



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DISCONTINUO
DE SAPONIFICACIÓN PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS
INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
ESPOCH”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORAS: MARÍA ISABEL ARMAS ROQUE

DANIELA YESENIA PONCE ANDRADE

DIRECTOR: ING. MARCO CHUIZA ROJAS

Riobamba-Ecuador

2019

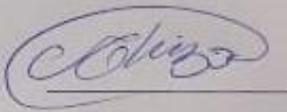
©2019 María Isabel Armas Roque; Daniela Yesenia Ponce Andrade

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación modalidad: Proyecto Técnico denominado: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DISCONTINUO DE SAPONIFICACIÓN PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH"** de responsabilidad de las señoritas María Isabel Armas Roque; Daniela Yesenia Ponce Andrade, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

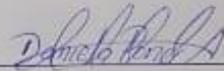
| | FIRMA | FECHA |
|---|--|-------------------|
| Ing. Marco Chuiza Rojas DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN |  | <u>2013-06-12</u> |
| Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuesa MIEMBRO DEL TRIBUNAL |  | <u>2013-06-12</u> |

Nosotras, María Isabel Armas Roque, Daniela Yesenia Ponce Andrade, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación. El patrimonio del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



María Isabel Armas Roque

060506054-0



Daniela Yesenia Ponce Andrade

060493268-1

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todo aquel que se interese por el diseño de equipos y tenga una idea para el emprendimiento en el área de jabones y haga uso de este trabajo para fines investigativos.

María Isabel Armas Roque

Dedico este trabajo a la Facultad de Ciencias, a la Escuela de Ingeniería Química, a todos los docentes y estudiantes que deseen realizar estudios afines a este tema; también lo dedico a mi familia, por ser el principal pilar en mi vida y en mi carrera universitaria.

Daniela Ponce Andrade

AGRADECIMIENTO

Agradezco este esfuerzo a mis padres y hermanos, que me han apoyado en cada etapa de mi vida, en especial a mi padre Adolfo Armas que desde la distancia me ha impulsado día a día para cumplir con esta meta. Debo agradecer a mi director de tesis el Ing. Marco Chuiza por la paciencia y esfuerzo en la revisión y tutoría en el proceso de este trabajo, así mismo Agradezco a la Ing. Mayrita Zambrano miembro de la tesis, por todo el apoyo brindado.

También me gustaría agradecer al técnico docente del Laboratorio de Química Instrumental y Laboratorio de procesos industriales, que contribuyeron en la parte experimental y validación del reactor discontinuo.

María Isabel Armas Roque

Mi eterno agradecimiento en primer lugar a Dios que como un padre me ha guiado a lo largo de la vida, a mi ángel en la tierra mi abuelita María Francisca ya que gracias a su apoyo incondicional y sus oraciones he podido culminar esta etapa, a mi madre Narciza, una mujer valiente y mi mayor ejemplo, a mis hermanas Lizbeth, María José y Cristina por su compañía y sus palabras de ánimo, a mi novio Diego por ser mi ayuda idónea. Por último, a mis verdaderos amigos que han sido un soporte en momentos difíciles.

Un agradecimiento especial para el Ing. Marco Chuiza por su asesoría y apoyo incondicional en la realización de este trabajo de titulación y a la Ing. Mayra Zambrano por su valiosa colaboración.

Daniela Ponce Andrade

ABREVIATURAS

| | |
|---|--|
| A | factor de frecuencia |
| AISI | American Iron and Steel Institute |
| C₀ | Concentración inicial |
| C_A | Concentración del acetato de etilo |
| C_H | Concentración del Hidróxido |
| °C | Grados Celsius |
| Cc | Centímetros Cúbicos |
| Cp | Centipoise |
| CH₃-COO-CH₂-CH₃ | Acetato de Etilo |
| Da | Diámetro del agitador |
| Dt | Diámetro del tanque |
| dt | Diferencial del tiempo |
| E | energía de activación, J/ mol o cal/ mol |
| °F | Grados Fahrenheit |
| g | Gramo |
| gc | Gravedad relativa |
| g/mL | Gramos por mililitro |
| Gal | Galones |
| h | Altura |
| HCl | Ácido clorhídrico |
| J/s | Joule por segundo |
| J/mol-K | Joule por mol Kelvin |
| k | Constante de velocidad de r |
| K | Grados Kelvin |
| Kg | Kilogramo |
| Kg/m³ | Kilogramos por metro cúbico |
| L | Litro |
| M | Molar |
| mL | Mililitro |
| ms/cm | mili siemens por centímetro |
| mPa-s | Mili pascales segundo |
| N | Velocidad de agitación s ⁻¹ |
| nNaOH | Número de moles de Hidróxido de sodio |
| nAcEt | Número de moles de Acetato de sodio |

| | |
|--|-------------------------|
| NaOH | Hidróxido de sodio |
| NaC₂H₃O₂ | Acetato de sodio |
| N_{RE} | Número de Reynolds |
| N_p | Número de potencia |
| ρ | Densidad |
| pH | Potencial de Hidrógeno |
| PM | Peso Molecular |
| Rpm | Revoluciones por minuto |
| SO₃ | Trióxido de azufre |
| μ | Viscosidad |
| V_R | Volumen del reactor |
| R | Constante de los gases |
| T | temperatura absoluta, K |
| W | Watts |
| X | Grado de conversión |

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | xv |
| SUMMARY | xv |
| CAPÍTULO I | |
| 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.1 Identificación del Problema | 1 |
| 1.2 Justificación del proyecto | 1 |
| 1.3 Línea base del proyecto | 2 |
| 1.3.1 Antecedentes del proyecto..... | 3 |
| 1.3.2 Importancia..... | 4 |
| 1.3.3 Marco conceptual | 4 |
| 1.3.4 Acetato de etilo..... | 16 |
| 1.3.5 Hidróxido de sodio | 16 |
| 1.3.6 Diseño de reactores | 17 |
| 1.3.7 Reactor tipo Batch..... | 18 |
| 1.3.8 Relación de la conductividad eléctrica con la concentración de los reactantes..... | 21 |
| 1.3.9 Agitación y mezclado..... | 21 |
| 1.3.10 Tipos de agitadores..... | 23 |
| 1.3.11 Principio de la semejanza: | 25 |
| 1.3.12 Ecuaciones de diseño de un agitador:..... | 25 |
| 1.3.13 Fenómenos de transporte que rige la agitación | 26 |
| 1.4 Beneficiarios directos e indirectos. | 29 |
| CAPÍTULO II | |
| 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO..... | 30 |
| 2.1 Objetivo General | 30 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 30 |
| CAPÍTULO III | |
| 3. ESTUDIO TÉCNICO | 31 |

| | |
|---|----|
| 3.1 Localización del proyecto. | 31 |
| 3.2 Ingeniería del Proyecto. | 32 |
| 3.2.1 Método inductivo | 33 |
| 3.2.2 Método deductivo..... | 33 |
| 3.2.3 Técnicas..... | 33 |
| 3.2.4 Método experimental..... | 34 |
| 3.2.5 Determinación de los parámetros de Arrhenius, (método gráfico): | 39 |
| 3.3 Diseño del reactor discontinuo de saponificación..... | 42 |
| 3.3.1 Parámetros de diseño..... | 42 |
| 3.3.2 Cálculo del sistema de agitación: | 48 |
| 3.3.3 Cálculo de la potencia necesaria para el agitador:..... | 50 |
| 3.3.4 Selección de materiales para la construcción del equipo | 51 |
| 3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria..... | 52 |
| 3.4.1 Costos del proyecto. | 53 |
| 3.4.2 Cronograma de actividad | 57 |
| CAPÍTULO IV | |
| 4. RESULTADOS..... | 58 |
| 4.1 Resultados de la cinética química de la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio..... | 58 |
| 4.1.1 Resultados de la determinación de la densidad del jabón líquido | 60 |
| 4.1.2 Resultados de la determinación de la viscosidad del jabón líquido..... | 60 |
| 4.1.3 Resultados de la determinación del pH del Jabón líquido..... | 60 |
| 4.1.4 Resultados de la determinación del grado de espumación del jabón..... | 61 |
| 4.1.5 Resultados del balance de masa en la validación del equipo | 61 |
| 4.1.6 Resultados del estudio cinético en la validación del equipo..... | 61 |
| CONCLUSIONES | 63 |
| RECOMENDACIONES | 64 |
| BIBLIOGRAFÍA | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1-1. Tipos y ejemplos de las diferentes reacciones químicas..... | 6 |
| Tabla 2.1. Clasificación de algunas propiedades de Hidróxido de Sodio | 17 |
| Tabla 3-1. Ventajas y desventajas del uso del reactor Batch | 18 |
| Tabla 4-1. Características del agitador tipo hélice | 24 |
| Tabla 5-1. Características de los tipos de agitadores de turbinas..... | 25 |
| Tabla 1-3. Tiempos y constantes específicas | 39 |
| Tabla 2-3. Datos de la constante cinética (k) de los experimentos a 22°C, 40 °C y 50 °C..... | 39 |
| Tabla 3-3. Datos característico-necesarios para el dimensionamiento..... | 41 |
| Tabla 4-3. Determinación de la densidad del jabón líquido..... | 42 |
| Tabla 5-3. Datos de las cantidades de reactantes y volumen de producción..... | 43 |
| Tabla 6-3. Parámetros cinéticos | 45 |
| Tabla 7-3. Selección del agitador para el reactor de saponificación | 48 |
| Tabla 8-3. Variables para el sistema de agitación..... | 50 |
| Tabla 9-3. Características técnicas del acero inoxidable..... | 51 |
| Tabla10-3. Características técnicas del motor | 52 |
| Tabla 11-3. Materiales utilizados en la construcción del reactor de saponificación..... | 54 |
| Tabla 12-3. Accesorios | 54 |
| Tabla 13-3 Equipos | 55 |
| Tabla 14-3. Mano de obra..... | 55 |
| Tabla 15-3. Transporte..... | 55 |
| Tabla 16-3. Reactivos | 56 |
| Tabla 17-3. Recursos totales | 56 |
| Tabla 18-3 Cronograma de Actividades | 57 |
| Tabla 1-4. Orden de reacción global con respecto a NaOH a 22°C, 40 °C y 50 °C..... | 58 |
| Tabla 2-4. Constante de velocidad k a 22 °C, 40 °C y 50 °C..... | 58 |
| Tabla 3-4. Resultados de los parámetros de Arrhenius a 22 °C 40 °C y 50 °C..... | 59 |
| Tabla 4-4. Energía de activación (Ea) teórica..... | 59 |
| Tabla 5-4. Resultados de la determinación de la densidad | 60 |
| Tabla 6-4. Tabla Resultados de determinación la viscosidad del jabón líquido | 60 |
| Tabla 7-4. Resultados de la Determinación del pH..... | 60 |
| Tabla 8-4. Resultados de la Determinación del Grado de Espumación del | 61 |
| Tabla 9-4. Resultados del rendimiento y eficiencia del equipo | 61 |
| Tabla 10-4. Resultados de la cinética química de la reacción de acetato..... | 61 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-1: (a) Reactor discontinuo; (b) Reactor de flujo en pistón; (c) Reactor de mezcla completa..... | 6 |
| Figura 2-1: Proceso de obtención de jabón líquido..... | 10 |
| Figura 3-1: Reacción entre el acetato de etilo y el hidróxido de sodio. | 13 |
| Figura 4-1: Mecanismo de reacción de la saponificación del acetato de etilo y el hidróxido de sodio..... | 14 |
| Figura 5-1. Representación gráfica de las ecuaciones de diseño para reactores discontinuos, en condiciones de funcionamiento isotérmico y no isotérmico. | 20 |
| Figura 6-1. Diagrama de conductividad en tiempo real contra el tiempo..... | 21 |
| Figura 7-1. Arreglos de agitador y patrones de flujo. | 22 |
| Figura 8-1. Agitadores; (a) paletas, (b) ancla, (c) cinta..... | 23 |
| Figura 1-3. Localización geográfica del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias – ESPOCH..... | 31 |
| Figura 2-3. Viscosidad de la muestra..... | 41 |
| Figura 3-3. Balance de Masa Global del reactor de saponificación..... | 42 |
| Figura 4-3. Guía De Selección Del Agitador..... | 44 |
| Figura 5-3. Esquema del Reactor Discontinuo de Saponificación..... | 46 |
| Figura 6-3. Vista frontal del Aspa..... | 49 |
| Figura 7-3. Vista aérea del aspa..... | 49 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1-3. $1/C_A$ vs tiempo (t) a 22°C | 37 |
| Gráfico 2-3. $1/C_A$ vs tiempo (t) a 40 °C | 37 |
| Gráfico 3-3. $1/C_A$ vs tiempo (t) a 50 °C | 38 |
| Gráfico 4-3. Parámetros de Arrhenius | 40 |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A Instructivo del Reactor de saponificación

ANEXO B Validación del equipo

ANEXO C Tablas de Datos experimentales de la reacción de saponificación a escala de laboratorio.

ANEXO D Preparación de disoluciones

ANEXO E Medición de conductividad y pH temperatura ambiente mezcla a 0.05 M

ANEXO F Medición de la conductividad y pH en la mezcla a concentración 0.05M y temperatura ambiente

ANEXO G Propiedades físicas y químicas del jabón líquido.

ANEXO H Diseño preliminar del reactor de saponificación

ANEXO I Diseño del reactor de saponificación

ANEXO J Componentes del Reactor de saponificación

ANEXO K Sistema de control de Velocidades

ANEXO L Diagramas de control y fuerza

ANEXO M Planos del reactor discontinuo de saponificación

RESUMEN

RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción de un reactor discontinuo de saponificación para la obtención de jabón líquido, que se utiliza para la realización de prácticas de laboratorio en las cátedras de: Balance de masa, Operaciones Unitarias e Ingeniería de Reacciones Químicas. Las variables para el diseño del reactor se determinaron a nivel de laboratorio siendo las siguientes: densidad = 1,02 g/ml, viscosidad = 2309,2 g/cm.s, pH = 9,5, y en el estudio cinético de la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido se obtuvo una conversión del 97% con una velocidad de reacción de $2,44 \times 10^{-6}$ mol L⁻¹ s⁻¹ y un tiempo de residencia de 30 minutos. Mediante el método ensayo-error se determinó el tipo de agitador, en base a parámetros de viscosidad. El reactor fue construido con planchas de acero inoxidable AISI 304, con las siguientes características: volumen = 60 L, altura = 0,45 m, diámetro de 0,55 m; con una capacidad de operación máxima de hasta 30 litros. La característica principal del equipo es el tipo de aspa de diseño único denominado agitador de globo toroidal. El equipo cuenta con un motor de 1600 W y un tablero de control para la velocidad de agitación. Se obtuvo jabón líquido de manos, que cumple con los requisitos establecidos en la norma INEN 842 para Agentes Tensoactivos y jabón líquido, en cuanto a los análisis físicos y químicos se refiere, con un rendimiento del 97%. Se recomienda seguir el procedimiento para el funcionamiento del Reactor Discontinuo de Saponificación, con lo que se evitará que sufra algún desperfecto durante su manipulación y un error en la toma de datos.

Palabras clave:

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA, PROCESOS INDUSTRIALES, DISEÑO DEL REACTOR DISCONTINUO, SAPONIFICACIÓN, DENSIDAD, VISCOSIDAD, POTENCIA, JABÓN LÍQUIDO.



SUMMARY

SUMMARY

The design and construction of a discontinuo saponification reactor was carried out to obtain liquid soap, which is used to carry out manufacturing practices in the following departments: Mass balance, Unit Operations and Chemical Reaction Engineering. The variables for the design of the reactor were determined at laboratory level, being the following: density = 1.02 g / ml, viscosity = 2309.2 g / cm. s, pH = 9.5, and in the kinetic study of the reaction of Saponification of the ethyl acetate with hydroxide gave a conversion of 97% with a reaction rate of $2.44 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ and a residence time of 30 minutes. By means of the trial-error method, the type of agitator was determined, based on viscosity parameters. The reactor was built with plates of stainless steel AISI 304, with the following characteristics: volume = 60L, height = 0.45m, diameter of 0.55m; with a maximum operating capacity of up to 30 liters. The main feature of the equipment is the uniquely designed blade type called toroidal balloon agitator. The equipment has a motor of 1600 W and a control board for the speed of agitation. Liquid hand soap was obtained, which meets the requirements established in the INEN 842 Agentes Tensoactivos and liquid soap, in terms of physical and chemical analysis, with a yield of 97%. It is recommended to follow the procedure for the operation of the Reactor Discontinuo of Saponification, which it will prevent it from suffering any damage during its handling and an error in the data collection.

Keywords: CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY, INDUSTRIAL PROCESSES, DISCONTINUO REACTOR DESIGN, SAPONIFICATION, DENSITY, VISCOSITY, POWER, LIQUID SOAP.



INTRODUCCIÓN

El diseño de equipos y procesos es parte fundamental en la formación de un Ingeniero Químico, ya que en la carrera se utilizan en gran parte las reacciones para transformar materias primas en productos terminados, todo esto con la ayuda de equipos como son los reactores, siendo éstos el núcleo del proceso.

El diseño de procesos y equipos, para convertir un material en productos terminados con valor agregado, son algunas de las labores exclusivas del ingeniero químico. Para realizar estas tareas el ingeniero químico debe seleccionar el tipo de reactor entre varios diseños opcionales, determinar las dimensiones requeridas del reactor y especificar las condiciones de operación, En consecuencia, el ingeniero químico debe tener conocimientos sobre cinética de las reacciones químicas correspondientes, la conversión máxima que se puede obtener, la naturaleza de los procesos y los parámetros que afectan lo anterior.

En muchos casos, las velocidades de los procesos físicos (es decir, la transferencia de masa y de calor) que hay en los reactores químicos utilizados comúnmente se puede estimar en forma adecuada con base en las propiedades de las sustancias que participan en la reacción, las características de flujo, la configuración del recipiente de reacción, etc. En contraste los datos de velocidad de los procesos químicos para la mayor parte de las reacciones importantes desde el punto de vista industrial no se pueden estimar en forma confiable basándose en la teoría y deben determinarse experimentalmente.

A pesar de que el reactor es el corazón de la planta química, no debe perderse de vista las funciones importantes realizadas por los sistemas de los equipos de apoyo para lograr la meta general de la planta, que es obtener productos en la forma más eficiente y al costo más bajo posible. Estos sistemas de apoyo pueden incluir, por ejemplo, el sistema de preparación de la alimentación del reactor (es decir, mezclado, precalentamiento, etc.), así como los sistemas de separación y tratamiento posterior a la reacción, para productos intermedios y finales. La importancia de estos sistemas de apoyo es considerable porque, a menudo, ejercen una influencia significativa en los rendimientos y la calidad de productos. En consecuencia, las características y limitaciones de estos sistemas, que afectan al comportamiento del reactor, deben comprenderse perfectamente para asegurar el diseño y la operación satisfactorios de la planta. (Perry, 1992)

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del Problema

Para la adecuada formación del estudiante de Ingeniería Química es necesario contar con equipos necesarios tales como: reactores, secadores, calderas, destiladores, extractores, entre otros, para la ejecución de prácticas de laboratorio que complemente y optimice la formación de los estudiantes, aportando a la comprensión de las diversas materias de forma didáctica y práctica, ampliando la visión científica acerca del diseño de equipos.

El laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela de Ingeniería Química no cuenta con el equipo específico para la elaboración de jabón líquido, por lo que es un problema no disponer de las herramientas necesarias en el estudio experimental. Debido a su importancia se ha planteado diseñar y construir un reactor discontinuo de saponificación, para el uso dentro del laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela de Ingeniería Química de la ESPOCH.

1.2 Justificación del proyecto

La experiencia práctica de los últimos años nos ha permitido constatar que en el laboratorio de Procesos Industriales se requiere un reactor específico para el proceso de elaboración de jabón líquido de calidad, ya que, los equipos que se usa actualmente para dicho proceso no generan un rendimiento aceptable. Por tanto, se justifica la realización de este proyecto técnico, ya que existe la necesidad de dicho equipo, y de esta forma brindar apoyo a la formación de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias, facilitando herramientas para el aprendizaje práctico y consolidando los conceptos básicos de las cátedras de: Operaciones Unitarias, Balance de Masa e Ingeniería de Reacciones.

Se eligió un reactor discontinuo, ya que es el más utilizado a nivel de laboratorio y alcanza una elevada conversión por cada unidad de volumen, además se opera de forma sencilla.

Finalmente aportará una mejora en la infraestructura del Laboratorio de Procesos Industriales, impulsando así al desarrollo científico y técnico del estudiante. (Towler y Sinnott, 2013)

1.3 Línea base del proyecto

La producción de jabón era común en Italia y España durante el siglo VIII, el jabón se realizaba en el ámbito doméstico utilizando materiales comunes y mano de obra esclavista. Los ingredientes principales eran las grasas de animales y aceites con ceniza de haya que proporcionaba el álcali. Pero en 1799 el químico francés Nicolas Leblanc, revolucionó la fabricación del jabón al inventar el proceso de producción del carbonato de sodio o sosa.(Solís, 2016)

En cuanto a la elaboración de jabones líquidos antes de la segunda guerra mundial, se basaban en hidróxido de potasio, pero la carencia de los aceites y las grasas los obligó a optar por otras alternativas. Los jabones sintéticos se convirtieron desde entonces en la alternativa preferida y así ha permanecido hasta hoy en día.(Failor, 2001)

1.3.1 Antecedentes del proyecto

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Laboratorio de Procesos Industriales; existen algunos equipos pilotos utilizados en la realización de prácticas, en los cuales se da la operación unitaria de agitación y mezclado, pero ninguno posee un mezclador específico para la realización de jabón líquido. Se ha elaborado jabón líquido en varios de estos equipos dando como resultado un rendimiento bajo del proceso y pérdida de la materia prima, tal es el caso del mezclador para la obtención de crema solar que posee un agitador tipo ancla de palas planas inclinadas en donde se genera desperdicio de materia prima en la base del cilindro y en el aspa ; el turbo mezclador automático para la obtención de desinfectantes tiene un agitador tipo pala inclinada y al elaborar jabón en él no se obtiene una mezcla homogénea; por último tenemos el reactor continuo de mezcla completa utilizado únicamente para el estudio cinético de la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio.

1.3.2 Importancia

Como se mencionó anteriormente, la fabricación de jabones se lo realizaba en el ámbito doméstico, pero hoy en día se requiere de equipos de última tecnología para satisfacer la demanda en el mercado. Por lo que es primordial el diseño de equipos para el éxito de un proceso y de una empresa, ya que con este tipo de equipos se alcanzan las condiciones óptimas de operación de un proceso.

Las herramientas modernas hacen posible que este tipo de proyectos sea factible, además se incentiva al estudiante que emprenda y empiece a elaborar jabón líquido de forma industrial, ya que la disponibilidad de materia prima, el conocimiento del proceso y la rentabilidad del proyecto son buenas y, además en Ecuador, la industria dedicada a la producción nacional de jabón no ha demostrado ser muy significativa a lo largo de la historia, debido a que la mayoría de jabones que se consume son importados. Según estadísticas realizadas por Trade Map en el año 2013. (Pintado, 2014)

Finalmente, este proyecto promoverá a los estudiantes de la facultad de Ciencias, al mejor entendimiento y el aprendizaje didáctico, mediante la experiencia práctica en el laboratorio de Procesos Industriales de la ESPOCH.

1.3.3 Marco conceptual

1.3.3.1 Reactor químico

.

Se conoce como reacción química a aquella operación unitaria que tiene por objeto distribuir de forma distinta los átomos de ciertas moléculas (compuestos reaccionantes o reactantes) para formar otras nuevas (productos). El lugar físico donde se llevan a cabo las reacciones químicas se denomina REACTOR QUÍMICO. (Denbigh, Turner y Sangines Franchini, 1990)

Los factores que hay que tener en cuenta a la hora de llevar a cabo o desarrollar una reacción química son:(Fogler, 2008)

- Condiciones de presión, temperatura, y composición, necesarias para que los materiales entren en estado de reacción.
- Las características termodinámicas y cinéticas de la reacción.
- Las fases (sólido, líquido, gaseoso) que se encuentran presentes en la reacción.

Los reactores químicos tienen como funciones principales las siguientes: (Peña et al., 2008)

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias, para conseguir la extensión deseada de la reacción.
- Permitir condiciones de presión, temperatura y composición.

1.3.3.2 Clases de reacciones Químicas típicas en un reactor químico

En el estudio y caracterización de reacciones químicas con uno o varios compuestos, denominado sistema químico, o en el diseño de reactores químicos, es necesario conocer en primer lugar el tipo de reacciones implicadas. Las reacciones químicas se clasifican según el número y los tipos de fases involucradas en reacciones homogéneas y reacciones heterogéneas. También puede realizarse una subdivisión de los dos tipos de reacciones anteriores de manera que aparecen las reacciones catalizadas y las no catalizadas. En esta clasificación se entiende por una fase un sistema en el cual existe homogeneidad de temperatura, presión y composición. (Izquierdo, 2004)

- Reacciones homogéneas: Una reacción es homogénea si se efectúa solamente en una fase, ya sea gaseosa, líquida o sólida. (Izquierdo, 2004 pp. 36).
- Reacciones heterogéneas: Una reacción es heterogénea si se efectúa, al menos, en dos fases para que pueda llevarse a cabo. (Izquierdo, 2004 pp. 8).
- Reacciones catalíticas: Son reacciones que usan materiales denominados catalizadores que actúan acelerando la reacción. (Izquierdo, 2004 pp. 8)
- Reacciones no catalíticas: Son reacciones que no usan material extra para que se lleve a cabo una reacción. (Izquierdo, 2004 pp. 8)

Tabla 1-1. Tipos y ejemplos de las diferentes reacciones químicas

| Reacciones | No catalíticas | Catalíticas |
|--------------|--|---|
| Homogéneas | La mayor parte de las reacciones en fase gaseosa. | La mayor parte de las reacciones en fase líquida. |
| Heterogéneas | Tostación de minerales. Combustión de sólidos. Reacciones de neutralización gas-sólido. Absorción gas-líquido con reacción química. | Síntesis de amoníaco (Fe, Cr). Craqueo de naftas (alum., zeol.). Oxidación SO ₂ a SO ₃ (V ₂ O ₅). Síntesis de éteres a partir de alcoholes y olefinas (resina int. iónico). |

Fuente: (Izquierdo, 2004)

Elaborado por: Isabel Armas, Daniela Ponce, 2019

1.3.4.5 Clasificación de reactores

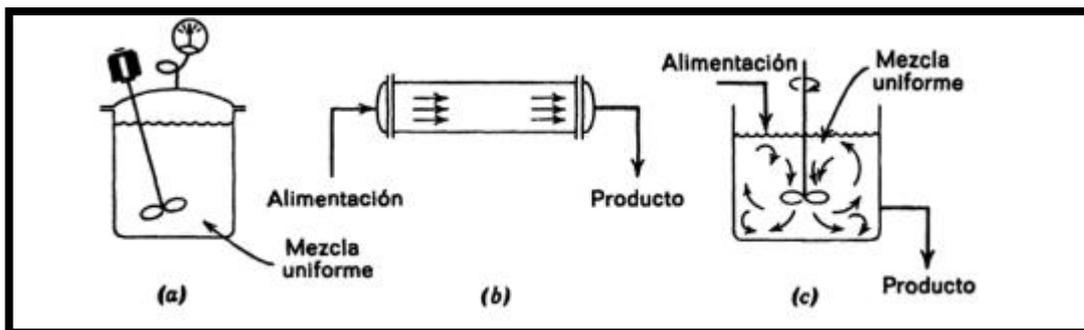


Figura 1-1: (a) Reactor discontinuo; (b) Reactor de flujo en pistón; (c) Reactor de mezcla completa

Fuente: (Levenspiel, 1999b)

Reactor ideal:

Es aquel en el que el tipo de flujo es ideal (teórico). Un fluido ideal, se define como una sustancia perfecta que posee elasticidad de volumen, pero no de rigidez. Dado que el fluido ideal no puede resistir una tensión tangencial, por muy pequeña que sea, las únicas fuerzas que puede resistir son las fuerzas normales, o sea, de presión. El fluido ideal presenta tres características: (Virto Albert, 2017)

- Sólo puede transmitir fuerzas de presión.
- La presión es la misma en todas las direcciones.
- Carece de viscosidad.

- Los fluidos ideales se subdividen en líquidos y gases ideales.

Reactor semi-continuo:

Es aquel en el cual inicialmente se carga de material todo el reactor, y a medida que tiene lugar la reacción, se va retirando productos y también incorporando más material de manera casi continua.(Riegel, Eroles Gómez y Kent, 1984)

Reactor continuo:

Mientras tiene lugar la reacción química al interior del reactor, éste se alimenta constantemente de material reactante, y también se retira ininterrumpidamente los productos de la reacción.(Riegel, Eroles Gómez y Kent, 1984)

Reactor discontinuo:

Es aquel en donde no entra ni sale material durante la reacción, sino más bien, al inicio del proceso se introduce los materiales, se lleva a las condiciones de presión y temperatura requeridas, y se deja reaccionar por un tiempo preestablecido, luego se descargan los productos de la reacción y los reactantes no convertidos. También es conocido como reactor tipo Batch.(Riegel, Eroles Gómez y Kent, 1984)

Los reactores discontinuos son sencillos de operar e industrialmente se utilizan cuando se han de tratar pequeñas cantidades de sustancias, en estos los reactantes se introducen al reactor, se mezclan y se dejan reaccionar en un tiempo determinado.(Santamaría et al., 1999)

1.3.3.3 Jabón líquido sintético:

Son jabones basados en mezclas de surfactantes y agentes espumantes, la mayoría de ellos contienen ligeras fragancias y usualmente otros ingredientes para el cuidado de la piel. Son compatibles con todo tipo de agua y usualmente tienen excelentes propiedades limpiadoras y

generan alta espuma aun en agua muy dura, además dejan la piel tersa y libre de irritación. Los jabones líquidos sintéticos son los preferidos.(Valderrama, 2012)

1.3.3.4 Variación de la viscosidad con la temperatura en la obtención del jabón líquido:

La viscosidad se define como la resistencia interna que pone un fluido a fluir. La temperatura es inversamente proporcional a la viscosidad, por lo que al aumentar la temperatura se disminuye la viscosidad. (Szewczul, 2006)

Para obtener jabón líquido con una viscosidad ideal, es necesario realizar la operación a temperatura ambiente.(Proaño y Armas, 2011)

1.3.3.5 Insumos para elaborar el jabón líquido:

Solvente:

- AGUA: el agua para este proceso no debe contener sales disueltas ni presencia microbiana. Las materias que deben evitarse son los metales alcalinos, formación de hidrógeno por el riesgo de explosión, metales alcalinotérreos en polvo, anhídridos, ácidos fuertes, aluminio en polvo, fósforo. El agua destilada es la recomendable. (Solís, 2016)

Tensoactivo:

- TEXAPON N 70 (Lauril Éter Sulfato Sódico): es el agente activo del jabón líquido, base para la elaboración de productos cosméticos y uno de los mejores espumantes más conocidos.(Mendoza Ruiz et al., 2017)

Espesante:

- COMPERLAN KD: es un estabilizante de espuma y espesante en forma de grasa refinada, sólido, de color amarillo claro, obtenida del ácido graso de coco y algunos aditivos naturales.(Mendoza Ruiz et al., 2017)
- CLORURO DE SODIO (ClNa): es la sal común, espesante más fácil de aplicar, puede producir resequedad en la piel, por lo que es recomendable usar una dosis de hasta 1 % en la fórmula.(Carrasco Otero, 2009)

Espumante:

- VISCAMID 95: Dietanolamina de Coco, engrasante tras la limpieza de los tensoactivos, mantiene la humectación natural evitando la resequedad y actúa como un estabilizador de espuma.(Carrasco Otero, 2009)

Humectante:

- GLICERINA (1, 2,3- propanotriol); producto humectante secundario en la fabricación de jabón, capaz de absorber y retener la humedad evitando la resequedad. (Carrasco Otero, 2009)

Conservante:

- BRONIDOX; es un moderno agente de conservación, apropiado para todas las operaciones y preparados de cosméticos que no permanecen en la piel ; como shampoo, baños de espuma, preparaciones para la ducha, cremas detergentes, humectantes, emulsionantes, etc.(Mendoza Ruiz et al., 2017)

Fragancias y colorantes:

- Varía de acuerdo con gustos preferenciales.

1.3.3.6 Proceso de obtención del jabón líquido:

En el siguiente diagrama se presenta una secuencia muy general sobre la producción de jabones líquido-sintéticos. Este diagrama describe la obtención comercial del Lauril Eter sulfato de sodio (Texapon), que es el agente activo para la obtención del jabón líquido y otros derivados.

Partimos de la materia prima, acetite de coco, éste se hidroliza para producir ácido láurico, el ácido láurico es hidrogenado para obtener alcohol láurico, seguido se lleva al proceso de sulfatación con trióxido de azufre para formar un compuesto iónico, dicho compuesto se neutraliza con hidróxido de sodio para formar el lauril éter sulfato de sodio. Este agente debe contener la materia activa necesaria con la que se desea producir el jabón líquido, que al adicionarle los demás aditivos le den las características de suavidad, viscosidad, pH, entre otras, para finalmente obtener el jabón líquido deseado. (Santacesaria et al., 1992)

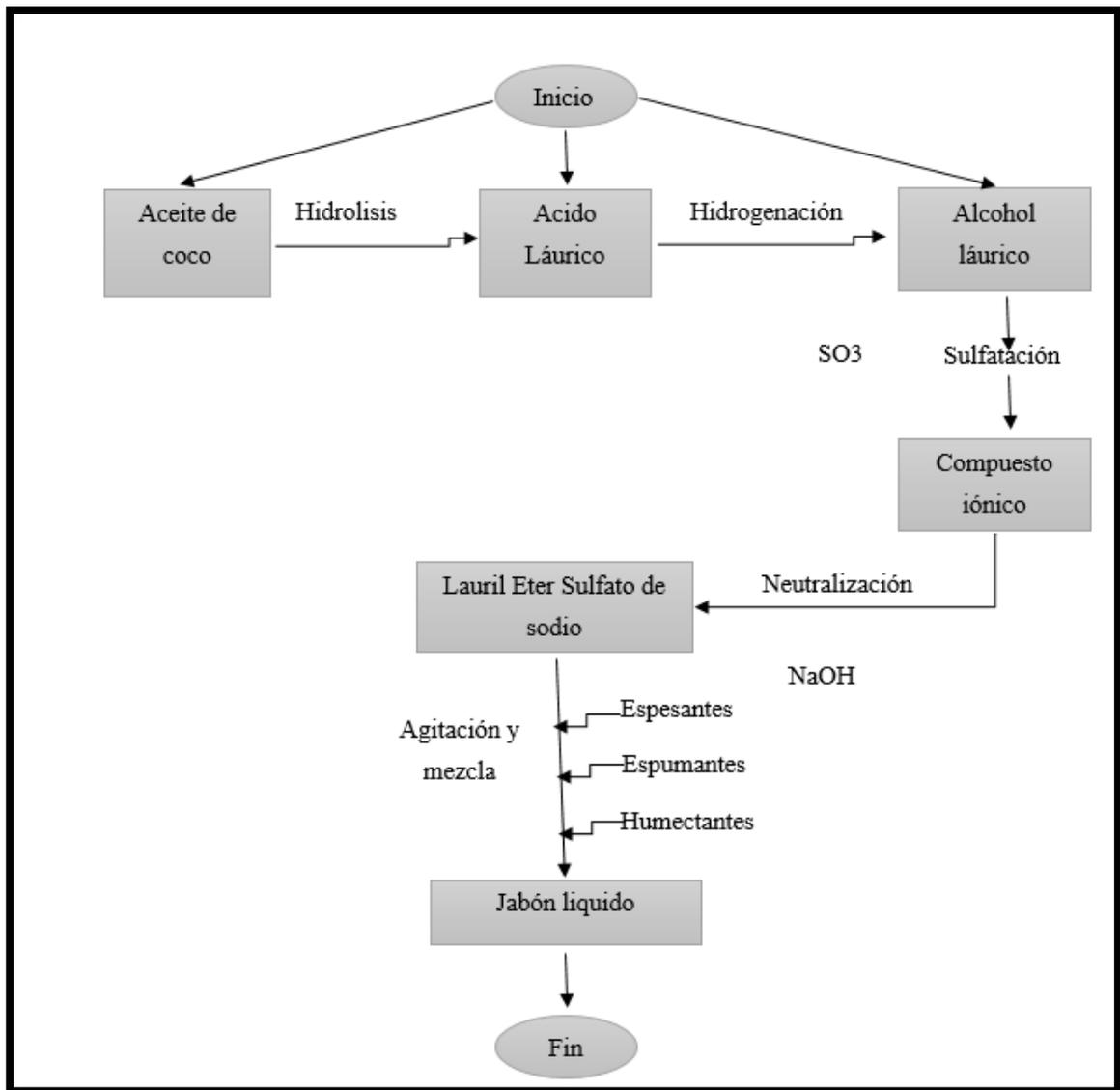


Figura 2-1: Proceso de obtención de jabón líquido

Fuente: (Santacesaria et al., 1992)

Elaborado por: Armas, I. y Daniela, P., 2019

1.3.3.7 Cinética de reacción

La cinética química y el diseño de reactores son fundamentales para la producción de casi todas las sustancias químicas industriales. La selección de un sistema de reacción que opere de la forma más segura posible puede ser la clave del éxito o del fracaso económico de una planta química. (Fogler, 2008)

La cinética química se ocupa del estudio de la velocidad con que ocurren las reacciones químicas y las variables que afectan a la misma. (Theodore, 2012). Entonces, permite conocer con que velocidad se desarrolla y se aproxima al equilibrio una reacción química, así como cuáles serán

las contribuciones cuantitativas de cada uno de los factores que influyen en la velocidad. (Izquierdo, 2004 pp. 9).

1.3.3.8 Velocidad de reacción:

La velocidad con que se efectúa una reacción química se puede expresar como la velocidad de desaparición de los reactivos o como la velocidad de formación de los productos, por unidad de tiempo. Matemáticamente se define como:

$$-r_A = \frac{dC_A}{dt}$$

La ecuación anterior establece que la velocidad de reacción es igual al cociente de cambio de concentración con respecto al tiempo. Las velocidades expresadas que usan cambios de concentración casi siempre requieren el supuesto de un volumen constante. Las unidades son lbmol / h * ft³ y mol / s * L en los sistemas de ingeniería y métricos, respectivamente. (Theodore, 2012)

Por definición, r_A es negativa, si A se refiere a un reactivo, porque C_A disminuye con el tiempo, en tanto que será positiva, si A se refiere a un producto de la reacción, ya que C_A aumenta con el tiempo. La velocidad es cero si el sistema está en equilibrio. (Theodore, 2012). Ahora, la velocidad de una reacción química es una cantidad intensiva y depende de la temperatura y la concentración. La forma algebraica de la ecuación de velocidad para una reacción irreversible, en cantidades medibles o deseadas se puede expresar como: (Fogler, 2008)

$$-r_A = kC_A^a C_B^b C_C^c \dots C_E^e$$

Donde:

k: Constante de velocidad específica

$C_A, C_B, C_C, \dots C_E$: Concentración de los componentes respectivos (A, B, C.....E)

a,b,c,.....e: Ordenes de reacción

Variables que afectan a la velocidad de reacción:

En los sistemas homogéneos las variables son la temperatura, la presión, la composición, mientras que en los sistemas heterogéneos depende de muchos factores pudiendo ser la velocidad de transporte de materia, transmisión de calor, etc. (Levenspiel, 1999a)

1.3.3.9 Constante de velocidad específica (k)

La constante k casi siempre depende de la temperatura, y sólo es independiente de las concentraciones de las especies que interviene en la reacción. (Fogler, 2001 pp. 69). Fue el gran químico sueco Arrhenius quién primero sugirió que la dependencia de la velocidad de reacción específica, k_A , respecto a la temperatura se podía correlacionar con una ecuación del tipo: (Fogler, 2008 pp.70)

$$k_A(T) = Ae^{-E/RT}$$

Donde:

A = factor pre exponencial o factor de frecuencia

E= energía de activación, J/ mol o cal/ mol

R = constante de los gases

T= temperatura absoluta, K

La energía de activación es la cantidad de energía que garantiza la reacción. Por lo general, el sentido común es que una temperatura más alta hace que las dos moléculas colisionen entre sí con mayor rapidez. La constante de velocidad y la energía de activación se pueden calcular resolviendo la siguiente ecuación: (Mukhtar, 2015)

$$\ln k_A = \ln A - \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} \right)$$

Se ha verificado empíricamente que esta ecuación, da el comportamiento con la temperatura de la mayoría de las constantes de velocidad de reacción hasta donde permite la precisión experimental, dentro de intervalos de temperatura relativamente amplios. (Fogler, 2008 pp.70)

1.3.3.10 Orden de reacción:

El orden de una reacción en la ley de velocidad cinética se refiere a las potencias a las que las concentraciones se elevan.

$$-r_A = kC_A^a C_B^b C_C^c \dots C_E^e$$

Es de orden a respecto al reactivo A, de orden b respecto al reactivo B, y el orden global de la reacción, n, es:

$$n = a + b + c \dots e$$

La dependencia de la velocidad de reacción ($-r_A$) respecto a las concentraciones de las especies presentes, se determina en prácticamente todos los casos por observación experimental. El orden de una reacción no tiene que ser necesariamente un entero respecto a cualquier componente individual, ni el orden global tiene que ser necesariamente un entero. (Fogler, 2008 pp.73-74)

1.3.4.11 Reacción de saponificación

La reacción de saponificación es la hidrólisis de un éster de ácido carboxílico en un medio básico. El papel del álcali en la reacción de saponificación es que rompe el enlace éster y libera la sal de ácido graso y el glicerol. Los ésteres suelen estar presentes en forma de triglicéridos. (Mukhtar et al., 2015)

La representación estequiométrica de la reacción de saponificación entre el acetato de etilo y el hidróxido de sodio, para producir acetato de sodio y etanol, se representa mediante la Figura 3-1.

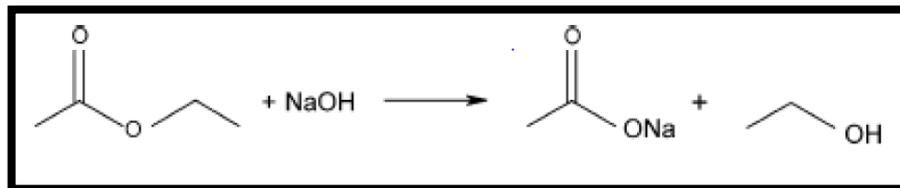


Figura 3-1: Reacción entre el acetato de etilo y el hidróxido de sodio.

Fuente: (Mukhtar et al., 2015)

1.3.4.12 Mecanismo de reacción de la reacción de saponificación

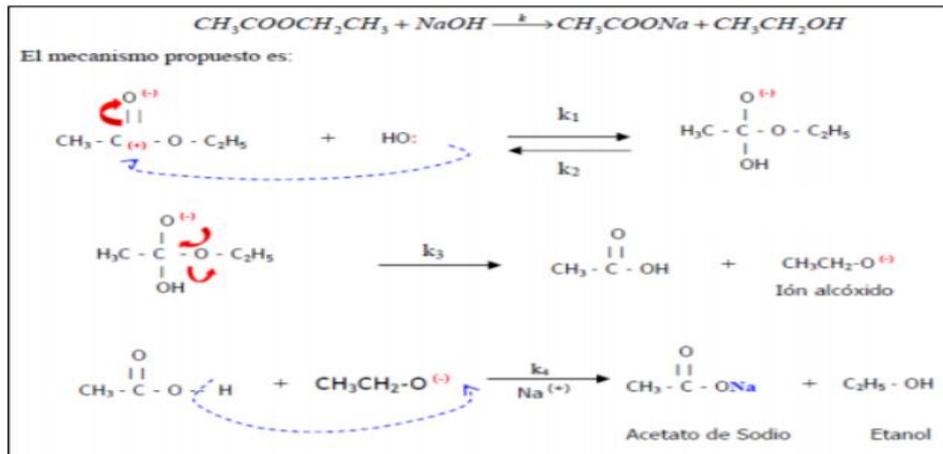


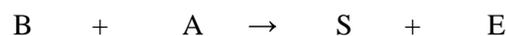
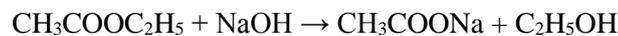
Figura 4-1: Mecanismo de reacción de la saponificación del acetato de etilo y el NaOH

Fuente: (Gutiérrez, Atanes y Cambra, 2012)

El ion hidróxido ataca al carbonilo del éster formando un intermedio tetraédrico. Cuando se regenera el grupo carbonilo se produce la eliminación del ion alcóxido y se forma un ácido carboxílico. Una rápida transferencia de protón forma el carboxilato y el alcohol. Este último paso desplaza los dos equilibrios anteriores del proceso de saponificación hacia su terminación, haciendo que el proceso sea irreversible. (Gutiérrez, Atanes y Cambra, 2012)

1.3.4.13 Cinética química de la reacción de saponificación del acetato de etilo:

La reacción de saponificación del acetato de etilo (AcEt) y el hidróxido de sodio (NaOH) es un total irreversible, no catalítica, de naturaleza levemente exotérmica, y se lleva a cabo en fase homogénea líquida, por tanto, para estos sistemas la densidad es constante. La reacción tiene la siguiente estequiometría: (Mukhtar, 2015)



Cuando los reactantes se introducen en relación estequiométrica, como es el caso de la reacción de saponificación del acetato de etilo, es decir, las concentraciones iniciales de los reactantes hidróxido de sodio (NaOH) y acetato de etilo (AcEt) son iguales ($C_{A0} = C_{B0}$), la ley de velocidad para esta reacción de segundo orden se expresa como: (Levenspiel, 1999a)

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_B C_A = kC_{A0}^2$$

Dónde:

$-r_A$: Velocidad de reacción

k : Constante cinética

C_{B_0}, C_{A_0} : Concentraciones iniciales de los reactivos: hidróxido de sodio y acetato de etilo

C_B, C_A : Concentraciones de los reactivos en cada tiempo

Integrando la ley de velocidad anterior, se obtiene la siguiente ecuación de velocidad para cinética de segundo orden:

$$\frac{1}{k} * \left(\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A_0}} \right) = t$$

Este tiempo t es el que se necesita para reducir la concentración del reactivo en un reactor Batch, desde una concentración inicial C_{A_0} hasta algún valor dado C_A . (Fogler, 2008)

Para la reacción de saponificación de interés, la concentración de hidróxido de sodio debe disminuir a cero a medida que avanza el tiempo. Si se lleva a cabo en un reactor por lotes, la conversión fraccional (X) se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$C_A = \frac{N_A}{V_0} = C_{A_0}(1 - X)$$

La conversión de una reacción química se define como el porcentaje de transformación de los reactivos en productos en una sola pasada. (Levenspiel, 1999a)

Combinado la ecuación de diseño, con la anterior ecuación e integrando, se obtiene el tiempo de reacción en función al a conversión:

$$\frac{dX}{dt} = \frac{r_A}{N_{A_0}} V$$

$$C_A = \frac{N_A}{V_0} = C_{A_0}(1 - X)$$

$$\frac{dX}{dt} = k[C_{A_0}(1 - X)]^2$$

$$t = \frac{1}{k} * \frac{1}{C_{A_0}} \frac{X}{(1 - X)}$$

En esta reacción, los iones hidroxilo se consumen y se producen iones acetato. Dado que los iones hidroxilo son más conductivos, se observa a medida que avanza la reacción. El cambio en la conductividad se utiliza para controlar la hidrólisis alcalina del acetato de etilo.

1.3.4 Acetato de etilo

1.3.4.1 Generalidades

El acetato de etilo es un disolvente importante, que se utiliza sobre todo en la fabricación de pinturas. (Weissermel and Arpe, 1981 pp.178)

El acetato de etilo (éster acético) se obtiene por tres vías: (Weissermel and Arpe, 1981. pp.177)

1. Esterificación de etanol con acético, catalizada por H^+
2. Subproducto de la oxidación del n-butano
3. Reacción de Tishchenko del acetaldehído

1.3.5 Hidróxido de sodio

1.3.5.1 Generalidades

El hidróxido de sodio (NaOH) es una base cáustica. Si se usa NaOH, se forma un jabón duro, mientras que cuando se usa hidróxido de potasio (KOH), se forma un jabón suave. Los aceites vegetales y las grasas animales son ésteres grasos en forma de triglicéridos. El álcali rompe el enlace éster y libera la sal de ácido graso y glicerol. Si es necesario, los jabones pueden precipitarse salados con cloruro de sodio saturado. El valor de saponificación es la cantidad de base requerida para saponificar una muestra de grasa.(Mukhtar, 2015)

1.3.5.2 Propiedades físicas y químicas

Tabla 2.1. Clasificación de algunas propiedades de Hidróxido de Sodio

| Propiedad de la muestra de NaOH | Física o Química | Extensiva o Intensiva |
|---|------------------|-----------------------|
| Sólida | Física | Intensiva |
| Blanca | Física | Intensiva |
| Masa 1,75g | Física | Extensiva |
| Es soluble en agua y en alcohol | Física | Intensiva |
| Se disuelve, con desprendimiento de calor, en HCl diluido | Química | Intensiva |
| Densidad 2,13 g/ ml | Física | Intensiva |
| Punto de fusión 323 °C | Física | Intensiva |

Fuente: (Mukhtar, 2015)

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

1.3.6 Diseño de reactores

El diseño de reactores químicos es la parte de la ingeniería específica del ingeniero químico, y tal vez esta actividad justifica, más que ninguna otra, la existencia de la ingeniería química como una rama distinta de la ingeniería. (Levenspiel, 1999a)

En el diseño de un reactor químico hemos de responder a dos preguntas: (Levenspiel, 1999a)

1.- ¿Qué cambios hemos de esperar que ocurran?

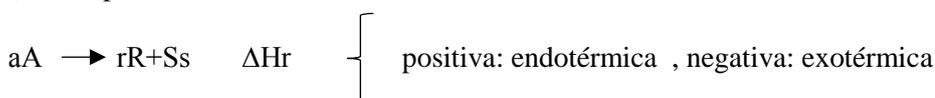
2.- Con qué rapidez tendrá lugar

La primera pregunta concierne a la termodinámica y la segunda a los diferentes procesos de velocidad (cinética química, transmisión de calor, etc.). (Levenspiel, 1999a)

Termodinámica

La termodinámica suministra dos fuentes importantes de información necesarias para el diseño: el calor despedido o absorbido durante la reacción y la extensión máxima posible de la misma. (Levenspiel, 1999a)

Las reacciones químicas van siempre acompañadas de liberación o absorción de calor, cuya magnitud ha de conocerse para efectuar el diseño adecuado. Consideremos la reacción: (Levenspiel, 1999a)



El calor de reacción a la temperatura T, es el calor transferido desde los alrededores al sistema reaccionante cuando las moles de A desaparecen para formar r moles de R y s moles de S, suponiendo el sistema a la misma temperatura y presión antes y después de la reacción. Puede calcularse la magnitud de los efectos caloríficos durante la reacción conocidos los calores de reacción, o estimados a partir de datos termodinámicos.(Levenspiel, 1999a)

1.3.7 Reactor tipo Batch

Tabla 3-1. Ventajas y desventajas del uso del reactor Batch

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|---|
| Se pueden alcanzar altas conversiones dejando los reactantes por largos periodos de tiempo de reacción. | Requiere un ciclo de operación complicado |
| Bajo costo inicial | Mayor costo de operación |
| Puede ser usado para varias reacciones consecutivamente. | Difícil producción a gran escala |
| Buenos para obtener datos cinéticos y mientras se está en una etapa de testeo | Largos períodos de tiempo muerto |
| Su operación es sencilla | Elevados costos de mano de obra |
| Fácil de operar y limpiar | La calidad del producto es más variable |

Fuente: (Nuñez y Udeos, 2015)

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, I., 2019

1.3.7.1 Ecuaciones de diseño

En un reactor discontinuo la composición es uniforme en cada instante, podemos efectuar el balance referido a todo el reactor. Teniendo en cuenta que durante la reacción no entra ni sale fluido del sistema:(Levenspiel, 1999a)

$$\text{Entrada} = \text{salida} + \text{desaparición} + \text{acumulación}$$

O bien

$$+ \left(\begin{array}{c} \text{Velocidad de desaparición} \\ \text{del reactante A en el reactor} \\ \text{debido a reacción química} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Velocidad de acumulación} \\ \text{del reactante A en el reactor} \end{array} \right)$$

Evaluando los términos de la ecuación anterior tenemos:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Desaparición de} \\ \text{A por reacción,} \\ \text{mol/tiempo} \end{array} \right) = (-r_A) V = \left(\begin{array}{c} \text{Moles de A que} \\ \text{reaccionan} \\ \hline \text{(Tiempo)(Volumen} \\ \text{de fluido)} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Volumen de fluido} \end{array} \right)$$

$$\left(\begin{array}{c} \text{Acumulación de A,} \\ \text{mol/ tiempo} \end{array} \right) = \frac{dNA}{dt} = \frac{d[N_{A0}(1-X_A)]}{dt} = -N_{A0} \frac{dX_A}{dt}$$

Sustituyendo en la ecuación:

$$(-r_A) V = N_{A0} \frac{dX_A}{dt}$$

Efectuando operaciones e integrando, resulta:

$$t = N_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-r_A)V}$$

Ésta es la ecuación general que nos da el tiempo necesario para que se alcance una conversión X_A , en condiciones de operación exotérmicas o no isotérmicas; el volumen del fluido reaccionante y la velocidad de reacción quedan bajo el signo integral porque, en general, varían durante el transcurso de la reacción.

Esta ecuación puede simplificarse en muchos casos. Si la densidad del fluido permanece constante:

$$t = C_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-r_A)} = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{(-r_A)}$$

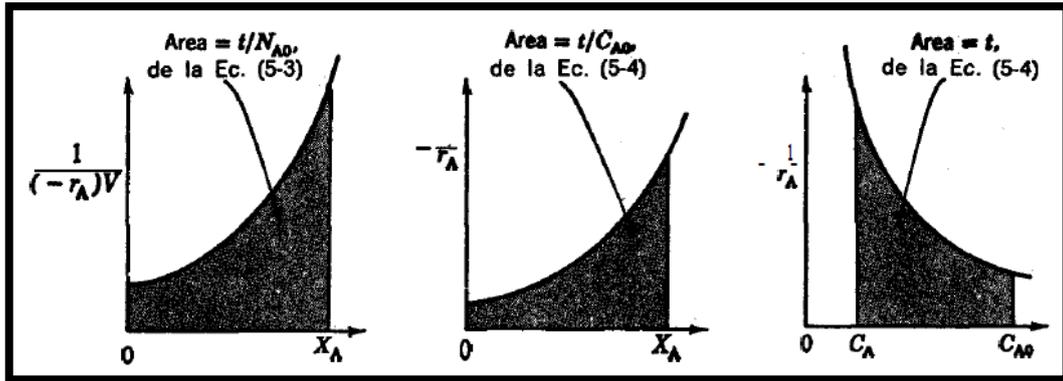


Figura 5-1. Representación gráfica de las ecuaciones de diseño para reactores discontinuos, en condiciones de funcionamiento isotérmico y no isotérmico.

Fuente:(Levenspiel, 1999a)

Del mismo modo que el tiempo t de reacción es la medida natural de la velocidad del proceso, el tiempo y la velocidad espacial son las medidas adecuadas para el diseño de los reactores de flujo. Estos términos se definen del modo siguiente:

Tiempo espacial

$$\tau = \frac{1}{s} = \left(\begin{array}{l} \text{Tiempo necesario para tratar un volumen de} \\ \text{alimentación igual al volumen del reactor,} \\ \text{medido en condiciones determinadas} \end{array} \right) = (\text{tiempo})$$

Velocidad espacial

$$S = \frac{1}{\tau} = \left(\begin{array}{l} \text{Numero de volúmenes de la alimentación en} \\ \text{condiciones determinadas que puede tratarse} \\ \text{en la unidad de tiempo, medidos en volúmenes} \\ \text{de reactor.} \end{array} \right) = (\text{tiempo}^{-1})$$

Es decir, una velocidad espacial de 5 h⁻¹, significa que el volumen de alimentación que se trata en el reactor cada hora (medido en condiciones determinadas) es igual a cinco veces el volumen del reactor. Un tiempo espacial de 2 min, significa que cada dos minutos se trata en el reactor un volumen de alimentación (medido en condiciones determinadas) igual al volumen del reactor.(Levenspiel, 1999a)

1.3.8 Relación de la conductividad eléctrica con la concentración de los reactantes.

La conductividad electrolítica es una herramienta que ayuda a estudiar el proceso de transporte de cargas en soluciones electrolíticas. (Li et al., 2006). La técnica conductimétrica, que depende de la medición de conductividad para determinar la composición, fue reportada por Walker.

En la reacción de acetato de etilo ($\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$) con hidróxido de sodio ($\text{Na}^+ \text{OH}^-$) para dar acetato de sodio ($\text{CH}_3\text{COO}^- \text{Na}^+$) y etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), el ion OH^- es el que únicamente participa en la medición de la conductividad, ya que los demás componentes de la reacción no son iónicos, por tanto, no afecta en la medición conductimétrica. Entonces se concluye que la conductividad molar del ion OH^- es mayor que la del ion acetato, y por lo mismo, la velocidad con que se desarrolla la reacción va a depender solo de la concentración de NaOH . (Al Mesfer, 2018)

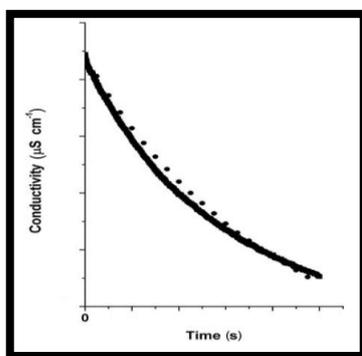


Figura 6-1. Diagrama de conductividad en tiempo real contra el tiempo.

Fuente: (Das et al., 2011)

En la gráfica conductividad vs tiempo, la conductividad ira disminuyendo conforme la reacción avanzaba hacia su finalización, es decir conforme los iones OH^- vayan consumiéndose. (Das et al., 2011)

1.3.9 Agitación y mezclado

Los recipientes de mezcla equipados con algún tipo de agitador son los más utilizado para mezclar líquidos y preparar soluciones. (Sinnott, 2005)

La agitación se refiere al movimiento inducido de un material en una forma específica, generalmente con un modelo circulatorio dentro de algún tipo de contenedor. La mezcla es una distribución al azar de dos o más fases inicialmente separadas. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

Los principales propósitos de un sistema de agitación son los siguientes:

- Mezclar líquidos miscibles.
- Dispersión de un gas en un líquido.
- Impulsar la transferencia de calor.
- Suspensión de partículas sólidas.
- Dispersión de fases inmiscibles.

1.3.9.1 Modelos de flujos de tanques agitados

En la Figura 7-1 se muestra una disposición típica del agitador y los deflectores en un tanque agitado, y el patrón de flujo generado. La mezcla se produce a través del flujo masivo del líquido y, a escala microscópica, por el movimiento de los remolinos turbulentos creados por el agitador. El flujo a granel es el mecanismo de mezcla predominante requerido para la mezcla de líquidos miscibles y para la suspensión de sólidos. La mezcla turbulenta es importante en operaciones que involucran transferencia de masa y calor, lo que puede considerarse como procesos de cizallamiento controlado. (Sinnott, 2005)

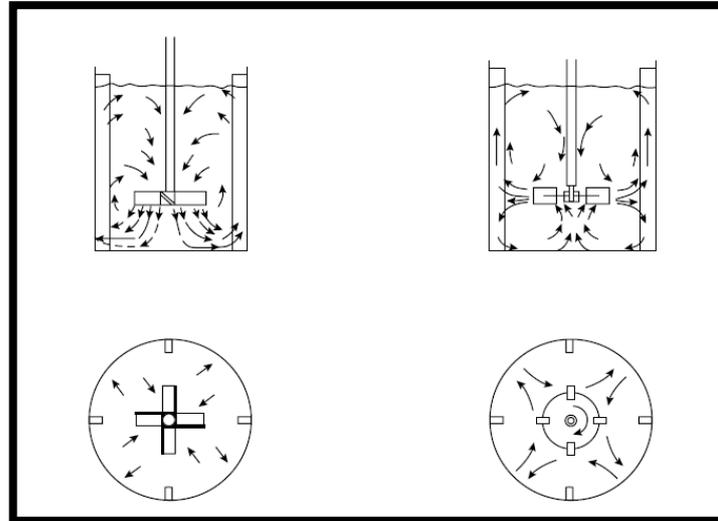


Figura 7-1. Arreglos de agitador y patrones de flujo.

Fuente: (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

En los agitadores de tipo radial, hay poco intercambio de fluido, pero, proporciona bastante corte que puede provocar que dos fluidos inmiscibles se dispersen entre sí, por lo que pueden ser adecuados para la formación de emulsiones, y la dispersión de fases inmiscibles, como un gas en

un líquido. En los de tipo axial no hay formación de regiones, sin embargo, se observa que las líneas de trayectoria se distribuyen a lo largo de toda la altura del tanque, por lo que el mezclado es más homogéneo que con los del tipo radial, promoviendo así un mezclado más uniforme a lo largo de la altura del tanque. En este último tipo de agitadores, la eficiencia será mayor, ya que se promueve el bombeo sobre el corte. (Uribe Ramírez et al., 2012)

1.3.10 Tipos de agitadores.

1.3.10.1 Agitador de paleta, ancla y cinta helicoidal

Los agitadores de paleta, ancla y cinta helicoidal se utilizan para fluidos viscosos. (Sinnott, 2005). Las palas giran a bajas o moderadas velocidades en el centro del estanque, impulsando el líquido radial y tangencialmente, sin que haya prácticamente movimiento vertical a excepción de que las placas se encuentren inclinadas, son frecuentes los agitadores de dos y cuatro palas. Los agitadores de palas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm aproximadamente. La longitud total de un rodete de palas comprende entre el 50 y el 80 % del diámetro interior del estanque y la anchura de la pala es de $1/6$ a $1/10$ de su longitud. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

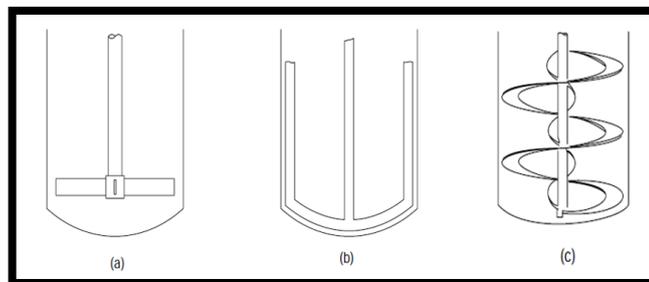


Figura 8-1. Agitadores; (a) paletas, (b) ancla, (c) cinta Helicoidal

Fuente: (Sinnott, 2005)

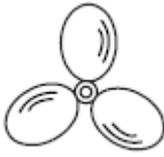
1.3.10.2 Agitador de hélice

Los agitadores de hélice son esencialmente dispositivos de flujo axial, adecuados para homogenizar estanques de gran tamaño, suspender fluidos y favorecer el intercambio de calor, trabaja a altas velocidades y se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices pequeñas giran entre 1150 y 1750 rpm; las hélices grandes giran entre 400 y 800 rpm. Las corrientes de flujo que

salen del impulsor continúan a través del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo o las paredes del estanque. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

Tabla 4-1. Características del agitador tipo hélice

| Agitador tipo hélice | |
|--------------------------|------------|
| Descripción | |
| N paletas o alabes: | 3 |
| Campo de flujo generado: | Axial |
| Régimen alcanzado: | Turbulento |
| Velocidad tangencial: | 3-15 m/s |
| Viscosidad del medio: | < 8 Pa.s |



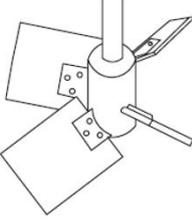
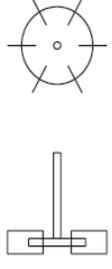
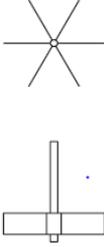
Fuente: (Sinnott, 2005)

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, I., 2019

1.3.10.3 Agitador de turbinas.

El agitador de turbina es eficaz para un amplio intervalo de viscosidades. Se compone generalmente de numerosas palas cortas, que giran a velocidades medias de 100 a 300 rpm y elevadas de 300 a 1000 rpm, sobre un eje montado centralmente en el estanque. Las placas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El impulsor puede ser abierto, semi-cerrado o cerrado. El diámetro puede variar entre un 30 y un 50 % del diámetro del estanque. En líquidos de baja viscosidad los impulsores de turbina generan fuertes corrientes que se distribuyen por todo el estanque, destruyendo bolsas de fluido estancado. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Los componentes tangenciales inducen la formación de vórtices y remolinos, los que se evitan utilizando placas deflectoras o mediante un anillo difusor.(McCabe, Smith y Harriott, 1991)

Tabla 5-1. Características de los tipos de agitadores de turbinas

| Tipo de turbinas | Hojas inclinadas | Hojas planas y disco | Hojas planas |
|--------------------------|---|--|---|
| Características |  |  |  |
| N paletas o alabes: | 3 | 6 | - |
| Campo de flujo generado: | Axial/Radial | Radial | Radial |
| Régimen alcanzado: | De transición/ Turbulento | Turbulento | - |
| Velocidad tangencial: | 3-8 m/s | 3-7 m/s | - |
| Viscosidad del medio: | Hasta 100 Pa.s | Hasta 10 Pa.s | Hasta 0.1 Pa.s |

Fuente: (Castillo Uribe, 2013)

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, I., 2019

1.3.11 Principio de la semejanza:

El principio de la semejanza relaciona los sistemas físicos de tamaños diferentes y es importante para el escalado de procesos químicos y bioquímicos. Newton fue quien, enunció por primera vez el principio de la semejanza, para sistemas compuestos por partículas sólidas en movimiento. Este enunciado tenía su aplicación práctica inicial en sistemas fluidos, campo en el cual sigue siendo útil. (Páez Lara, 2011)

En el ámbito de la ingeniería química, se aplicó el principio de la semejanza, en la correlación del rendimiento de mezcladores de propelas, paletas y turbinas, semejantes geométricamente, y luego se aplicó a otros ámbitos más complejos y específicos, culminando en el estudio de la semejanza química en reactores. (Urbano, 2016)

1.3.12 Ecuaciones de diseño de un agitador:

El diseñador de un tanque agitado dispone de un gran número, que no es habitual, de elecciones sobre el tipo y localización del agitador, las proporciones del tanque, el número y dimensiones de las placas deflectoras, etc. Cada una de estas decisiones afecta a la velocidad de circulación del líquido, los modelos de velocidad y el consumo de potencia.

1.3.13 Fenómenos de transporte que rige la agitación

1.3.13.1 Potencia de agitación

Un factor importante en el diseño de un tanque agitado es la potencia que se requiere para mover el agitador. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

Para calcular la potencia que se requiere para hacer girar un agitador dado, con una velocidad determinada, es preciso disponer de correlaciones empíricas del número de potencia en función de las medidas importantes del tanque, el diámetro del agitador D_a , la viscosidad μ , y la densidad ρ del líquido, la velocidad de giro N , y, puesto que se aplica la ley de Newton, la constante adimensional g_c . También deben de estar fijados el número y disposición de las placas deflectoras, así como el número de palas del agitador. (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

Cuando el líquido es newtoniano, la potencia P es una función de las variables mencionadas, es decir;

$$P = f(D_a, \mu, \rho, N, g_c) Ec.$$

Todas las variables mencionadas se pueden determinar mediante ecuaciones y graficas que se describen a continuación:

- El número de potencia (N_p) :

Es análogo a un factor de fricción o a un coeficiente de rozamiento. Es proporcional a la relación entre la fuerza de rozamiento que actúa sobre una unidad de área del rodete y la fuerza inercial. La fuerza inercial, a su vez, está relacionada con el flujo de cantidad de movimiento correspondiente al movimiento global del fluido. Este se define como: (McCabe, Smith y Harriott, 1991)

$$N_p = \frac{P}{g_c * N^3 * D_a^5 * \rho_{mezcla}}$$

Donde:

N_p = número de potencia (adimensional).

N = velocidad del agitador.

ρ_{mezcla} = viscosidad de la mezcla

P = potencia de agitación (HP)

g_c : Gravedad específica

El número de potencia se determina a partir de las gráficas de correlaciones de potencia. Ver Anexo H.

- Numero de Reynolds N_R

Es un numero adimensional que permite conocer el régimen de flujo del fluido. Relaciona la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido y la fuerza viscosa. Se ha demostrado experimentalmente que el carácter de un flujo dentro de un reactor depende de las siguientes cuatro variables:(Mott, 2006)

$$N_R = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu}$$

Dónde:

D_a =Diámetro del agitador

N =Número de revoluciones por segundo

ρ =Densidad de la mezcla

μ =viscosidad de la mezcla fluido

El flujo alrededor del agitador se considera laminar cuando $N_R < 10$, en esta región el N_p es inversamente proporcional al N_R ; el flujo es parcialmente laminar cuando $N_R > 10$; es turbulento cuando $N_R < 10^3$ y, el flujo es transitorio cuando el $N_R > 10^3$.

- Velocidad de agitación:

Para que un tanque de proceso sea eficaz, con independencia del problema de agitación, el volumen de fluido movido por el agitador debe ser suficiente para llevar las corrientes hasta las partes más remotas del tanque. La turbulencia es una consecuencia de que las corrientes estén adecuadamente dirigidas y de que se generen grandes gradientes de velocidad en el líquido.(McCabe, Smith y Harriott, 1991)

En general, se utilizan grandes agitadores que se mueven a velocidades medias para promover el flujo, y agitadores más pequeños a velocidad elevada cuando lo que se requiere es una elevada turbulencia interna.(McCabe, Smith y Harriott, 1991)

Para reactores de volúmenes que van de 30 a 250 litros para plantas piloto, la agitación en estos equipos puede ir de 0 a 2400 revoluciones por minuto.(Coronel Aguilar, 2014)

Viscosidad es el parámetro que varía enormemente y determinará la selección de la velocidad de agitación para obtener un compromiso con la potencia consumida.

- Potencia

Si se despeja la potencia de la ecuación del número de potencia, se calcula la potencia requerida para el agitador

$$P = \frac{Np * N^3 * D_a^5 * \rho_{mezcla}}{g_c}$$

La potencia calculada será la requerida para el agitador correspondiente.

1.3.13.2 Transferencia de calor

Para reactores de tanque agitado, la transferencia de calor está regulada por el diseño del reactor en términos de la configuración del recipiente, el tipo de superficie de calentamiento, el tipo de agitador y su arreglo dentro del recipiente, etc. La correlación de transferencia de calor es básicamente de naturaleza empírica y se han realizado intentos para definir un reactor con tanque agitado estándar, que pueda utilizarse como base en el análisis, para desarrollar una correlación empírica "estándar". (Perry, 1992)

1.3.13.3 Transferencia de masa

Cuando existe un gradiente de concentración del componente, y el medio es un fluido en reposo, la transferencia de materia se realiza por flujo molecular, siendo debida únicamente a la difusión molecular. Al considerar un tanque de mezcla perfectamente agitado, la composición no varía con la posición. (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005)

1.4 Beneficiarios directos e indirectos.

Los beneficiarios directos de la construcción del reactor de saponificación del laboratorio serán los estudiantes actuales y los de las futuras generaciones de ingenieros de la facultad de Ciencias, y de esta forma cubrir todas las prácticas de laboratorio programadas en cada periodo.

Un reactor discontinuo permite producciones a pequeña escala, siendo sus ventajas la alta conversión por volumen y la flexibilidad de operación entre productos. Debido a esto, los beneficiarios indirectos del reactor discontinuo de saponificación serán las diferentes facultades de las que está constituida la ESPOCH. Además, se verán beneficiados indirectamente las autoridades y docentes al contar con herramientas didácticas para la formación de profesionales de calidad.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 Objetivo General

- Diseñar y construir un reactor discontinuo de saponificación para el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar el proceso de saponificación a escala de laboratorio.
- Definir las variables del diseño del reactor discontinuo de saponificación.
- Efectuar los cálculos de dimensionamiento del reactor de saponificación.
- Validar el proceso de saponificación en el equipo.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del proyecto.

El presente proyecto técnico se desarrollará e implementará en la ciudad de Riobamba en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química en el laboratorio de Procesos Industriales, ubicado en la panamericana sur Km 1 ½, siendo las coordenadas de longitud 78°40'20'' oeste a una altitud de 2815 m.s.n.m.



Figura 1-3. Localización geográfica del laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias – ESPOCH

Fuente: Google Maps

Datos geográficos de la ESPOCH:

- Límites: Norte; limita con el barrio 24 de mayo y la Av. Canónigo Ramos. Sur: limita con la Av. Pedro Vicente Maldonado y el Barrio de los Maestros. Este: limita con la Av. 11 de noviembre. Oeste: limita con la Av. by Pass.
- Rango altitudinal: Está ubicada a 2754 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar).
- Clima: Temperatura Promedio 15°C
- Localizaciones coordenadas Utm: 17 M 758393.95 m E UTM 9817026.05 m S

- Localizaciones coordinadas geográficas: 78°40'39.24" de longitud occidental y a 1°39'14.58" de latitud sur.

3.2 Ingeniería del Proyecto.

El presente estudio, tiene como propósito el diseño de Reactor Discontinuo de Saponificación, mismo que será utilizado para la elaboración de jabón líquido en el laboratorio de Procesos Industriales.

El proyecto utilizará métodos deductivos e inductivos; ya que con estos métodos llegaremos a la recopilación de datos para así tomar decisiones para el diseño y construcción del equipo.

Posterior a la recopilación bibliográfica, se realizará el estudio cinético de la reacción de saponificación, donde se determinarán; el tiempo de residencia, conductividad, temperatura, velocidad de reacción, entre otras, para de ésta manera establecer los criterios de diseño y en base a modelos teóricos establecer su construcción. Se tomará como referencia la reacción de saponificación del acetato de etilo con el hidróxido de sodio por ser la más utilizada en el estudio del comportamiento de los reactores químicos. El tiempo de residencia se utiliza para comparar la velocidad de reacción, y la conductividad se utiliza para encontrar la conversión de la reacción, determinando así la eficiencia del reactor.

En principio, todo proceso que implique una transformación química surge de la oportunidad de obtener un producto con un valor agregado a partir de materias primas. Desde este punto de vista, las reacciones son el primer punto de atención y, por ende, el reactor que será la entidad física asociada a estas reacciones deberá ser estudiado en las etapas más tempranas del diseño; solo cuando hayan sido especificadas las variables que lo definen, será posible comenzar a atender los sistemas de separación que dependen en principio de la calidad que se necesita para alimentar las materias primas al reactor y en seguida de la purificación que requieren los productos que lo abandonan. Asimismo, dependiendo del análisis de la reacción, se establece la fase del sistema reaccionante, lo cual impacta directamente en el estilo de reactor seleccionado y, posteriormente, en los intercambios energéticos que logran asegurar el alimento y el producto del reactor a las condiciones especificadas a través de la planta de proceso. (Ruoff y Frontier press company, 1919)

3.2.1 Método inductivo

Intervienen las operaciones que van de lo simple a lo complejo, se caracterizan porque tienen una síntesis. Tomando en cuenta las propiedades de la mezcla reaccionante como: densidad, viscosidad, pH, etc., así como las condiciones de funcionamiento del mezclador se tiene una elección correcta del material (acero de buena calidad, anticorrosivo) e implementos para el reactor de saponificación, así como, determinar las variables que intervienen en el proceso de agitación y mezclado y en la reacción de saponificación.

Mediante determinaciones de laboratorio se obtuvieron los parámetros específicos requeridos (temperatura y concentración), los cuales van a convertirse en nuestro punto de partida para el dimensionamiento del reactor apropiado

3.2.2 Método deductivo

En el desarrollo de dicho estudio se toma como base fundamentos y principios de Cálculos Básicos, Ingeniería de Reacciones y Operaciones Unitarias, partiendo así al diseño y construcción del reactor de saponificación, mediante la selección adecuada de los materiales para su respectivo dimensionamiento.

Una vez analizada la necesidad de un reactor de saponificación para el laboratorio de Procesos Industriales, se formula la propuesta del diseño y construcción del equipo, mediante la selección adecuada de los materiales para su posterior dimensionamiento, para obtener los cálculos necesarios y la determinación de las variables del proceso. Este proyecto presenta una viabilidad económica y representará un aporte al conocimiento de los estudiantes de toda la facultad de Ciencias.

3.2.3 Técnicas

Estas técnicas son fundamentales en el proceso de la investigación científica, ya que constituye la estructura por medio de la cual se organiza el diseño, a través de formas generales la cual permitirá la recopilación de información y datos; las mismas que permitirán enunciar las teorías

que se basan en el estudio de los fenómenos y procesos durante la construcción del reactor de saponificación. Ver Anexo M

3.2.4 Método experimental

Permite conocer e investigar propiedades de los fenómenos que en condiciones naturales sería muy difícil revelarlas. Para la construcción del equipo es necesario considerar las normas de diseño: volumen, altura, potencia de agitación, tipo de paletas y una vez construido el equipo realizar ensayos de: densidad, viscosidad, pH, para comprobar la calidad del producto elaborado.

Este método nos ayuda a determinar las variables de diseño como: velocidad de reacción, volumen del reactor, tiempo de residencia, temperatura, velocidad de reacción, que serán necesarias para el diseño y construcción del reactor de saponificación.

Para el diseño del agitador se construyeron 3 tipos de aspas, para cada modelo se realizaron pruebas ensayo- error para determinar el sistema de agitación óptimo pudiendo obtener una mezcla homogénea, sin grumos y sin pérdidas de materia prima

Finalizado el diseño y construcción del reactor de saponificación se debe realizar prácticas de laboratorio verificando las propiedades físicas y químicas del producto.

Método Físico (Conductimetría)

Este método es aplicable cuando la reacción involucra iones, ya que la concentración varía con el tiempo y por lo tanto también varía la conductividad de la solución. La conductividad de un ion depende de la movilidad iónica, que a su vez depende del tamaño del ion; desde el momento en que los reactivos se mezclan, la conductividad a lo largo de la reacción irá disminuyendo. Como el Hidróxido es un electrolito fuerte, su conductividad puede considerarse proporcional a su respectiva concentración. Haciendo uso de esta característica se pueden calcular concentraciones a partir de la conductividad.(Nuñez y Udeos, 2015)

Método integral de análisis

En el método integral seleccionamos una forma de ecuación cinética. Una vez integrada esta ecuación, de su forma se deducen las coordenadas que han de tomarse para que la representación del tiempo frente a una función de la concentración sea una recta. Si los datos experimentales se distribuyen sobre una recta, decimos que es satisfactoria la ecuación cinética seleccionada (Levenspiel, 1999a). El método integral se usa con mayor frecuencia cuando se conoce el orden de reacción y se desea evaluar constantes de velocidad de reacción específicas a diferentes temperaturas para determinar el orden y la energía de activación (Abbas Mustafa, 2010).

3.2.4. 1 Cinética química de la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio

Descripción:

Se realizaron pruebas en el laboratorio, para determinar los datos necesarios para la operación del reactor discontinuo, en estos ensayos se utilizó muestras de acetato de etilo e hidróxido de sodio en concentraciones equimolares de 0.05M. Estas disoluciones fueron sometidas a diferentes temperaturas 22°C; 40°C y 50°C, se realizaron con un volumen de 500 ml y con una velocidad de 250 rpm. Todo esto con el fin de determinar la velocidad de reacción y la temperatura idónea para que se dé una reacción de segundo orden como está establecido teóricamente, para lo cual se midió el pH y la conductividad cada 2 minutos hasta que la reacción se estabiliza (45 min aproximadamente a temperatura ambiente).

Equipo:

Para realizar la parte experimental se montó un prototipo de un reactor discontinuo, en el Laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, como se observa en el Anexo E. En cuanto al sistema de agitación se utilizó un agitador magnético marca Fisher Scientific, mismo que operó a una velocidad de 250 rpm. Para el control de la temperatura (40°C y 50°C) de las disoluciones, se utilizó un baño termostático, que consiste en un baño de agua de temperatura controlada, como se observa en el Anexo E. Finalmente se midió la conductividad en mS/cm, con un conductímetro marca HACH.

Variables experimentales:

Los reactivos utilizados para la reacción de saponificación son: acetato de etilo e hidróxido de sodio, estos reaccionan para formar etanol y acetato de sodio. La concentración inicial de carga para cada reactante es de 0.04926 M. El reactor montado de tipo discontinuo funcionó a

temperatura ambiente (22 ° C), 40 ° C y 50 ° C y cada lote funcionó durante 55, 14, y 10 minutos respectivamente, con una medición de conductividad cada 2 minutos.

Procedimiento analítico:

La conductividad del reactor discontinuo se registró a lo largo de 50, 14 y 10 minutos y se usó para medir la concentración del hidróxido de sodio en función del tiempo.

Se utilizó las siguientes ecuaciones para calcular la concentración de NaOH en función del tiempo de la reacción en estudio.

$$f_{NaOH} = \frac{\lambda_i}{C_{AO}}$$

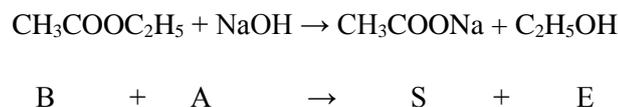
$$f_{NaAc} = \frac{\lambda_f}{C_{SO}}$$

$$C_{NaOH} = \frac{\lambda_m - f_{NaOH} * C_{AO}}{f_{NaOH} - f_{NaAc}}$$

Donde f_{NaOH} es el factor de proporcionalidad del NaOH, f_{NaAc} es el factor de proporcionalidad del acetato de sodio, λ_i es la conductividad inicial del hidróxido de sodio puro, C_{AO} es la concentración inicial del hidróxido de sodio, C_{SO} es la concentración inicial del acetato de sodio λ_f es la conductividad final de la mezcla, λ_m es la conductividad de la mezcla inicial.

Determinación de los parámetros cinéticos (método integral):

1. Ecuación estequiométrica de la reacción:



2. Ley de velocidad; fase líquida, a densidad constante, ($C_A=C_B$):

$$-r_A = kC_A^2$$

Se integró la ley de velocidad para una reacción de segundo orden, y se determinó el orden de reacción experimental.

$$\frac{1}{C_A} = k * t + \frac{1}{C_{AO}}$$

$$y = m * x + b$$

Donde C_A es la concentración del hidróxido de sodio, k es la constante de velocidad de reacción, t es el tiempo y C_{A0} es la concentración inicial de hidróxido de sodio. Al trazar la concentración inversa en función del tiempo, la pendiente indica la constante de velocidad de reacción, como se muestra en las siguientes gráficas:

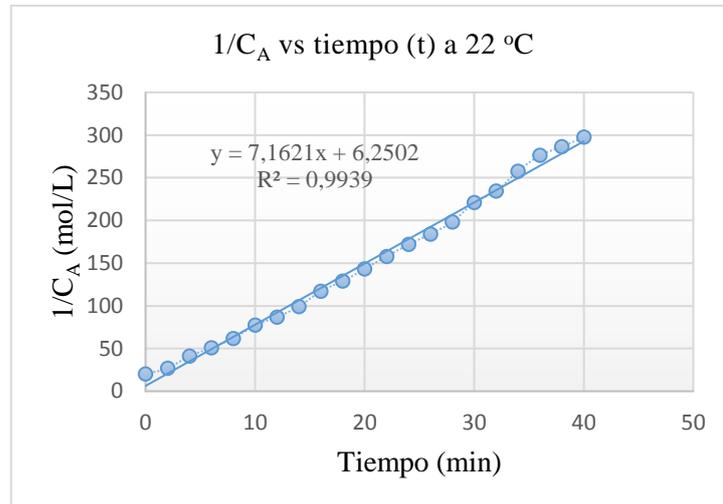


Gráfico 1-3. 1/C_A vs tiempo (t) a 22°C

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

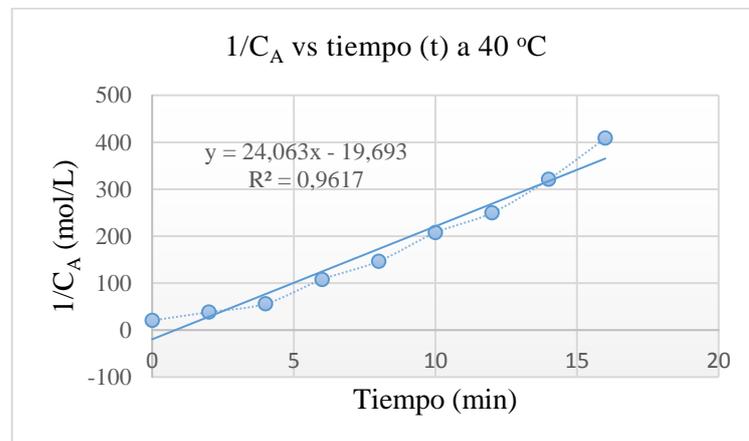


Gráfico 2-3. 1/C_A vs tiempo (t) a 40 °C

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

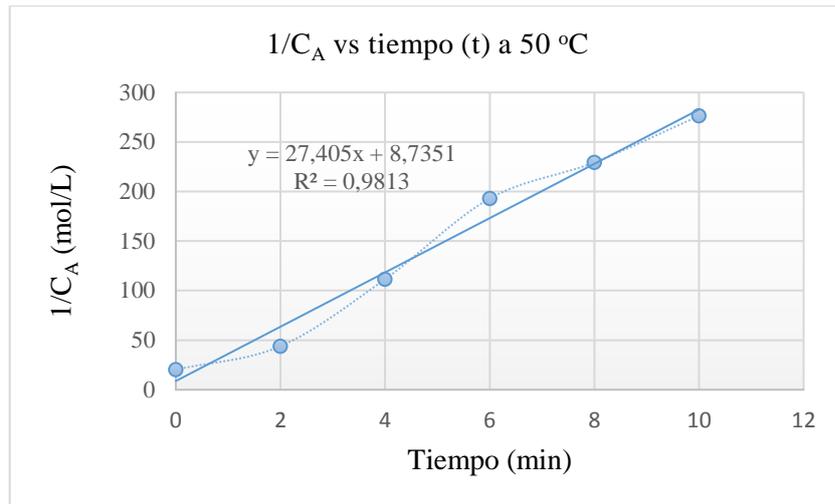


Gráfico 3-3. 1/CH vs tiempo (t) a 50 °C

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Puesto que la reacción de acetato de etilo es una reacción equimolar de segundo orden, la concentración de hidróxido de sodio se calculó de la siguiente manera.

Donde la concentración del NaOH en cualquier instante t es:

$$C_A = \frac{1}{\frac{1}{C_{AO}} + k * t}$$

Donde C_{OA} , es la concentración inicial de hidróxido de sodio y t es el tiempo de reacción.

El tiempo t es el que se necesita para reducir la concentración del NaOH en un reactor Batch, desde la concentración inicial de 0.04926 mol/L hasta algún valor dado de C_H .

3. Conversión de hidróxido de sodio, a $t=30$ min.

$$C_A = C_{AO}(1 - X),$$

Conversión para reactor discontinuo

$$X_A = 1 - \frac{C_A}{C_{AO}}$$

$$X_A = 1 - \frac{0,0045256197}{0,04926} = 0.90 * 100\% = 90\%$$

Donde C_{AO} es la concentración inicial y C_A es la concentración de hidróxido de sodio medida en el tiempo $t=30$ min.

4. Cálculo del tiempo de residencia en función a la conversión:

Fuente:

$$t = \frac{1}{k} * \frac{1}{C_{AO}} \frac{X}{(1 - X)}$$

El tiempo t , es el necesario para alcanzar una conversión del 99% dada, para una reacción de acetato de etilo con hidróxido de sodio, irreversible y de segundo orden, en un reactor Batch.

Tabla 1-3. Tiempos y constantes específicas a varias temperaturas

| X=99% | $C_{AO}=0,05$ | |
|--------|---------------|---------|
| T (°C) | k (T) | t (min) |
| 20 | 0,08560 | 69 |
| 22 | 0,11936 | 54 |
| 25 | 0,14439 | 41 |
| 30 | 0,20317 | 29 |
| 35 | 0,26195 | 23 |
| 40 | 0,35272 | 18 |
| 45 | 0,37952 | 16 |
| 50 | 0,48268 | 14 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

3.2.5 Determinación de los parámetros de Arrhenius, (método gráfico):

La reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio se analizó en el reactor discontinuo que se montó en el laboratorio, descrito anteriormente. Mismo que funcionó a temperatura ambiente (22 °C), 40 °C y 50 °C. Utilizando la constante de velocidad de reacción a diferentes temperaturas, se determinaron la energía de activación y el factor de frecuencia de la reacción en estudio.

Tabla 2-3. Datos de la constante cinética (k) de los experimentos a 22°C, 40 °C y 50 °C

| Experimento | Temperatura (°C) | Constante de velocidad (k) | Temperatura (K) | 1/T | ln k |
|-------------|------------------|----------------------------|-----------------|----------|----------|
| 1 | 22 | 0,11937 | 295,15 | 0,003388 | -2,12554 |
| 2 | 40 | 0,36251 | 313,15 | 0,003193 | -1,0147 |
| 3 | 50 | 0,45676 | 323,15 | 0,003095 | -0,78361 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

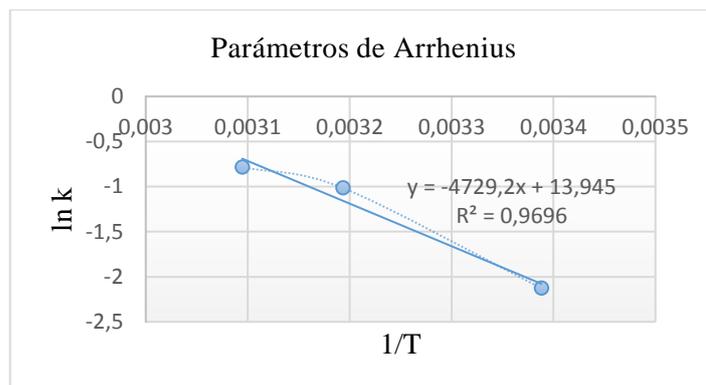


Gráfico 4-3. Parámetros de Arrhenius

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

1. Ecuación de Arrhenius:

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

$$\ln k = \left(-\frac{E_a}{R}\right)\frac{1}{T} + \ln A$$

2. Cálculo de la energía de activación E_a :

$$y = mx + b$$

$$\ln k = -4729,2\frac{1}{T} + 13,945$$

Donde:

$$m = -\frac{E_a}{R} = -4729,2$$

$$E_a = -\left(-4729,2 \text{ K} * 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}}\right) = 39318 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

3. Cálculo del factor de frecuencia A:

$$\ln A = 13,945$$

$$A = e^{13,945} = 1,14 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$$

4. Cálculo de la constante de velocidad k a 22°C:

$$k = Ae^{\frac{E_a}{RT}}$$

$$k = 1,14 \times 10^{06} \left(e^{-\left(\frac{4719,2}{8.314 \cdot 295.15}\right)} \right)$$

$$k = 0.1194s^{-1}$$

3.2.7.1 Determinación de la viscosidad del jabón líquido



Figura 2-3. Viscosidad de la muestra

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Tabla 3-3. Datos característico-necesarios para el dimensionamiento

| MUESTRA | Viscosidad (cp) | Número de Aguja | Porcentaje de precisión % | RPM | Viscosímetro | Temperatura |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|------|-----------------|-------------|
| Jabón liquido Manzana Verde | 2830.4 | 2 | 99.1 | 21.0 | Viscometer DV-1 | 22°C |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

3.2.7.2 Determinación de la densidad del jabón líquido

Tabla 4-3. Determinación de la densidad del jabón líquido

| MUESTRA | Peso picnómetro vacío (g) | eso picnómetro + muestra (g) | Volumen del picnómetro (mL) |
|-----------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | 10,9417 | 21,1417 | 10 |
| DENSIDAD DEL JABÓN LÍQUIDO | | | 1,02 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

3.3 Diseño del reactor discontinuo de saponificación

3.3.1 Parámetros de diseño

— Balance global de masa

Es aquella matemática que relaciona la salida con la entrada en un reactor químico, para diversas cinéticas y diferentes modelos de contacto. (Mann, 2009)

Modelo de Contacto: Está referido a como los materiales circulan a través del reactor y se contactan unos con otros dentro de este, además del tiempo que necesitan para mezclarse, y las condiciones y características de la incorporación del material.

El balance de masas está dado por la relación:

$$\text{ENTRA-SALE+GENERA} = \text{ACUMULA}$$

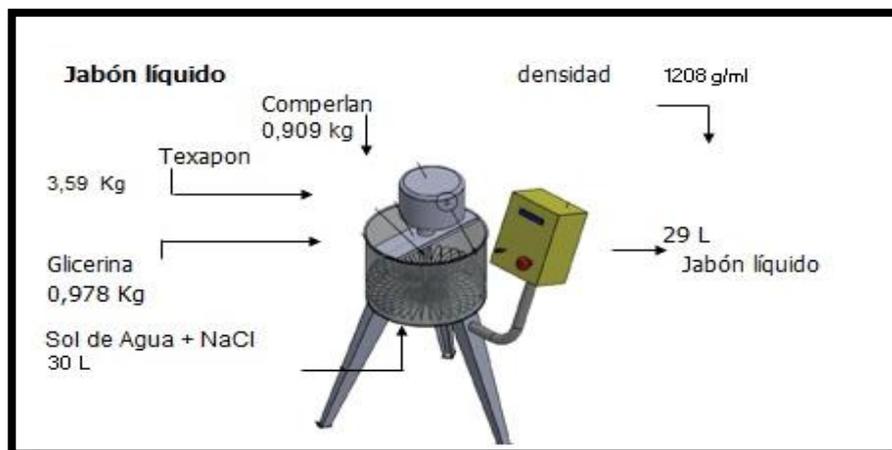


Figura 3-3. Balance de Masa Global del reactor de saponificación

Realizado por: Armas Isabel, Ponce Daniela 2019

- Volumen del reactor, V_R

El volumen del reactor es el espacio que ocupa el fluido dentro de la cámara de reacción. El volumen del reactor no debe incluir el volumen ocupado por el agitador, su flecha o por mamparas, ni tampoco espacios "vacíos" por encima del nivel de líquido en caso de tratarse de un reactor que involucre esa fase. En caso de desearse calcular el volumen total del recipiente, los volúmenes de estos últimos componentes se deberán agregar a V_R . (Heredia y Huacho, 2012)

El volumen total del recipiente, se calculará teniendo en cuenta el volumen total de la mezcla reaccionante que es igual a 30L. Las cantidades necesarias de los mismos para cada lote, se muestra a continuación:

Tabla 5-3. Datos de las cantidades de reactantes y volumen de producción.

| Vagua (L) | Vjabón líquido(L) | Texapon (Kg) | Comperlan (Kg) | Glicerina (Kg) | Cloruro de sodio (Kg) | Fragancia (Manzana verde, ml) | Colorante (Verde, Kg) | t (h) |
|--------------|----------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------|
| 30 | 29 | 3.59 | 0.91 | 0.98 | 0.935 | 201 | 0.015 | 0.5 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

-Tipo de agitador

Diferentes aplicaciones requerirán de diferentes maneras de agitar los fluidos dentro de los tanques. El éxito de la operación de mezclado dependerá grandemente de un diseño apropiado de los elementos internos y, principalmente, del tipo de agitador que se utilice. Actualmente se comercializan varios tipos de impulsores diseñados para diferentes aplicaciones específicas o genéricas por parte de varias compañías que tienen las patentes de explotación de sus diseños.(Uribe Ramírez et al., 2012)

La gráfica de selección que se muestra en la Figura 4-3, que ha sido adaptada de una tabla similar que ofrece Penney (1970), se puede usar para hacer una selección preliminar del tipo de agitador, tomando en cuenta la viscosidad del líquido y el volumen del tanque. (Sinnott, 2005)

El agitador que se seleccione deberá cumplir con las especificaciones de buena homogenización entre fases, mejorar el contacto entre las materias primas, para obtener un producto de calidad.(Uribe Ramírez et al., 2012)

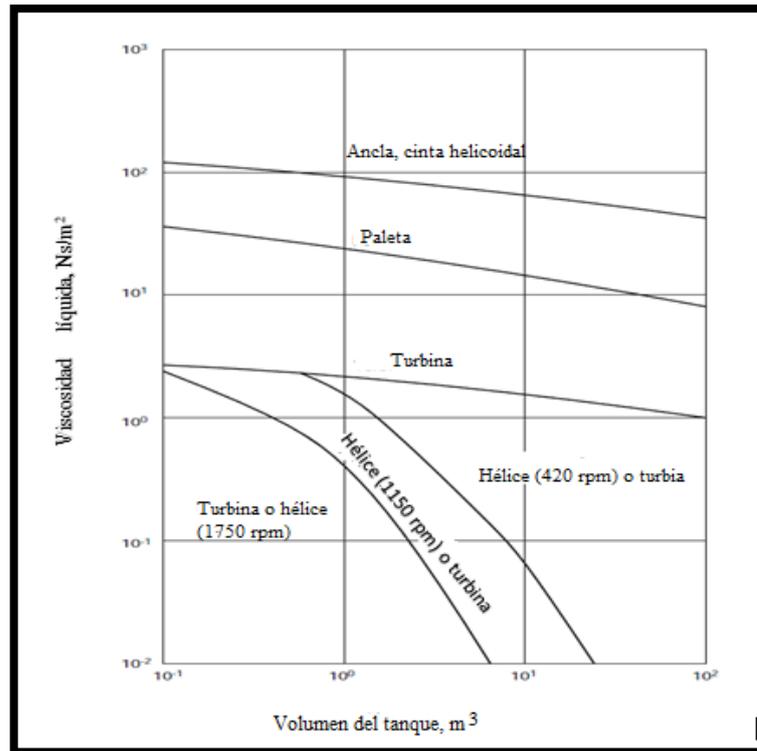


Figura 4-3. Guía de selección del agitador

Fuente: (Sinnott, 2005)

Debido a que en la teoría no existe un agitador que cumpla con las especificaciones mencionadas anteriormente se diseñó un agitador, en base a pruebas de ensayo error, para de esta forma obtener las características de homogeneidad y mezcla deseada, y finalmente obtener un producto satisfactorio que cumpla con las normas correspondientes.

— **Tiempo de residencia:**

Para obtener el tiempo de residencia, necesario para alcanzar una determinada conversión, se necesita aplicar la ecuación de diseño, así como los parámetros cinéticos óptimos del proceso, los cuales han sido analizados y seleccionados, previamente. Se dedujo previamente que la cinética de la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio se asemeja a segundo orden, con lo cual puede sustituirse la expresión cinética en la ecuación de diseño, teniendo así:

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_B C_A = kC_A^2$$

Los datos necesarios para el cálculo de las dimensiones características del reactor discontinuo, se tiene en cuenta en la siguiente tabla.

Tabla 6-3. Parámetros cinéticos

| Característica | Valor |
|---|--------------|
| Conversión, X _A (%) | 90% |
| Orden de reacción global | 2 |
| Constante cinética aparente, k'(s ⁻¹) | 0,1194 |
| Tiempo de saponificación (h) | 0,5 |
| Temperatura óptima de saponificación(°C) | 22±2 |
| Concentración de álcali en la mezcla inicial (M) | 0,04926 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

- Potencia requerida

Para el diseño del tanque de agitación es fundamental conocer la potencia que se requiere suministrar al agitador para lograr el grado de mezclado requerido. No es posible relacionar directamente la distribución de presión a lo largo del tanque con la potencia requerida para el diseño, por lo que se utiliza solamente una fracción de esta distribución, la que se encuentra alrededor de las aspas o paletas del agitador, a fin de obtener los requerimientos de potencia en el sistema de agitación.(Uribe Ramírez et al., 2012)

Para nuestro caso se ha definido una velocidad de agitación de 250 rpm, puesto que, en la experimentación en el laboratorio de la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio, se ensayó a una velocidad de 250 rpm, obteniendo una conversión del 97 %.

3.3.1.1 Cálculo del volumen del cilindro del reactor

Se realizaron cálculos para las dimensiones del cilindro del reactor tomando en cuenta un volumen de 60 litros.

$$V = \frac{\pi * Dt^2 * h}{4}$$

Donde h= 1.2 Dt

$$4 * V = \pi * Dt^2 * 1.2Dt$$

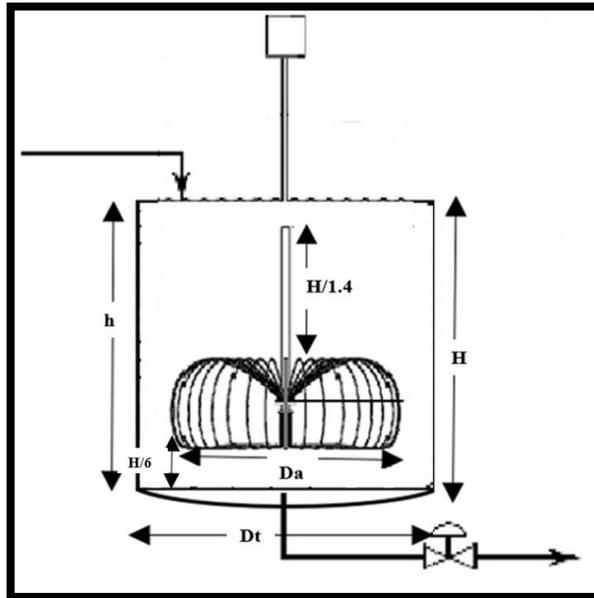


Figura 5-3. Esquema del Reactor Discontinuo de Saponificación

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

$$60L * \frac{1}{1000 L} = 0.03m^3$$

$$4 * (0.06m^3) = 3.76Dt^3$$

$$Dt = \sqrt[3]{0.06382m^3}$$

$$Dt = 0.55 m = 55 cm$$

$$h = 0.72 * 55$$

$$h = 39,6 cm \approx 40 cm$$

Se trabajará con una altura de 40 cm para mayor precisión

$$V = \frac{\pi * Dt^2 * h}{4}$$

$$V = \frac{\pi * (55)^2 * 40}{4}$$

$$V = 52169.9087 cc$$

$$V = 52.17 L = 13.50 Gal$$

Al volumen se lo debe incrementar un volumen extra de seguridad, el cual es un factor de seguridad por nivel de llenado. Este factor de seguridad nos indica que el reactor debe trabajar a un volumen menor al volumen máximo del recipiente por ejemplo al 80% de su capacidad máxima. Según la norma API 2350 "Overfill Protection for Storage Tanks in Petroleum Facilities" "se debe aumentar un 20 % al volumen total, en este caso de 60 litros para obtener un volumen de seguridad.

$$\text{Volumen de seguridad} = 60 \text{ L} * 0.2$$

$$\text{Volumen de seguridad} = 12 \text{ L} = 12000 \text{ cc}$$

Por tanto, también se deberá aumentar la altura del recipiente usado anteriormente:

$$V = \frac{\pi * Dt^2 * h}{4}$$

$$h_1 = \frac{4 * V}{\pi * Dt^2}$$

$$h_1 = \frac{4 * 12000 \text{cc}}{\pi * (55 \text{cc})^2}$$

$$h_1 = 5,05 \text{cm} \approx 5 \text{ cm}$$

$$H = h + h_1$$

$$H = 40 + 5 \text{ cm}$$

$$H = 45 \text{ cm}$$

3.3.1.2 Cálculo del volumen del reactor

$$V_R = V_1 + V_2$$

$$V_R = 52,17 + 12$$

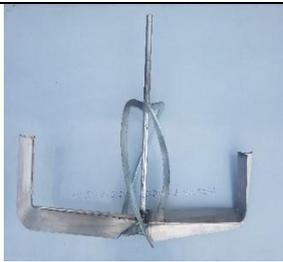
$$V_R = 64,17 \text{ L}$$

3.3.2 Cálculo del sistema de agitación:

3.3.2.1 Selección del agitador para el reactor de saponificación:

El reactor discontinuo de saponificación se usará para la producción de jabón líquido, es decir, que el agitador moverá un líquido con una viscosidad máxima de 2530.4 mPa.s.

Tabla 7-3. Selección del agitador para el reactor de saponificación

| No. Ensayo | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------|--|---|--|
| Agitador |  |  |  |
| Nombre | Cinta Helicoidal | Ancla | De Globo Toroidal |
| Velocidad (rpm) | 250 | 250 | 250 |
| Tipo de flujo | Radial/axial | Axial | Axial |
| Viscosidad experimental (cP) | 934,8 | 1530.7 | 2309.2 |
| Viscosidad deseada (cP) | 2530.4 | 2530.4 | 2530.4 |
| % Error | 63.06 | 39.5 | 8.74 |

Realizado por: Armas Isabel, Ponce Daniela 2019

Tomando en cuenta la viscosidad y las características de homogeneidad, el agitador que se ajusta a las condiciones del proceso es el agitador del ensayo No. 3. A este agitador se lo nombró como: agitador de globo toroidal ya que como se observa en la tabla -3 es el mejor con una agitación axial para homogenizar líquidos viscosos, dando al producto la consistencia deseada.

En el reactor discontinuo para la elaboración de jabón líquido, se instalará un agitador de tipo globo toroidal, en acero inoxidable AISI 304.

3.3.2.2 Cálculo de las dimensiones del agitador de globo toroidal

- Cálculo del diámetro del agitador (d_a):

$$D_a = 0.95 * D_t$$

$$D_a = 0.95 * 55 \text{ cm} = 52,25 \text{ cm}$$

- Cálculo de la altura del agitador (b):

$$b = 0.15 * D_t$$

$$b = 0.15 * 55 \text{ cm} = 8,25 \text{ cm}$$

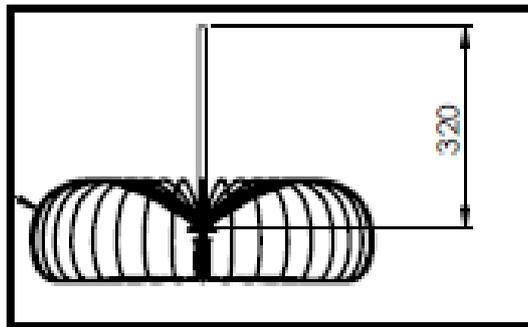


Figura 7-3. Vista frontal del Aspa

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

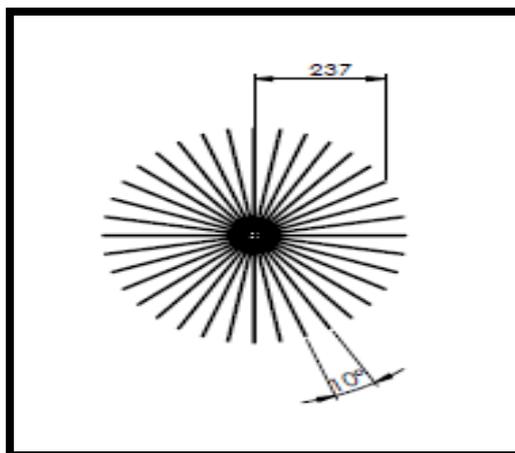


Figura 6-3. Vista aérea del aspa

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Las variables estándar y los parámetros geométricos que se han calculado, para el sistema de agitación del reactor de saponificación, se resume en la tabla 8-3:

Tabla 8-3. Variables para el sistema de agitación

| Parámetro | Valor | Unidad |
|---|-------|--------|
| Diámetro del agitador | 52.25 | cm |
| Número de varillas del agitador | 32 | Unidad |
| Angulo de inclinación | 10 | ° |
| Diámetro del eje | 1.17 | cm |
| Altura del agitador desde el fondo del tanque | 10 | cm |
| Altura de la cinta | 10 | cm |

Realizado por: Armas Isabel, Ponce Daniela 2019

3.3.3 Cálculo de la potencia necesaria para el agitador:

- Cálculo del número de Reynolds:

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

$$N_{RE} = \frac{(0.52\text{m})^2 * 4,17 \text{ s}^{-1} * 1028 \text{ kg/m}^3}{2,3092 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 5,62 * 10^2$$

- Cálculo del número de potencia para accionar el eje

Un importante factor en el diseño de un tanque agitado es la potencia requerida para mover el agitador. La potencia del eje requerida para impulsar un agitador se puede estimar utilizando los siguientes las siguientes ecuaciones:

Número de potencia (N_p):

$$N_p = \frac{P}{N^3 * Da^5 * \rho}$$

Donde:

P=Potencia $\frac{J}{s}$ o W

N_p = número de potencia

N= velocidad de agitación s^{-1}

Da= Diámetro del agitador (m)

ρ = Densidad de la mezcla (kg/m^3)

El número de potencia N_p se determinó a partir de la gráfica de N_p , donde relaciona el tipo de agitador y el número de Reynolds N_{RE} , resultando un N_p igual a 3.5. Ver Anexo V

- Potencia de agitación del motor:

$$P = \frac{N_p * N^3 * D_a^5 * \rho_{mezcla}}{g_c}$$

$$P = \frac{3.5 * (4,17s^{-1})^3 * (0.52m)^5 * \frac{1028kg}{m^3}}{9.8} = 1339.85 J/s$$

3.3.4 Selección de materiales para la construcción del equipo

Tabla 9-3. Características técnicas del acero inoxidable

| | | | |
|-------------------------|---|--|-------|
| Designación AISI 304 | Composición química | C% 0.08 Máx Mn% 2.00 Máx Si% 1.00 Máx Cr% 18 0020.00 Ni% 8 0010.50 | |
| Propiedades Físicas | PESO ESPECÍFICO (g/cm^3) | 7.9 | |
| | MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm^2) | 193 000 | |
| | ESTRUCTURA | AUSTENÍTICO | |
| | CALOR ESPECÍFICO A 20 C ($J/kg K$) | 500 | |
| | CONDUCTIVIDAD TÉRMICA | a 100 | 16 |
| | | a 150 | 21 |
| | COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO ($X 10^6 C^{-1}$) | 0100C | 17.30 |
| | | 0300C | 17.80 |
| | | 0500 C | 18.40 |
| | 0700 C | 18.80 | |
| INTERVALO DE FUSIÓN (C) | | 13981454 | |

Fuente: irestal Group. Tablas técnicas de acero inoxidable.

Realizado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Tabla 10-3. Características técnicas del motor

| | |
|-----------------|--|
| Denominación | MOTOR PORTON |
| Potencia | 1600 W |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Características | velocidad variable con caja de variación de potencia |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Se seleccionó acero inoxidable por las características que hemos mencionado, además por ser el más utilizado para la fabricación de este tipo de tanques resistentes a la corrosión.

La potencia del motor calculada fue de 1340 W, dicha potencia es la indicada para el tipo de fluido a tratarse, sin embargo, por disponibilidad en el mercado se utilizó el motor de potencia más cerca a la requerida y se adquirió el motor de 1600 W.

3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria.

Los requerimientos generales de materiales son los siguientes:

- Tanque
- Agitador
- Motor
- Sensor de velocidad de agitación
- Se utilizará acero de la serie 300:

SERIE 304 AISI

Es la más extensa, mantiene alto contenido de níquel y hasta 2% de manganeso. También puede contener molibdeno, cobre, silicio, aluminio, titanio y niobio, elementos que son adicionados para conferir ciertas características. En ciertos tipos se usa azufre o selenio para mejorar su habilidad de ser maquinados.

Eje AISI 304 inoxidable

El eje de acero inoxidable es resistente al efecto corrosivo del medio ambiente, vapor, agua y ácidos, norma de fabricación RTE INEN 228, Calidad AISI 304, disponible en acabado de acero inoxidable, lo puedes encontrar en diámetros desde 3/16" hasta 6" en largo estándar de 6 metros

y por piezas de medidas especiales. Los ejes de acero inoxidable son perfectos para la elaboración de utensilios domésticos, piezas para industria alimenticia y farmacéutica, entre otras.

- Para la construcción y montaje del reactor de saponificación serán necesarias tecnologías mecánicas.

Máquinas, herramientas y accesorios:

- Dobladora de rodillos
- Cortadora de plasma para acero inoxidable
- Soldadora de acero inoxidable (soldadora tic que emplea electrodo de tuxteno)
- Torno
- Taladro de mesa y taladro de mano
- Moladora
- Pulidora
- Sierra
- Martillo, playo, destornilladores, escuadras, llaves, gafas
- Guantes, mascarilla para soldar

3.4.1 Costos del proyecto.

3.4.1.1 Recursos materiales

Tabla 11-3. Materiales utilizados en la construcción del reactor de saponificación.

| Denominación | Cant. | Costos |
|--------------------------------------|--------------|---------------|
| EJE INOX AISI 304, 1/2" x 6000mm | 1 | 50 |
| PLANCHA INOX AISI 304, 1220x2440x3mm | 1 | 440 |
| EJE INOX AISI 304, 3/16" x 6000mm | 1 | 30 |
| ARANDELAS PLANAS M8 | 12 | 10 |
| | TOTAL | 530 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Tabla 12-3. Accesorios

| Denominación | Cantidad | Costo |
|------------------------------------|-----------------|--------------|
| Tornillos de acero inoxidable | 18 | 20 |
| BALL VALVE 3/4", (AISI 304) | 1 | 35 |
| PERNOS M8 x 1.5 x 1 1/2" AISI 304 | 8 | 8 |
| EJE NYLON 2 1/2" x 200mm | 2 | 20 |
| TUBO INOX AISI 304, 1 1/2" x 800mm | 1 | 20 |
| Broca de acero inoxidable 5/16 | 2 | 10 |
| | TOTAL | 78 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Tabla 13-3 Equipos

| Denominación | Cantidad | Costo |
|---|-----------------|--------------|
| MOTOR PORTEN 1600W de velocidad variable con caja de variación de potencia | 1 | 422 |
| | TOTAL | 422 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

3.4.1.2 Recursos Humanos

Tabla 14-3. Mano de obra

| Denominación | Cantidad | Costo |
|---------------------------------|-----------------|--------------|
| Sistema de Control | 1 | 250 |
| Mano de obra de construcción | 1 | 400 |
| | TOTAL | 650 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

3.4.1.3 Costos operativos

Tabla 15-3. Transporte

| Denominación | Cantidad | Costo |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| Movilización | - | 30 |
| Transporte del equipo | - | 10 |
| | TOTAL | 40 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Tabla 16-3. Reactivos

| Denominación | Cantidad | Costo |
|---------------------|-----------------|--------------|
| Acetato de etilo | 50 ml | 5 |
| Hidróxido de sodio | 300 g | 5 |
| Texapon | 5 Kg | 29 |
| Comperlan | 2 Kg | 18 |
| Glicerina | 1,22 Kg | 14 |
| Aromatizante | 300 ml | 20 |
| Colorante | 5 gramos | 1 |
| Agua Destilada | 80 L | 160 |
| | TOTAL | 242 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

3.4.1.4 Recursos totales

Tabla 17-3. Recursos totales

| ACTIVIDAD | TOTAL |
|---------------------|--------------|
| Recursos materiales | 1030 |
| Recursos Humanos | 650 |
| Costos operativos | 282 |
| TOTAL | 1962 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

3.4.2 Cronograma de actividad

Tabla 18-3 Cronograma de Actividades

| ACTIVIDAD | TIEMPO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|---|---|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1° mes | | | | 2° mes | | | | 3° mes | | | | 4° mes | | | | 5° mes | | | | 6° mes | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
| Revisión bibliográfica | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Elaboración del anteproyecto | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Presentación y aprobación del anteproyecto | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño teórico y cálculos analíticos para la construcción del equipo de saponificación | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construcción del equipo y determinación de las variables del proceso de elaboración de jabón líquido | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Validación del funcionamiento del equipo de saponificación | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| Elaboración de borrador de Trabajo de Titulación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| Elaboración del trabajo final | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| Presentación del trabajo final | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | |
| Defensa del trabajo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Resultados de la cinética química de la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio

Tabla 1-4. Orden de reacción global con respecto a NaOH a 22°C, 40 °C y 50 °C

| Experimento | Temperatura (°C) | Orden de reacción global con respecto a NaOH (experimental) | Fuente | Orden de reacción (teórico) | Fuente |
|---|------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 1 | 22 °C | 2.01 | Armas, I. y Ponce, D., 2019 | 2 | (Al Mesfer, 2017) |
| 2 | 40 °C | 2.02 | | 2 | |
| 3 | 50 °C | 1.99 | | 2 | |
| Promedio del orden de reacción global con respecto a NaOH | | 2.007 | | 2 | |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Al comparar el valor experimental con el valor teórico, existe un error del 0.35 %, que representa un porcentaje mínimo. Indicando que las gráficas trazadas a 22°C, 40°C y 50°C muestran un modelo lineal correcto de orden 2, igual al modelo supuesto de orden 2 teórico.

Tabla 2-4. Constante de velocidad k a 22 °C, 40 °C y 50 °C

| Experimento | Temperatura (°C) | Constante de velocidad k con respecto a NaOH | Fuente | Constante de velocidad k (teórico) | Fuente | % Error |
|-------------|------------------|--|-----------------------------|------------------------------------|----------|---------|
| 1 | 22 °C | 0.1194 | Armas, I. y Ponce, D., 2019 | 0.1120 | (Abbas | +6.6 |
| 2 | 40 °C | 0.3625 | | 0.2853 | Mustafa, | +27.06 |
| 3 | 50 °C | 0.4568 | | 0.5071 | 2010) | -9.9 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

En el experimento 1 se obtuvo una constante de velocidad de reacción de 0.1194 L/ mol * s, que es un 6,6 % más que el valor teórico; en el experimento 2 se obtuvo una constante de velocidad de reacción de 0,3625 L/ mol * s, que es un 27,06 % más que el valor teórico y; en el experimento 3 se obtuvo una constante de velocidad de reacción de 0,4568 L/ mol * s, que es un 9,9% menos que el valor teórico.

Los porcentajes de error obtenidos, se debió a que la parte experimental se realizó, suponiendo una temperatura y presión constantes, entonces la cinética de la reacción podría no coincidir exactamente con los valores teóricos.

Tabla 3-4. Resultados de los parámetros de Arrhenius a 22 °C 40 °C y 50 °C

| Experimento | Temperatura (°C) | Constante universal de los gases R, (J/mK) | Pendiente (m) | Intercepto (b) | ln A | Ea J/mol Experimental |
|-------------|------------------|--|---------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 295,15 | 8.314 | -4729,2 | 13,945 | 1,14x10 ⁰⁶ | 39318 |
| 2 | 313,15 | | | | | |
| 3 | 323,15 | | | | | |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Tabla 4-4. Energía de activación (Ea) teórica

| Energía de activación teórica, Ea (J/mol) |
|---|
| 43094 |

Fuente: (Mukhtar et al., 2015)

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

La energía de activación se determinó graficando los valores de ln k vs los valores de 1 / T (Grafico 4-3), los resultados se muestran en la tabla 3-4.

Se obtuvo una energía de activación de 39318 J/mol, que es un 8,76% menos que el valor teórico, siendo un porcentaje de error bajo, lo que indica que se calculó correctamente el valor de la energía de activación.

4.1.1 Resultados de la determinación de la densidad del jabón líquido

Tabla 5-4. Resultados de la determinación de la densidad del jabón

| JABÓN LÍQUIDO | DENSIDAD EXPERIMENTAL (g/mL) |
|---------------|---------------------------------|
| Manzana Verde | 1.02 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

4.1.2 Resultados de la determinación de la viscosidad del jabón líquido

Tabla 6-4. Tabla Resultados de determinación la viscosidad del jabón líquido

| MUESTRA | Viscosidad (cp) | Número de Aguja | Porcentaje de precisión % | RPM | Viscosímetro | Temperatura |
|------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|-----|--------------------|-------------|
| 250 ml floral | 2309.2 | 2 | 80 | 10 | Viscometer DV-1 | 25°C |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

4.1.3 Resultados de la determinación del pH del Jabón líquido

Tabla 7-4. Resultados de la Determinación del pH
del jabón líquido

| JABÓN LÍQUIDO | pH |
|---------------|------|
| 250 ml floral | 9,50 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

4.1.4 Resultados de la determinación del grado de espumación del jabón líquido

Tabla 8-4. Resultados de la Determinación del Grado de Espumación del Jabón

| Muestra (L) | Subida de Espuma (L) | Diferencia Espuma (L) | Tiempo (horas) |
|-------------|----------------------|-----------------------|----------------|
| 11.63 | 15.96 | 4.33 | 24 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

4.1.5 Resultados del balance de masa en la validación del equipo

Tabla 9-4. Resultados del rendimiento y eficiencia del equipo

| Alimentación (kg) | Carga de salida (kg) | Rendimiento del Equipo (%) | Eficiente del Equipo (%) |
|-------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|
| 12,17 | 11,83 | 97 | 92 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

4.1.6 Resultados del estudio cinético en la validación del equipo

Tabla 10-4. Resultados de la cinética química de la reacción de acetato de etilo

| | |
|-------------------------------------|------------------------|
| Grado de conversión a t=30min | 97% |
| Orden de reacción | Segundo |
| Constante de velocidad especifica k | 0,1175 s ⁻¹ |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Análisis y discusión:

En la determinación de las variables de diseño del equipo, se realizó el estudio cinético de la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio obteniéndose una conversión del 90%, con una velocidad de reacción de $2,44 \times 10^{-6}$ a 22 °C, las cuales se compararon con los valores teóricos, obteniéndose errores mínimos. Se determinaron las

características físicas del jabón líquido obteniéndose: $\rho = 0.986 \text{ g/ml}$; $\mu=2309,2 \text{ mPa.s}$, Con estos parámetros de densidad y viscosidad se procedió al cálculo del volumen y la potencia requerida del motor.

En la ejecución del diseño y construcción del equipo, específicamente en la selección del agitador surgen varios inconvenientes, ya que, el agitador seleccionado no cumple con las especificaciones deseadas. En la experimentación ensayo-error, con el agitador tipo cinta helicoidal se obtuvo una mezcla poco homogénea con baja viscosidad con un error del 63% formándose grumos en las paredes del tanque, con el agitador tipo ancla se alcanzó una viscosidad de 2530.4 cP, con un error del 40 % y residuos de material en el centro del tanque. Con el agitador tipo globo toroidal, se consiguió la viscosidad deseada con un error del 9 %, teniéndose una mezcla homogénea libre de grumos.

Debido a que la viscosidad aumenta al pasar el tiempo, el tipo de agitador seleccionado logra oxigenar la mezcla imprimiendo un corte constante a velocidades altas para generar mejor homogeneidad sin la presencia de grumos.

Luego del diseño y construcción se procedió a realizar la validación, asegurando de esta forma el funcionamiento del equipo con dos prácticas de laboratorio. La primera práctica consiste en el estudio cinético de la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio, obteniéndose una conversión del 97%, en un tiempo de $t=30 \text{ min}$, con una velocidad de reacción de $1.29 \times 10^{-6} \text{ L/mol*s}$ a una temperatura de 22°C . Comprobándose que se alcanza una conversión mayor a la experimental (90%) en el tiempo dado, y de esta forma se confirma el funcionamiento del equipo.

La segunda, práctica consiste en el balance de masa en la elaboración de jabón líquido, obteniéndose un rendimiento del equipo del 97%, lo que nos indica que el equipo es óptimo para el proceso realizado con pérdidas insignificantes. En cuanto a las características del producto final se obtuvo una viscosidad de 2309.2 cP, densidad de 1.02 g/ml y un pH de 9.5, cumpliendo con las especificaciones de la norma INEN 842 para Agentes Tensoactivos.

Se demostró que, en el equipo se obtiene el jabón en 30 min, utilizando una velocidad de rotación de 250 (rpm), ya que se consigue una mezcla homogénea y se evitan grumos, debido a la presencia de grasas como la glicerina y el texapon.

CONCLUSIONES

- Se realizó el Diseño y Construcción del Reactor Discontinuo de Saponificación en acero inoxidable AISI 304, de un volumen de 60 litros para la obtención de jabón líquido que cumple con las exigencias establecidas por la NTE INEN 842.
- Se identificaron las variables del diseño y éstas son: $\rho = 1,028 \text{ g/ml}$; $\mu = 2309,2 \text{ mPa.s}$, tiempo de residencia = 30 min, conversión = 97% y velocidad de reacción = $2,44 \times 10^{-6} \text{ L/mol.s}$
- El Reactor Discontinuo de Saponificación tiene las siguientes dimensiones: Volumen = 60 L, altura = 0,45 m, diámetro del tanque = 0,55 m y un motor de 1600 W. El equipo cuenta con un panel de control manual para programar las velocidades a las que el aspa de globo toroidal girará, dependiendo de las características del producto que se desee obtener.
- Se obtuvo jabón líquido para manos, que cumple con lo establecido en la norma INEN 842 de *Agentes tensoactivos. Jabón líquido. Requisitos*, con las siguientes características: $\rho = 1,028 \text{ g/mL}$, $\mu = 2309.2 \text{ g/cm.s}$, $\text{pH} = 9.5$.
- El rendimiento del equipo es del 97 %, obteniéndose un porcentaje de pérdidas muy bajo.

RECOMENDACIONES

- Seguir el procedimiento para el funcionamiento del Reactor Discontinuo de Saponificación, con lo que se evitará que sufra algún desperfecto durante su manipulación y un error en la toma de datos.
- Realizar arreglos en la red eléctrica del Laboratorio de Procesos Industriales para evitar daños en el sistema de control.
- Para obtener jabón líquido realizar la operación a temperatura ambiente para reducir costos operativos.
- Utilizar reactivos de alta pureza para la experimentación en el reactor discontinuo y de ésta forma obtener datos precisos, además, almacenar el hidróxido de sodio en condiciones óptimas ya que es un material higroscópico.
- Al cargar los reactivos en el equipo, hacerlo en los alrededores del agitador.
- Se puede elaborar otros productos de aseo personal como: shampoo y geles de baño.

BIBLIOGRAFÍA

- ABBAS MUSTAFA, M., *Saponification: A Comparative Kinetic Study in a Batch Reactor* [en línea]. S.l.: University of khartoum. 2010. Disponible en: [http://khartoumspace.uofk.edu/bitstream/handle/123456789/10162/Saponification A Comparative Kinetic.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://khartoumspace.uofk.edu/bitstream/handle/123456789/10162/Saponification%20A%20Comparative%20Kinetic.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- AL MESFER, M.K., Experimental Study of Batch Reactor Performance for Ethyl Acetate Saponification. *International Journal of Chemical Reactor Engineering* [en línea], 2017. [Consulta: 22 enero 2019]. DOI 10.1515/ijcre-2016-0174. Disponible en: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/ijcre.2018.16.issue-1/ijcre-2016-0174/ijcre-2016-0174.pdf>.
- AL MESFER, M.K., Experimental Study of Batch Reactor Performance for Ethyl Acetate Saponification. *International Journal of Chemical Reactor Engineering* [en línea], 2018. vol. 16, no. 1. [Consulta: 22 enero 2019]. ISSN 1542-6580. DOI 10.1515/ijcre-2016-0174. Disponible en: <http://www.degruyter.com/view/j/ijcre.2018.16.issue-1/ijcre-2016-0174/ijcre-2016-0174.xml>.
- ALMENDÁREZ VÁSQUEZ, D.L., *Estudio técnico preliminar para la elaboración de un jabón líquido con miel de abejas como alternativa de diversificación apícola* [en línea]. (Tesis). Zamorano. 2003. [Consulta: 1 mayo 2019]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1862/1/AGI-2003-T004.pdf>.
- CARRASCO OTERO, F.J., *Diccionario de ingredientes cosméticos*. 2009. S.l.: F.J. Carrasco. ISBN 9788461349791.
- CASTILLO URIBE, V., *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos* [en línea]. (Tesis). Universidad del Bio-Bio. 2013. [Consulta: 8 enero 2019]. Disponible en: <http://repopib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412>.
- CORONEL AGUILAR, J.C., *“Diseño y construcción de un reactor tipo batch para el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK”* [en línea]. (Tesis). Universidad Internacional SEK. 2014. Disponible en: <https://www.bps.go.id/dynamictable/2018/05/18/1337/persentase-panjang-jalan-tol-yang-beroperasi-menurut-operatornya-2014.html>.
- DAS, K., SAHOO, P., SAI BABA, M., MURALI, N. y SWAMINATHAN, P., Kinetic studies on saponification of ethyl acetate using an innovative conductivity-monitoring instrument

with a pulsating sensor. *International Journal of Chemical Kinetics*, 2011. vol. 43, no. 11, pp. 648-656. ISSN 05388066. DOI 10.1002/kin.20597.

DENBIGH, K.G., TURNER, J.C.R. y SANGINES FRANCHINI, M.C., *Introducción a la teoría de los reactores químicos* [en línea]. 1990. S.l.: Limusa. [Consulta: 1 mayo 2019]. ISBN 9789681832834. Disponible en: <https://latam.casadellibro.com/libro-introduccion-a-la-teoria-de-los-reactores-quimicos/9789681832834/179657>.

FAILOR, C., *Jabones líquidos : geles de hierbas para la ducha, champús acondicionadores, jabones hidratantes para las manos, lujosos baños de espuma, y mucho más ...* [en línea]. 2001. 1 ed. Barcelona: Paidotribo. [Consulta: 1 mayo 2019]. ISBN 9788480196017. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=EHXYTTK4BZ4C&printsec=frontcover&dq=JABON+LIQUIDO&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiKx8_Y8vrhAhWlxVkkKHViNBRkQ6AEILDAB#v=onepage&q=JABON LIQUIDO&f=false.

FOGLER, H.S., *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas* [en línea]. 2008. 3 ed. México: Pearson Educación. [Consulta: 26 diciembre 2018]. ISBN 9789702611981. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/348331481/Elementos-de-Ingenieria-de-Las-Reacciones-Quimicas-S-Fogler-4ta-Edicion>.

GUERRERO, C., *Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados*. (Tesis). Universidad de Almería. 2014.

GUTIÉRREZ, F., ATANES, E. y CAMBRA, A. *ESTUDIO CINÉTICO EN UN REACTOR DISCONTINUO TANQUE AGITADO* [en línea]. (Tesis). Universidad Politécnica de Madrid. 2012. [Consulta: 22 enero 2019]. Disponible en: http://ocw.upm.es/ingenieria-quimica/ingenieria-de-la-reaccion-quimica/contenidos/OCW/PR/practica1.pdf?fbclid=IwAR3SDH5UxBgZP2INvZpW41KG9z_FGHauKwHJeVvbPbeKvp6gTETJklbNses.

HEREDIA, S. y HUACHO, I., «*Diseño, y Construcción de un Reactor Flujo en Pistón*» [en línea]. (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2012. [Consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2499/1/96T00178.pdf#page=44&zoom=100,0,422>.

IBARZ, A. y BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos* [en línea]. 2005. Madrid-España: Mundi-Prensa. [Consulta: 26 enero 2019]. ISBN 9788484761631. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=daoSAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA25&dq=>

El balance de materia correspondiente se lleva a cabo como función del tiempo, debido a que se puede considerar un tanque de mezcla perfecta, y por lo tanto la composición no cambia.

IZQUIERDO, J.F., *Cinética de las reacciones químicas* [en línea]. 2004. 1 ed. Barcelona: Edición Universidad de Barcelona. [Consulta: 26 diciembre 2018]. ISBN 9788483384794. Disponible en: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=IdJ03bLyxH4C&oi=fnd&pg=PA1&dq=clasificacion+de+las+reacciones+quimicas+empleadas+en+el+diseño+de+reactores&ots=TBYq_bYFvv&sig=yB0tfouHaj5uXlCPP80r-xzF8m8#v=onepage&q&f=false.

LEVENSPIEL, O., *Chemical reaction engineering*. 1999a. S.l.: Wiley. ISBN 9780471254249.

LEVENSPIEL, O., *Chemical reaction engineering*. 1999b. S.l.: Wiley. ISBN 047125424X.

LI, Q., SONG, B., YANG, Z. y FAN, H., Electrolytic conductivity behaviors and solution conformations of chitosan in different acid solutions. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2006. vol. 63, no. 2, pp. 272-282. [Consulta: 26 enero 2019]. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2005.09.024. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861705004649>.

MANN, U., *Principles of chemical reactor analysis and design : new tools for industrial chemical reactor operations* [en línea]. 2009. 2 ed. Canada: A Jonh Wiley y sons INC. [Consulta: 1 mayo 2019]. ISBN 9780471261803. Disponible en: https://www.academia.edu/8739209/Principles_of_Chemical_Reactor_Analysis_and_Design.

MCCABE, W.L., SMITH, J.C. y HARRIOTT, P., *Operaciones unitarias en ingeniería química* [en línea]. 1991. S.l.: McGraw-Hill. [Consulta: 6 enero 2019]. ISBN 8448119185. Disponible en: http://www.academia.edu/29792481/McCABE_W.L._SMITH_J.C._y_HARRIOTT_P._Operaciones_Básicas_de_Ingeniería_Química._Madrid._McGraw-Hill_1991.

MEJÍA, W., SÁNCHEZ, L. y VALENZUELA, J., LABORATORIO DE INGENIERÍA DE LAS REACCIONES. *Saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio en un reactor por lotes*, 2015. vol. 1, pp. 9.

MENDOZA RUIZ, A., ACOSTA, A., ESCAMILLA, E. y TORRES, M., Pharmaceutical Policy in Colombia. *Pharmaceutical policy in countries with developing healthcare systems*, 2017. pp. 430.

MONTIEL, W., *Elaboración de jabón líquido para uso industrial a partir de glicerina, como*

- subproducto de la obtención de biodiésel* [en línea]. (Tesis). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. 2017. Disponible en: <http://repositorio.unan.edu.ni/3797/1/51773.pdf>.
- MOTT, R.L., *Mecánica de Fluidos* [en línea]. 2006. 6 ed. México: s.n. ISBN 844812040X. Disponible en: <https://deymerg.files.wordpress.com/2013/07/mecanica-de-fluidos-robert-mott-6ta-edicion.pdf>.
- MUKHTAR, A., Investigation of agitation effect on the conversion of saponification reaction in a batch reactor at STP conditions. , 2015. vol. 4, no. August.
- MUKHTAR, A., SHAFIQ, U., KHAN, A.F., QADIR, H.A. y QIZILBASH, M., Estimation of Parameters of Arrhenius Equation for Ethyl Acetate Saponification Reaction. *Research Journal of Chemical Sciences Res. J. Chem. Sci*, 2015. vol. 5, no. 11, pp. 2231-606. ISSN 2231-606X.
- NUÑEZ, J. y UDEOS, T., «Diseño, Construcción y Operación de un Reactor Batch para saponificar Acetato de Etilo» [en línea]. (Tesis). Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2015. Disponible en: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/34064/1/20151SFMAR052801_2.PDF.
- PÁEZ LARA, M.A., *Escalado de la producción industrial de levadura de panificación usando reactores modelo y un bio-reactor prototipo*. (Tesis). Escuela Politécnica Nacional. 2011.
- PEÑA, E., PÉREZ, A.R., MIRANDA, A.J. y SÁNCHEZ, J.H., Modelado de un reactor químico tipo CSTR y evaluación del control predictivo aplicando Matlab-Simulink. *Rev. INGENIERÍA UC* [en línea]. (Tesis). 2008. [Consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70712293012.pdf>.
- PERRY, R.H., *Perry Manual del Ingeniero Químico* [en línea]. 1992. 6 ed. México: McGraw-Hill, Inc., U.S.A. ISBN 968-422-972-0. Disponible en: https://www.academia.edu/25306420/Perry._Manual_del_ingeniero_químico._Tomo_II_6a._ed._?fbclid=IwAR2dVMNEAAaQm4hCqM4iswKiRsrsJcvGdFkt5VmRopNBkxOwU4o8Agg8-VM.
- PINTADO, J.R.S., *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE JABONES ARTESANALES EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL* [en línea]. (Tesis). UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL. 2014. [Consulta: 1 mayo 2019]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2682/1/T-UCSG-PRE-ESP-CFI-114.pdf>.

- PROAÑO, C. y ARMAS, D., “*Estudio de la influencia del suero de leche fermentado en la elaboración de jabón líquido con PH ácido*”. (Tesis). Universidad Técnica del Norte. 2011.
- RIEGEL, E.R., EROLES GÓMEZ, A. y KENT, J.A., *Manual de Riegel de química industrial* [en línea]. 1984. 2 ed. México, D.F: Continental. [Consulta: 20 mayo 2019]. ISBN 9682604540. Disponible en: http://bibliotecas.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8128&shelfbrowse_itemnumber=11943#holdings.
- RUOFF, H.W. (Henry W. y FRONTIER PRESS COMPANY, B., *The standard dictionary of facts; history, language, literature, biography, geography, travel, art, government, politics, industry, invention, commerce, science, education, natural history, statistics and miscellany*; [en línea]. 1919. S.l.: s.n. [Consulta: 1 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.virtualpro.co/revista/reactores-industriales/3>.
- SANTACESARIA, E., DI SERIO, M., GARAFFA, R. y ADDINO, G., Kinetics and mechanisms of fatty alcohol polyethoxylation. 1. The reaction catalyzed by potassium hydroxide. *Industrial & Engineering Chemistry Research* [en línea], 1992. vol. 31, no. 11, pp. 2413-2418. [Consulta: 4 mayo 2019]. ISSN 0888-5885. DOI 10.1021/ie00011a001. Disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie00011a001>.
- SANTAMARÍA, J., HERGUIDO, J., MENÉNDEZ, M. y MONZÓN, A., *Ingeniería de Reactores* [en línea]. 1999. España: SÍNTESIS,S.A. [Consulta: 20 mayo 2019]. ISBN 84 7738 665-X. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/392154119/Ingenieria-de-Reactores-J-M-Santa-Maria-J-Herguido-Miguel-A-Menendez-A-Monzon-Sintesis-pdf>.
- SINNOTT, R.K., *CHEMICAL ENGINEERING DESIGN* [en línea]. 2005. 4 ed. Chennai: Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP. [Consulta: 6 enero 2019]. ISBN 07506 6538 6. Disponible en: [http://dl4a.org/uploads/pdf/Coulson Richardson%27s Chemical Engineering Vol.6 Chemical Engineering Design 4th Edition.pdf](http://dl4a.org/uploads/pdf/Coulson%20Richardson%27s%20Chemical%20Engineering%20Vol.6%20Chemical%20Engineering%20Design%204th%20Edition.pdf).
- SOLÍS, J.J., *Manual del pequeño industrial: Fórmulas, procedimientos, secretos, consejos prácticos, recomendaciones y proveedores para la micro industria de fabricación de productos de limpieza* [en línea]. 2016. 3 ed. S.l.: Ibukku. [Consulta: 10 mayo 2019]. ISBN 0986258660. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=BTepDAAAQBAJ&pg=PA73&dq=importancia+del+jabon+en+la+industria&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjU2YDI9vrhAhXiQFkKHUOICH8Q6AEIRDAF#v=onepage&q=importancia del jabon en la industria&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=BTepDAAAQBAJ&pg=PA73&dq=importancia+del+jabon+en+la+industria&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjU2YDI9vrhAhXiQFkKHUOICH8Q6AEIRDAF#v=onepage&q=importancia%20del%20jabon%20en%20la%20industria&f=false).
- SZEWCZUL, B., *Nowi magistrzy prawa kanonicznego* [en línea]. 2006. S.l.: s.n. [Consulta: 11 abril 2019]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n4/titulo.html>.

- THEODORE, L., *Chemical reactor analysis and applications for the practicing engineer*. 2012. S.l.: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 1118158628.
- TOWLER, G.P. y SINNOTT, R.K., *Chemical engineering design: principles, practice, and economics of plant and process design* [en línea]. 2013. 2 ed. Chennai: Butterworth-Heinemann. [Consulta: 10 mayo 2019]. ISBN 9780080966601. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=IG5jsDMbcP0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=towler sinnot chemical engineering design&ots=SgV-eQbAhI&sig=wQwvehlv9gnTEEKUFoS1ODq-t6M&fbclid=IwAR2Vyn9CQc1XdLO1rxyR-pc_p4KD5844p77n0lh6hYt0bfiDyqigzRiuKxE#v=onepage&q=towler](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=IG5jsDMbcP0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=towler+sinnot+chemical+engineering+design&ots=SgV-eQbAhI&sig=wQwvehlv9gnTEEKUFoS1ODq-t6M&fbclid=IwAR2Vyn9CQc1XdLO1rxyR-pc_p4KD5844p77n0lh6hYt0bfiDyqigzRiuKxE#v=onepage&q=towler).
- URBANO, F.J.P., *Escalado de una torre de Absorción*. (Tesis). 2016. Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- URIBE RAMÍREZ, A.R., RIVERA AGUILERA, R., AGUILERA ALVARADO, A.F. y MURRIETA LUNA, E., Agitacion Y Mezclado Stirring and Mixing. *Revista Enlace Químico, Universidad de Guanajuato* [en línea], 2012. vol. 4, no. 1, pp. 22-23. Disponible en: <http://www.dcne.ugto.mx/Contenido/revista/numeros/41/A4.pdf>.
- VALDERRAMA, E.H., *FORMULACIÓN Y MANUFACTURA DE PRODUCTOS PARA LA HIGIENE PERSONAL Y COSMÉTICA* [en línea]. (Tesis). Pontificia Universidad Católica del Perú. 2012. [Consulta: 29 abril 2019]. Disponible en: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1446/HILGERT_VALDERRAMA_EDUARDO_FORMULACION_PRODUCTOS_HIGIENE.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- VIRTO ALBERT, L., *Dinámica de gases*. 2017. 1 ed. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. ISBN 9788498806922.
- WEISSERMEL, K. y ARPE, H.-J., *Química orgánica industrial: productos de partida e intermedios más importantes*. 1981. S.l.: Reverté. ISBN 8429179895.

ANEXOS

ANEXO A: Instructivo para el uso del reactor discontinuo de saponificación.

Manual de procedimientos:

- Antes de empezar a utilizar el equipo se debe seguir algunas instrucciones básicas para el mejor desempeño del equipo.
- Encendido del equipo:
- Coloque el interruptor en la toma de corriente de 110 V.
- Cerrar la válvula de descarga.
- Luego se procede a encender el sistema de agitación. Se debe tener en cuenta, que el regulador de velocidad del agitador debe ser el adecuado, para la agitación del jabón líquido a 250 rpm en su primera etapa en la velocidad 2 al 15 % (3min) y luego en la velocidad 1 al 18% hasta que la mezcla se homogenice (para 10 L aprox. 13 min).
- El equipo ha sido diseñado no solo para obtención de jabón líquido, sino también tiene varias utilidades como la producción de: shampoo, ambientales, etc. Además, puede ser utilizado como equipo para agitación y mezclado de productos de viscosidad media-alta.

Apagado del equipo:

- Una vez que se haya terminado el proceso de elaboración, dar vuelta el botón de encendido ON y dejar en OFF para apagar el equipo.
- Desconectar el cable de poder por seguridad personal.
- Dejar reposar la mezcla 24 horas (en el caso del jabón líquido) hasta que la espuma baje y envasar el producto.

Limpieza del equipo:

- La limpieza del equipo se la realiza con detergente y cepillo para retirar los residuos que se encuentran en el aspa y en las paredes del reactor.
- Después enjuagar con agua limpia.

Tabla: Registro de limpieza del equipo

| FECHA | NOMBRE | RESPONSABLE | FIRMA |
|--------------|---------------|--------------------|--------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Recomendaciones:

- Dar mantenimiento preventivo adecuado al equipo y seguir cuidadosamente el manual de operación con el fin de alargar su vida útil.
- Para un mejor desempeño del equipo trabajar con un mínimo de 10 litros y un máximo de 30 litros en la elaboración de jabón líquido.
- En la formulación colocar la cantidad necesaria de colorante para evitar mancharse.
- Para alcanzar los mejores niveles de funcionamiento, depende mayormente de las acciones preventivas, por lo que es importante establecer un sistema de control en la operación de la planta y proporcionar a todo el sistema un mantenimiento periódico para disminuir el riesgo de un nuevo colapso.
- Se debería hacer cambios en la red eléctrica para evitar daños en el equipo.

Mantenimiento:

- El jabón restante en el aspa debe ser retirado para evitar corrosión en la misma.

Anexo B: Validación del equipo.

Técnica para la obtención del jabón líquido

1. Sustancias y Reactivos:

- Texapon
- Glicerina
- Cloruro de sodio
- Aromatizante
- Colorante Vegetal
- Agua destilada
- Comperlan
- Bronidox (opcional)

2. Materiales y Equipos:

- Reactor Discontinuo de Saponificación
- Vaso de precipitación de 1000ml
- Espátula
- Frascos
- Balde
- Guantes
- Picnómetro
- Viscosímetro
- Balanza

Procedimiento:

- Incorporar en el reactor discontinuo de saponificación, el texapon y la glicerina, agitar tres minutos a velocidad 2 y 15%, hasta obtener una crema tipo chantillí (Aprox. 3 min).
- Retirar 5 litros de agua destilada para diluir el cloruro e incorporar a la mezcla anterior.
- Inmediatamente incorporar 5 litros de agua destilada a la mezcla, mezclar a una velocidad 1 al 18% aprox. 10 min.
- Luego incorporar el aromatizante y colorante vegetal respectivamente y seguir con la agitación por unos 2 min.
- Si queremos que el producto dure más de 1 año se debe incorporar Bronidox y seguir agitando en la misma velocidad.
- Dejar 24 horas para su saponificación, e inmediatamente envasar.
-

Datos

Datos Experimentales:

Tabla de Datos Experimentales de las Cantidades a utilizar para 10 L de jabón

| V _{agua} destilada (L) | V _{jabón} líquido (L) | Texapon (kg) | Glicerina (kg) | Comperlan (kg) | Colorante alimenticio (Kg) | Aromatizante (L) | Cloruro de Sodio (Kg) |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 10 | 11,6 | 1,197 | 0,326 | 0.303 | 0,001 | 0,067 | 0,295 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Donde:

V_{Agua destilada} = Volumen del agua destilada

V_{jabón líquido} = Volumen del jabón líquido

Cálculos y Resultados

Tabla de Densidades

| ρ_{H_2O} (Kg/L) | $\rho_{Texapon}$ (Kg/L) | $\rho_{glicerina}$ (Kg/L) | $\rho_{comperlan}$ (Kg/L) | $\rho_{aromatizante}$ (Kg/L) | $\rho_{jabón}$ (Kg/L) |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 0,998 | 1,045 | 1,26 | 1,00 | 1,01 | 1,028 |

Fuente: Multicomexipor, 2019

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Donde:

ρ_{H_2O} = Densidad del agua

$\rho_{Texapon}$ = Densidad del texapon.

$\rho_{glicerina}$ = Densidad de la glicerina

$\rho_{comperlan}$ = Densidad del comperlan

$\rho_{jabón}$ = Densidad del jabón líquido.

Cálculos Específicos:

Cálculo de la alimentación (E).

$$Kg_{agua} = 10 L * \frac{0,998 Kg}{L}$$

$$Kg_{agua} = 9,98 Kg$$

E = kg de agua + kg de texapon + kg de glicerina + kg de comperlan + Kg de cloruro de sodio + Kg de colorante vegetal + kg Aromatizante

$$E = 9,98 + 1,197 + 0,326 + 0,303 + 0,295 + 0,001 + 0,0676$$

$$E = 12,17 Kg$$

Cálculo de las fracciones másicas en el flujo de alimentación.

Agua:

$$X_{FH2O} = \frac{X_i}{E}$$

$$X_{FH2O} = \frac{9,98}{12,17}$$

$$X_{FH2O} = 0,82$$

Texapon:

$$X_{FT} = \frac{X_i}{E}$$

$$X_{FT} = \frac{1,197}{12,17}$$

$$X_{FT} = 0,098$$

Glicerina:

$$X_{FG} = \frac{X_i}{E}$$

$$X_{FG} = \frac{0,326}{12,17}$$

$$X_{FG} = 0,0268$$

Comperlan:

$$X_{FC} = \frac{X_i}{E}$$

$$X_{FC} = \frac{0,303}{12,17}$$

$$X_{FC} = 0,0249$$

Cloruro de Sodio:

$$X_{FCINa} = \frac{X_i}{E_t}$$

$$X_{FCINa} = \frac{0,295}{12,17}$$

$$X_{FCINa} = 0,0242$$

Colorante Vegetal:

$$X_{FK} = \frac{X_i}{F}$$

$$X_{FK} = \frac{0,001}{12,17}$$

$$X_{FK} = 8,22 \times 10^{-5}$$

Aromatizante:

$$X_{FA} = \frac{X_i}{F}$$

$$X_{FA} = \frac{0,0676}{12,17}$$

$$X_{FA} = 5,55 \times 10^{-3}$$

Cálculo de la carga de salida (S).

$$Kg_{jabón} = 9 \text{ L} * \frac{1,02 \text{ Kg}}{\text{L}}$$

$$Kg_{jabón} = 9,18 \text{ Kg}$$

Balace de Masa:

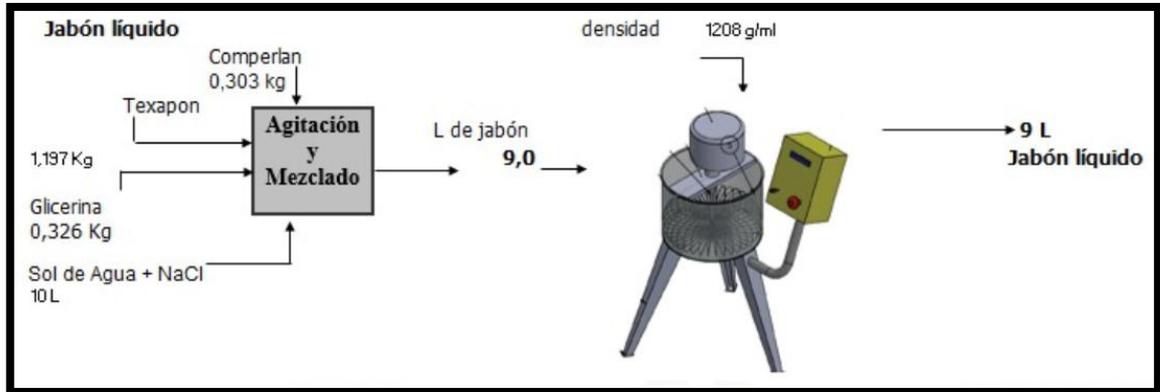


Figura: Balance de masa en la validación del equipo

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

$$E = S$$

$$12,17 \text{ Kg} = 11,83 \text{ Kg}$$

Cálculo de las fracciones másicas en la carga de salida.

$$EX_F = S X_S$$

$$X_S = \frac{EX_F}{S}$$

Agua:

$$X_{SH_2O} = \frac{12,17 (0,82)}{11,83}$$

$$X_{SH_2O} = 0,84$$

Texapon:

$$X_{ST} = \frac{12,17 (0,098)}{11,83}$$

$$X_{ST} = 0,1008$$

Glicerina:

$$X_{SG} = \frac{12,17 (0,0268)}{11,83}$$

$$X_{SG} = 0,0276$$

Comperlan:

$$X_{SC} = \frac{12,17 (0,0249)}{11,83}$$

$$X_{SC} = 0,0256$$

Cloruro de Sodio:

$$X_{SCINa} = \frac{12,17 (0,0242)}{11,83}$$

$$X_{SCINa} = 0,0249$$

Colorante Vegetal:

$$X_{SK} = \frac{12,17 (8,22 \times 10^{-5})}{9,18}$$

$$X_{SK} = 8,456 \times 10^{-5}$$

Aromatizante:

$$X_{SA} = \frac{12,17 (5,55 \times 10^{-3})}{9,18}$$

$$X_{SA} = 5,709 \times 10^{-3}$$

Cálculo del rendimiento del equipo

$$\text{Rendimiento} = \frac{m_s}{m_e} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{11,83}{12,17} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 97 \%$$

Donde:

m_e = masa de entrada kg

m_s = masa de salida kg

Técnica para la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio

Tabla: Datos Adicionales

| Parámetros | NaOH | AcEt |
|-------------------------|---------------|------------|
| Concentración inicial | 0.04989 mol/L | 0.05 mol/L |
| Volumen de alimentación | 10L | 10 L |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Cálculo del factor de proporcionalidad (f)

$$f_{NaOH} = \frac{\text{Conductividad inicial}}{\text{Concentracion inicial de NaOH}}$$

$$f_{NaOH} = \frac{21,08}{0,04926} = 427,9334$$

$$f_{NaAc} = \frac{\text{Conductividad Final}}{\text{Concentracion inicial de NaAc}}$$

$$f_{NaAc} = \frac{4,19}{0,04926} = 85,05887$$

Cálculo de la concentración del hidróxido de sodio (C_{NaOH})

$$C_{NaOH} = \frac{\text{Conductividad}_{mezcla} - f_{NaAc} * C_{A0}}{f_{NaOH} - f_{NaAc}}$$
$$C_{NaOH} = \frac{10,33 - (85,05887 * 0.04926)}{(427,9334 - 85,05887)} = 0.017907 \text{ mol/L}$$

Cálculo de la conversión de la reacción (X)

$$X = \frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}}$$

$$X = \frac{0,04926 - 0,000612469}{0,04926} = 0,987$$

Dónde:

X = *Conversión de la reacción*

C_{A0} = *Concentración inicial de hidróxido de sodio*

C_A = *Concentración del hidróxido de sodio en cada tiempo*

5.2.5 *Cálculo del tiempo de reacción*

$$t = \frac{1}{k} * \frac{1}{C_{A0}} \frac{X}{(1 - X)}$$

$$t = \frac{1}{35,05295} * \frac{1}{0,04926} \frac{0,987}{(1 - 0,987)} = 46 \text{ min}$$

Donde:

X = *Conversión de la reacción*

k = *Constante de velocidad*

C_{A0} = *Concentración inicial de hidróxido de sodio*

t = *Tiempo final de la reacción*

Cálculo del tiempo espacial

$$\tau = \frac{1}{t}$$

$$\tau = \frac{1}{46} = 0,02$$

Donde:

τ = *Tiempo espacial*

t = *Tiempo final de la reacción*

Resultados:

Tabla de Resultados de la concentración de la reacción de saponificación de acetato de etilo con hidróxido de sodio

| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Conductividad (mS/cm) | C_A (M) | $\ln(C_{A0}/C_A)$ | $1/C_A$ |
|--------------|------------------|-----------------------|-------------|-------------------|----------|
| 0 | 22 | 10,33 | 0,017907425 | 1,011897 | 55,84276 |
| 2 | 22 | 7,08 | 0,008428739 | 1,765465 | 118,6417 |
| 4 | 22 | 6,08 | 0,00551222 | 2,190145 | 181,4151 |
| 6 | 22 | 5,72 | 0,004462274 | 2,401454 | 224,101 |
| 8 | 22 | 5,45 | 0,003674813 | 2,59561 | 272,1227 |
| 10 | 22 | 5,2 | 0,002945684 | 2,816771 | 339,4797 |
| 12 | 22 | 5,09 | 0,002624867 | 2,932082 | 380,9717 |
| 14 | 22 | 4,98 | 0,00230405 | 3,062444 | 434,0184 |
| 16 | 22 | 4,86 | 0,001954067 | 3,227199 | 511,753 |
| 18 | 22 | 4,8 | 0,001779076 | 3,321018 | 562,0894 |
| 20 | 22 | 4,74 | 0,001604085 | 3,424559 | 623,4083 |
| 22 | 22 | 4,69 | 0,001458259 | 3,519869 | 685,7491 |
| 24 | 22 | 4,65 | 0,001341599 | 3,603251 | 745,3794 |
| 26 | 22 | 4,62 | 0,001254103 | 3,670692 | 797,3827 |
| 28 | 22 | 4,59 | 0,001166607 | 3,743012 | 857,1864 |
| 30 | 22 | 4,55 | 0,001049947 | 3,848373 | 952,4293 |
| 32 | 22 | 4,53 | 0,000991616 | 3,905531 | 1008,455 |
| 34 | 22 | 4,5 | 0,000904121 | 3,997905 | 1106,047 |
| 36 | 22 | 4,48 | 0,00084579 | 4,064596 | 1182,326 |
| 38 | 22 | 4,47 | 0,000816625 | 4,099687 | 1224,552 |
| 40 | 22 | 4,46 | 0,00078746 | 4,136055 | 1269,906 |
| 42 | 22 | 4,44 | 0,00072913 | 4,213016 | 1371,498 |
| 44 | 22 | 4,42 | 0,000670799 | 4,296398 | 1490,759 |
| 46 | 22 | 4,4 | 0,000612469 | 4,387369 | 1632,736 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

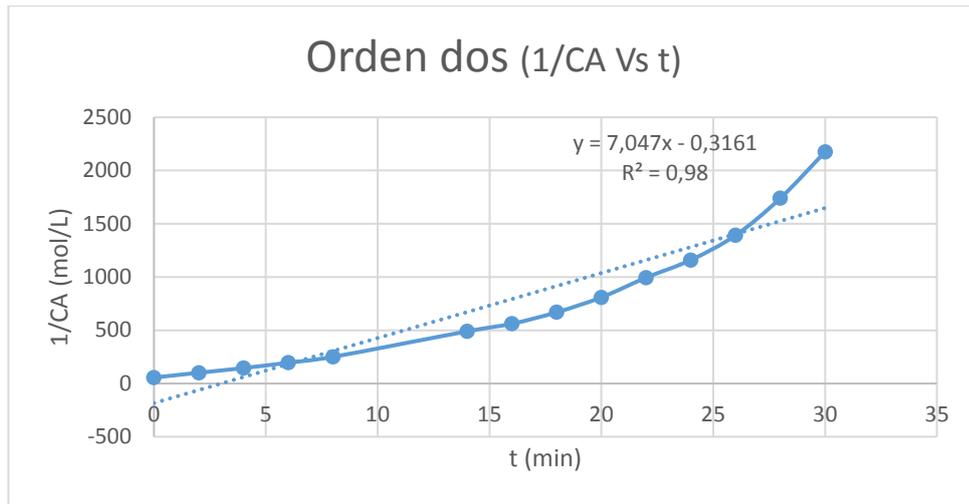


Gráfico: Orden de reacción

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

ANEXO C. Técnica para el estudio cinético de la reacción de saponificación del acetato de etilo

Determinación del orden de reacción, de la constante cinética (k), la energía de activación, de la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio

1. Sustancias y Reactivos:

- Agua destilada
- Hidróxido de sodio 99 % de pureza.
- Acetato de etilo 99 % de concentración.
- Indicador de fenolftaleína
- Ácido clorhídrico 99%

2. Materiales y Equipos:

- 1 agitador magnético
- 1 vaso de precipitación de 1000ml
- 1 pipeta graduada de 10 ml
- 2 balones aforados de 250 ml con sus respectivos tapones
- 3 vasos de precipitación de 250 ml
- 1 cronómetro
- 1 espátula
- 1 varilla de agitación
- 1 baño termostático
- 1 vidrio reloj
- 1 conductímetro
- 1 balanza analítica

3. Preparación de los reactivos:

3.1. Cálculo de la cantidad de reactivos

- Gramos de Hidróxido de Sodio

$$\frac{0,05 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ L SOL}} \times \frac{40 \text{ gr de NaOH}}{\text{mol NaOH}} \times \frac{0,5 \text{ L}}{100\%} \times 99\% \\ = 0,99 \text{ gr de NaOH}$$

Pesar 0.99 g de NaOH, disolver en un matraz volumétrico de 250 con agua destilada y aforar.

- Mililitros de HCl:

$$\frac{99,99 \text{ g HCl}}{100 \text{ g SOL}} \times \frac{1 \text{ mol HCl}}{36,46 \text{ g de HCl}} \times \frac{1,12 \text{ g}}{\text{ml}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{\text{L}}$$

$$C_1 = 30,715 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Donde:

C₁: Concentración del HCl

V₁: Volumen de HCl

C₂: Concentración de la disolución

V₂: Volumen de la disolución

$$(30,715 \frac{\text{mol}}{\text{L}}) V_1 = (0,05 \frac{\text{mol}}{\text{L}}) (250 \text{ml})$$

$$V_1 = 0.406 \text{ ml de HCl}$$

Extraer 0.5 ml de acetato de etilo, descargar en un matraz volumétrico de 250 ml y aforar con agua destilada.

- Mililitros de Acetato de etilo

$$\frac{99,95 \text{ gr Acetato de Etilo}}{100 \text{ gr SOL}} \times \frac{1 \text{ mol de Acetato de Etilo}}{88,11 \text{ gr de Acetato de Etilo}} \times \frac{0,898 \text{ gr}}{\text{ml}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{\text{L}}$$

$$C_1 = 10,19 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$(10,19 \frac{\text{mol}}{\text{L}}) V_1 = (0,05 \frac{\text{mol}}{\text{L}}) (500 \text{ ml})$$

$$V_1 = 2,45 \text{ ml de Acetato de Etilo}$$

Extraer 2.45 ml de acetato de etilo, descargar en un matraz volumétrico de 250 ml y aforar con agua destilada.

3.2. Valoración de la solución de NaOH (0.05M):

Procedimiento:

- Llenar la bureta con la solución de NaOH 0.05 M.
- Descargar 10 ml HCl 0.05M en un vaso de precipitación, agregar 3 gotas del indicador de fenolftaleína y agitar.
- Titular con el NaOH (gota a gota), hasta el viraje de incoloro a rosa, hacer un duplicado y anotar los resultados.

Tabla 3.2-1. Resultados de la titulación

| Muestra | Volumen de HCl 0.05 M + fenofaleina | Volumen gastado de NaOH |
|---------|--|----------------------------|
| 1 | 10 ml | 10.1 |
| 2 | 10 ml | 10.2 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

- Calcular la concentración inicial de NaOH, con las ecuaciones de punto de equivalencia

$$C_1V_1=C_2V_2$$

$$(C_1)(10.1ml) = (0.05M)(10ml)$$

$$C_1 = 0.0495M = C_{A0}$$

3.3. Experimento 1: Temperatura de operación 25 °C

Tabla 3.3-1. Parámetros iniciales

| Parámetros | NaOH | AcEt |
|----------------------------|---------------|------------|
| Concentración inicial | 0.04926 mol/L | 0.05 mol/L |
| Volumen de alimentación | 250L | 250L |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

Procedimiento:

- Verificar condiciones de operación, temperatura aproximada (25 ± 2) °C.
- En un vaso de precipitación de 1000 ml, descargar la disolución de NaOH y medir la conductividad en intervalos de 2 min durante 10 min.
- Encender el agitador magnético y verter enseguida la disolución de Acetato de Etilo en el vaso de precipitación.
- Medir la conductividad de la mezcla desde el tiempo 0 a intervalos de 2 min, hasta que la variación de las lecturas sea mínima.
- Calcular el factor de proporcionalidad de NaOH (f_{NaOH}) y el factor de proporcionalidad del acetato de sodio (f_{NaAc}), con las siguientes ecuaciones:

$$f_{NaOH} = \frac{\lambda_i}{C_{A0}}$$

$$f_{NaOH} = \frac{\text{Conductividad inicial}}{\text{Concentracion inicial de NaOH}}$$

$$f_{NaOH} = \frac{21,08}{0,04926} = 427,9334$$

$$f_{NaAc} = \frac{\lambda_f}{C_{SO}}$$

$$f_{NaAc} = \frac{\text{Conductividad Final}}{\text{Concentracion inicial de NaAc}}$$

$$f_{NaAc} = \frac{4,19}{0,04926} = 85,05887$$

Tabla 3.3-2. Constantes de proporcionalidad

| | |
|------------|----------|
| f_{NaOH} | 163,8246 |
| f_{NaAc} | 85,26188 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

- Cálculo de la concentración de NaOH, utilizando la siguiente ecuación:

$$C_{NaOH} = \frac{\lambda_m - f_{NaOH} * C_{AO}}{f_{NaOH} - f_{NaAc}}$$

$$C_{NaOH} = \frac{\text{Conductividad}_{mezcla} - f_{NaOH} * C_{NaOH_0}}{f_{NaOH} - f_{NaAc}}$$

Tabla 3.3-3. Datos de concentración C_A a temperatura 22 °C

| Tiempo(min) | Temperatura(C) | Conductividad(ms) | CA (M) | 1/CA |
|-------------|----------------|-------------------|-------------|----------|
| 0 | 22 | 8,01 | 0,04926 | 20,30045 |
| 2 | 22 | 7,08 | 0,037235906 | 26,8558 |
| 4 | 22 | 6,08 | 0,024306772 | 41,1408 |
| 6 | 22 | 5,72 | 0,019652283 | 50,88467 |
| 8 | 22 | 5,45 | 0,016161417 | 61,87576 |
| 10 | 22 | 5,2 | 0,012929134 | 77,3447 |
| 12 | 22 | 5,09 | 0,011506929 | 86,90416 |
| 14 | 22 | 4,98 | 0,010084724 | 99,15987 |
| 16 | 22 | 4,86 | 0,008533228 | 117,1889 |
| 18 | 22 | 4,8 | 0,00775748 | 128,9078 |
| 20 | 22 | 4,74 | 0,006981732 | 143,2309 |
| 22 | 22 | 4,69 | 0,006335276 | 157,8463 |
| 24 | 22 | 4,65 | 0,00581811 | 171,8771 |
| 26 | 22 | 4,62 | 0,005430236 | 184,1541 |
| 28 | 22 | 4,59 | 0,005042362 | 198,3197 |
| 30 | 22 | 4,55 | 0,004525197 | 220,9849 |
| 32 | 22 | 4,53 | 0,004266614 | 234,3779 |
| 34 | 22 | 4,5 | 0,00387874 | 257,8157 |
| 36 | 22 | 4,48 | 0,003620157 | 276,2311 |
| 38 | 22 | 4,47 | 0,003490866 | 286,4619 |
| 40 | 22 | 4,46 | 0,003361575 | 297,4796 |
| 42 | 22 | 4,35 | 0,00193937 | 515,6313 |
| 44 | 22 | 4,25 | 0,000646457 | 1546,894 |
| 46 | 22 | 4,24 | 0,000517165 | 1933,618 |
| 48 | 22 | 4,23 | 0,000387874 | 2578,157 |
| 50 | 22 | 4,22 | 0,000258583 | 3867,235 |
| 52 | 22 | 4,21 | 0,000129291 | 7734,47 |
| 54 | 22 | 4,2 | 0 | |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

- Usando Excel trazar la gráfica $1/C_A$ vs Tiempo (t) y configurar la línea de tendencia para calcular la constante de velocidad k:

3.4. Experimento 2: Temperatura de operación 40 °C

Procedimiento

- Llevar la disolución de NaOH 0.05M y de acetato de etilo (EtAc), a una temperatura de 40°C en el baño termostático.
- Verificar condiciones de operación, temperatura aproximada (40± 2) °C.
- En un vaso de precipitación de 1000 ml, descargar la disolución de NaOH y medir la conductividad en intervalos de 2 min durante 6 min.

- Encender el agitador magnético y verter enseguida la disolución de Acetato de Etilo en el vaso de precipitación.
- Medir la conductividad de la mezcla desde el tiempo 0 a intervalos de 2 min, hasta que la variación de las lecturas sea mínima.
- Calcular el factor de proporcionalidad de NaOH (f_{NaOH}) y el factor de proporcionalidad del acetato de sodio (f_{NaAc}). Con la Eq. 1.2 y 1.3

Tabla 3.4-1. Factor de proporcionalidad

| | |
|------------|------------|
| f_{NaOH} | 289,281364 |
| f_{NaAc} | 126,471782 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

- Cálculo de la concentración de NaOH,

Tabla 3.4-2. Datos de concentración C_A a temperatura 40 °C

| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Conductividad (mS/cm) | CA (M) | 1/CA |
|--------------|------------------|-----------------------|-------------|------------|
| 0 | 40 | 12,87 | 0,04926 | 24,5195153 |
| 2 | 40 | 9,75 | 0,026113735 | 46,2527221 |
| 4 | 40 | 8,64 | 0,017879006 | 67,5558431 |
| 6 | 40 | 7,48 | 0,009273343 | 130,247665 |
| 8 | 40 | 7,15 | 0,006825181 | 176,966937 |
| 10 | 40 | 6,88 | 0,004822139 | 250,47628 |
| 12 | 40 | 6,77 | 0,004006084 | 250,47628 |
| 14 | 40 | 6,65 | 0,003115843 | 301,499226 |
| 16 | 40 | 6,56 | 0,002448163 | 387,641861 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

- Usando Excel trazar la gráfica $1/C_A$ vs Tiempo (t) y configurar la línea de tendencia para calcular la constante de velocidad k:

3.5. Experimento 3: Temperatura de operación 50 °C

- Llevar la disolución de hidróxido de sodio (NaOH 0.05M) y de acetato de etilo (EtAc 0.05M), a una temperatura de 50 °C en el baño termostático.
- Verificar condiciones de operación, temperatura aproximada (50 ± 2) °C.
- En un vaso de precipitación de 1000 ml, descargar la disolución de NaOH y medir la conductividad en intervalos de 2 min durante 4 min.
- Encender el agitador magnético y verter enseguida la disolución de Acetato de Etilo.

- Medir la conductividad de la mezcla desde el tiempo 0 a intervalos de 2 min, hasta que la variación de las lecturas sea mínima.
- Calcular el factor de proporcionalidad de NaOH (f_{NaOH}) y el factor de proporcionalidad del acetato de sodio (f_{NaAc}).

Tabla 4.5-1. Factor de proporcionalidad

| | |
|------------|------------|
| f_{NaOH} | 274,121922 |
| f_{NaAc} | 131,207105 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

- Cálculo de la concentración de NaOH

Tabla 4.5-2. Datos de concentración C_H a temperatura 50 °C

| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Conductividad (ms) | C (M) | 1/C |
|--------------|------------------|--------------------|-------------|-------------|
| 0 | 50 | 13,16 | 0,04926 | 21,45272572 |
| 2 | 50 | 9,94 | 0,022779666 | 46,39055128 |
| 4 | 50 | 8,26 | 0,00896384 | 117,8915844 |
| 6 | 50 | 7,8 | 0,005180935 | 203,971154 |
| 8 | 50 | 7,7 | 0,004358564 | 242,4562774 |
| 10 | 50 | 7,61 | 0,003618431 | 292,0496069 |

Elaborado por: Armas, I. y Ponce, D., 2019

- Usando Excel trazar la gráfica $1/C_A$ vs Tiempo y configurar la línea de tendencia para calcular la constante de velocidad k:

ANEXO D

a.



b.



c.



| | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------------|-------------------------------------|---------------|---|---------------|--------------|---------------|
| | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | | Preparación de disoluciones | | | | | | | | | | |
| <p>a. Peso del NaOH</p> <p>b. Volumen de Acetato de Etilo</p> <p>c. Disolución de NaOH y Acetato de Etilo 0.05M</p> | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> </table> | <input type="checkbox"/> | CERTIFICADO | <input type="checkbox"/> | APROBADO | <input type="checkbox"/> | POR APROBAR | <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | <p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR:</p> <p>Armas Roque María Isabel</p> <p>Ponce Andrade Daniela Yesenia</p> | ESCALA | FECHA | LÁMINA |
| <input type="checkbox"/> | CERTIFICADO | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | APROBADO | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | POR APROBAR | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | | | | | | | | | | | | |
| | | | 1:1 | 14/04/2019 | 1 | | | | | | | | |

ANEXO E

d.



e.



f.



| | | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA | | Medición de conductividad y pH temperatura ambiente mezcla a 0.05 M | | |
|----|---|-------------------------------------|---------------|---|--|---|--------------|---------------|
| d. | Medición de la conductividad en la disolución de NaOH. | <input type="checkbox"/> | CERTIFICADO | REALIZADO POR: Armas Roque María Isabel Ponce Andrade Daniela Yesenia | | ESCALA | FECHA | LÁMINA |
| e. | Medición del pH en la disolución de NaOH. | <input type="checkbox"/> | APROBADO | | | 1:1 | 14/04/2019 | 1 |
| f. | Mezcla NaOH y acetato de etilo a 500RPM temperatura ambiente. | <input type="checkbox"/> | POR APROBAR | | | | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | | | | | |

ANEXO F

g.



h.

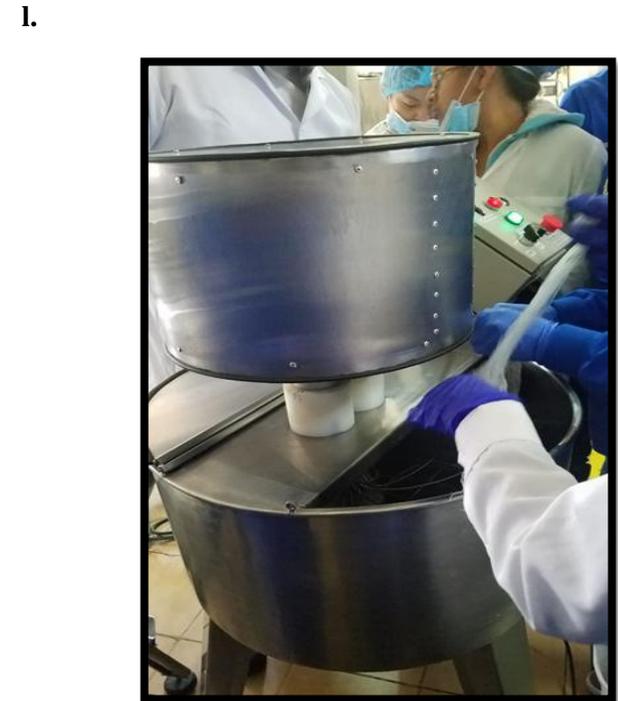


i.



| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------------------------|---|--------------------------|----------|--------------------------|-------------|-------------------------------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|
| | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | | Medición de la conductividad y pH en la mezcla a concentración 0.05M y temperatura ambiente | | | | | | | | | | |
| g. Conductividad inicial en la mezcla h. pH inicial en la mezcla i. Validación del equipo con alumnos de séptimo semestre de Ing. Química | <table border="1"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> </table> | <input type="checkbox"/> | CERTIFICADO | <input type="checkbox"/> | APROBADO | <input type="checkbox"/> | POR APROBAR | <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Armas Roque María Isabel Ponce Andrade Daniela Yesenia | ESCALA | FECHA | LÁMINA |
| <input type="checkbox"/> | CERTIFICADO | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | APROBADO | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | POR APROBAR | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | | | | | | | | | | | | |
| | | | 1:1 | 14/04/2019 | 1 | | | | | | | | |

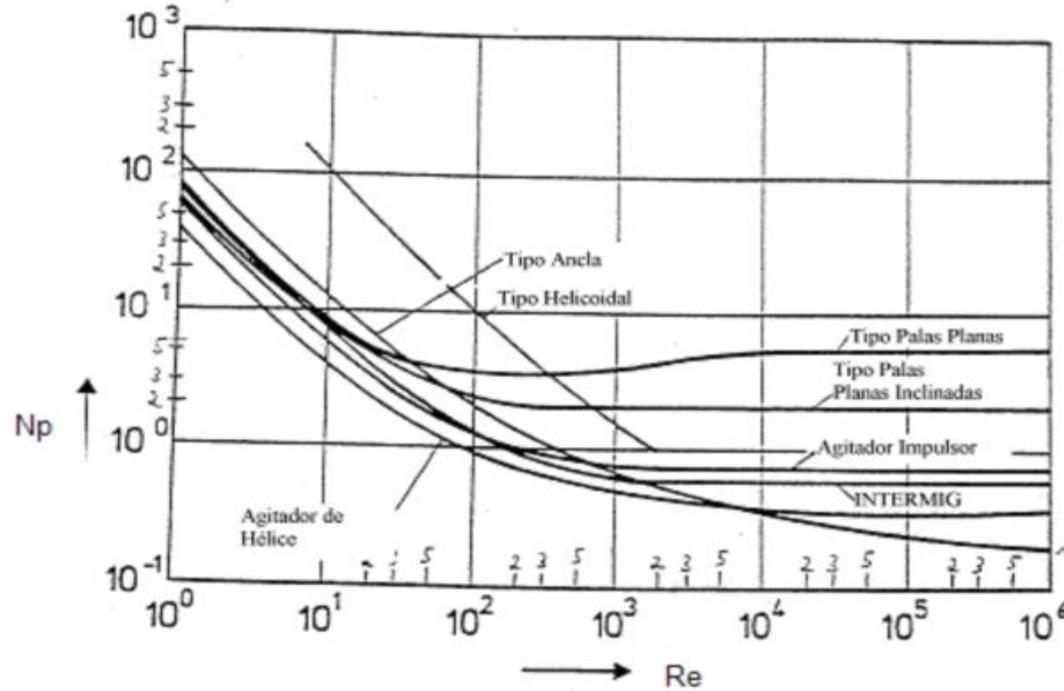
ANEXO G



| | | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA | | Propiedades físicas y químicas del jabón líquido | | |
|----|--|-------------------------------------|---------------|---|--|--|------------|--------|
| | | | | | | ESCALA | FECHA | LÁMINA |
| j. | Medición del pH del jabón líquido | <input type="checkbox"/> | CERTIFICADO | REALIZADO POR: Armas Roque María Isabel Ponce Andrade Daniela Yesenia | | 1:1 | 14/04/2019 | 1 |
| k. | Medición de la viscosidad del jabón líquido | <input type="checkbox"/> | APROBADO | | | | | |
| l. | Validación del equipo con los alumnos de segundo semestre de Ing. Química. (Balance de masa) | <input type="checkbox"/> | POR APROBAR | | | | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | | | | | |

ANEXO H

m.



CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

m. Gráfica Número de Potencia.

- CERTIFICADO
- APROBADO
- POR APROBAR
- POR CALIFICAR

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

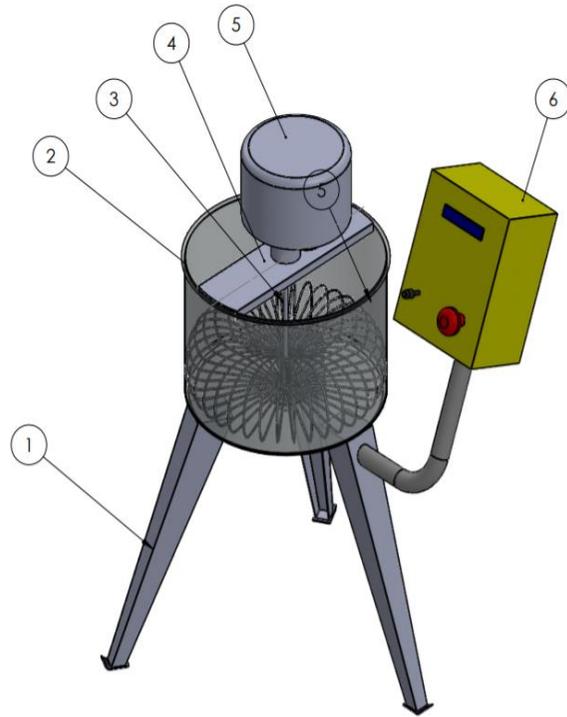
REALIZADO POR:
Armas Roque María Isabel
Ponce Andrade Daniela Yesenia

Diseño preliminar del reactor de
saponificación

| ESCALA | FECHA | LÁMINA |
|--------|------------|--------|
| 1:1 | 14/04/2019 | 1 |

ANEXO I

n.



| Cantidad | Nombre | No. |
|----------|----------------|-----|
| 1 | Caja eléctrica | 6 |
| 1 | Motor | 5 |
| 1 | Base motor | 4 |
| 1 | Agitador | 3 |
| 1 | Cilindro | 2 |
| 1 | Patas | 1 |

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

n. Partes del reactor de saponificación

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| <input type="checkbox"/> | CERTIFICADO |
| <input type="checkbox"/> | APROBADO |
| <input type="checkbox"/> | POR APROBAR |
| <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR |

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

REALIZADO POR:

Armas Roque María Isabel
Ponce Andrade Daniela Yesenia

Diseño del reactor de saponificación

| ESCALA | FECHA | LÁMINA |
|--------|-------|--------|
|--------|-------|--------|

| | | |
|-----|------------|---|
| 1:1 | 14/04/2019 | 1 |
|-----|------------|---|

ANEXO J

o.



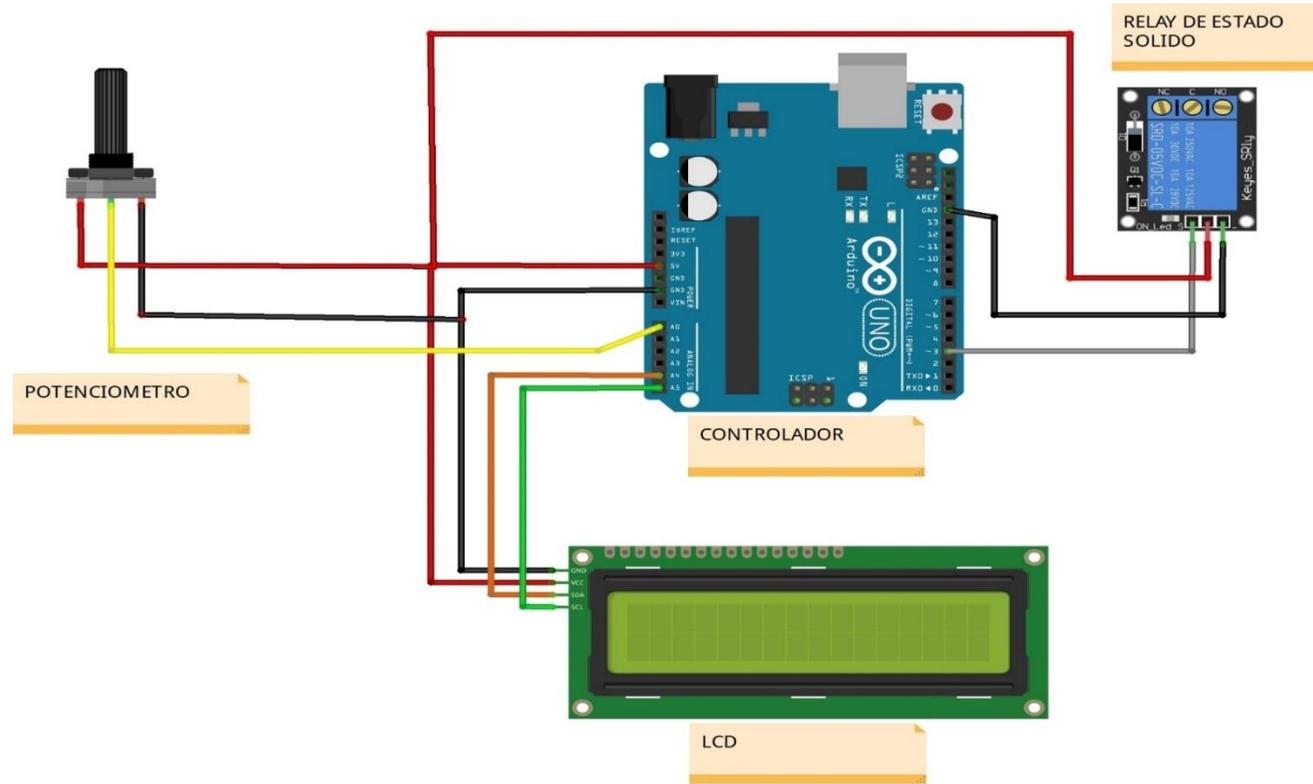
p.



| | | | | | |
|------------------------------------|--|---|---|--------------|---------------|
| | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | | Componentes del Reactor de saponificación | | |
| o. Reactor de saponificación | | <p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR:</p> <p>Armas Roque María Isabel</p> <p>Ponce Andrade Daniela Yesenia</p> | ESCALA | FECHA | LÁMINA |
| p. Sistema de control de velocidad | <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR | | 1:1 | 14/04/2019 | 1 |

ANEXO K

q.



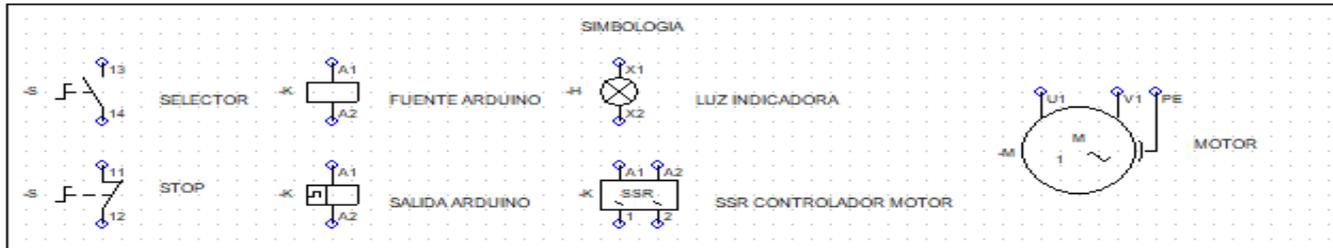
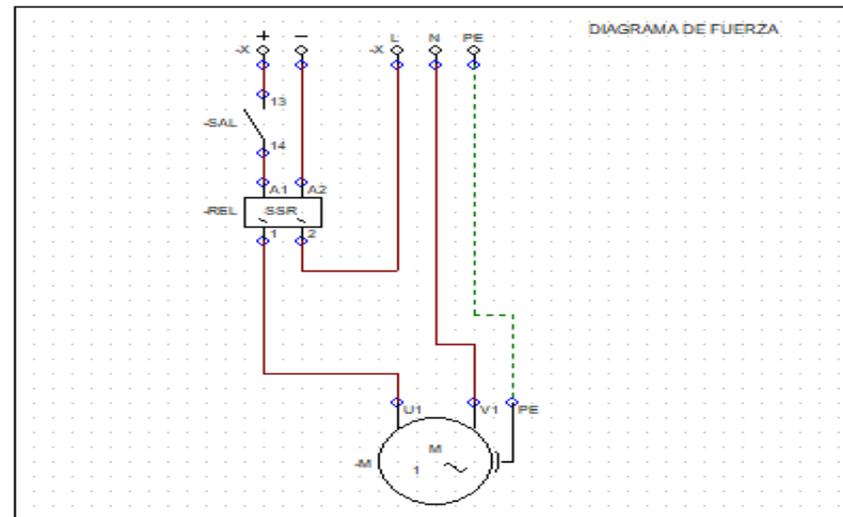
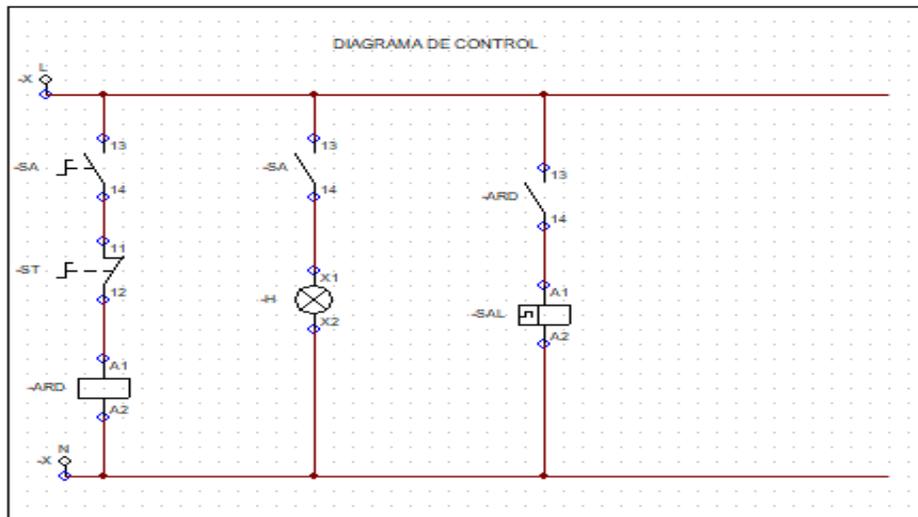
fritzin

| | | | | | |
|---------------------|--|--|-----------------------------------|--------------|---------------|
| | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | | Sistema de control de Velocidades | | |
| q. Diagrama Arduino | <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Armas Roque María Isabel Ponce Andrade Daniela Yesenia | ESCALA | FECHA | LÁMINA |
| | | | 1:1 | 14/04/2019 | 1 |

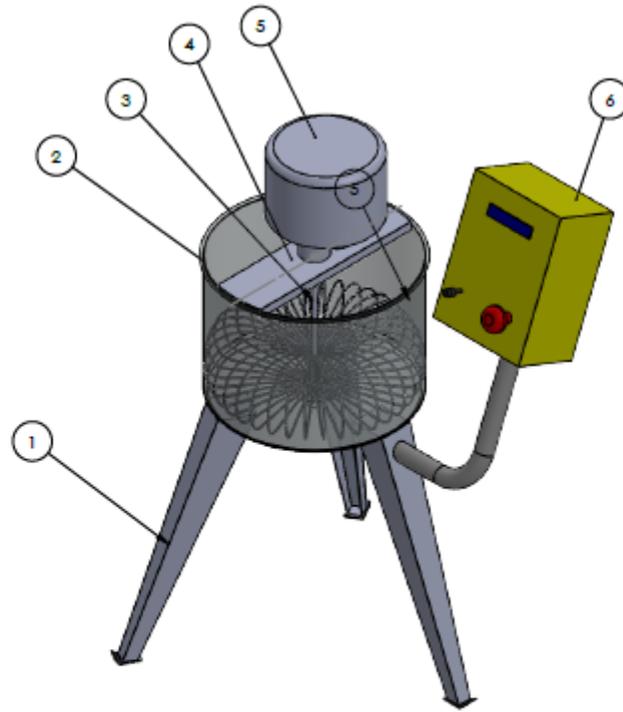
r.

ANEXO L

DIAGRAMAS DE CONTROL Y FUERZA



| CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | | <p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA </p> <p align="center"> REALIZADO POR: Armas Roque María Isabel Ponce Andrade Daniela Yesenia </p> | | | Diagramas de control y fuerza | | |
|--|----------------------------------|---|------------|---|-------------------------------|-------|--------|
| <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR | r. Diagramas de control y fuerza | | | | ESCALA | FECHA | LÁMINA |
| | | 1:1 | 14/04/2019 | 1 | | | |

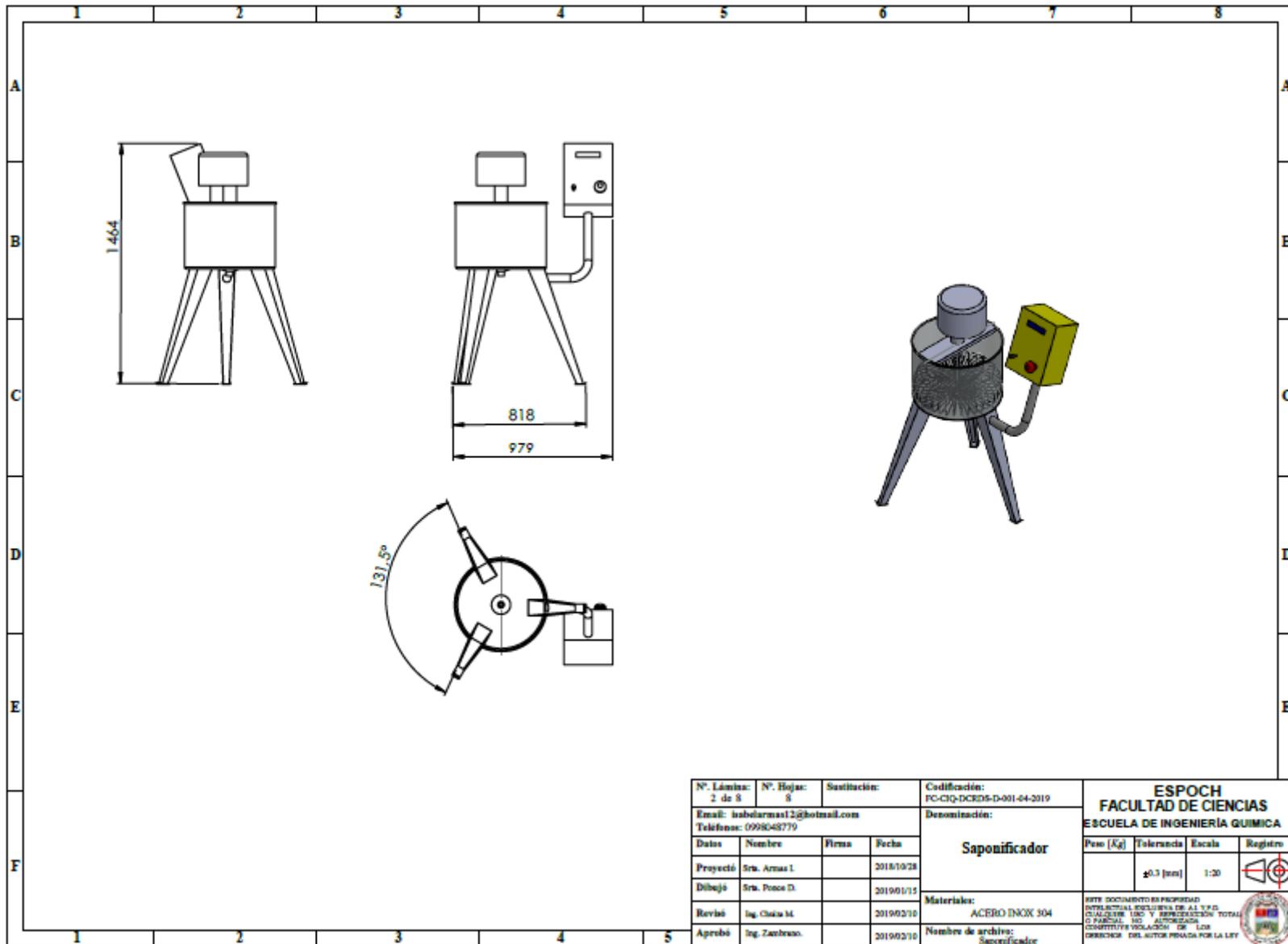


| | | | |
|--------------|----------------|-------------|-------------|
| 1 | Caja electrica | 6 | |
| 1 | Motor | 5 | |
| 1 | Base motor | 4 | |
| 1 | Agitador | 3 | |
| 1 | Cilindro | 2 | |
| 3 | Patas | 1 | |
| N° de piezas | Denominación | N° de Orden | Observación |

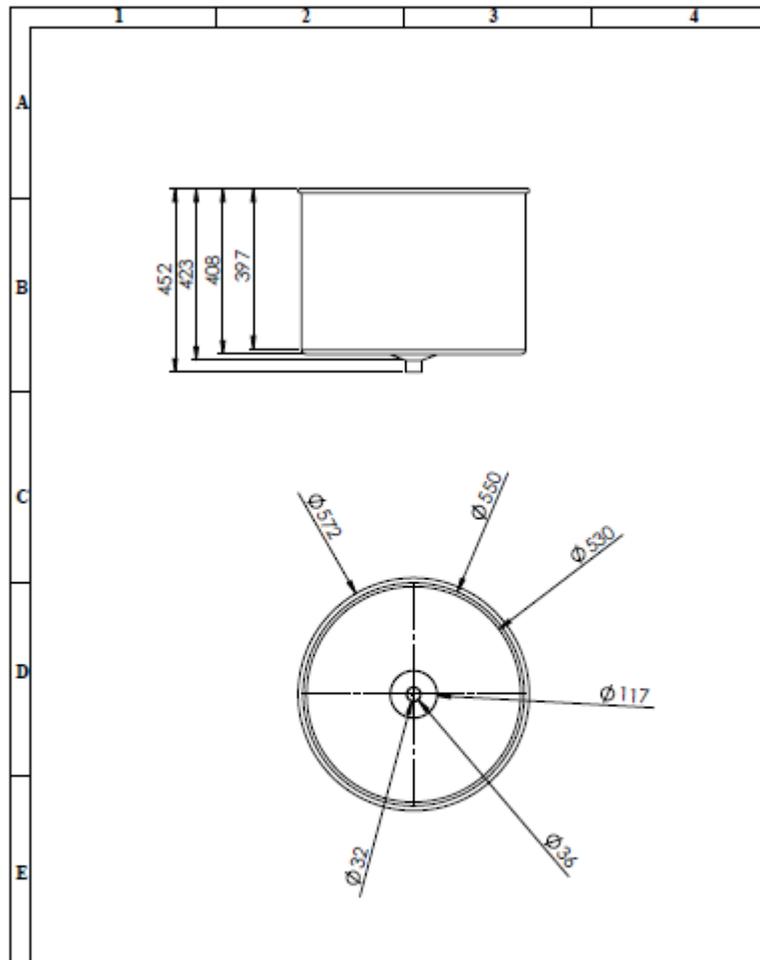
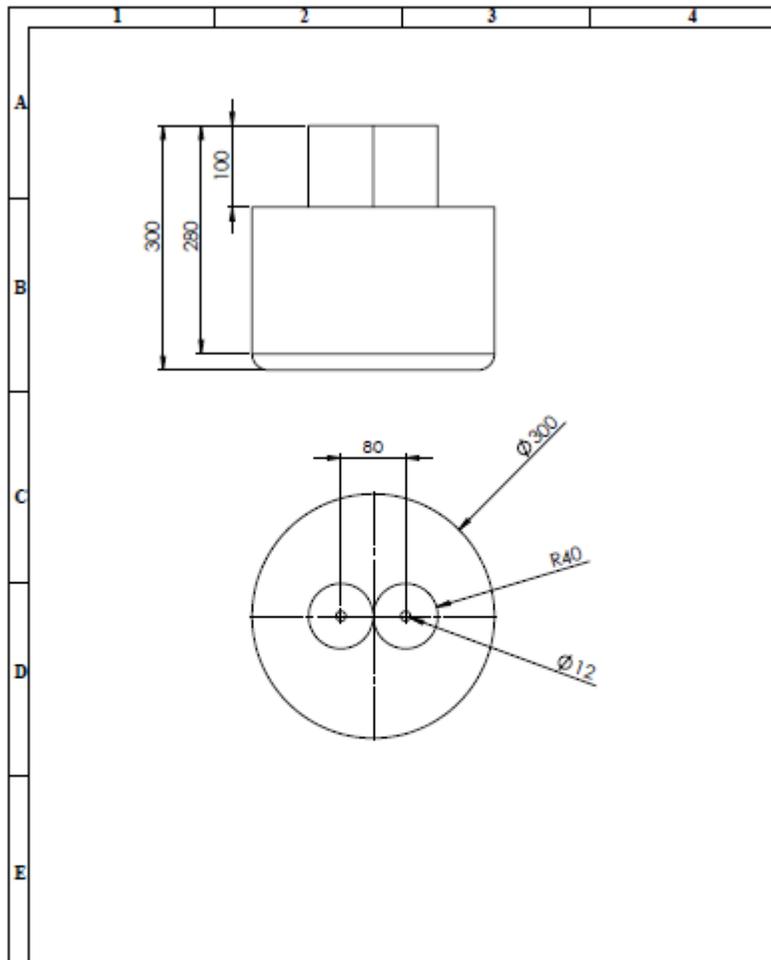
| | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------|--------------|---|--|--|-----------|------|----------------------|
| N° Lámina: 1 de 8 | N° Hojas: 8 | Sustitución: | Codificación: FC-CIQ-DCEDS-D-001-04-2019 | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA | | | | |
| Email: isabelarmas12@hotmail.com | | | Denominación: | | | | | Saponificador |
| Teléfono: 0998048779 | | | | | | ±0.3 [mm] | 1:10 | |
| Datos | Nombre | Firma | Fecha | Materiales: ACERO INOX 304 | | | | |
| Proyecto | Sra. Armas I. | | 2018/10/28 | | | | | |
| Dibujó | Sra. Ponce D. | | 2019/01/15 | | | | | |
| Revisó | Ing. Chata M. | | 2019/02/10 | | | | | |
| Aprobó | Ing. Zambrao. | | 2019/02/10 | Nombre de archivo: Saponificador | | | | |

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD
 INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE AL T.P.O.
 CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL
 O PARCIAL, SIN AUTORIZACION
 EXPRESITA VIOLACION DE LOS
 DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY



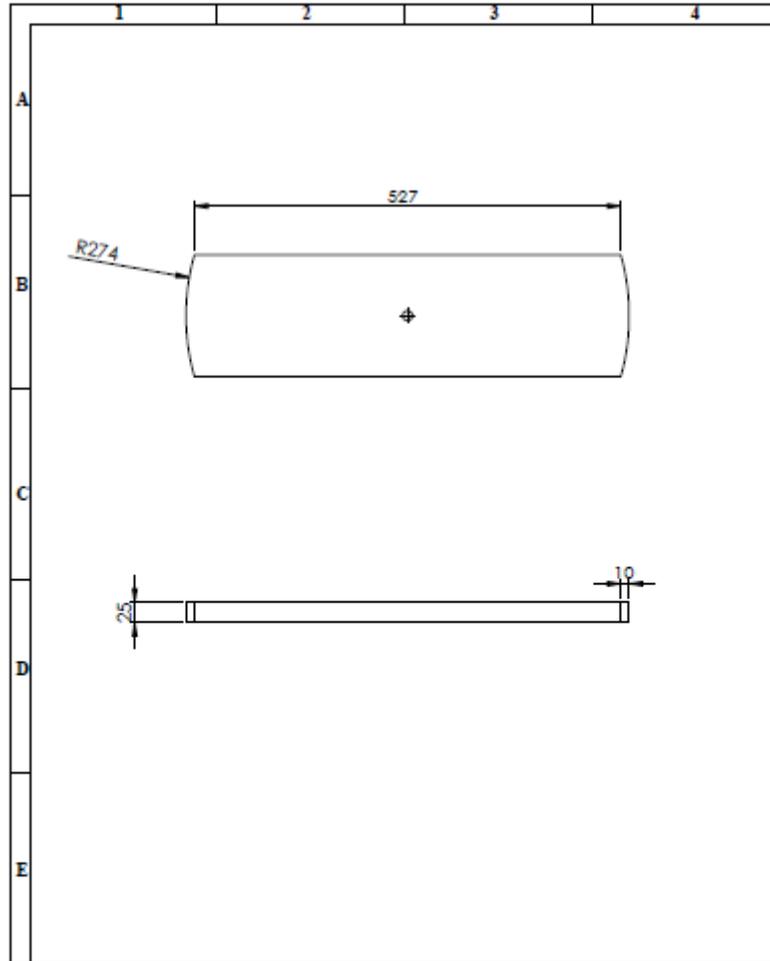
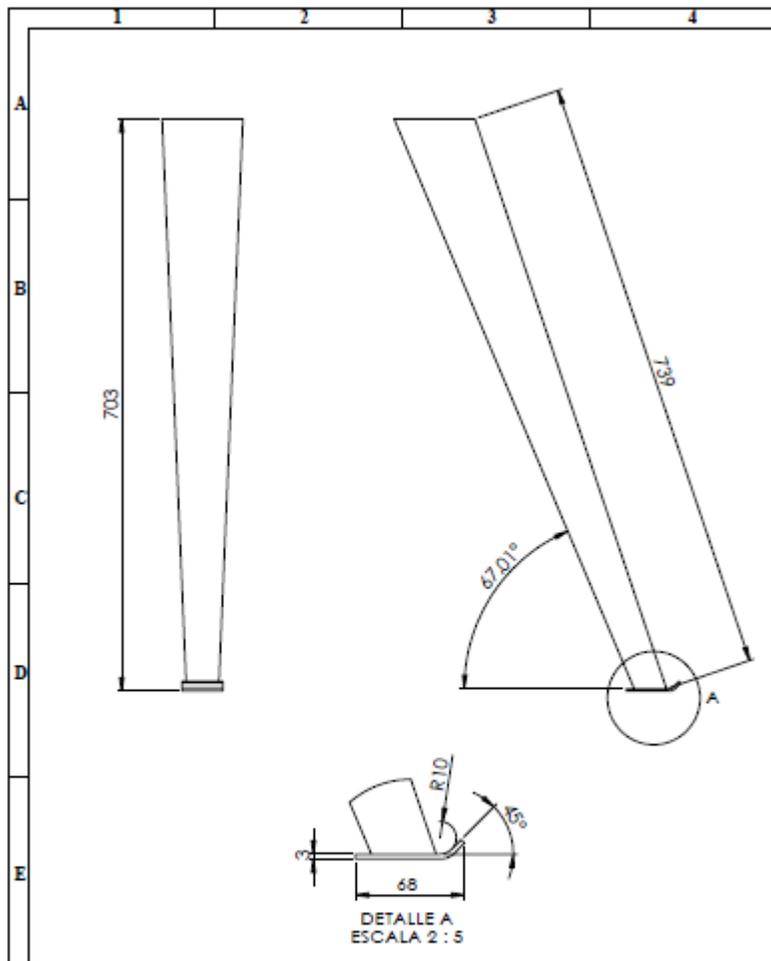


| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----------------|--|--------------|--|---|--|--|--|--|--|-----------|
| N°. Lámina: 2 de 8 | | N°. Hojas: 8 | | Sustitución: | | Codificación: FC-CIQ-DCEDS-D-001-04-2019 | | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA | | | | |
| Email: isabelarmas12@hotmail.com Teléfono: 0998048779 | | | | | | Denominación: | | | | | | Peso [Kg] |
| Datos | | Nombre | | Firma | | Fecha | | Saponificador | | | | |
| Proyectó | | Sra. Armas I. | | | | 2018/10/28 | | | | | | |
| Dibujó | | Sra. Ponce D. | | | | 2019/01/15 | | Materiales: ACERO INOX 304 | | | | |
| Revisó | | Ing. Chata M. | | | | 2019/02/10 | | | | | | |
| Aprobó | | Ing. Zambrano. | | | | 2019/02/10 | | Nombre de archivo: | | <small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE AL T.P.D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA, CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.</small>  | | |
| | | | | | | | | Saponificador | | | | |



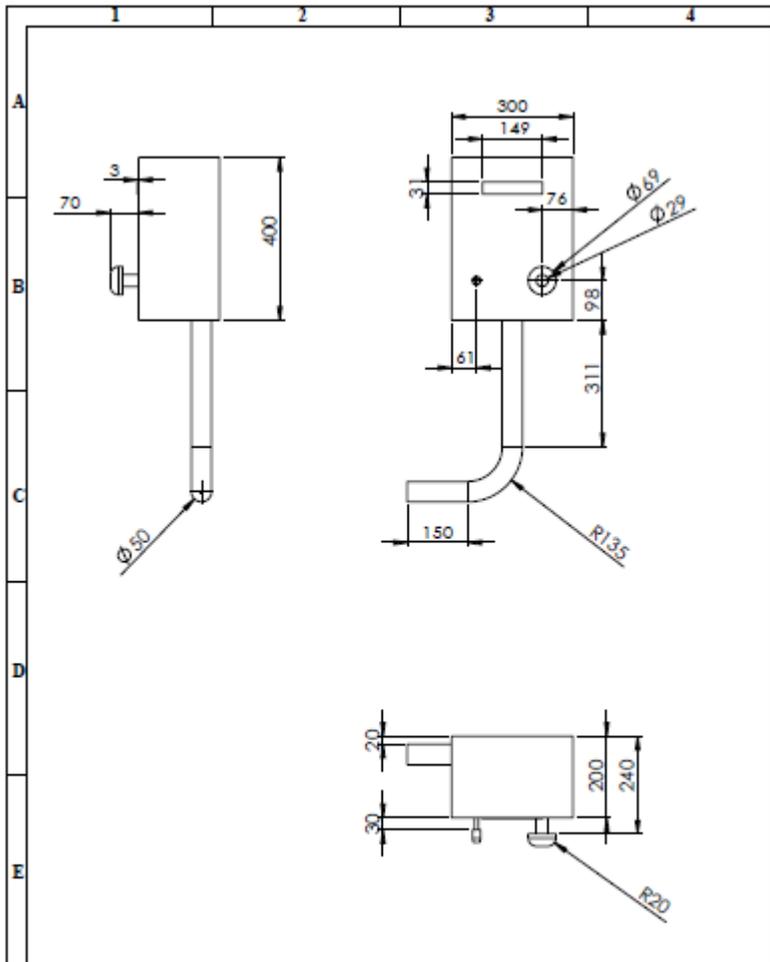
| | | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|----------------|--|---|--|--|--|--|--|
| N° Lámina: 4 de 8 | | N° Hojas: 8 | | Sustitución: | | Codificación: FC-CIQ-DCRD6-D-002-04-2019 | | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA | | | |
| Email: hsabelarmas12@hotmail.com | | | | Denominación: | | | | Motor | | | |
| Teléfono: 0998048779 | | | | Peso [Kg] | | | | | | | |
| Datos | | Nombre | | Firma | | Fecha | | Escala | | | |
| Proyectó | | Sra. Armas I. | | | | 2018/10/28 | | ±0.3 [mm] 1:5 | | | |
| Dibujó | | Sra. Ponce D. | | | | 2019/01/15 | | <small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL INCLUIDA DE AL T.P.D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>  | | | |
| Revisó | | Ing. Chaita M. | | | | 2019/02/10 | | | | | |
| Aprobó | | Ing. Zambrano M. | | | | 2019/02/10 | | | | | |
| Material: | | | | ACERO INOX 304 | | | | Nombre de archivo: | | | |
| | | | | Motor | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|----------------|--|---|--|--|--|--|--|
| N° Lámina: 3 de 8 | | N° Hojas: 8 | | Sustitución: | | Codificación: FC-CIQ-DCRD6-D-002-04-2019 | | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA | | | |
| Email: hsabelarmas12@hotmail.com | | | | Denominación: | | | | Cilindro | | | |
| Teléfono: 0998048779 | | | | Peso [Kg] | | | | | | | |
| Datos | | Nombre | | Firma | | Fecha | | Escala | | | |
| Proyectó | | Sra. Armas I. | | | | 2018/10/28 | | ±0.3 [mm] 1:10 | | | |
| Dibujó | | Sra. Ponce D. | | | | 2019/01/15 | | <small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL INCLUIDA DE AL T.P.D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>  | | | |
| Revisó | | Ing. Chaita M. | | | | 2019/02/10 | | | | | |
| Aprobó | | Ing. Zambrano M. | | | | 2019/02/10 | | | | | |
| Material: | | | | ACERO INOX 304 | | | | Nombre de archivo: | | | |
| | | | | Cilindro | | | | | | | |

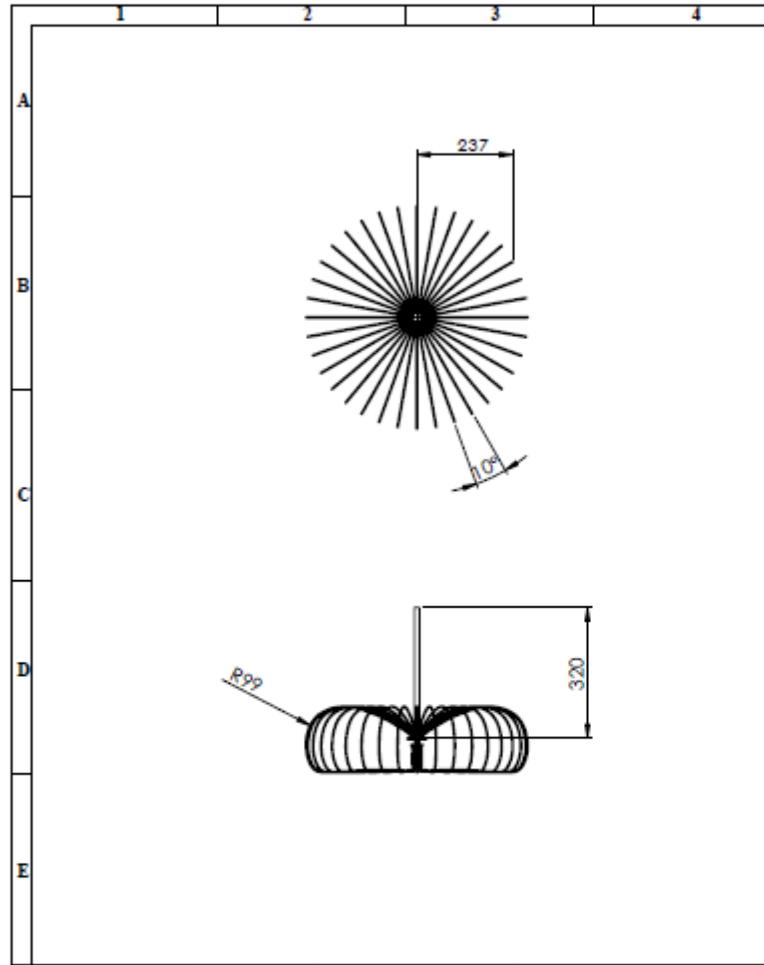


| | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|----------------|------------|-------------------------------|--|--|--|--|--|-----------|-----|-----------|
| N° Lámina: 5 de 8 | | N° Hojas: 8 | | Sustitución: | | Codificación: FC-CIQ-DCRD6-D-004-04-2019 | | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA | | | | |
| Email: isabelarmas12@hotmail.com Teléfono: 0998048779 | | | | | | Denominación: Apoyo | | | | | | Peso [Kg] |
| Datos | Nombre | Firma | Fecha | | | | | 80 | | ±0.3 [mm] | 1:5 | |
| Proyectó | Sra. Armas I. | | 2018/10/28 | | | | | | | | | |
| Dibujó | Sra. Pozo D. | | 2019/01/15 | | | | | | | | | |
| Revisó | Ing. Chiuza M. | | 2019/02/10 | | | | | | | | | |
| Aprobó | Ing. Zambrano M. | | 2019/02/10 | | | | | | | | | |
| | | | | Materiales: ACERO INOX 304 | | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE AL Y P.D. CALIDAD DE USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA. CUICUITEVE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY. | | | | | | |
| | | | | Nombre de archivo: Apoyo | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|----------------|------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|-----------|-----|-----------|
| N° Lámina: 6 de 8 | | N° Hojas: 8 | | Sustitución: | | Codificación: FC-CIQ-DCRD6-D-005-04-2019 | | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA | | | | |
| Email: isabelarmas12@hotmail.com Teléfono: 0998048779 | | | | | | Denominación: Base Motor | | | | | | Peso [Kg] |
| Datos | Nombre | Firma | Fecha | | | | | 80 | | ±0.3 [mm] | 1:5 | |
| Proyectó | Sra. Armas I. | | 2018/10/28 | | | | | | | | | |
| Dibujó | Sra. Pozo D. | | 2019/01/15 | | | | | | | | | |
| Revisó | Ing. Chiuza M. | | 2019/02/10 | | | | | | | | | |
| Aprobó | Ing. Zambrano M. | | 2019/02/10 | | | | | | | | | |
| | | | | Materiales: ACERO INOX 304 | | ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE AL Y P.D. CALIDAD DE USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA. CUICUITEVE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY. | | | | | | |
| | | | | Nombre de archivo: Base Motor | | | | | | | | |



| | | | | | | | |
|---|------------------|--------------|--|--|------------|--------|----------|
| N. Lámina: 7 de 8 | N. Hojas: 8 | Sustitución: | Codificación: FC-CIQ-DCEI06-D-007-04-2019 | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA | | | |
| Email: isabelmaria12@hotmail.com Teléfono: 0998048779 | | | Denominación: | Peso [Kg] | Tolerancia | Escala | Registro |
| | | | Caja Eléctrica | | ±0.3 [mm] | 1:5 | |
| Datos | Nombre | Firma | Fecha | | | | |
| Proyectó | Sra. Armas I. | | 2018/03/28 | | | | |
| Dibujó | Sra. Posco D. | | 2019/01/15 | | | | |
| Revisó | Ing. Chuiza M. | | 2019/02/10 | | | | |
| Aprobó | Ing. Zambrano M. | | 2019/02/10 | | | | |
| | | | Materiales: ACERO INOX 304 | <small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL ESCUELA DE AL Y P.D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, SIN AUTORIZACIÓN EXPLÍCITA O IMPLÍCITA DE LA DIRECCIÓN DEL ACTOR PRIVADA POR LA LEY</small> | | | |
| | | | Nombre de archivo: Caja eléctrica | | | | |



| | | | | | | | |
|---|------------------|--------------|--|--|------------|--------|----------|
| N. Lámina: 8 de 8 | N. Hojas: 8 | Sustitución: | Codificación: FC-CIQ-DCEI06-D-007-04-2019 | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA | | | |
| Email: isabelmaria12@hotmail.com Teléfono: 0998048779 | | | Denominación: | Peso [Kg] | Tolerancia | Escala | Registro |
| | | | Agitador | | ±0.3 [mm] | 1:5 | |
| Datos | Nombre | Firma | Fecha | | | | |
| Proyectó | Sra. Armas I. | | 2018/03/28 | | | | |
| Dibujó | Sra. Posco D. | | 2019/01/15 | | | | |
| Revisó | Ing. Chuiza M. | | 2019/02/10 | | | | |
| Aprobó | Ing. Zambrano M. | | 2019/02/10 | | | | |
| | | | Materiales: ACERO INOX 304 | <small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL ESCUELA DE AL Y P.D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, SIN AUTORIZACIÓN EXPLÍCITA O IMPLÍCITA DE LA DIRECCIÓN DEL ACTOR PRIVADA POR LA LEY</small> | | | |
| | | | Nombre de archivo: Agitador | | | | |