites y Grasas Industriales: Aceite de Palmiste. Ed1. Barcelona: Editorial Reverté, S.A., 1984.111 p. ISBN84-291-7901-1

[2]BEYER, Walter. Manual de Química Orgánica: Grasas Aceites y Ceras. Ed. 19. Barcelona: Editorial Reverté, S.A., 1987.202 p. ISBN 84-291-7066-9.

[3]BOTANICAL. Plantas Medicinales. [On line].
<<http://www.botanical-online.com/botanica2.htm>> [citado en Julio 24 de 2009]

[4]FEDNA. Aceite de Palmiste. [On line].
http://www.etsia.upm.es/fedna/grasasyaceites/aceite_palmiste.htm> [citado en Septiembre 30 de 2009]

[5]FOGLER, Scott. Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas: Diseño de reactores isotérmicos. Tercera ed. Prentice Hall. 2001. 125p.

[6]GRACIANI, Enrique. Los Aceites y Grasas: Composición y Propiedades.1 ed. Madrid: ediciones Mundi-Prensa, 2006. 24 p.ISBN 84-8476-272-6.

[7]GUIAS EMPRESARIALES. Flujo proceso productivo y escalas de producción. [On line]. <www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/gu> [citado en septiembre 28 de 2009]

[8]HERRERA Carlos; BOLAÑOS, Nuria; LUTZ, Giselle. Química de Alimentos. Manual de Laboratorio: Aceites y Grasas. 1 ed. Editorial Universidad de la ciudad de Costa Rica, 2003. 22p. ISBN 9977-67-785-9.

[9]HIMMELBLAU, David. Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química: Balances de Energía. 6 ed. México. Pearson Education, 1997.388p. ISBN 968-880-802-4.

[10]HIMMELBLAU, David. Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química: Balances de Materia. 6 ed. México. Pearson Education, 1997.142p. ISBN 968-880-802-4

[11] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Jabón Líquido: Bogotá: ICONTEC, 1978. 3h.:il. (NTC 709).

[12] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Jabones y detergentes: Jabón de tocador. Bogotá: ICONTEC, 2001. 9h.:il. (NTC 760).

[13]LEVENSPIEL, Octave. Ingeniería de las Reacciones Químicas: Cinética de las reacciones homogéneas. 2 ed. Barcelona: Editorial Reverté, S.A., 2001.9 p. ISBN 968-6708-29-4.

[14] Mc DANIELS, Robert. Jabones Esenciales. 1 ed. España: Editorial Paidotribo, 2002.9p. ISBN 84-8019-632-7.

[15]MOGOLLÓN, Pablo; COCA, José. Mecánica de fluidos: Agitación y mezcla de líquidos. McGraw-Hill Book Company. Barcelona: Editorial Reverté, S.A., 1973. 259p. ISBN 84-291-7360-9.

[16]SAPONIFICACIÓN Y PLANTA DE TERMINACION PARA JABONES. Etapas y Equipos Del Proceso [On line]. <www.tecnologiaslimpias.org/.../352302_ee.htm> [citado en Septiembre 28 de 2009]

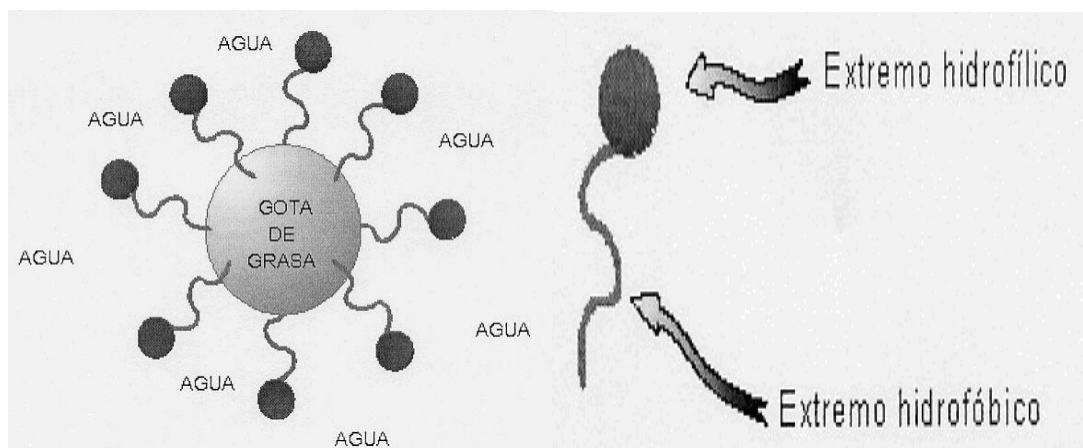
8 ANEXOS

Anexo A. Principales ácidos grasos

Nombre trivial	Átomos de carbono	Dobles enlaces	Punto de fusión °C
Saturados			
Láurico	12	-	44,2
Mirístico	14	-	54,0
Palmítico	16	-	63,0
Esteárico	18	-	69,6
Araquídico	20	-	76,5
Lignocérico	24	-	86,0
Insaturados			
Palmitoléico	16	1	-0,5
Oleico	18	1	13,4
Linoleico	18	2	-3,0
Linolénico	18	3	-11,0
Araquidónico	20	4	-49,5

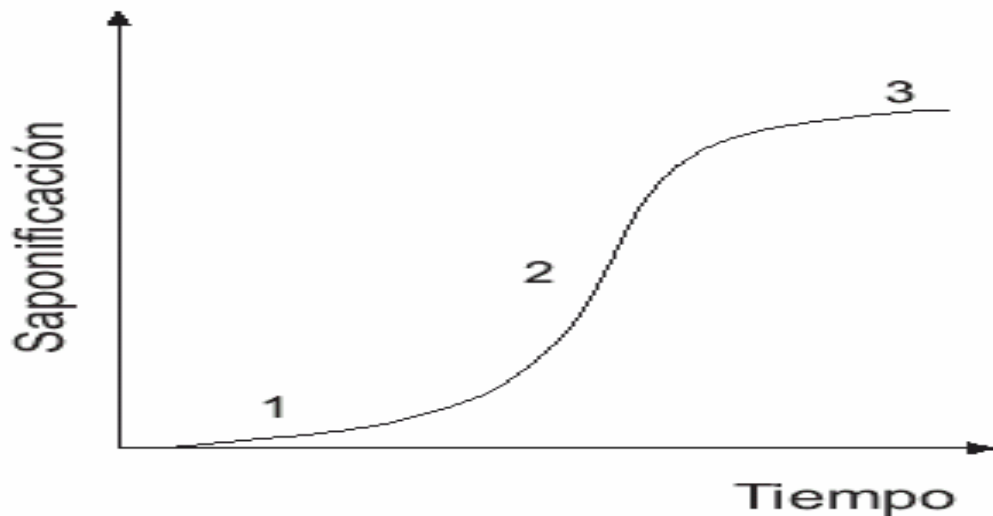
Fuente: <http://web.educastur.princast.es>

Anexo B. Estructura del jabón



Fuente: <http://www.todointeresante.com/2008/10/por-que-y-como-limpia-el-jabon.html>

Anexo C. Etapas en reacción de saponificación



Fuente: Enciclopedia de la Química Industrial

1. Etapa inicial: La reacción en esta etapa es lenta debido a la baja solubilidad entre los reactantes; las interacciones solo ocurren en su interface. Esta etapa puede mejorarse si se usa una emulsión de grasa con agua para promover un mejor mezclado de las materias primas.

2. Etapa de auto-catálisis: En este punto existe una mezcla homogénea de los reactantes en la solución con las primeras partículas de jabón formado, lo que genera la reacción. Este fenómeno se puede aplicar en la primera etapa de reacción, mezclando inicialmente los reactivos con una solución de jabón.

3. Etapa final: Se presenta una disminución en la rata de producción de jabón debido a las bajas de concentraciones del material graso presente en la solución homogénea. Es recomendable interrumpir la reacción al inicio de esta etapa con el fin de no perder tiempo en el proceso de producción.

Anexo D. Índices de saponificación

ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN NaOH	ACEITE
0.134	Aceite de oliva
0.190	Aceite de coco
0.141	Aceite de palma
0.134	Aceite de girasol
0.128	Aceite de ricino
0.136	Aceite de almendras
0.133	Aceite de aguacate
0.135	Aceite de soja
0.136	Aceite de maíz
0.133	Aceite de sésamo
0.069	Aceite de jojoba
0.156	Aceite de palmiste
0.132	Aceite de germen de trigo
0.069	Cera de abeja
0.137	Manteca de cacao
0.128	Manteca de karité

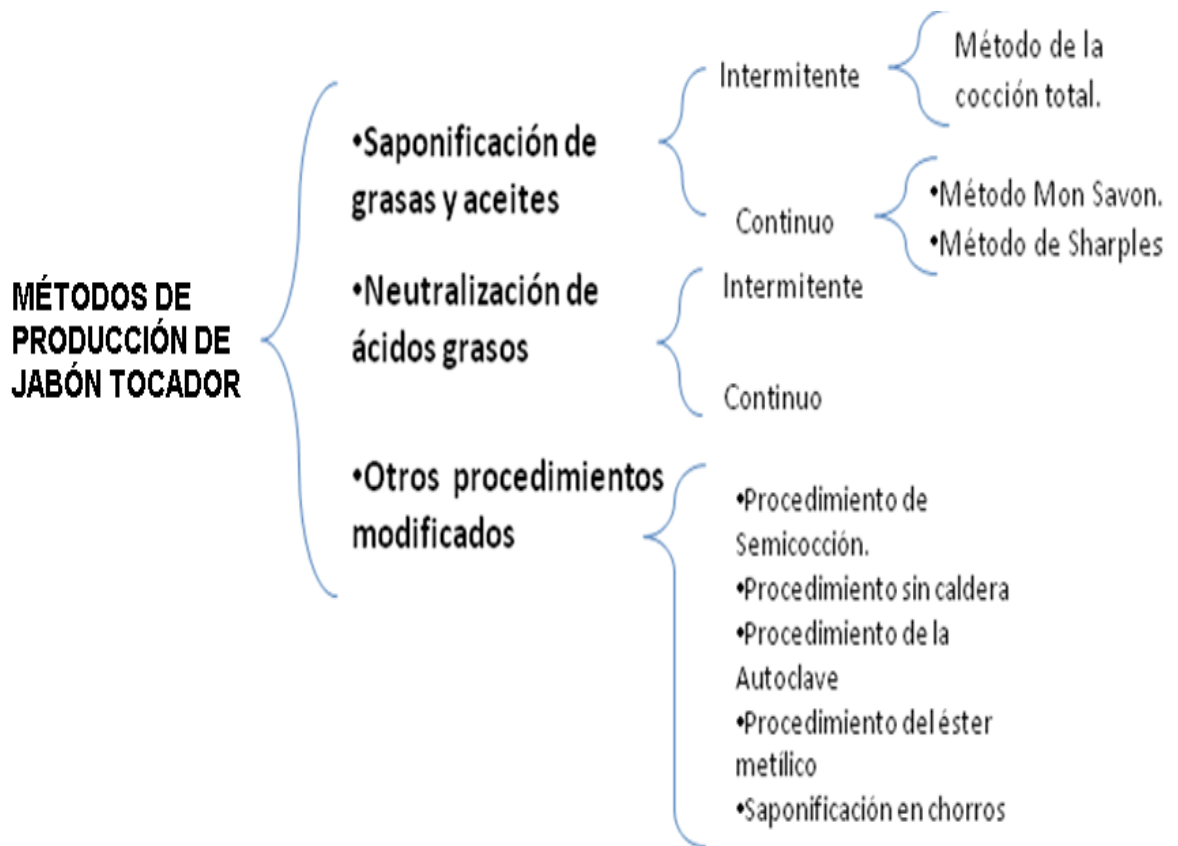
Fuente: http://www.soapyworld.com/tablas_sap.htm

Para saber cuánto álcali se necesita para saponificar una cantidad de una grasa concreta, sólo hay que multiplicar dicha cantidad por el valor correspondiente que aparece en la tabla.

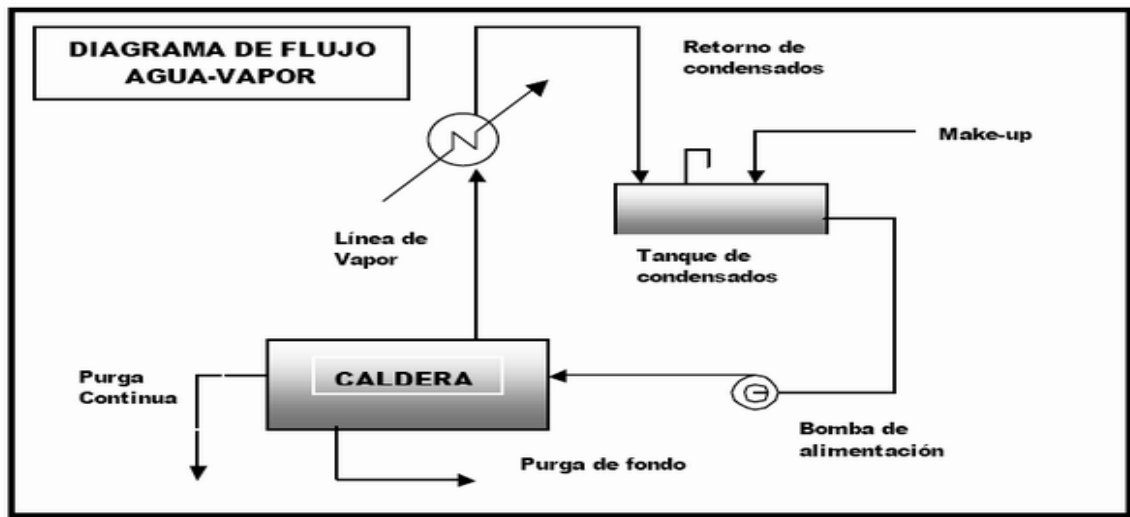
En el caso de que se vaya a hacer un jabón con diferentes aceites, se busca la cantidad necesaria de álcali para cada tipo de aceite concreto, y luego se suman todas.

Toda grasa tiene su índice de saponificación, ya sea vegetal o animal. Debido a la filosofía de Soapyworld en contra de la experimentación con animales, así como el uso de su grasa para la fabricación de jabón, en esta tabla se han omitido los valores de grasas animales (mantecas, sebos de animales domésticos, aceites de pescado, lanolinas, etc.) Se deja claro que ello no significa que dichos valores no existan.

Anexo E. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE JABÓN DE TOCADOR



Anexo F: Sistema de calentamiento con vapor de caldera



Fuente: <http://www.generacion-de-vapor/generacion-de-vapor2.shtml>

En la caldera existen múltiples controles de seguridad: para aliviar la presión si esta se incrementa mucho, para apagar la llama si el nivel del agua es demasiado bajo o para automatizar el control de nivel del agua. Generalmente, se incluye un tubo de vidrio con una columna de agua, para mostrarle al operador el nivel interno del agua en la caldera.

Anexo G. Propiedades de aceites esenciales

ACEITE ESENCIAL	DESCRIPCION DE LA PLANTA	PROPIEDADES DEL ACEITE
Romero	Es un arbusto leñoso de hojas perennes muy ramificado, puede llegar a medir 2 metros de altura, hojas alargadas, lineales, opuestas y carnosas. Las flores presentan coloraciones blancas o violetas. La planta es originaria de las costas Mediterráneas.	Antioxidante, de hecho es una de las plantas más antioxidante. Es rico en ácido rosmarinico, mirceno o canfeno. Se utiliza en medicina alternativa y en culinaria; además, su aceite esencial tiene aplicaciones en la industria cosmética y de fragancias
Salvia	Planta perenne aromática de hasta 70 cm de altura de la familia de las Labiadas. Tallos erectos y pubescentes. Hojas pecioladas, oblongas y ovals, más raramente lanceoladas, con la nervadura bien marcada. Flores blanco-violáceas en racimos, con corola de hasta 3 cm	La salvia se emplea como antiséptico, astringente, antiinflamatorio, carminativo, bacteriostático, eupéptico, antitranspirante y cicatrizante. Es uno de los aceites con más usos para productos de belleza. Antioxidante.
Tomillo	El tomillo pertenece a la familia de las Labiadas, alcanza de 15 a 30 cm de altura, tiene hojas opuestas, lanceoladas, con los bordes enrollados y densamente pilosas. Las flores son diminutas, agrupadas en racimos terminales muy densos, son de color rosa o blancas	Acción antibacteriana, antiviral, antioxidante. Y fungicida sobre diferentes tipos de microorganismos aun aquellos que ya son resistentes a la medicina tradicional. Las propiedades carminativas del aceite esencial de Tomillo lo hacen un efectivo tratamiento para diferentes malestares estomacales.
Cidrón	Llega a medir hasta 1.50 m de altura, con hojas simples rugosas, insertadas de a tres en cada nudo, inflorescencia en espiga, flores pequeñas, blancas en el exterior y violetas por dentro. Pertenece a la familia Verbenácea.	Astringente y aromática, posee propiedades antiespasmódicas, analgésicas, carminativas, antisépticas y es ligeramente sedante

Anexo H. Determinación de Índice de saponificación.

ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

Se pesa 1g de la muestra.

Se agrega a un matraz con 20 mL de KOH 0.5N, se coloca en baño María por 1 hora.

Se adicionan 2 mL de agua destilada, 2 ó 3 gotas de Fenolftaleína y se agita bien la mezcla.

Se titula con ácido clorhídrico, 0.5N.

Con los volúmenes gastados aplicar la siguiente fórmula:

VB: Volumen HCl gastado blanco.
Vm: Volumen HCl gastado muestra
N: Normalidad KOH

$$I.S = \frac{(56.1)(V_B - V_m)(N)}{P}$$

Anexo I. Índice de yodo y acidez

ÍNDICE DE YODO

Se pesa la muestra.

Se agrega a un matraz con tetra-cloruro de carbono.

Se adiciona volumen conocido de reactivo Wijs, se deja en oscuridad por media hora.

Se valora el exceso de reactivo con solución normal de tiosulfato soluble como indicador.

La diferencia encontrada se multiplica por 1.523 y se obtiene el valor de índice de yodo que es mg de yodo en 100 g de muestra.

ÍNDICE DE ACIDEZ

Se pesan 5g de la muestra.

Se agrega a un matraz con 50mL de alcohol.

Se adicionan 2 ó 3 gotas de fenolftaleína y se agita bien la mezcla.

Se titula con KOH hasta que la muestra tome color rosa.

Con los volúmenes gastados aplicar la siguiente fórmula:

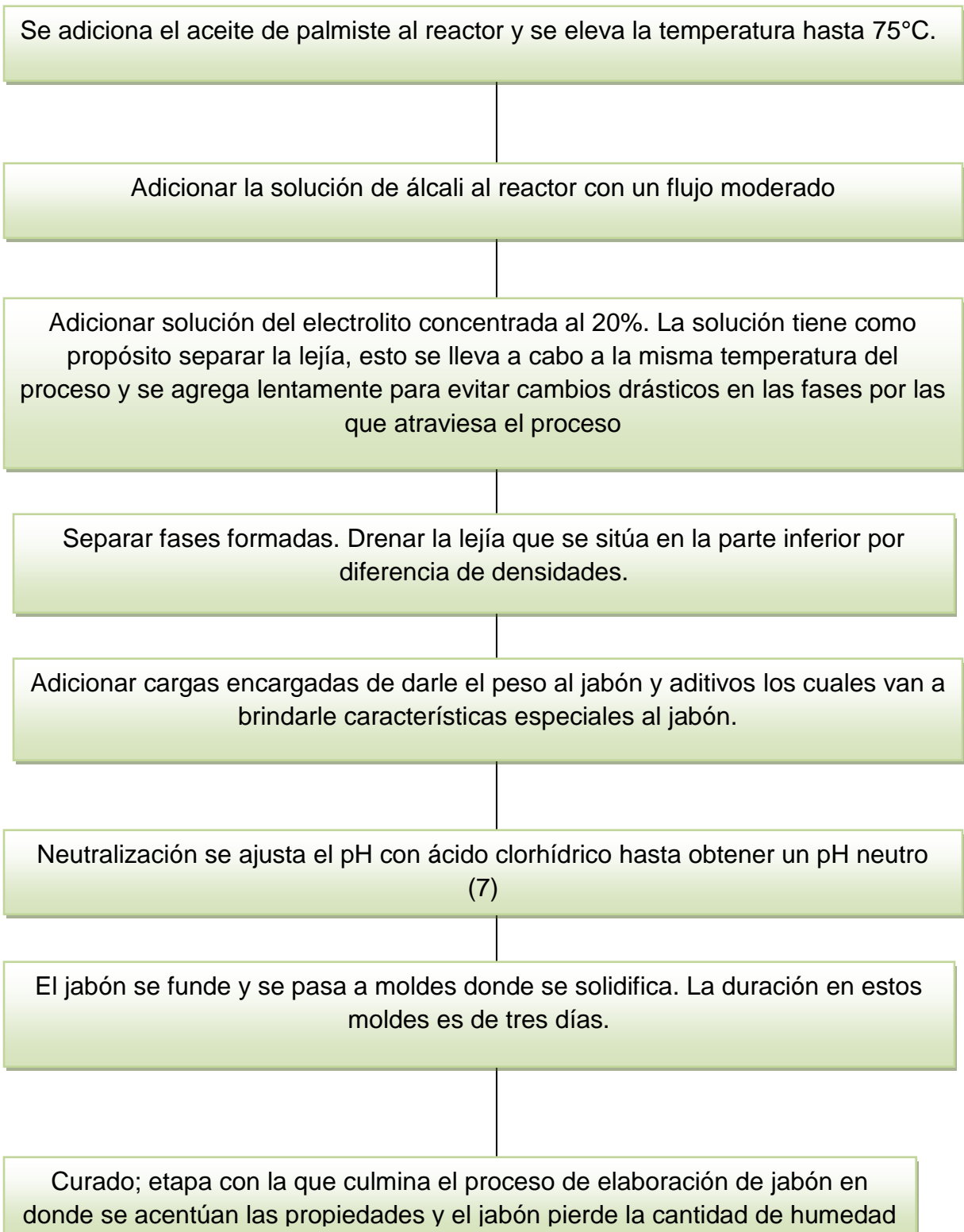
$$\%Acidez = \frac{(282)(V)(C)}{10 (P)}$$

V: Volumen KOH gastado.

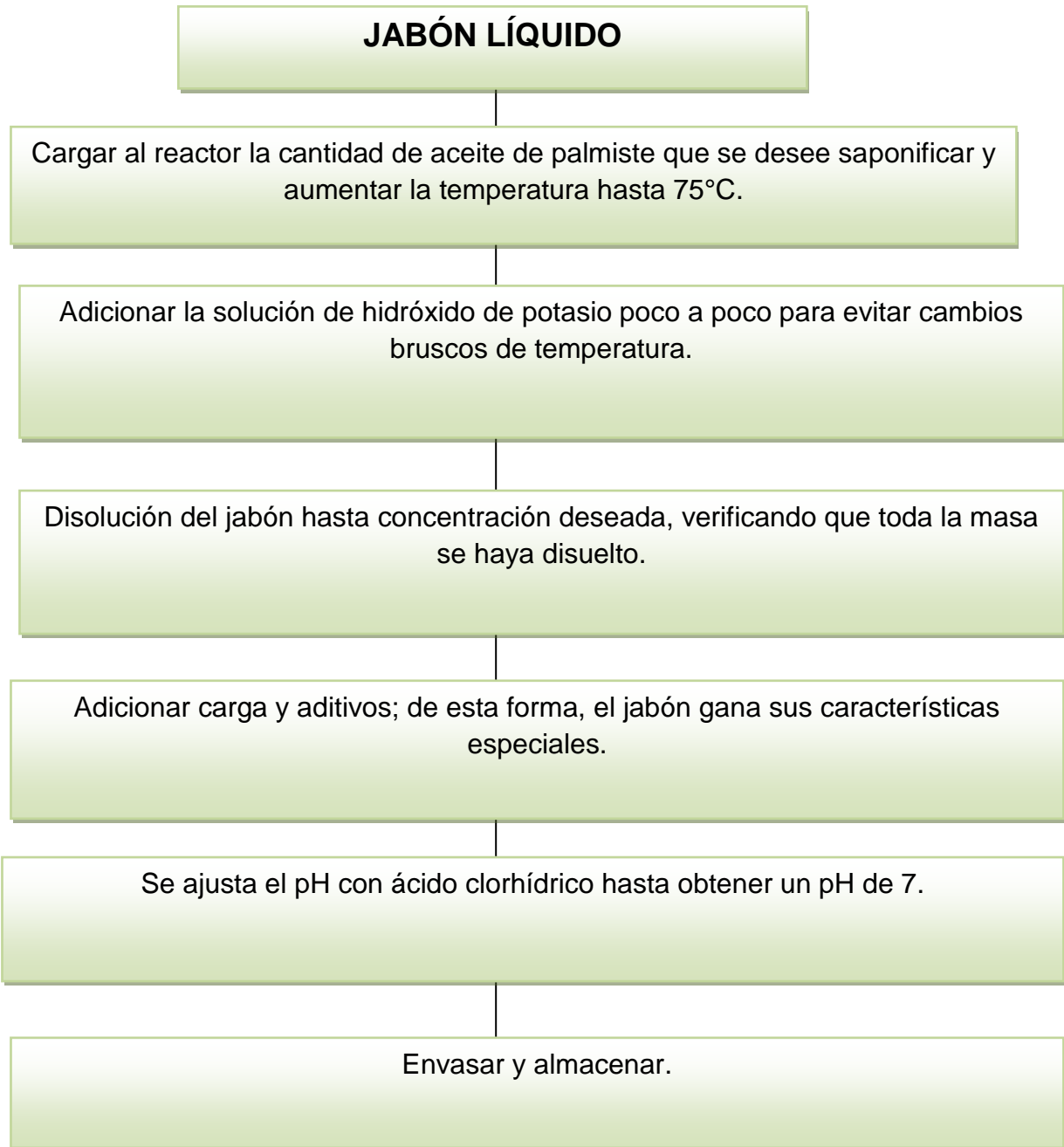
C: Concentración KOH molaridad.

P: Peso muestra en gramos.

Anexo J. Método de producción de jabón sólido



Anexo K. Proceso para elaborar jabón líquido



Anexo L. Puntos experimentales de cambios de pH Vs tiempo para diferentes excesos de NaOH

Sin exceso de NaOH:

tiempo (min)	pH
0	13
10	10,22
20	10,15
25	10,07
30	9,56
35	9,42
50	9,33
55	9,33
60	9,21
70	9,12
75	9,12
80	9,11
85	9,11
90	9,11

10% exceso

tiempo (min)	pH
0	13,7
12	12,82
24	12,33
36	10,45
45	10,16
52	10,02

20 % exceso

tiempo (min)	pH
0	13,71
12	12,85
15	12,64
18	12,14
21	11,83
30	11,8

30%exceso

tiempo (min)	pH
0	13,59
5	13,54
10	13,48
13	13,47
18	13,47

Anexo M. Cargas determinadas para jabón.

Carga	Jabón solido (%)	Jabón líquido (%)
Carbonato de calcio	6	No
Carbonato de sodio	3	No
Silicato de sodio	0,9	0,1
Dióxido de titanio	0,1	No

Anexo N. Pesos moleculares de reactivos y productos

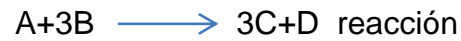
COMPUESTO	PESO MOLECULAR (kg/kmol)
Aceite de palmiste	0.638
Sosa caustica	0.040
Sosa potásica	0.056
Jabón solido	0.222
Jabón liquido	0.238
Glicerina	0.092

Anexo O. Cálculos para los balances de masa

Base de cálculo=25 kg de aceite de palmiste (A)

$$N_{A0} = 39.18 \text{ moles aceite de palmiste}$$

$$N_{B0} = 112.5 \text{ moles de NaOH}$$



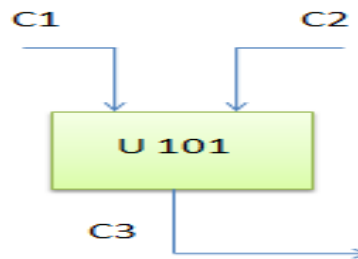
A: Aceite palmiste.

B: NaOH.

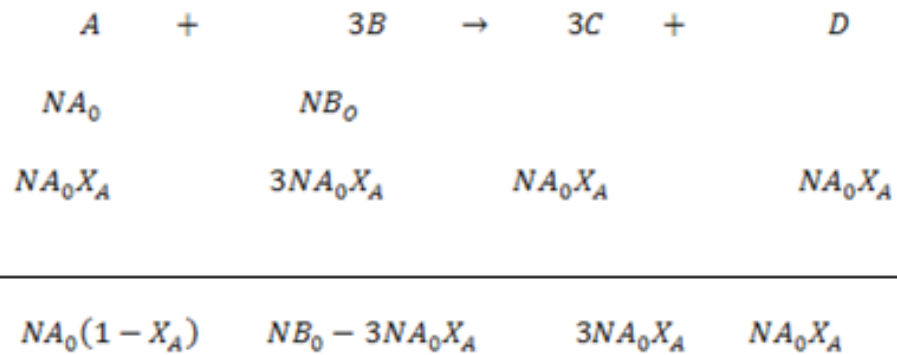
C: Jabón.

D: Glicerina

BALANCE UNIDAD 101



BALANCE ESTEQUIOMÉTRICO



$$X_A = 94\%$$

$$N_A = 2,35 \text{ kmoles} \longrightarrow 1.5 \text{ kg aceite palmiste.}$$

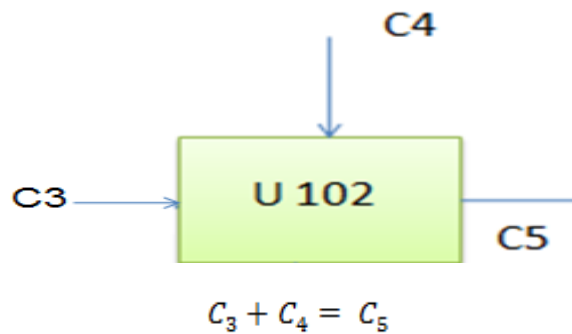
$$N_B = 2 \text{ kmoles} \longrightarrow 0.08 \text{ kg NaOH.}$$

$$N_C = 110.48 \text{ kmoles} \longrightarrow 24.52 \text{ kg Jabón.}$$

$$N_D = 36.83 \text{ kmoles} \longrightarrow 3,38 \text{ kg glicerina.}$$

$$\text{Corriente } C_3 = 29.48 \text{ kg.}$$

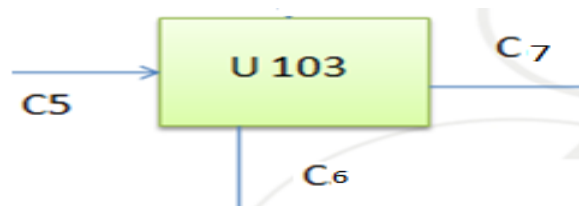
UNIDAD 102



$$C_5 = 29.48 \text{ kg} + 25 \text{ kg}$$

$$C_5 = 54.5 \text{ kg mezcla jabón y sal.}$$

UNIDAD 103



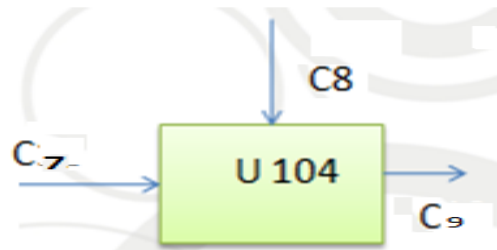
$$C_6 = 29.96 \text{ kg}$$

$$C_5 = C_6 + C_7$$

$$C_7 = 54.5 \text{ kg} - 29.96 \text{ kg}$$

$$C_7 = 24.54 \text{ kg}$$

UNIDAD 104



$$C_8 = 0.10C_7$$

$$C_8 = 2.45$$

$$C_9 = C_7 + C_8$$

$$C_9 = 26.7 \text{ kg}$$

Anexo P. Datos para cálculo de potencia

SÍMBOLO	PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
ρ	Densidad	kg/m ³	1300
n	Velocidad mezclado	RPM	38
d	Diámetro agitador	m	0.45
D	Diámetro tanque	m	0.475
N _p	Constante tipo agitador	-----	84.9465
μ	Viscosidad	kg/m.s	400
H	Altura del líquido	m	0,5
b	Ancho aleta agitador	m	0.038
a	Ángulo	grados	90
Re	Número de Reynolds	-----	0.4168
P	Potencia	hp	0.8548
P _M	Potencia mecánica	hp	0.35
P _T	Potencia total	hp	1.2

Anexo Q. Cálculo de potencia y diagrama de agitador

$$Re = \frac{d^2 n / 60 \rho}{\mu} = 0.4168125$$

Ecuación 1: calculo de Reynolds

$$N_p = A/Re + B(Z^p)(H/D)^{0.35+b/D} (SENa^{3.14}/180)^{1.2} = 84.9465424$$

Ecuación 2: cálculo de número de potencia

$$Potencia = \frac{(N_p)(\rho)(n/60)^3 (d/1000)^5}{0.745} = 0.694852$$

Ecuación 3: calculo de potencia

$$POTENCIA = Potencia + Potencia\ mecánica$$

Ecuación 4: calculo de potencia total

$$POTENCIA = 0.694852 + 0.5 = 1.2hp$$



Anexo R. Cálculos para balances de energía

UNIDAD DE REACCIÓN

$$\Delta H^{\circ}_{rxn} = \sum \Delta H^{\circ}_{productos} - \sum \Delta H^{\circ}_{reactivos}$$

$$\Delta H_{NaOH} = 100,97 \text{ kcal/gmol}$$

$$\Delta H_{palmiste} = -763,5 \text{ kcal/gmol}$$

$$\Delta H_{glicerina} = -159.16 \text{ kcal/gmol}$$

$$\Delta H_{jabon} = -279.36 \text{ kcal/gmol}$$

$$\Delta H_{rxn} = -159.16 + (3 \cdot -279,36) - [(3 \cdot 100,97) + (-763,5)]$$

$$\Delta H_{rxn} = 69,17 \text{ kcal/gmol} = \text{endotérmica}$$

CALOR TOTAL DE LA MEZCLA REACCIONANTE

$$Q_{total} = \sum H_{reactivos} + \Delta H^{\circ}_{reaccion} + \sum H_{productos}$$

Compuesto	Cp. (kcal/kg°C)	masa (kg)	m*Cp. (kcal/°C)
NaOH	0,35	4,5	1,575
Palmiste	0,51	25	12,75
Glicerina	0,62	3,38	2,0956
jabón	14,39	26,7	384,213

$$\sum H_{reactivos} = (25-75) [1.575+12,75] \quad \sum H_{reactivos} = -716.25 \text{ kcal}$$

$$\sum H_{productos} = (75-25) [2,09+384,21] \quad \sum H_{productos} = 19315,15 \text{ kcal}$$

$$Q_{TOTAL} = -716.25 + 19315,15 + 69,17$$

$$Q_{TOTAL} = 18668.07 \text{ kcal}$$

UNIDAD DE LAVADO, SEPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO

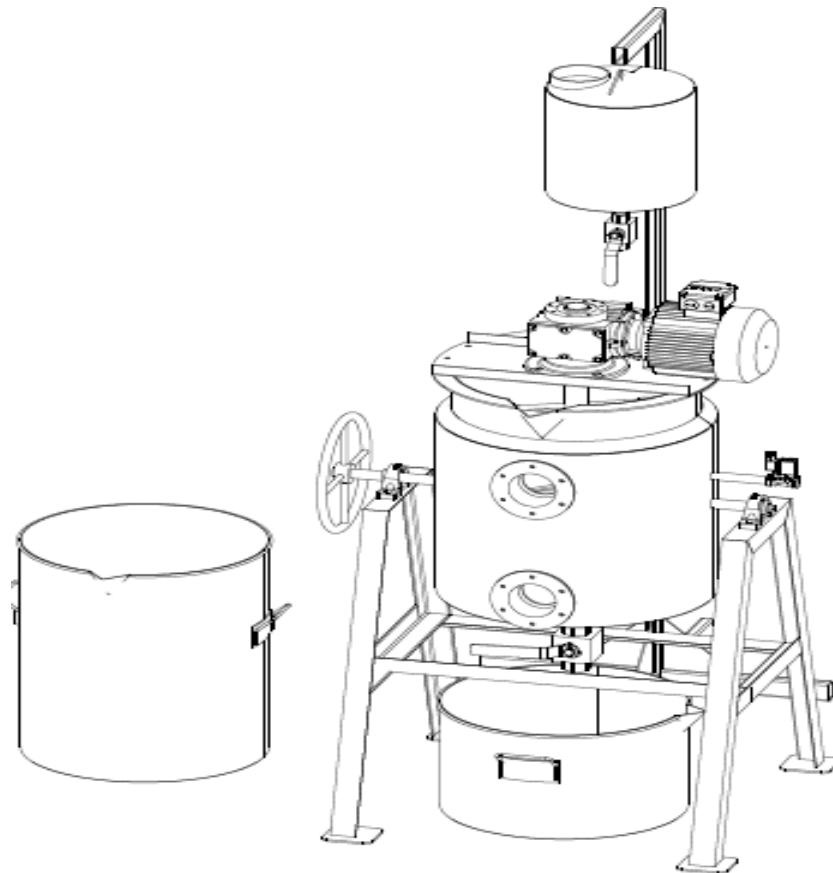
$$Q - w = N_i C_{P_i} \frac{dT}{dt} + \Delta H r_A V$$

$$Q = w$$

$$Q = w_{vaporcaldera} + w_{agitador}$$

$$Q = 1264.7 \text{ kcal} + 320.57 \text{ kcal} = 1585.27 \text{ kcal}$$

Anexo S. Bosquejo de planta piloto para producción de jabón de tocador.



Anexo T. Cotizaciones de planta piloto.

EMPRESA	VALOR TOTAL COTIZADO, pesos
DESING LTDA	24'500.000
INAL LTDA	29'000.000
GOMEZ MONTOYA LTDA	32'000.000

Anexo U. Costos de inversión para el diseño de planta

TIPO	COSTOS PESOS		TOTAL (PESOS/TRIMESTRE)
Materia prima	Aceite palmiste	2'677.500	5'363.690
	Álcali	1'559.250	
	Sal	315.000	
	Carga	75.540	
	Aditivo	436.400	
Energético	Reacción	15.176	1'029.294
	Lavado	159	
	Separación	509	
	Acondicionamiento	509	
Gas	449.716,05		449.716,05
Agua	5.249		5.249
Molde	60.000		60.000
Empaque	2'835.000		2'835.000
Mano de obra	6'180.000		6'180.000

Anexo V: Fotos de montaje de planta para jabones.



Foto 1: planta piloto para jabones.



Foto 2: Reactor y tanque de glicerina.



Foto 3: Sistema de agitación de planta.



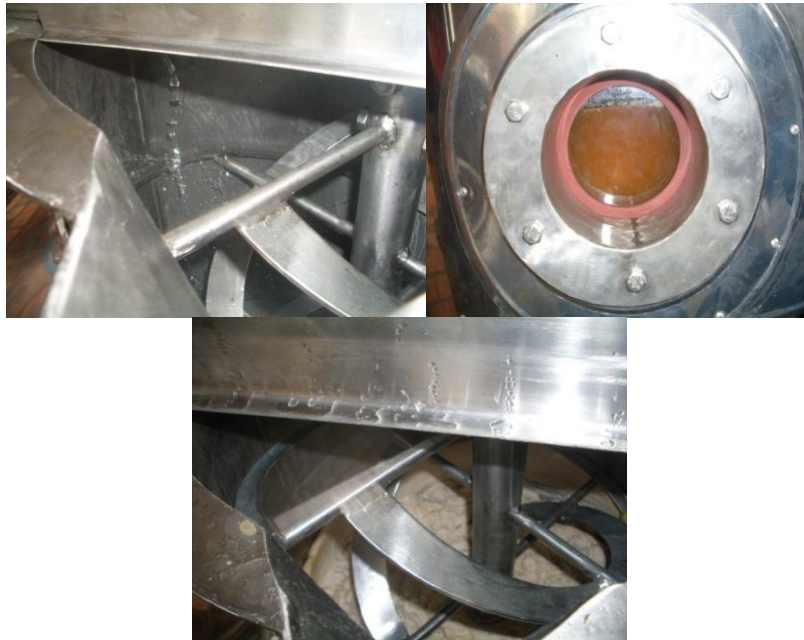
Foto 4: Válvula condensados y valvula

de alivio

Anexo W: Saponificación en piloto.



Se carga el reactor con el aceite que se desea saponificar; se aumenta la temperatura hasta 75°C.



Se adiciona la solución álcali, se mantiene la temperatura y agitación constante por dos horas, que es el tiempo reacción.



Se adiciona solución salina, se agita, por un minuto, se deja en reposo por 30 min, para que se lleve a cabo la separación de fases; La lejía que queda en la parte de abajo se drena por la válvula de drenaje



Se funde el jabón se le agregan cargas y aditivos; se pasa a los moldes donde dura 3 días en proceso de secado y 20 días en proceso de curado

Anexo X. Balance de energía en el piloto

CALOR TOTAL CEDIDO POR EL VAPOR

$$Q_{cedidovapor} = (\lambda_{sat(17.7psia)} + C_{p\ agualiquida} * (T_{sat} - T_{condensado})) * m_{condensado}$$

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Tsaturación	103,88	°C
Condensada	80	°C
masa condensado	45.6	kg
lanta saturación	536,68	kcal/kg
Cp. agua líquida	1	kcal/kg°C

$$Q_{cedidovapor} = (536,68 + 1 * (103,88 - 80)) * 11,6$$

$$Q_{cedidovapor} = 25561.53 \text{ kcal}$$

$$Q_{perdido} = Q_{cedidovapor} - Q_{TOTAL}$$





$$Q_{perdido} = 25561.53 \text{ kcal} - 18668.07 \text{ kcal}$$

$$Q_{perdido} = 6893.4 \text{ kcal}$$

Anexo Y. Toxicidad de reactivos y productos.

TOXICIDAD M.P - PRODUCTO	LD50	TLV
NaOH	Oral=2000mg/Kg(rata) piel=500mg/24h(conejos) ojos=50mg/24h(conejos)	2mg/m ³
KOH	214mg/Kg(rata)	2mg/m ³
Glicerina	Oral=5045mg/Kg(rata) Piel=12800mg/Kg(conejo) Inhala torio=30mg/L(rata)	10mg/m ³ (niebla)
Aceite de Palmiste	NO REPORTADO	NO ESTABLECIDO
Jabón	Piel=>7940µg/Kg(conejo)	NO ESTABLECIDO
NaCl	Oral=3000mg/Kg(ratas) Piel=>10000mg/Kg(conejo)	NO ESTABLECIDO

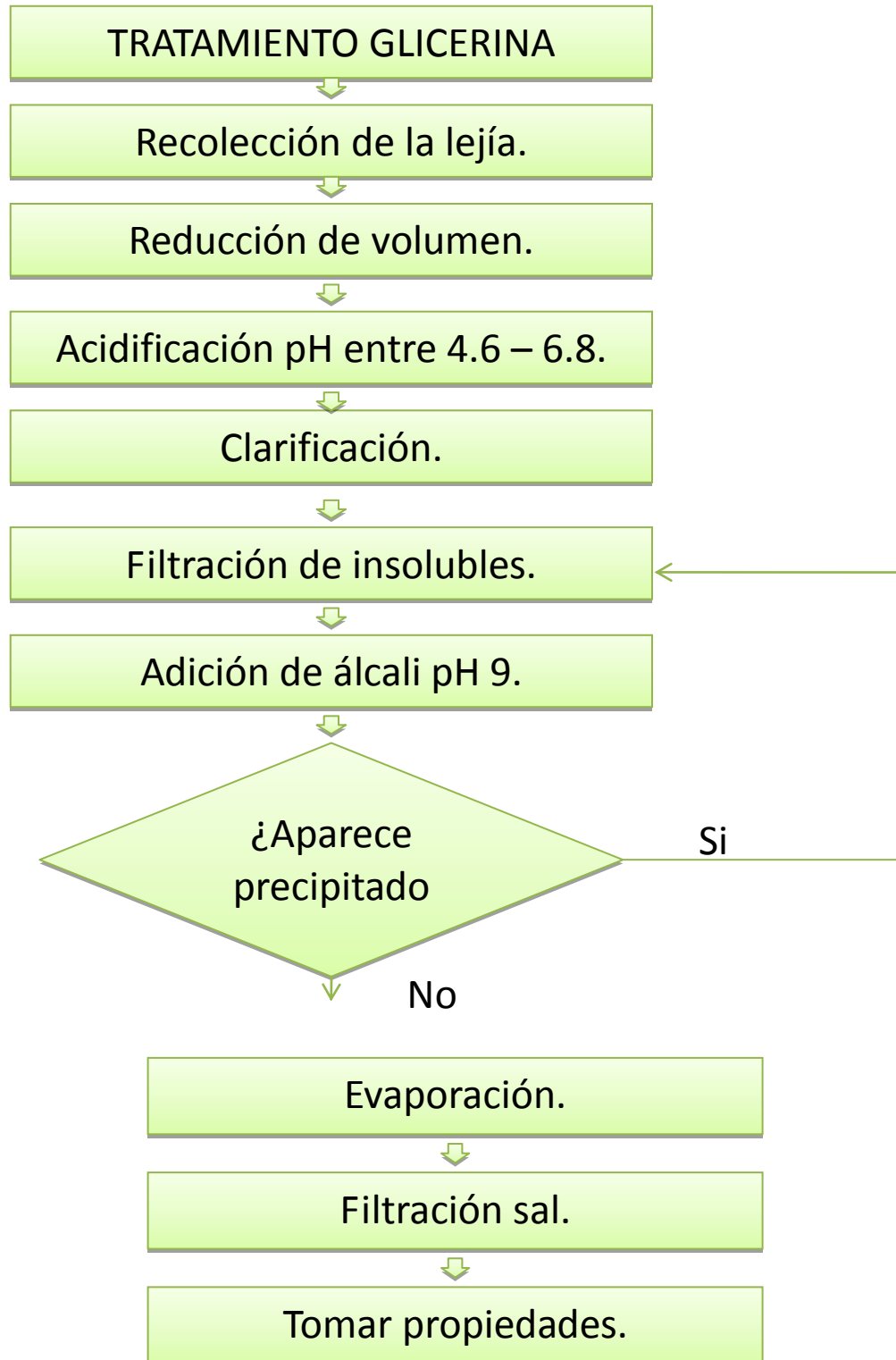
Anexo Z. Inflamabilidad de reactivos y productos.

INFLAMABILIDAD M.P - PRODUCTO	RANGOS	F.SEGURIDAD
NaOH	No inflamable	
KOH	No inflamable	
Glicerina	Flash point=390°F T auto ignición=698°F Límite de inflamabilidad= No reportado	
Aceite de Palmiste	Flash point=630-640°F T auto ignición=445-460°F Límite de inflamabilidad= No reportado	
Jabón	No inflamable	
NaCl	No inflamable	

Anexo AA. Incompatibilidad materia prima - productos

INCOMPATIBILIDAD M.P – PRODUCTO	COMPUESTOS Y ELEMENTOS
NaOH	Ácidos y compuestos halogenados orgánicos (tricloroetileno) Compuestos nitro (nitrimetano) sales sensibles al impacto Metales: Mg, Estaño, Zn liberación de hidrógeno
KOH	Reacción violenta: ácidos fuertes Producción de H: Estaño, cinc, aluminio y plomo Metales, ácidos, alcoholes, dióxido de cloro y tetrahidrofurano
Glicerina	A.O.F: cromo Trióxido, Potasio clorato y ermanganatol Anhidro acético Calcio Oxicloruro Hidruros de metales alcalinos
Aceite de Palmiste	Agentes Oxidantes Bases fuertes Ácidos concentrados
Jabón	NINGUNO
NaCl	NINGUNO

Anexo AB. Tratamiento de glicerina



Anexo AC. Metodo de neutralizacion

NEUTRALIZACIÓN



Pesar 1g de muestra.



Adicionar agua y 3 ó 4 gotas de fenolftaleína.



Se titula con HCl 0.1 N.



$$\text{Eq-g}_{\text{NaOH}} = (\text{Volumen}_{\text{HCl}}) * (\text{N}_{\text{HCl}})$$



Determinar Eq-g_{NaOH} libres



Determinar volumen de HCl concentrado necesarios para neutralizar los Eq-g_{NaOH} libres.

Anexo AD.Manual de planta piloto de jabones
MANUAL DE PLANTA PILOTO DE JABONES

TEORÍA Y DESARROLLO PRÁCTICO A ESCALA PILOTO



Elaborado por:

ADRIANA MARÍA ORTIZ PACHECO
JHON FREDY ROJAS JIMÉNEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
CENTRO DE BIOMOLECULAS CIBIMOL
CENIVAM

1. GRASAS Y ACEITES

GRASA



Se extraen principalmente de animales



Son sólidas

ACEITE



Se extraen principalmente de plantas



Son líquidos

2. ÁLCALI

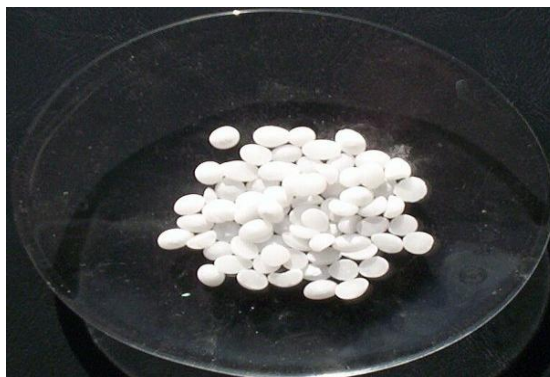
Son sustancias que gracias a sus poderes químicos, (son óxidos, hidróxidos y carbonatos de los metales alcalinos) actúan fuertemente, se pueden disolver en agua, son bastante corrosivos, pueden quemar la piel de manera profunda y dolorosa, los polvos y vapores provocan irritación respiratoria, piel, ojos y tabique de la nariz. Los álcalis que se van a usar son:

2.1 Hidróxido de sodio: También conocido como sosa cáustica o soda cáustica, su fórmula química es NaOH . A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire. Cuando se disuelve en agua libera una gran cantidad de calor.



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3xido_de_sodio

2.2 Hidróxido de potasio: También conocido como potasa cáustica es un compuesto químico inorgánico de fórmula KOH , tanto éste hidróxido de sodio (NaOH), son bases fuertes de uso común, absorben agua de la atmósfera, por ello, el hidróxido de potasio contiene cantidades variables de agua. Su disolución en agua libera bastante calor.



Fuente:http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Potassium_hydroxide.jpg

3 JABÓN

Es un producto que sirve para la higiene personal y para lavar determinados objetos, En nuestros tiempos también es empleado para decorar el cuarto de baño. Se encuentra en pastilla, en polvo o en crema. Se fabrica utilizando grasas animales, como sebos o vegetales, como aceite de coco, palmiste, palma y ricino entre otros. Es formado a partir de la mezcla de grasa animal o vegetal con un álcali, dicha mezcla es llamada reacción de saponificación.

El jabón como tal, se puede clasificar según el uso para el que fue fabricado: tenemos el jabón de tocador que es de uso personal, los hay de servicio ligero, en forma de pastillas, polvos, gránulos y escamas que se usan para lavar la vajilla, ropa, tejidos, ente otros; por último, se encuentran los de tipo industrial. Para los jabones de tocador se usan cantidades pequeñas de álcali, grasas y aceites de color claro, por ser los de mejor calidad. Los de servicio ligero son de menos calidad y se implementan con grasas más oscuras al igual que para los de tipo industrial.

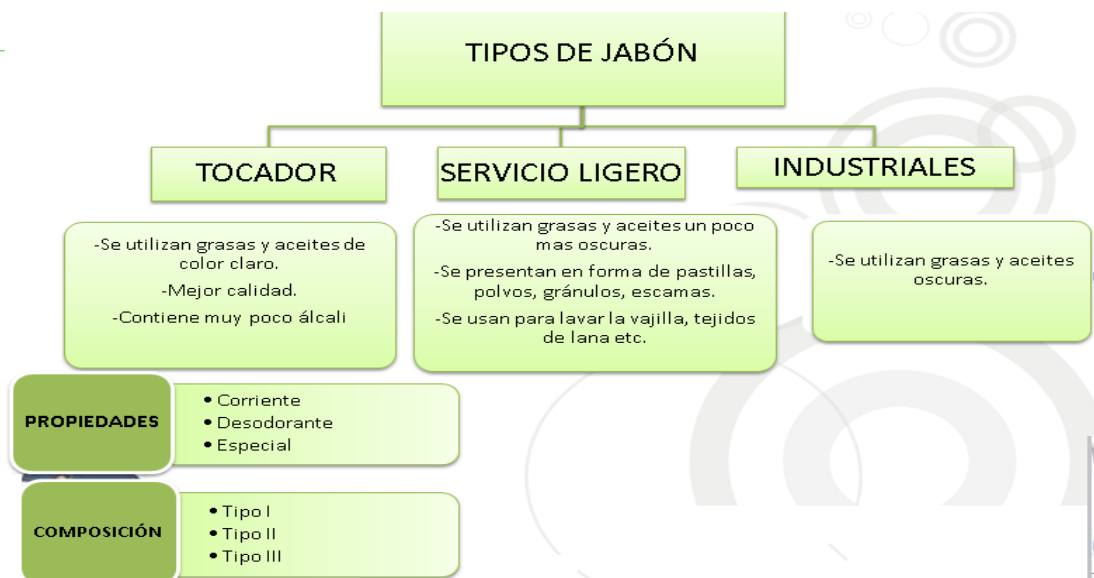
Los jabones de tocador, a su vez, se clasifican por sus propiedades o por su composición. Por sus propiedades se tienen los corrientes aquellos que no contienen aditivos especiales; los desodorantes, que tienen propiedades desodorantes, ya sean proporcionadas por perfumes o por aditivos, y los Jabones

especiales que confieren cualidades adicionales a los cuales se las brindan los aditivos y las cargas, estas características se las da el fabricante.

En segunda instancia se pueden clasificar por composición y apariencia, en tipo I que son los llamados opacos, que impiden el paso de la luz; el tipo II llamado translucidos que deja pasar la luz pero no permite ver lo que hay detrás de éste, y el tipo III que son los transparentes, aquellos en los que puede verse a través de él.

En este caso se elabora jabón de tocador, tipo I, especial, ya que al momento de agregar los aditivos se utilizan aceites esenciales de tomillo, romero, salvia o cidrón, los cuales poseen propiedades antioxidantes y el jabón adquiere dichas propiedades.

4 TIPOS DE JABÓN

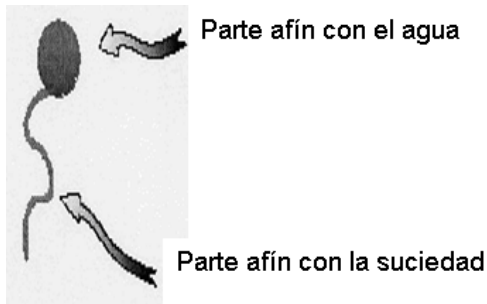


En el momento de elegir la materia prima para elaborar el jabón es importante tener claro qué jabón se desea fabricar, si líquido o sólido; si se desea fabricar

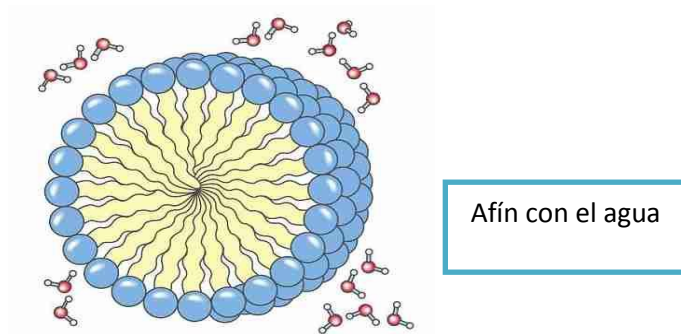
jabón sólido se usa el álcali hidróxido de sodio y si se desea fabricar líquido, se usa el álcali hidróxido de potasio.

5 FUNCIÓN

El jabón que elimina la grasa ya tiene una parte afín con el agua y otra afín con la suciedad

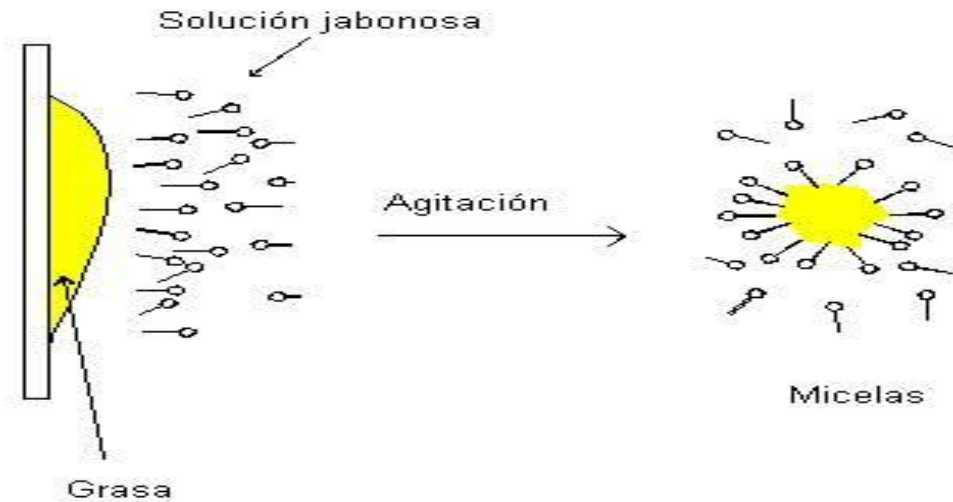


Cuando se tiene una partícula de grasa o de suciedad en una superficie como la piel, el jabón actúa sobre ella encapsulando dicha partícula con su parte afín y con la suciedad, generando micelas



Micelas

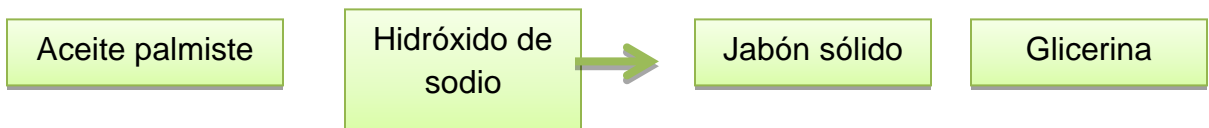
Las micelas son agrupaciones de partículas encapsuladas se logran arrastrar con el agua gracias a que en su parte externa queda el extremo afín ella. De esta manera, se limpian las superficies.



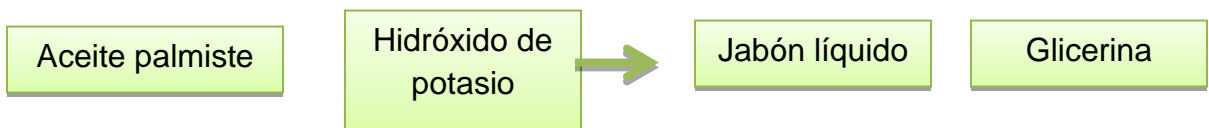
6 REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN

La reacción que se tiene en el reactor se denomina reacción de saponificación; donde el aceite de palmiste reacciona al adicionar el álcali para producir jabón y glicerina.

6.1 JABÓN SÓLIDO



6.2 JABÓN LÍQUIDO



La reacción tiene una duración de 2 horas a una temperatura de 75°C que se deben controlar durante toda la reacción, ya que ésta necesita tener esa temperatura para que se termine y se complete con éxito dicha reacción.

7 MEDIDAS DE SEGURIDAD

La elaboración de jabón es un proceso muy sencillo, pero lleva consigo muchos riesgos, tanto para la persona que las está elaborando, como para otras personas. Para evitar accidentes al momento de fabricar el jabón, existen ciertas medidas de seguridad y equipos de protección, el cual siendo bien utilizados permitirán que al realizar esta actividad no se sufra ningún daño.

7.1 Equipo de protección

El equipo de protección, si es bien utilizado, brindará la seguridad que se necesita para realizar con tranquilidad las distintas actividades.

Es de mucha importancia utilizar adecuadamente y en todo momento el equipo de protección, ya que esta actividad implica el uso de sustancias tóxicas como la soda cáustica o potasa cáustica, la cual es muy corrosiva y puede causar serios daños en las personas, como quemaduras en la piel. Si es manipulada sin el equipo de protección puede disolverse en la mano y causar quemaduras.



7.2 Medias de seguridad en la elaboración de jabón

El cumplir con las distintas medidas de seguridad, permitirá evitar cualquier accidente, haciendo que la labor sea completamente segura. Antes de iniciar la elaboración del jabón es indispensable tener bien preparado el ambiente en el que realizaran las actividades.

- Colocar adecuadamente todo el equipo de protección, los guantes, la mascarilla y anteojos.
- Tener en cuenta las fichas de seguridad de cada reactivo a manipular durante el proceso, ya que es de vital importancia conocer las sustancias con las que se está trabajando, por ejemplo: La soda cáustica o hidróxido de sodio (NaOH), es un material reactivo inestable. Es altamente corrosivo e irritante si entra en contacto con la piel y las mucosas por lo que se debe manejar con mucho cuidado y con equipo de protección adecuado.
- Elaborar el jabón en un lugar ventilado donde se sienta cómodo y sin Interrupciones
- Conservar la soda cáustica fuera del alcance de niños o animales. La soda cáustica deberá ser conservada, guardada y almacenada en recipientes resistentes, en un ambiente fresco y seco ya que son muy susceptibles a la humedad.
- Medir la cantidad exacta de cada material, ya que cualquier variación generara resultados no deseados como un mal producto o reacciones químicas violentas.
- Verter la soda cáustica en el agua y nunca a la inversa.
- Cuando la soda cáustica reacciona con el agua se generan temperaturas de hasta 80°C, por lo tanto, hay que usar envases resistentes al calor y tener cuidado al manipularlos por que podrían quemar la piel.
- En caso de contacto de la soda cáustica con la piel, lavar con abundante agua fría. También puede usar vinagre para neutralizar el efecto. En caso de contacto con los ojos debe lavarse con abundante agua corriente fría y

consultar al médico. No sobre inhale el producto, sobre todo la soda cáustica ya que este dañaría los fosas nasales y podría causar mareos e irritaciones

- No comer mientras se elabora el jabón.
- Evitar personas a su alrededor mientras realiza las actividades de la elaboración del jabón.

7.3 Seguridad con productos químicos

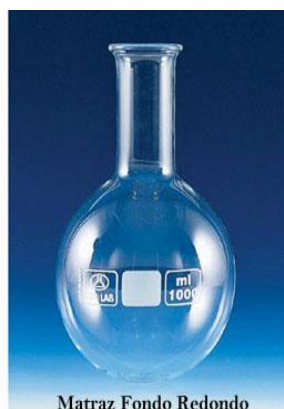
Al manejar ciertos compuestos o reactivos químicos debemos estar bien informados de los cuidados que debemos considerar en su manipulación. Las fichas técnicas nos entregan todo el soporte de datos para esto, pero principalmente debemos definir el rombo de seguridad en donde podemos identificar 4 riesgos a partir de los colores primarios y el blanco. El azul nos muestra qué riesgo tenemos para nuestra salud; el rojo indica qué tan inflamable puede ser, el amarillo la inestabilidad o reactividad, es decir, qué tan fácil reacciona con cualquier otra sustancia o inclusive con fluidos comunes como el agua o la humedad y, por último, el blanco indica algún riesgo en especial. Estos se miden en un intervalo de 0 a 4 siendo 0 ningún riesgo y 4 alto riesgo.



PROCESOS PREVIOS AL PROCESO

8.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN: este índice es el valor por el cual multiplicamos la cantidad de aceite vegetal que vamos a convertir en jabón, para saber la cantidad de álcali que necesitamos. Este valor lo hayamos aplicando la siguiente técnica volumétrica.

- **Instrumentos**



3 Balones de 100 mL



3 Sujetadores

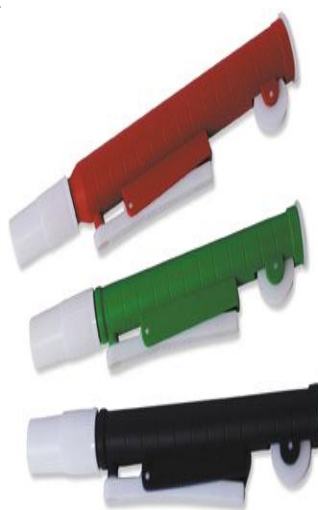


2 Vaso de precipitado de 100 mL



1 Baño de María

1 Baño refrigerante



1 Pipeteador



Bureta de 25 mL

Pipeta de 10 mL



Probeta de 100 mL



Gotero

- **Reactivos**

Ácido clorhídrico HCl

Hidróxido de potasio KOH

Etanol

Aceite de palmiste

Fenolftaleína

8.1.1 Preparación de solución de ácido clorhídrico:

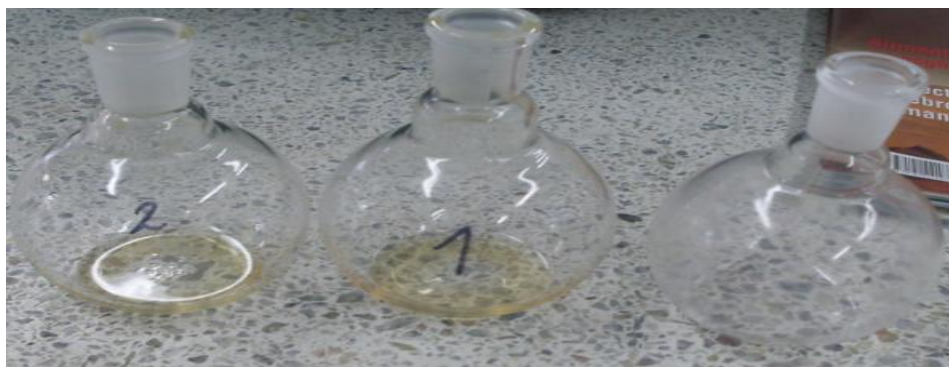
- Medir en la probeta 60 mL de agua y pasarlos a un vaso de precipitado de 100 mL.
- Colocar a la pipeta el pipeteador en la parte superior y en la intemperie medir 2,8 mL de HCl, y adicionarlos a los 60 mL de agua.
- Agitar y tapar con papel aluminio la boquilla del vaso.

8.1.2 Preparación de solución de hidróxido de sodio:

- Medir en la probeta 65 mL de etanol y pasarlos al segundo vaso de precipitado de 100 mL.
- Pesar en la balanza 2 g de KOH y adicionarlos a los 65 mL de etanol.
- Revolver hasta que las lentejuelas de KOH desaparezcan.

PROCEDIMIENTO

1. Tomar en un recipiente pequeño una muestra de aceite de palmiste que se encuentra en las canecas o tambos azules. Tomar un balón y pesar en la balanza y tarar oprimiendo el botón del centro de tal modo que la pantalla quede en ceros. Adicionar el aceite de palmiste hasta marcar 1 gramo. Registrar el valor y llamarlo "P" que significa "peso"; realizar lo mismo en el segundo balón; pero, el tercero se deja vacío y lo llamarlo "blanco".



Muestra 2

Muestra 1

Blanco

2. Adicionar a la bureta la solución de KOH hasta el tope de 25 mL marcados en la parte superior.
3. A los tres balones adicionarle 20 mL a cada uno, llenando la bureta por cada balón.



Balones con 20 mL de solución de KOH cada uno.

4. Prender el equipo de baño de María, conectando al tomacorriente. Subir la palanca que se encuentra en frente de la autoclave u olla, observando que se encienda el botón naranja; ajustar con el botón negro la temperatura de 80°C.
5. Hacer lo mismo para el baño refrigerante, conectándolo al tomacorriente y prendiéndolo en la parte trasera, esto nos muestra unos números en el tablero negro. Colocar en éste una temperatura de 5°C cambiándola con los botones que lo rodean.
6. A cada condensador que se encuentra encima de la olla, conectar los tres balones de 100 mL con los respectivos sujetadores e introducirlos en el agua caliente de tal forma que se cubran toda la parte redonda; de no ser posible, adicionar más agua. Dejar por 1 hora.



Balones listos para iniciar baño de maría

7. Sacar los balones con cuidado pues se encuentran calientes, y adicionar 2 mL de agua a cada uno con la pipita



Adición de 2 mL de agua a cada balón.

8. Lavar la bureta que se usó para la adición del KOH y llenarla ahora con la solución de HCL (ácido clorhídrico).
9. Al balón que llamamos blanco (el que no tiene muestra) y adicionamos 5 gotas de fenolftaleína, agitamos bien y observamos que tome un color rosa o violeta.



Adición de 5 gotas de fenolftaleína

10. Tomar la llave de la bureta y adicionar gota a gota hasta que el color rosa o violeta cambie a transparente, cuando ocurra esto, tomamos el valor del volumen de HCl gastado y lo anotamos como V_B que significa volumen de blanco.



Adición de HCl

11. Volver a llenar la bureta hasta 25 mL y adicionar 5 gotas de fenolftaleína al primer balón con muestra de aceite de tal forma que quede un color rojo oscuro; y adicionar igualmente gota a gota la solución de ácido clorhídrico hasta que vuelva al color inicial amarillo. Leer el valor del volumen gastado y lo colocar como “V_m” que significa “volumen de muestra” y repetir este paso con el ultimo balón. Ésto es para rectificar el índice de saponificación que estamos hallando.

12. Con los datos tomados anteriormente nos dirigimos a la siguiente fórmula:

$$I.S = \frac{(56.1)(V_B - V_m)(N)}{P}$$

Dónde:

I.S.= Índice de saponificación

N= 0,5

P= peso

V_B= volumen de blanco

V_m= Volumen de muestra

El valor que se obtiene con el método anteriormente descrito está con base en el álcali de hidróxido de potasio, el cual como se ha mencionado es usado para la reacción de jabón líquido; pero para elaborar jabón sólido debemos considerar la multiplicación de éste por un factor o constante de la siguiente manera:

$$\mathbf{I.S. \textit{ de jabón sólido} = I.S. \textit{ de jabón líquido} * 0.7129}$$

8.2 PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE ÁLCALI

Para la preparación de la solución de álcali debemos tener en cuenta ciertos aspectos; tener claro el concepto de concentración en peso descrita anteriormente; tener el valor de índice de saponificación sea para sólido o líquido, saber la cantidad de aceite de palmiste a reaccionar y conocer el porcentaje de exceso de álcali que se maneja. Para nuestro caso manejaremos 10% de exceso para sólido y sin exceso para líquido.

8.2.1 Solución de hidróxido de sodio para jabón sólido:

- Determinar la cantidad de aceite de palmiste a saponificar, considerando que el reactor está diseñado para un mínimo de 6 Kg y un máximo de 25 Kg dicha cantidad se debe multiplicar por el índice de saponificación de la siguiente forma:

$$\mathbf{I.S. \textit{ Jabón solido} * kg \textit{ de aceite de palmiste} = kg \textit{ de hidróxido de sodio}}$$

- Determinado los kg de hidróxido de sodio debemos añadir el 10 % de exceso para determinar el álcali total o NaOH total así:

$$\mathbf{(kg \textit{ Hidróxido de sodio} * 0.1) + kg \textit{ Hidróxido de sodio} = \textit{álcali total}}$$

- Ya conocemos la cantidad de álcali o hidróxido de sodio necesario para saponificar el aceite de palmiste; pero, ésta la adicionamos en una

concentración en peso del 30%, luego vamos a la fórmula de concentración y determinamos la cantidad de agua que se le debe adicionar.

$$\text{concentracion de alcali} = \frac{\text{kg de hidroxido de sodio}}{\text{kg de solucion}} * 100$$

- como conocemos los kilogramos de sodio y la concentración de álcali podemos saber la cantidad de solución o adición de agua así:

$$\text{kg agua o solucion} = \frac{\text{kg de hidroxido de sodio}}{0,3}$$

Con esto podemos preparar la solución fácilmente conociendo ya la cantidad de hidróxido de sodio y la de agua (*Ver Tabla 1. Valores para preparación de álcali*).

8.2.2 Solución de hidróxido de potasio para jabón líquido:

- Para esta solución no usaremos exceso, luego nos ahorramos un cálculo. Primero y al igual que para el jabón sólido hallamos la cantidad de hidróxido de potasio necesario para la cantidad de aceite que se vaya a tratar; considerando el respectivo índice de saponificación para jabón líquido.

$$\text{I.S. jabón líquido} * \text{kg aceite de palmiste} = \text{kg hidróxido de potasio}$$

- Con la cantidad de hidróxido de potasio hallamos la cantidad de agua considerando que manejamos para este una concentración en peso del 30% también (*Ver Tabla 1. Valores para preparación de álcali*).

$$\text{kg agua o solucion} = \frac{\text{kg de hidroxido de potasio}}{0,3}$$

Tabla 1. Valores para preparación de álcali

Aceite de Palmiste, kg	NaOH para jabón sólido, kg	Agua para jabón sólido, kg	KOH para jabón líquido, kg	Agua para jabón líquido, kg
6	1,188	3,96	1,476	4,92
10	1,98	6,6	2,46	8,2
15	2,97	9,9	3,69	12,3
20	3,96	13,2	4,92	16,4
25	4,95	16,5	6,15	20,5

8.2.3 Procedimiento de preparación de solución de álcali



1. En uno de los baldes auxiliares de color amarillo, medir la cantidad exacta de agua que se calculó ya sea para sólido o líquido.
2. Con los guantes y mascarilla bien puesta, pesar en la balanza la cantidad exacta de álcali, ya sea hidróxido de sodio para jabón sólido o hidróxido de potasio para jabón líquido.
3. Adicionar el álcali al balde donde se encuentra el agua, suavemente debido a que es una reacción fuerte que genera calor. Nunca hacerlo viceversa, es decir, el agua adicionarla al álcali.
4. Revolver suavemente con un palo.

8.3 PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE CLORURO DE SODIO

El cloruro de sodio no es más que la sal corriente de cocina que usaremos en el proceso de elaboración de jabones sólidos únicamente, ya que para el líquido no se necesitará.

Esta solución que se prepara se debe hacer con una concentración del 20% en peso. Y en una cantidad proporcional a la cantidad de aceite de palmiste, es decir:

$$\text{kg de aceite de palmiste} = \text{kg de solución de sal}$$

- Usando la misma fórmula de concentración de porcentaje en peso usada anteriormente, podemos calcular la cantidad de sal necesaria para la preparación de la solución.

$$\text{Concentración de solución de sal} = \frac{\text{kg de sal}}{\text{kg de solución de sal}} * 100$$

- Como conocemos la concentración en la que trabajaremos que es del 20% y los kg de solución de sal que es la misma proporción del aceite a saponificar podemos conocer los kg de sal a pesar así:

$$\text{kg de sal} = 0,2 * \text{kg de solución de sal}$$

Con el valor de la cantidad de solución y la cantidad de sal podemos proseguir a preparar la solución de sal o cloruro de sodio (Ver Tabla 2. Valores para preparación de solución de sal).

Tabla 2. Valores para preparación de solución de sal

Aceite de Palmiste, kg	Agua para solución de sal, kg	Sal, kg
6	6	1,2
10	10	2
15	15	3
20	20	4
25	25	5

8.3.1 Procedimiento para preparación de solución de sal



1. Tomar el recipiente de acero inoxidable de 50 L que se encuentra ubicado bajo el reactor y adicionar la cantidad de agua o kg de disolución hallada.
2. Pesar en la balanza la cantidad de sal que se determinó anteriormente.
3. Mezclar bien hasta que ya no se vea o sienta sal sin disolver.

8.4 PREPARACIÓN DE EQUIPOS: Antes de iniciar cualquier operación, comprobar que las conexiones de las líneas y los equipos adicionales que van al reactor, se encuentren del modo indicado.

8.4.1 Caldera: La caldera como fuente de sistema de calentamiento debe prenderse del modo correcto para que la operación sea lo más seguro posible, para ello se deben seguir los siguientes pasos:

- Primero que todo se deben abrir las dos líneas de gas que posee la caldera, la primera se encuentra en la parte de atrás de la misma y se abre girando la mariposa hacia el piso; después se debe abrir la segunda que se encuentra en la parte derecha: tanto ésta como la otra son de color amarillo; ésta última se abre girándola hacia la derecha. Con esto, se habilita la línea de gas hacia la caldera.



Llave 1 de gas

Llave 2 de gas

- Lo siguiente es conectar la energía proveniente del taco principal; éste se encuentra en el interior de la caja roja de control donde se activa subiéndolo y se logra ver cuando se alumbra el botón naranja u amarillo de la parte externa de la caja



Taco de energía de caldera

- La siguiente línea a activar es la del flujo de agua, para esto el botón negro derecho de la caja roja, lo giramos hacia la derecha, se debe iluminar el botón verde para verificar que la línea de agua se ha activado.



Botón de flujo de agua iluminado

- En seguida al botón negro de la izquierda lo giramos del mismo modo hacia la derecha, en este caso no se ilumina el botón rojo que es el único que falta por iluminar, sino hasta que la misma caldera active la chispa que generara el consumo de gas y vaporización del agua, en este momento sí se ilumina el botón rojo.



Botón de chispa iluminado

Por último verificamos que la válvula principal de vapor esté cerrada y las otras del distribuidor de vapor y llegada a los diferentes equipos a nuestro reactor se encuentren también cerradas. Todas cierran hacia la derecha.

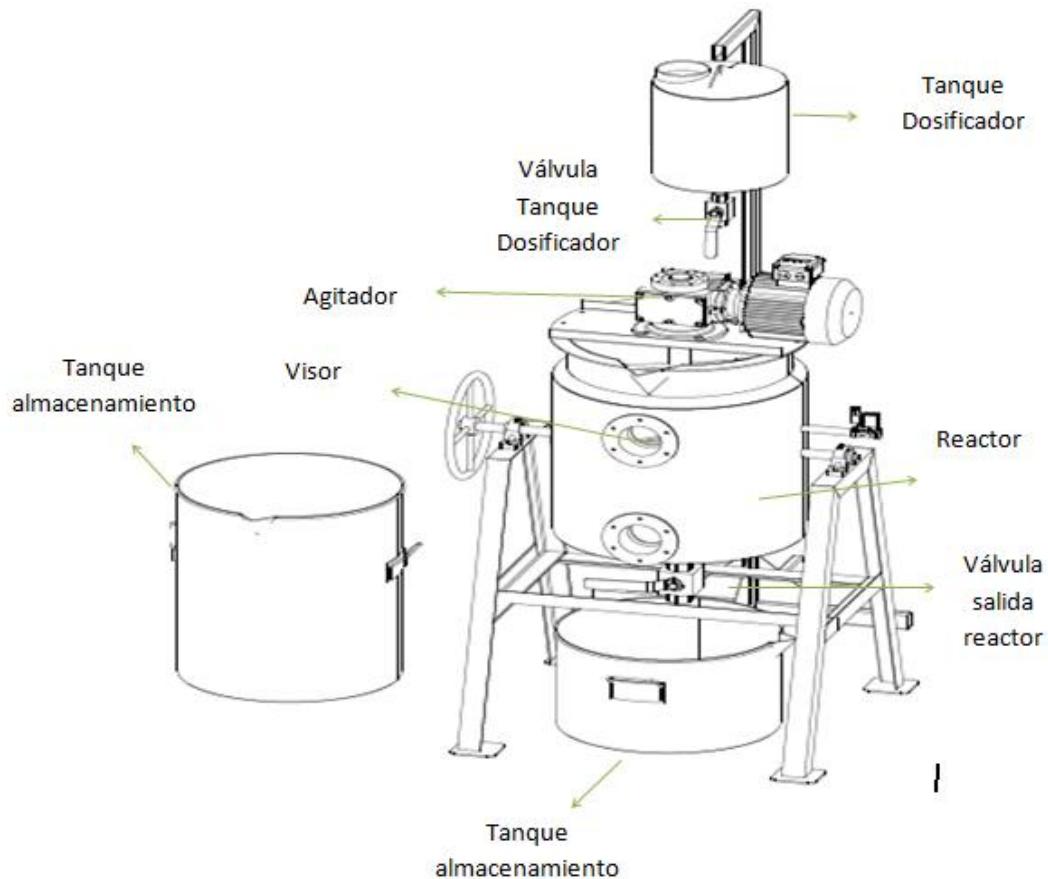


Válvula de vapor principal cerrada

Recomendaciones

- Abrir los destilados de la caldera cada media hora durante el proceso, abrílos mientras no empiece a salir vapor. Esta válvula se encuentra en la parte inferior, bajo el distribuidor de vapor.
- Como la caldera se presuriza hasta 80 psi, considerar apagarla antes de terminar el proceso de elaboración, pues con la presión que queda se logra terminar la elaboración de jabón.
- El apagado de la caldera es al contrario de la prendida. Verificar que todo quede igual a como se inició.

8.4.2 Planta piloto de jabón:



- Para el inicio del manejo de la planta de jabón se debe conectar, en primera instancia la clavija de corriente bifásico del controlador, este se encuentra en la parte de atrás del reactor.
- En seguida se debe comprobar que la válvula de drenaje del reactor que se encuentra en la parte inferior esté cerrada en posición horizontal, al igual que la del tanque dosificador; del mismo modo en posición horizontal y con los seguros que éstas poseen, la válvula de condensados que se encuentra en la parte de atrás inferior del reactor, debe estar abierta en posición paralela al tubo de condensado.
- Por último colocamos el taco de energía principal de la planta en encendido de tal modo que quede hacia arriba.



Taco de energía abajo

Taco de energía arriba

Recomendaciones

- Verificar que el regulador de velocidad del agitador este en la posición de apagado, es decir que se encuentre al tope hacia la izquierda
- Verificar que las conexiones estén sin pelar y sin cortar
- Todo los tanques auxiliares y almacenamiento limpios y disponibles
- Verificar que los aditivos reactivos y materias primas estén en las cantidades necesarias para el lote
- Tener los moldes disponibles.
- El seguro de volcado esté bien puesto y fuerte.

9. PROCEDIMIENTO PARA ELABORACION DE JABON SOLIDO



9.1 Cargar el material graso al reactor:

- Una vez que se determine la cantidad a saponificar, de aceite de palmiste, se debe sacar de los timbos o canecas azules que se encuentran al lado de la planta y pesarlas en el balde rojo, esto debe hacerse con la mayor precisión posible.

- Se adiciona al reactor la grasa, mediante las boquillas que posee este en la parte superior, con cuidado de no derramar por los lados para evitar incendios por la inflamabilidad de éste



Sacar el aceite de palmiste



Pesar la cantidad estipulada



Adicionarlo al reactor



Reactor cargado

- Abrir la válvula de flujo de vapor de la línea directa de la caldera y la válvula de llegada de vapor al reactor. Cuadrar en la caja de control la temperatura de 76°C, para esto se muestran dos temperaturas: la roja muestra a la que está el reactor, mientras que la verde indica el límite que escogimos de temperatura para el proceso. Una vez que se cuadre, se le presiona “enter” para que éste trabaje.



Graduar temperatura abrir válvula vapor 1 abrir válvula vapor 2

- Prender agitador en el botón inferior izquierdo y comenzar agitación en la mínima velocidad

Recomendaciones

- Para sacar el aceite de las canecas, si éste se encuentra en su estado semisólido y no líquido, se debe introducir un palo y revolverlo dentro del mismo recipiente para que se derrita y logre sacarse con más facilidad.

•

9.2 **Adición de solución de hidróxido de sodio:**

- Esta solución ya preparada y que se encuentra en el tanque amarillo auxiliar, debe sacarse e introducirse en el tanque dosificador que se encuentra en el soporte. Una vez que se adicione al tanque dosificador, subirlo al soporte y abrir la válvula cuando el aceite esté en la temperatura que le seleccionamos en el cuadro de control.



Adición de álcali

- Terminado el flujo de todo el álcali, subir las revoluciones de la mezcla hasta 45 Hertz vistos en el interior de la caja de control.
- Esperar durante 2 horas hasta que se coloque una pasta blanca.



Graduar agitacion

Pasta de jabón

Recomendaciones:

- No elevar las revoluciones de agitación por motivos de incorporación de aire.
- Lavar, tanto el tanque dosificador como la manguera, para la adición de la solución de sal.
- No permitir que se pase más de las dos horas, pues se puede secar demasiado y se daña el lote.
- Al momento de adicionar el álcali evitar mirar hacia el interior del reactor por salpicaduras que se producen y pueden caer en los ojos.

9.3 Adición de solución de Cloruro de sodio:

- Terminada la reacción, proseguimos a adicionar la solución de sal preparada también previamente, mediante el tanque dosificador para evitar salpicaduras



Adición de solución de sal

- Terminada la adición, agitar durante 1 min a 60 Hertz. Después de esto apagar el agitador con el botón con el cual se prendió y que está señalado en la caja de control, además de esto cerrar el flujo de vapor.

Recomendaciones:

- Calentar la solución hasta unos 70°C para que en la adición el choque de temperaturas no sea grande.
- No dejar más del minuto de contacto entre la solución de sal y la pasta de jabón ya que se necesita contacto entre las dos y no mezcla. De pasarse del minuto se mezclarían y se dañaría el lote.
- Lavar el recipiente donde se preparó la solución de sal, pues en éste se recibe la glicerina en el siguiente paso.

9.4 Separación de fases:

- Pasada media hora se debe abrir la válvula de drenaje en la parte inferior del reactor. Este flujo debe ser de color claro, casi transparente.



Drenaje de glicerina

- Cerrar el flujo cuando se oscurezca o deje de salir la glicerina, después de esto abrir cada 10 minutos hasta que se cumpla la hora contando con la media anterior; o hasta que ya no salga ni una gota más de glicerina, o lejía como se conoce.

Recomendaciones:

- Durante la espera de separación de las fases de lejía y pasta de jabón, hacer los cálculos y preparar los aditivos y cargas para la terminación del jabón.
- Abrir la válvula de condensados del reactor, de tal forma que quede contraria al tubo de drenaje.
- Apagar la caldera de forma inversa a como se puso en funcionamiento.

9.5 Relleno de jabón:

- Abrir de nuevo la válvula de vapor y dejar que la temperatura del reactor se establezca entre 60°C y 80°C.

Para la adición de cargas y aditivos al jabón sólido se deben considerar los siguientes cálculos: Primero que todo, se debe hallar la cantidad de pasta de jabón que se obtuvo después del proceso (*Ver Tabla 3: valores de cargas y aditivos para diferentes cantidades de aceite*).

$$\text{kg de Pasta de jabón} = \text{kg de aceite palmiste} * 0,9812$$

A estos kg de pasta de jabón debemos agregarle un 8% de carga y un 3% en los otros aditivos, luego entonces tendríamos

$$\text{kg de Aditivos} = \text{kg de pasta de jabón} * 0.03$$

$$\text{kg de Cargas} = \text{kg de pasta de jabón} * 0,08$$

Tabla 3: valores de cargas y aditivos para diferentes cantidades de aceite

Aceite de Palmiste, kg	Pasta de jabón sólido, kg	Carga para jabón sólido, kg	Aditivos para jabón sólido, kg
6	5,8872	0,58872	0,176616
10	9,812	0,9812	0,29436
15	14,718	1,4718	0,44154
20	19,624	1,9624	0,58872
25	24,53	2,453	0,7359

- Para cada cantidad que nos da en estos cálculos debemos considerar ahora cuánto vamos a adicionar de cada aditivo y cuánto de cada carga, para ello se deben realizar los cálculos dados a continuación:

$$\text{kg de Aditivos} * 0,10 = \text{kg de dióxido de titanio}$$

$$\text{kg de Aditivos} * 0,80 = \text{kg de carbonato de calcio}$$

$$\text{kg de Aditivos} * 0,10 = \text{kg de carbonato de sodio}$$

(Ver Tabla 4: valores de cargas para diferentes cantidades de aceite)

$$\text{kg de Cargas} * 0,50 = \text{kg Texapón}$$

$$\text{kg de Cargas} * 0,20 = \text{kg Tripolifosfato de sodio}$$

$$\text{kg de Cargas} * 0,01 = \text{kg E.D.T.A.}$$

$$\text{kg de Cargas} * 0,19 = \text{kg Triclosano}$$

$$\text{kg de Cargas} * 0,20 = \text{kg Sorbitol}$$

Color y esencia al gusto

- Adicionar las cargas y aditivos revolviendo a 45 Hertz y revolver durante 5 minutos para mezclar bien aprovechando que el jabón se encuentra fundido (Ver Tabla 5: valores de aditivos para diferentes cantidades de aceite).

Tabla 4: valores de cargas para diferentes cantidades de aceite

Aceite de Palmiste, kg	Carga para jabón sólido, kg	Dióxido de titanio, kg	Carbonato de calcio, kg	Carbonato de sodio, kg
6	0,58872	0,029436	0,470976	0,088308
10	0,9812	0,04906	0,78496	0,14718
15	1,4718	0,07359	1,17744	0,22077
20	1,9624	0,09812	1,56992	0,29436
25	2.453	122,65	1962,4	367,95

Tabla 5: valores de aditivos para diferentes cantidades de aceite

Aceite Palmiste, kg	Aditivos jabón sólido, kg	Texapón, Kg	Tripolifosfato de sodio, kg	E.D.T.A. Kg	Triclosano, kg	Sorbitol, kg	Lanolina, kg
6	0,176	0,0706	0,0353	0,00176	0,033557	0,0264	0,0088
10	0,294	0,117	0,058	0,0029	0,05592	0,044	0,014
15	0,441	0,1766	0,0883	0,0044	0,08389	0,066	0,022
20	0,588	0,2354	0,1177	0,00588	0,11185	0,088	0,029
25	0,735	0,294	0,147	0,0073	0,139	0,110	0,036

Recomendaciones:

- Preparar los aditivos en una cantidad de agua justa para que queden diluidos y fáciles de mezclar con la pasta de jabón.
- Los porcentajes son variables pero estos no pueden exceder el límite dado por las normas de ICONTEC.
- El E.D.T.A. no se puede adicionar en una proporción mayor al 1 %

- Es importante destacar que los jabones perderán humedad y por ende, peso, así que hay que tener esto en cuenta si se modifican las proporciones de aditivos y cargas.
- Por lo general, adicionar las esencias de tomillo romero salvia o cidrón en máxima cantidad del 66% según aceite saponificado por lote (Ver *Tabla 6 Cantidades de aceite esencial*). Y mezcla con otros aceites esenciales para bajar la intensidad de éstos.

Tabla 6 Cantidades de aceite esencial

Aceite de Palmiste, kg	Esencia de Tomillo, Romero, Salvia o Cidrón, mL	Otra esencia: ylang ylang, Eucalipto o Limón
6	12	6
10	20	10
15	30	15
20	33	17
25	37	18,7



Adición de cargas y aditivos

9.6 Neutralización:

- Para la neutralización se usa ácido clorhídrico, esta parte es importante para establecer un jabón neutro, esto quiere decir que quede su pH en 7, lo cual nos asegura que no nos reseque ni nos queme la piel al momento de usarlo. se prepara la cantidad mostrada en la tabla 7 según el aceite saponificado (Ver *Tabla 6: Cantidades para preparación de HCl*).

Tabla 7: Cantidades para preparación de HCl

Aceite de Palmiste, kg	Ácido Clorhídrico, mL	Agua, L
6	120	0,24
10	200	0,4
15	300	0,6
20	400	0,8
25	500	1

- Adicionar la cantidad de solución que se indica y medimos con papel de pH para revisar que se ajuste a 7. Si no toma los colores de pH 7 entonces se debe preparar más solución, pero poca, y adicionar 10 mL y revisar que baje hasta lo neutro.

Recomendaciones:

- Para neutralizar, realizar un método volumétrico con el fin de determinar la cantidad exacta de ácido, este método a grandes rasgos consiste en Sacar del reactor una cantidad de muestra y pesamos en la balanza entre 1 y 2 g, anotamos el valor y disolvemos en 100 mL de agua el jabón. Le adicionamos 5 gotas de fenolftaleína y valoramos como se hizo en el cálculo de índice de saponificación con ácido clorhídrico, con el valor de volumen gastado calculamos la cantidad de ácido para esta pequeña muestra y escalamos a la cantidad de jabón que se encuentra en el reactor.



Preparación de ácido



Adición de ácido



Toma de pH



Medición de pH

9.7 **Moldeo:**

- Para esta parte se abre la válvula inferior por donde se sacó inicialmente la glicerina pero vaciamos sobre los moldes ya preparados.
- Dejar durante tres días en moldes para que tomen la consistencia y la solidez
- Después sacar los moldes y dejamos de 20 días a un mes de curado en el cual dejar los jabones reposar cubiertos por bolsa.

- Por último empaclar los jabones para la venta.

Recomendaciones:

- En el momento de verter el jabón fundido en los moldes, golpearlos con un palo para que se acomode y no queden burbujas de aire que dañen la forma del jabón y la consistencia en sí.



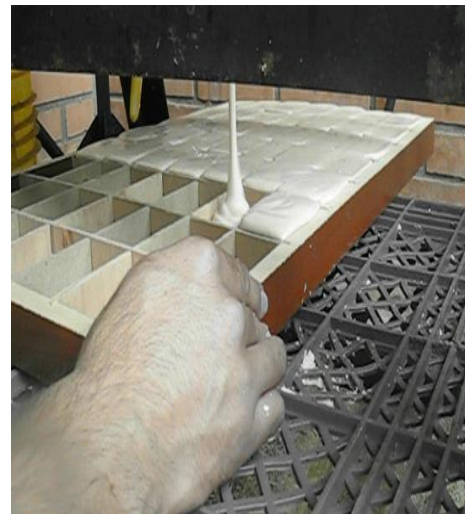
Adición de colorante



Preparación de moldes

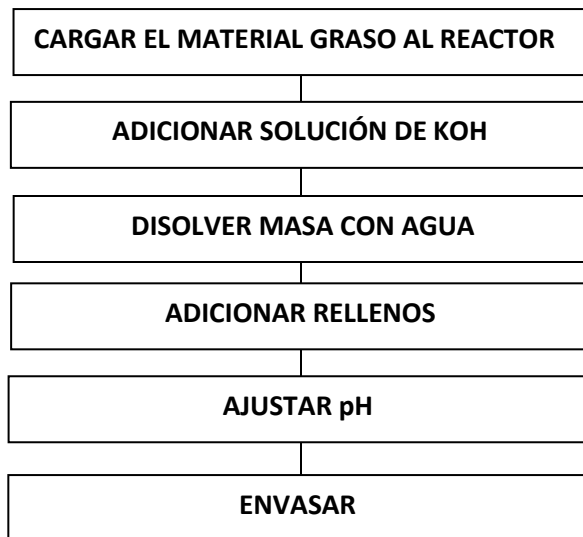


Iniciar flujo de jabón fundido



Moldear

10 PROCEDIMIENTO PARA ELABORACIÓN DE JABÓN LÍQUIDO



Para la elaboración de este jabón se procede de la manera ya descrita para el sólido, con las mismas recomendaciones y parámetros. Solamente se debe tener en cuenta no separar la glicerina de la pasta y que el tiempo de reacción es de 20 minutos. La disolución con agua se hace con la ayuda de la tabla (Ver Tabla 8: Cantidades de agua para disolución y carga). La carga se adiciona recordando, como siempre la cantidad de aceite de palmiste, de la siguiente forma:

$$\text{kg de Pasta de jabón} = \text{kg de aceite palmiste} * 0,9812$$

$$\text{kg de Cargas} = \text{kg de pasta de jabón} * 0,001$$

Tabla 8: Cantidades de agua para disolución y carga

Aceite de Palmiste, kg	Pasta de jabón líquido, kg	Agua de disolución, L	Carga, kg
6	6,312	12,624	0,006312
10	10,52	21,04	0,01052
15	15,78	31,56	0,01578
20	21,04	42,08	0,02104
25	26,3	52,6	0,0263

Anexo AE. Planos de planta piloto para elaboracion de jabon tocador solido y liquido.

