



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

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DE
FLUJO EN PISTÓN”**

TESIS DE GRADO
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR

SANDRA FABIOLA HEREDIA MOYANO
IVÁN FERNANDO HUACHO CHÁVEZ

RIOBAMBA – NOVIENBRE 2012

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecemos a Dios, por haber guiado nuestros pasos hasta esta etapa tan importante para nuestras vidas. A nuestras familias que con su apoyo incondicional supieron entregarnos todo su amor y comprensión.

De igual manera al Director de Tesis, y miembros del Tribunal quienes aportaron para la culminación de este trabajo de investigación.

No podemos dejar de dar las gracias a esas personas que siempre estuvieron con nosotros, que compartieron nuestras penas y alegrías, que fuimos avanzando y superando juntos todas las etapas de este proceso educativo, nuestros amigos y profesores.

Agradecemos de manera especial a Don Faustito Tapia, a la Ing. Fernanda Rivera y al Sr. Luis Rosero, por su colaboración incondicional que nos brindaron durante este tiempo.

Para iniciar un gran proyecto, hace falta valentía. Para terminarlo, hace falta perseverancia.

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi Padre: Washington Heredia que aunque su presencia se separo de mi lado, su espíritu me observa desde el cielo protegiéndome como una luz que alumbra mi camino. Sé que este momento hubiese sido especial como lo es para mí. Te extraño y te quiero papito

A la mama más mala del mundo: Martha Moyano por ser el pilar más importante y por demostrarme con su ejemplo de fortaleza que todo en la vida es posible con constancia y dedicación, gracias mamita por su apoyo, cariño y amor incondicional sus palabras de aliento me incentivaron a seguir siempre adelante.

A mis hermanos: Byron, Juan, Fer quienes son una parte fundamental en mi vida y siempre han estado a mi lado con sus bromas y locuras.

A mi novio: Lenin por su amor, comprensión y paciencia que me ha brindado en este tiempo de forma incondicional.

A mis amigos: Iván Huacho y Fer Rivera porque sin el equipo que formamos, no hubiéramos logrado esta meta.

A todos espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional

Sandra Heredia

Gracias Dios por todas las bendiciones.

Esta tesis va dedicada con todo el Amor de mi vida, a mis Padres, Alonso Huacho y Mariana Chávez, mi hermano Rodrigo Huacho, que significan todo en mi vida, y me han dado el ejemplo de superación, honradez y sobre todo constancia para seguir adelante.

También a una persona muy importante en mi vida por, compartir buenos y malos momentos juntos, y sobre todo jamás me dejo caer, y ocupa un lugar muy especial en mi corazón, María Fernanda Rivera Castillo.

A mi amiga y compañera de tesis Sandrita Heredia, por su esmero, paciencia y dedicación para alcanzar esta meta.

Juán Fernando Huacho

NOMBRE FIRMA FECHA

Dr. Silvio Álvarez Luna

DECANO FAC. CIENCIAS

Ing. Mario Villacrés

DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA

Ing. Gonzalo Sánchez

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marco Chuiza

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Tlgo. Carlos Rodríguez

DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN

NOTA DE LA TESIS ESCRITA

“Yo *Sandra Fabiola Heredia Moyano*, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis de Grado; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

SANDRA FABIOLA HERDIA MOYANO

“Yo *Iván Fernando Huacho Chávez*, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis de Grado; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

IVÁN FERNANDO HUACHO CHÁVEZ

ÍNDICES DE ABREVIATURAS

A	Acumulación
H	Altura del reactor
Q	Caudal
C	Concentración
C_A	Concentración final de A
C_B	Concentración final de B
C_{A0}	Concentración inicial de A
Λ	Conductividad
K	Constante de velocidad de la reacción específica
X_A	Conversión de A reactante
ρ	Densidad
ρ_{mezcla}	Densidad de la mezcla
D	Desaparición
D	Diámetro de la tubería
F_{A0}	Flujo másico
F_{Af}	Flujo másico final
X_{AC}	Fracción molar del acetato de etilo
X_{H_2O}	Fracción molar del agua
X_{NaOH}	Fracción molar del hidróxido de sodio
°C	Grados centígrados
L	Litro
ml	Mililitro

Re	Número de Reynolds
%P/P	Por ciento peso/peso
%P/V	Por ciento peso/volumen
%V/V	Por ciento volumen/volumen
S	Salida
τ	Tiempo espacial
Θ	Tiempo de residencia
V	Velocidad del reactor flujo en pistón
-ra	Velocidad de reacción
v_{me}	Velocidad media de reacción
μ	Viscosidad
μ_{mezcla}	Viscosidad de la mezcla
V	Volumen del reactor flujo en pistón
Vf	Volumen final

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
INTRODUCCIÓN	iii
ANTECEDENTES	iv
JUSTIFICACIÓN	v
OBJETIVOS	vi
CAPÍTULO I	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. CINÉTICA QUÍMICA	1
1.1.1. Velocidad de reacción	2
1.1.1.1. Factores que dependen la velocidad de reacción	3
1.1.2. Orden de reacción	4
1.1.2.1. Cinéticas de segundo orden	4
1.2. REACCIONES QUÍMICAS	5
1.2.1. Reactivos y productos	5
1.2.2. Clasificación de las reacciones	6
1.3. REACTORES QUÍMICOS	8
1.3.1. Reactores Ideales	11
1.3.2. Clasificación de los reactores	12
1.3.3. Funciones de un reactor químico	13
1.4. REACTOR FLUJO EN PISTÓN	14
1.4.1. Características del reactor flujo en pistón	16

1.4.2. Ventajas de un reactor flujo en pistón	17
1.4.3. Desventajas de un reactor flujo en pistón.....	17
1.4.4. Aplicaciones	18
1.5. CONCENTRACIONES	18
1.5.1. Unidades físicas de concentración	18
1.6. CONDUCTIVIDAD	19
1.6.1. Relación entre conductividad y concentración.....	19
1.7. RÉGIMEN DE FLUJO	20
1.7.1. Régimen de flujo laminar	21
1.7.2. Régimen de flujo turbulento.....	21
1.7.3. Número de Reynolds	22
1.8. TIEMPO DE RESIDENCIA	23
1.9. ÉSTERES	23
1.9.1. Propiedades físicas de los ésteres	24
1.9.2. Propiedades Químicas De Los Esteres	24
1.9.2.1. Hidrólisis ácida de los ésteres.....	24
1.9.2.2. Hidrólisis alcalina de los ésteres (reacción de saponificación)	25
1.9.3. Ésteres importantes.....	25
1.10. ACETATO DE ETILO	26
1.10.1. Propiedades físicas y termodinámicas	27
1.10.2. Propiedades Químicas.....	28
1.11. HIDRÓXIDO DE SODIO.....	28
1.11.1. Propiedades físicas.....	28
1.11.2. Propiedades químicas	28
1.12. ACETATO DE SODIO.....	29
1.12.1. Aplicaciones del acetato de sodio.....	29

1.12.2.Síntesis	30
1.12.3.Mecanismo de reacción	31
1.13. BOMBAS	32
1.13.1.Bombas centrifugas.....	32
1.14. MANGUERA DE PVC (POLICLORURO DE VINILO)	32
CAPÍTULO II	34
2. PARTE EXPERIMENTAL	34
2.1. MUESTREO	34
2.1.1. Plan de muestreo	34
2.1.2. Sistema de toma de muestras.....	35
2.2. METODOLOGÍA	35
2.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	35
2.3.1. Métodos	35
2.3.1.1. Deductivo.....	35
2.3.1.2. Experimental.....	36
2.3.1.2.1. Determinación de la conductividad	37
2.3.1.2.2. Preparación del hidróxido de sodio 0.038M.....	38
2.3.1.2.3. Preparación del acetato de etilo 0.038M.....	39
2.3.2. Técnicas.....	40
2.3.2.1. Técnica utilizada.....	40
2.4. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS	40
2.4.1. Materiales	40
2.4.2. Reactivos	41
2.4.3. Equipos.....	41
2.4.4. Procedimiento.....	41

2.5. DATOS EXPERIMENTALES	42
2.5.1. Variables del proceso	42
CAPÍTULO III.....	45
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR DE FLUJO EN PISTÓN.....	45
3.1. CÁLCULO PARA EL DISEÑO DEL REACTOR	45
3.1.1. Cálculo del volumen del reactor.....	45
3.1.2. Cálculo del caudal del fluido.....	46
3.1.3. Cálculo de la velocidad del fluido.....	46
3.1.4. Cálculo de la densidad y viscosidad de la mezcla.....	47
3.1.4.1. Determinación de la densidad de la mezcla.....	47
3.1.4.2. Determinación de la viscosidad de la mezcla.....	48
3.1.5. Cálculo del número de Reynolds.....	48
3.2. BALANCE DE MASA	49
3.2.1. Cálculo de la concentración final del acetato de sodio	53
3.3.2. Cálculo de la conversión teórica del acetato de sodio.....	54
3.3.3. Cálculo de la conversión experimental del acetato de sodio.....	56
3.3.4. Cálculo de la constante cinética de la reacción química	56
3.3.5. Cálculo de la velocidad media de la reacción química.....	57
3.3.6. Cálculo del tiempo de residencia.....	57
3.3.7. Cálculo de la velocidad de reacción	58
3.3.8. Cálculo de las cantidades de productos obtenidos	59
3.3.9. Conductividades a longitudes equidistantes.....	60
3.3.10. Concentración a longitudes equidistantes.....	62
3.3.11. Tiempo a longitudes equidistantes.....	64

3.3.12.Velocidad a longitudes equidistantes.....	65
3.3.13.Volumen a longitudes equidistantes	65
3.4. RESULTADOS	67
3.5. DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR.....	68
3.6. REQUERIMIENTOS PRESUPUESTARIO	69
3.6.1.Recursos humanos	69
3.6.2.Recursos materiales	69
3.6.3.Recursos totales	69
CAPÍTULO IV	70
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	70
CAPÍTULO V.....	72
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1. Conclusiones	72
5.2. Recomendaciones.....	74
BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Clasificación de las reacciones químicas	7
Tabla 1-2. Criterios para la clasificación de reactores	13
Tabla 2-1. Determinación de la conductividad	37
Tabla 2-2. Preparación del Hidróxido de Sodio	38
Tabla 2-3. Preparación del Acetato de Etilo 0.038M	39
Tabla 2-4. Datos experimentales para Hidróxido de Sodio 0.038 M	43
Tabla 2-5. Datos experimentales para Acetato de etilo 0.038 M.....	43
Tabla 2-6. Datos experimentales para Acetato de Sodio.....	43
Tabla 2-7. Datos experimentales para el caudal	44
Tabla 3-1. Distancias y tiempos de residencia en el reactor	58
Tabla 3-2. Conductividad en las diferentes corridas.....	60
Tabla 3-3. Concentración teórica en las diferentes corridas	62
Tabla 3-4. Concentración experimental en las diferentes corridas	62
Tabla 3-5. Conversión en las diferentes corridas.....	62
Tabla 3-6. Conversión teórica en las diferentes corridas.....	63
Tabla 3-7. Conversión experimental en las diferentes corridas.....	64
Tabla 3-8. Tiempo en las diferentes corridas.....	64
Tabla 3-9. Velocidad en las diferentes corridas.....	65
Tabla 3-10. Volumen experimental en las diferentes corridas	65
Tabla 3-11. Volumen teórico en las diferentes corridas	66
Tabla 3-12. Análisis físicos del hidróxido de sodio (0.038 m).....	67
Tabla 3-13. Análisis físicos del acetato de etilo (0.038 m).....	67
Tabla 3-14. Análisis físicos del acetato de sodio (0.029 m	67
Tabla 3-15. Conductividades a las diferentes concentraciones del acetato de sodio.....	67
Tabla 3-16. Condiciones iniciales de operación	68
Tabla 3-17. Resultados finales de la conversión.....	68
Tabla 3-18. Dimensionamiento del reactor.....	68
Tabla 3-19. Recursos humanos	69
Tabla 3-20. Recursos materiales	69
Tabla 3-21. Recursos totales	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Velocidad de Reacción.....	3
Figura 1-2. Tipos de reactores ideales	11
Figura 1-3. Nomenclatura utilizada en un reactor de flujo en pistón	15
Figura 1-4. Representación gráfica de las ec. de diseño para un RFP	16
Figura 1-5. Esquemización del dispositivo utilizado por Reynolds	20
Figura 1-6. Regímenes de flujo.....	23
Figura 3-1. Esquema del reactor principal.....	49
Figura 3-2. Concentración Vs. conductividad del NaOH.....	51
Figura 3-3. Concentración vs Conductividad en las diferentes corridas	54
Figura 3-4. Conductividad en las diferentes corridas	60
Figura 3-5. Conversión en las diferentes corridas	62
Figura 3-5. $1/C_a$ Vs t a lo largo del reactor en las diferentes corridas.....	62
Figura 3-6. Concentración a lo largo del reactor en las diferentes corridas	64

RESUMEN

Se diseñó y construyó un reactor de flujo en pistón a escala de laboratorio, donde los estudiantes de la escuela de Ingeniería Química, realizarán prácticas en la cátedra de Ingeniería de las reacciones químicas, fortaleciendo la teoría con la parte experimental.

El equipo construido consta de acero inoxidable 304 debido a las propiedades anticorrosivas, el cuerpo del reactor está dispuesto de forma helicoidal el mismo que consta de manguera PVC transparente que permite observar la reacción a lo largo del reactor, los reactivos fueron impulsados hacia el reactor utilizando una bomba centrífuga de corriente directa, posee accesorios de bronce que son ideales para evitar pérdidas durante el funcionamiento y consta de envases plásticos de 2L resistentes a los reactivos utilizados.

Para demostrar su funcionamiento se realizó la obtención de acetato de sodio y etanol utilizando hidróxido de sodio 0.038M y acetato de etilo 0.038M.

Mediante la investigación, los parámetros encontrados en la literatura y determinados experimentalmente se decidió que las condiciones ideales para el mejor funcionamiento del reactor son: una temperatura de 21°C, y una presión constante que está ejerciendo la bomba con un flujo de alimentación de $7.32 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ de cada reactivo, en un tiempo de 47.57s que produce la reacción a lo largo del reactor. Se obtuvo una conversión del 21% y una concentración final de 0.029M, demostrando así la eficiencia del equipo, y comprobando la parte teórica con la experimental.

Para alargar la vida útil del equipo se recomienda leer las instrucciones del manual de operación adjunto a esta investigación.

SUMMARY

A flow reactor in piston on laboratory scale was designed and constructed, where the students of the School of Chemical Engineering will make practices of the chair of Engineering of the chemical reactions, fortifying the theory with the experimental part.

The constructed equipment consists of stainless steel 304 due to its anticorrosive properties, the body of the reactor has helical from consisting of transparent PVC hose that allows to observe the reaction throughout the reactor, the reagents were impelled to the reactor having used a direct current centrifugal pump, it also has bronze accessories which are ideal to avoid losses during the operation and consists of plastic packages of 2 l. resistant the used reagents.

In order to demonstrate its operation it was carried out the obtaining of sodium acetate and ethanol using sodium hydroxide 0.038M and ethyl acetate 0.038M.

By means of the present research, the parameters found in literature and determined experimentally, it was concludes that the ideal conditions for the best operation of the reactor are: a temperature of 21 °C, and one constant pressure exerted by the pump with a flow of feeding of 7.32×10 m of each reagent, in a time of 47.57 s. that produces the reaction along the reactor. A conversion of 21% was obtained and one final concentration of 0.029M, demonstrating therefore the efficiency of the equipment and verifying the theoretical part with the experimental one.

In order to extend the lifetime of the equipment it is recommended to read the instructions of the operation manual attached to this investigation.

INTRODUCCIÓN

Gracias a la carrera de ingeniería química, y a las necesidades de crear nuevos productos, es indispensable diseñar y construir reactores químicos. Entre los más importantes está el Reactor de flujo en Pistón, que puede llegar a cumplir características necesarias para la creación de nuevos productos, no de manera pura, pero si de un alto grado técnico.

El estudiante de Ingeniería química, durante su formación académica debe dominar el conocimiento de Reactores Químicos y saber identificar los diferentes comportamientos de cada uno de ellos, en sus distintas aplicaciones industriales, siendo esta una característica importante de la carrera.

Durante los estudios de los reactores es muy importante tomar en cuenta muchos parámetros o variables, que debemos considerar para el dimensionamiento de un Reactor Flujo en Pistón como son: la viscosidad, densidad, concentraciones, conversiones químicas, constantes químicas, y velocidad de reacción, todo esto conlleva a un dimensionamiento óptimo para el estudio de un PFR

En este reactor se podrá estudiar la hidrólisis básica de la Saponificación del acetato de Sodio, donde se podrá apreciar el comportamiento bajo el modelo flujo en pistón, y comprobar experimentalmente los resultados teóricos.

ANTECEDENTES

En la actualidad las diferentes necesidades de los seres humanos no se pueden comparar a la de algunas décadas atrás, donde la tecnología no era tan avanzada como hoy en día, debido a los altos requerimientos en la nueva era industrial, por ello las industrias han adaptado nuevas tecnologías para satisfacer la demanda.

Aproximadamente hace 16 años en la universidad San Carlos de Guatemala el ingeniero Cesar Alfonso García Guerra, construyo el único reactor tubular, utilizando materiales de vidrio condensados, el mismo que tenía una disposición de forma rectilínea.

Hoy en día existen trabajos de investigación sobre reactores tubulares a nivel de laboratorio, en el país existen, pero enfocados al diseño e implementación en una Industria Textil, esto fue desarrollado por la Ingeniera Dolly Amparo Muñoz Upegui en Noviembre del 2011 en la Escuela Politécnica del Ejército.

De la misma manera en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, existen investigaciones pero en Reactor Batch, así tenemos: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR BATCH PARA LA OBTENCIÓN POR TRANSESTERIFICACIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE COCINA RECICLADO, realizado por Paúl Gustavo Palmay Paredes y Alex Javier Espinoza Guerrero en el año 2009. Otra investigación es DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR BATCH AERÓBIO PARA CULTIVO DE BACTERIAS BIODEGRADORAS DEPETRÓLEO, realizado por Dennis Suárez y Fernanda Rivera.

JUSTIFICACIÓN

En la industria química, uno de los aspectos más importantes es el conocimiento de los procesos químicos, el cuál involucra la utilización de equipos aptos para cada proceso.

Uno de los procesos más importantes se efectúa en los reactores químicos, en cuyo interior tiene lugar una reacción química, estando éste diseñado para maximizar o minimizar la conversión. El PFR es importante y bastante utilizado en la industria, ya que tiene establecida una ecuación de diseño, que permite la determinación y comprobación de un comportamiento ideal.

Los reactores químicos son de mucha importancia en la industria química, por lo tanto su estudio teórico complementado con la práctica es necesario para la correcta formación profesional del Ingeniero Químico.

En la Carrera de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, surge la necesidad de diseñar y construir un Reactor de Flujo en Pistón, por la inexistencia de estos equipos para fines didácticos.

De esta forma los estudiantes de la cátedra de Ingeniería de Reacciones, podrán fortalecer el conocimiento teórico recibido, mediante realización de prácticas, y, tendrán una mejor integración a las industrias en el campo profesional.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERAL

- Diseñar y construir un reactor de flujo en pistón

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Construir un reactor de flujo en pistón utilizando manguera transparente de PVC, para poder observar el transcurso de la reacción.
- Identificar las variables del diseño.
- Comprobar el funcionamiento del reactor flujo en pistón mediante el control del grado de conversión del hidróxido de sodio en la reacción de hidrólisis del acetato de etilo.
- Realizar el manual de operación del equipo a construir.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. CINÉTICA QUÍMICA

La cinética química es el estudio de la velocidad y del mecanismo por medio de los cuales una especie química se transforma en otra. La velocidad es la masa, en moles, de un producto formado o de un reactante consumido por unidad de tiempo. El mecanismo es la secuencia de eventos químicos individuales cuyo resultado global produce la reacción observada.

“La palabra mecanismo indica todos los procesos individuales colisionales o elementales en los que intervienen moléculas (átomos radicales o iones) que se verifican simultánea o consecutivamente, produciendo la velocidad total observada. Se entiende también que el mecanismo de una reacción debe proporcionar una idea estereoquímica detallada de cada etapa a medida que se verifica. Esto implica un conocimiento del llamado complejo activado o estado de transición, no sólo en términos de las moléculas

constitutivas sino también en términos de la geometría, tales como las distancias y los ángulos interatómicos. En la mayor parte de los casos, el mecanismo postulado es una teoría ideada para explicar los resultados finales observados en los experimentos. Como cualquier otra teoría, la de los mecanismos está sujeta a modificaciones con el correr de los años, a medida que se obtienen nuevos datos o se establecen conceptos referentes a las interreacciones químicas.”¹

1.1.1. Velocidad de reacción

La velocidad o “rapidez” de una reacción química se puede expresar de varias formas. A veces, conviene medir la concentración x de un producto de reacción a diversos tiempos.

En la curva a de la Figura 1-1, se muestra esquemáticamente cómo puede variar esta concentración con el tiempo. La velocidad en un instante determinado se puede deducir de la pendiente dx/dt de la curva en el punto que corresponde a dicho instante. Si las unidades de concentración se toman en moles/ litro, las unidades de velocidad serán moles/litro.seg.

También se puede tomar como referencia la concentración de uno de los reactivos en función del tiempo, con lo que se obtendría la curva c de la Figura 1-1, en este caso, las pendientes dc/dt son de signo negativo. Por lo tanto, habrá que tenerlo en cuenta y enunciar la velocidad como $-dc/dt$.

¹PEARSON R., “Mechanisms of Inorganic Reactions”; New York; pag. 7.

Es importante hacer notar que la velocidad de una reacción química puede presentar un valor numérico diferente según la forma en que se la defina y mida.

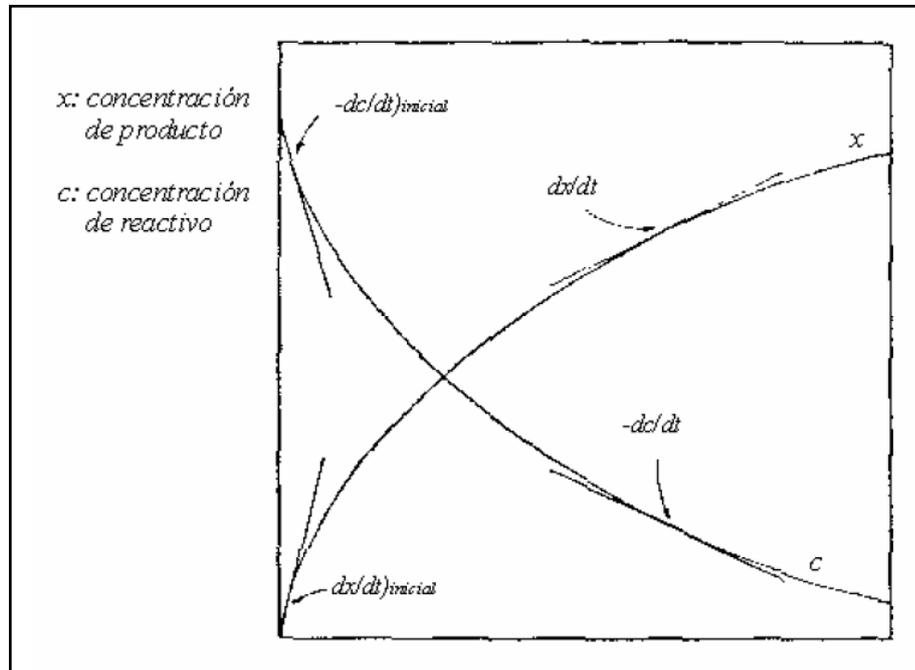


Figura 1-1 Velocidad de Reacción

1.1.1.1. Factores que dependen la velocidad de reacción

La velocidad de una reacción depende de la composición de las sustancias reaccionantes así como también de una serie de otros factores. Entre ellos destacan, su forma física, del nivel de mezcla de los reactivos, del tamaño y concentración de los reactivos, de la temperatura, de la presión, de las concentraciones de los reactivos, de sustancias que afecten la reacción sin ser ellas un reactivo o producto (catalizadores) y de algunas condiciones especiales propias del sistema como pueden ser la radiación de luz visible, UV, RX, neutrones u otras.

1.1.2. Orden de reacción

En algunas reacciones, las velocidades son proporcionales a las concentraciones de los reactivos elevadas a una potencia. Sólo en esos casos, conviene hablar de orden de reacción.

Si la velocidad es directamente proporcional a una sola concentración, se tendrá que

$$v = k c \quad \text{Ec. 1-1}$$

Y se dice que la reacción es de primer orden.

El término segundo orden se aplica a dos tipos de reacciones: aquellas cuya velocidad es proporcional al cuadrado de una sola concentración

$$v = k c^2 \quad \text{Ec. 1-2}$$

y a aquellas cuya velocidad es proporcional al producto de dos concentraciones de diferentes reactivos.

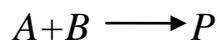
$$v = k C_A C_{B\text{Ec.}} \quad \text{1-3}$$

1.1.2.1. Cinéticas de segundo orden

En el caso de reacciones de segundo orden hay dos posibilidades: la velocidad puede ser proporcional al producto de dos concentraciones iniciales iguales, o al producto de dos concentraciones iniciales diferentes. El primer caso se da cuando se parte de un solo reactivo, proceso que se puede representar esquemáticamente como



También puede darse el caso de una reacción entre dos sustancias diferentes, siempre y cuando sus concentraciones iniciales sean iguales.



1.2.REACCIONES QUÍMICAS

1.2.1. Reactivos y productos

Las transformaciones químicas son aquellas en las que las sustancias que están presentes originalmente desaparecen para aparecer unas sustancias nuevas. Estas transformaciones se llaman reacciones químicas.

Las sustancias que empiezan y van desapareciendo, transformándose en otras reciben el nombre de reactivos, mientras que las sustancias que se van produciendo por la transformación química que sufren los reactivos se conocen con el nombre de productos.

En principio, antes de que empiece la reacción química, sólo tendremos reactivos. Cuando la reacción química comienza, la cantidad de reactivos va disminuyendo y aparece y aumenta la cantidad de productos. Al finalizar la reacción, normalmente tendremos productos y no habrá alguno o algunos de los reactivos iniciales.

A veces los productos de la reacción química son, a su vez, reactivos de otra. Tendremos entonces un conjunto de reacciones químicas sucesivas. Un caso especial es cuando los productos dan lugar a la misma reacción química, pero en sentido inverso, originando

las sustancias iniciales. Esta reacción, que se da en los dos sentidos, se llama equilibrio químico.

1.2.2. Clasificación de las reacciones

“Hay muchas maneras de clasificar las reacciones químicas. En la Ingeniería de las reacciones químicas probablemente el esquema más útil es el que resulta de dividir las, de acuerdo con el número y tipo de fases implicadas, en dos grandes grupos: sistemas homogéneos y heterogéneos.

Una reacción es homogénea si se efectúa solamente en una fase, y es heterogénea si, al menos, se requiere la presencia de dos fases para que transcurra a la velocidad que lo hace. Es indiferente que la reacción heterogénea tenga lugar en una, dos, o más fases, o en la interface, o si los reactantes y los productos están distribuidos entre las fases o están todos contenidos en una sola fase; lo único que interesa es que se necesitan, al menos, dos fases para que la reacción transcurra del modo que lo hace.

Esta clasificación no está, a veces, perfectamente diferenciada, como ocurre en el gran grupo de reacciones biológicas sustrato-enzima, en las que la enzima actúa como catalizador para la producción de proteínas. Ahora bien, las propias enzimas son proteínas altamente complicadas de gran peso molecular y de tamaño coloidal comprendido entre 10 y 100 m.u. por lo que las soluciones que contienen enzimas representan una región confusa entre los sistemas homogéneos y heterogéneos.

Otros ejemplos en los que la distinción entre sistemas homogéneos y heterogéneos no es tajante, lo constituyen las reacciones químicas muy rápidas tales como la llama de combustión de un gas, en las que puede ‘no existir homogeneidad en la composición o en la temperatura. Por consiguiente, estrictamente hablando, no tienen una sola fase, ya que una fase implica uniformidad en la temperatura, la presión y la composición. El modo de clasificar estos casos límites es sencillo; depende de cómo decidamos tratarlos, y esto a su vez depende de qué descripción.’²

Tabla 1-1

Clasificación de las reacciones químicas empleada en el diseño de reactores

	No catalizadas	Catalizadas
Homogéneas	La mayor parte de las reacciones en fase gaseosa	La mayor parte de las reacciones en fase líquida
	Reacciones rápidas tales como la Combustión de una llama	Reacciones en sistemas coloidales Reacciones con enzimas microbiológicas
Heterogéneas	Combustión del carbón Tostación de minerales Ataque de sólidos por ácidos Absorción gas-líquido con reacción Reducción de minerales de hierro a Hierro y acero	Síntesis del amoníaco Oxidación del amoníaco para dar ácido nítrico Cracking del petróleo Oxidación de SO ₂ a SO ₃

Fuente: LEVENSPIEL O., Ingeniería de las Reacciones Químicas; pag. 4

²LEVENSPIEL O., “Ingeniería de las Reacciones Químicas”; Editorial Reverté S.A.; Barcelona; pag. 4.

1.3.REACTORES QUÍMICOS

“Un reactor químico es una unidad de proceso diseñada para llevar a cabo una o varias reacciones químicas. Esta definición generalmente implica un sistema bien delimitado, casi siempre un recipiente cerrado, con líneas de entrada y salida claramente especificadas y un estricto algoritmo de control.”³

La importancia del reactor viene dada porque condiciona en gran medida el éxito de una planta química. Esto es así porque, aunque el coste del reactor en sí mismo, incluyendo su equipo auxiliar, a menudo constituye sólo una pequeña parte del coste total en la planta, los procesos de separación de productos y tratamiento de efluentes, una fracción muy significativa no sólo del inmovilizado en la planta sino sobre todo de sus costes de operación, dependen fuertemente de la composición obtenida a la salida del reactor.

En los reactor es, además, donde suele encontrarse la mayor complejidad del proceso, las condiciones más severas de presión y temperatura y las mejores oportunidades para el desarrollo del proceso, junto con las probabilidades más altas para un accidente grave en la operación de la planta.

“El diseño del reactor debe asegurar que éste cumpla con su objetivo: proporcionar un producto dado a partir de reactantes conocidos, con una velocidad y selectividad determinadas, mediante un proceso seguro y respetuoso con el medio ambiente.”⁴

³HERGUIDO J.; “Reactores Químicos: Conceptos Básicos”; Universidad de Zaragoza; 2007; Pag. 2.

⁴HERGUIDO J.; “Reactores Químicos: Conceptos Básicos”; Universidad de Zaragoza; 2007; Pag. 3.

En un sentido amplio, supone la determinación de:

- El tipo de reactor más adecuado para el proceso de reacción que se quiere realizar.
- La dimensión característica del reactor seleccionado (volumen del reactor, tiempo de reacción necesario, longitud del reactor, etc)
- Las condiciones óptimas de operación (temperatura o perfil de ésta, presión, agitación, etc), los intervalos permisibles de las mismas y la respuesta ante su variación.
- Las medidas de seguridad asociadas al reactor y su operación.

Aunque el reactor en si no represente económicamente un porcentaje elevado de la inversión (normalmente $< 10\%$), se considera que es el núcleo del proceso químico. Ello es debido a que su comportamiento condiciona las operaciones de acondicionamiento y separación.

Para implementar un reactor en un proceso hay que:

- Diseñarlo
- Hacerlo construir
- Mantenerlo en operación

En el diseño del reactor es necesario:

- Seleccionar el tipo

- Dimensionar
- Realizar el diseño o ingeniería de detalle

“La selección del tipo de reactor tiene por objeto maximizar el rendimiento material y energético de la planta. Para ello hay que considerar:

Las características de la reacción: Las reacciones químicas varían radicalmente según el número de las fases presentes, el mecanismo de reacción (una o varias etapas), la existencia de equilibrios, los efectos térmicos y la sensibilidad a las condiciones físicas (presión, temperatura, agitación).

Estas características imponen serias dificultades en el diseño del reactor, principalmente cuando se quiere preservar la seguridad y el medio ambiente y optimizar el rendimiento y los costes.

Aspectos técnicos (agresividad del medio, naturaleza de los materiales)

Económicos (materiales disponibles en el mercado, producción, costes de la energía).

Todo ello empíricamente viene englobado en la afirmación que indica que para grandes producciones unidades continuas y para pequeñas producciones unidades discontinuas.”⁵

⁵CUNILL F., IBORRA M.; TEJERO J.; “Reactores Químicos”, Universidad de Barcelona; Pag. 1.

1.3.1. Reactores Ideales

Existen tres tipos de reactores ideales, como se indica en la figura 1-2.

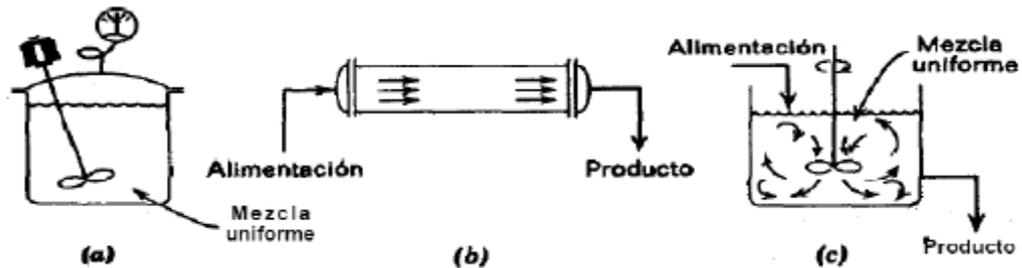


Figura 1-2. Tipos de reactores ideales: (a) Reactor discontinuo, (b) Reactor flujo en pistón, (c) Reactor de mezcla completa.

- a) “El primero es un reactor discontinuo en donde los reactantes se introducen en el reactor, se mezclan, se deja que reaccionen en un tiempo determinado y finalmente se descarga la mezcla resultante. Es ésta una operación no estacionaria en la que la composición va variando con el tiempo, aunque en cada instante es uniforme en todos los puntos del reactor.

- b) El primero de los dos reactores ideales de flujo estacionario, es el reactor de flujo en pistón, este reactor se caracteriza porque el flujo del fluido perpendicular a una sección transversal es ordenado, sin que ningún elemento del mismo sobrepase o se mezcle con cualquier otro elemento situado antes o después de aquél; en realidad, en este reactor puede haber mezcla lateral de fluido, pero nunca ha de existir mezcla o difusión a lo largo de la trayectoria de flujo. La condición necesaria y suficiente para que exista flujo en pistón es que el tiempo de residencia en el reactor sea el mismo para todos los elementos del fluido.

- c) El otro reactor ideal de flujo estacionario, se denomina reactor de mezcla completa, y como su nombre indica, es el reactor que su contenido está perfectamente agitado y su composición en cada instante es la misma en todos los puntos del reactor. Por consiguiente, la corriente de salida de este reactor tiene la misma composición que la del fluido contenido en el mismo.”⁶

Un reactor se considera un REACTOR IDEAL si:

1. Los reactantes están mezclados a la entrada del reactor, es decir, el tiempo de mezcla es cero y todo el volumen es útil para la reacción.
2. No se forman agregados moleculares
3. Se sigue un modelo de flujo ideal. El modelo de flujo tiene dos extremos de mezcla que representan la máxima mezcla posible y la inexistencia de la misma y que constituyen los dos modelos de flujo ideales posibles; los cuales se representan en el esquema siguiente:

1.3.2. Clasificación de los reactores

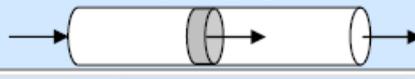
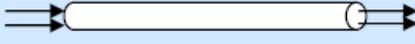
Los reactores pueden clasificarse según los siguientes criterios:

- Tipo de modelo de flujo: ideal al que tiende (mezcla perfecta, flujo en pistón) o real.
- Número de fases en contacto: homogénea (1 fase), heterogénea (2 fases = bifásica, 3 fases = trifásica, o multifásica)
- Modo de operación: continuo, semicontinuo, discontinuo.

⁶LEVENSPIEL O., “Ingeniería de las Reacciones Químicas”; Editorial Reverté S.A.; Barcelona; pag.107-108

- Evolución en el tiempo: régimen estacionario y régimen no estacionario
- Tipo de reacción química: catalítica, bioquímica, esterificación.

Tabla 1-2
Criterios para la clasificación de reactores

Criterios	Tipos de reactor	Ejemplos industriales
Modo de tratamiento de la carga	Cerrado (sin intercambio de materia con el exterior) 	Química fina, polimerización en discontinuo
	Semicerrado (una parte de la carga es añadida o extraída en el curso de la reacción) 	Cloración orgánica de "pequeños productos"
	Abierto (la carga circula dentro del reactor) 	Intermediarios o productos básicos petroquímicos de gran tonelaje
Evolución en el tiempo	Régimen no estacionario	Operaciones discontinuas, puestas en marcha Marcha continua de los reactores abiertos
	Régimen estacionario	
Modelo de flujo ideal	Reactor prácticamente agitado (composición uniforme) 	Sulfonaciones, nitraciones, polimerizaciones
	Reactor de circulación en pistón (progresión en bloque) 	Reactores catalíticos en lecho fijo, reactores homogéneos en circulación turbulenta.
Puesta en contacto de las fases *	Co-corriente 	Hidrodesulfuración de las fracciones petrolíferas Absorción y reacción química gas-líquido Combustión del carbón sobre soporte transportador
	Contra-corriente 	
	Corrientes cruzadas 	

Fuente: CUNILL F., IBORRA M.; TEJERO J.; "Reactores Químicos", Universidad de Barcelona; Pag. 6.

1.3.3. Funciones de un reactor químico

Los reactores químicos tienen como funciones principales:

- 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 y con el catalizador, para conseguir la extensión deseada de la reacción.
- Permitir condiciones de presión, temperatura y composición de modo que la reacción tenga lugar en el grado y velocidad deseada, atendiendo a los aspectos termodinámico y cinético de la reacción.

1.4.REACTOR FLUJO EN PISTÓN

La operación en flujo en pistón es una alternativa a la operación de mezcla perfecta para los reactores continuos.

En un reactor ideal de flujo en pistón no existe mezcla, de manera que el líquido que entra al reactor pasa a su través como un "pistón" y no interacciona con los elementos del fluido adyacentes, este tipo de flujo alcanza elevados caudales, los cuales hacen mínima la retromezcla y las variaciones en la velocidad del líquido. Los reactores flujo en pistón pueden operar de manera horizontal, al reactor flujo en pistón también se lo conoce como PFTR por sus siglas en inglés, "Plug-Flow Tubular Reactor".

El líquido en un PFTR fluye a velocidad constante, es decir, todas las partes del líquido presentan el mismo tiempo de residencia en el reactor. A medida que se produce la reacción, en el reactor se desarrollan gradientes de concentración y de producto en la dirección del flujo.

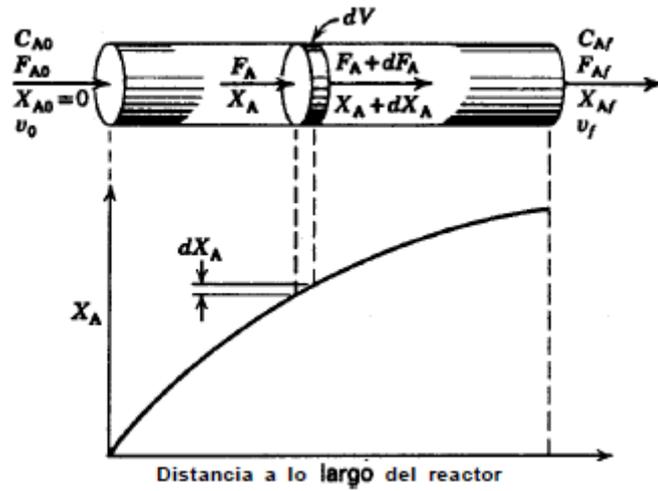


Figura 1-3. Nomenclatura utilizada en un reactor de flujo en pistón

$$E = S + D + A \quad \text{Ec. 1-4}$$

Donde:

E: Entrada

S: Salida

D: Desaparición

A: Acumulación

$$F_A = F_{A0} (1 - X_A) \quad \text{Ec. 1-5}$$

$$dF_A = -F_{A0} dX_A \quad \text{Ec. 1-6}$$

$$\frac{V}{F_{A0}} = \frac{\tau}{C_{A0}} = \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{-r_A} = -\frac{1}{C_{A0}} \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{-r_A} \quad \text{Ec. 1-7}$$

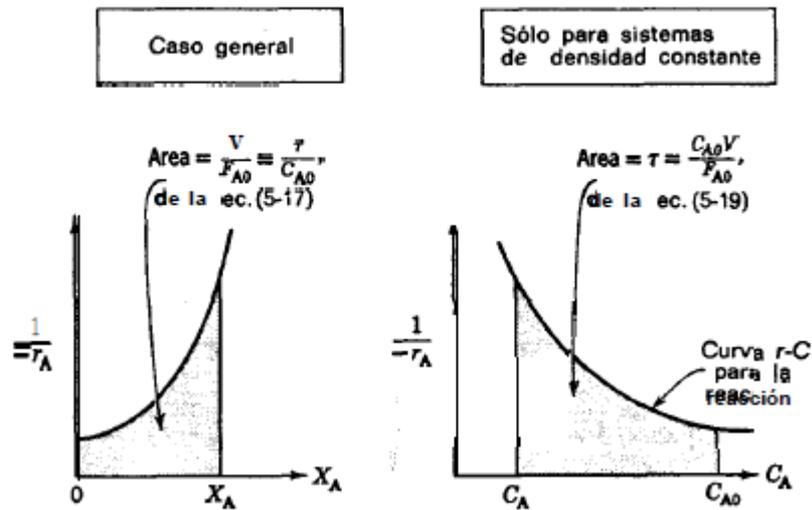


Figura 1-4. Representación gráfica de las ecuaciones de diseño para un reactor flujo en pistón

Orden 2 liquido “Concentración”

$$-r_A = kC_{A0}^2 \quad \text{Ec. 1-8}$$

$$\tau = \frac{C_{A0} - C_A}{-r_A} \quad \text{Ec. 1-9}$$

$$\tau = \frac{C_{A0} - C_A}{kC_A^2} \quad \text{Ec. 1-10}$$

1.4.1. Características del reactor flujo en pistón

Las características que presentan este tipo de reactores son las siguientes:

- Las reacciones químicas se desarrollan en un sistema abierto.
- Todos los reactivos se introducen continuamente y los productos se extraen en forma continua.
- Operan en régimen estable, por lo cual ninguna de las propiedades del sistema varía con relación al tiempo en una posición dada.

- La temperatura, la presión y la composición varían con relación a la longitud del reactor.

1.4.2. Ventajas de un reactor flujo en pistón

- Facilidad de control
- Sencillez mecánica
- Adaptabilidad a la transmisión de calor
- Se obtiene concentraciones deseadas en los diferentes puntos de tomas de muestras
- Su costo de operación es bajo comparado con el de los reactores por lotes.
- Su operación es continua.
- Más eficiente que el reactor continuo tipo tanque.

1.4.3. Desventajas de un reactor flujo en pistón

- Alto costo de operación (mantenimiento, limpieza).
- La desventaja principal del reactor tubular es la dificultad en controlar la temperatura dentro del reactor.
- No recomendables para desarrollar reacciones que tengan elevados tiempos de residencia.
- El tiempo de residencia permanece fijo para un flujo dado de alimentación.

1.4.4. Aplicaciones

Existe un campo muy grande para aplicar los reactores flujo en pistón, entre las más importantes tenemos:

- Cuando se desea una producción grande en forma continúa.
- Proceso de transesterificación mediante reactores de flujo pistón.

1.5.CONCENTRACIONES

En química, la concentración de una disolución es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente la sustancia que disuelve al soluto, y la disolución es el resultado de la mezcla homogénea de las dos anteriores. A menor proporción de soluto disuelto en el disolvente, menos concentrada está la disolución, y a mayor proporción más concentrada está.

Las unidades de concentración en que se expresa una solución o disolución pueden clasificarse en unidades físicas y en unidades químicas.

1.5.1. Unidades físicas de concentración

Las unidades físicas de concentración están expresadas en función del peso y del volumen, en forma porcentual, y son las siguientes:

- a) Tanto por ciento peso/peso $\%P/P = (\text{cantidad de gramos de soluto}) / (100 \text{ gramos de solución})$.

- b) Tanto por ciento volumen/volumen % V/V = (cantidad de ml de soluto) / (100 ml de solución).
- c) Tanto por ciento peso/volumen % P/V = (cantidad de gr de soluto) / (100 ml de solución)

1.6.CONDUCTIVIDAD

Es la propiedad de aquello que es conductor (es decir, que tiene la facultad de conducir). Se trata de una propiedad física que disponen aquellos objetos capaces de transmitir la electricidad o el calor.

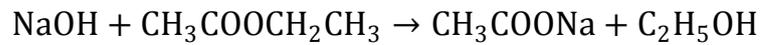
En los líquidos, la conductividad está vinculada a la existencia de sales en etapa de solución ya que, con su disociación, se producen iones negativos y positivos que pueden trasladar la energía eléctrica cuando el líquido es sometido a un campo eléctrico. Dichos conductores iónicos reciben el nombre de electrolitos.

1.6.1. Relación entre conductividad y concentración

“La conductividad de una solución reaccionante en un reactor cambia con el grado de conversión y esto provee un método conveniente para monitorear el progreso de una reacción química. Esto es útil para el estudio de reacciones en que intervienen iones que presentan conductividades iónicas relativamente altas (particularmente iones H⁺ y OH⁻). En soluciones diluidas la sustitución de un ión por otro de diferente conductividad iónica será proporcional a la velocidad de variación de concentración del ión activo. Por ejemplo la hidrólisis alcalina de un éster.”⁷

⁷<http://www.buenastareas.com/ensayos/reactores-cstr/2392439.html> 2012-08-19

Veamos entonces la reacción de saponificación del acetato de etilo por hidróxido de sodio:



Tanto el hidróxido de sodio y el acetato de sodio contribuyen a la conductividad en la solución reaccionante, mientras que el acetato de etilo y el alcohol etílico no. La conductividad del hidróxido de sodio a una concentración y temperatura dada no es la misma que del acetato de sodio a la misma concentración y temperatura; por tanto las relaciones han sido establecidas para permitir deducir la conversión a partir de la conductividad.

Esta reacción es de segundo orden y puede ser considerada irreversible.

1.7. RÉGIMEN DE FLUJO

“Se entiende como régimen de flujo, la forma como se comporta el movimiento de un fluido a lo largo de un conducto. Osborne Reynolds realizó en 1883 muchos experimentos con el fin de determinar las leyes de resistencia en tuberías. Introduciendo un filete coloreado dentro del flujo de agua en un tubo de vidrio, observó que existen dos tipos diferentes de movimiento a los cuales llamó: laminar y turbulento.”⁸

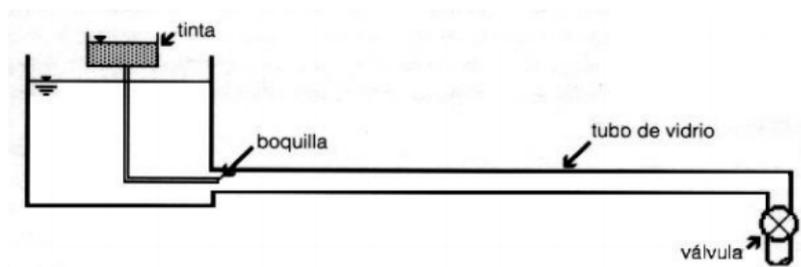


Figura 1-5. Esquemización del dispositivo utilizado por Reynolds para sus experimentos

⁸http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/5_reynolds.pdf 2012-10-07

1.7.1. Régimen de flujo laminar

El movimiento de las partículas líquidas se realiza en forma ordenada sin entrecortarse las líneas de corriente, presentando las siguientes características:

- Existe rozamiento entre el fluido y paredes del conducto pero no entre las partículas del fluido.
- No hay intercambio de energía entre las líneas de corriente.
- Son muy importantes los esfuerzos viscosos
- Se presenta para flujos con velocidades bajas.
- La distribución vertical de la velocidad a través de la sección del conducto es de forma parabólica.
- El esfuerzo cortante es proporcional al gradiente de velocidad.

1.7.2. Régimen de flujo turbulento

El movimiento de las partículas líquidas se realiza siguiendo trayectorias muy irregulares o desordenadas, presentando las siguientes características:

- Existe fricción entre fluido y pared del conducto y entre partículas del fluido.
- Las líneas de corriente se entremezclan presentando transferencia de energía entre las partículas líquidas.
- Se presenta para flujos con velocidades altas.
- La disipación de energía se presenta por la turbulencia del flujo.

- La distribución de la velocidad a través de la sección del conducto es de forma logarítmica.
- Para un mismo punto dentro de la sección del conducto, existen pulsaciones de la velocidad.

1.7.3. Número de Reynolds

Reynolds estableció un parámetro adimensional, que relaciona las fuerzas de inercia y viscosas, para determinar si el movimiento del fluido es laminar o turbulento. Este parámetro, en su honor, se le denomina Número de Reynolds y está dado por la siguiente relación:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad \text{Ec. 1-11}$$

Donde:

ρ : densidad del fluido

v: velocidad a la cual recorre el fluido

d: diámetro interno de la tubería

μ : viscosidad dinámica del fluido

El número de Reynolds sirve para clasificar el régimen de flujo así:

$Re < 2000$: Régimen Laminar

$2000 < Re < 4000$: Transición

$Re > 4000$: Régimen Turbulento

Sin embargo bajo condiciones de experimentación muy controladas se han logrado obtener regímenes laminares con números de Reynolds cercanos a 100000, pero cualquier perturbación hará que se pierda.



Figura 1-6. Regímenes de flujo

1.8. TIEMPO DE RESIDENCIA

Es un concepto ampliamente útil que expresa cómo rápidamente algo se mueve a través de un sistema en equilibrio. Es el tiempo medio que una sustancia pasa dentro de una región especificada del espacio, tal como un depósito. Un método común para determinar tiempos de residencia es calcular cuánto tiempo tomaría para una región del espacio para llenarse de una sustancia.

1.9. ÉSTERES

La fórmula general de un éster es:



Siendo R, un hidrógeno, un grupo alquilo o un grupo arilo; y R' un grupo alquilo o arilo, pero no un hidrógeno.

“El nombre de los ésteres comienza con la parte del ácido y luego con la parte alquílica o arílica. Tanto en la nomenclatura común como en la IUPAC, la terminación “*ico*” del ácido se reemplaza por el sufijo “*ato*”.”⁹

1.9.1. Propiedades físicas de los ésteres

La mayor parte de los ésteres son líquidos incoloros, insolubles y más ligeros que el agua. Sus puntos de fusión y ebullición son más bajos que los de los ácidos o alcoholes de masa molecular comparable. El uso más importante de los ésteres es como disolventes industriales.

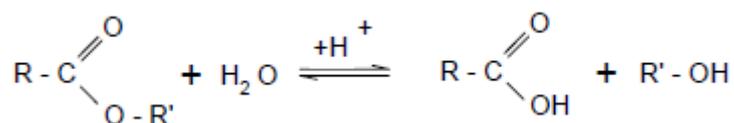
Los ésteres poseen olores agradables. En realidad, ciertos aromas de flores y frutas se deben a la presencia de ésteres. Se emplean en la fabricación de perfumes y como agentes saborizantes en la confitería y bebidas no alcohólicas. Por ejemplo, el formiato de etilo presenta aroma de ron, el butirato de etilo aroma de piña y el acetato de bencilo aroma de jazmín.

1.9.2. Propiedades Químicas De Los Esteres

1.9.2.1. Hidrólisis ácida de los ésteres

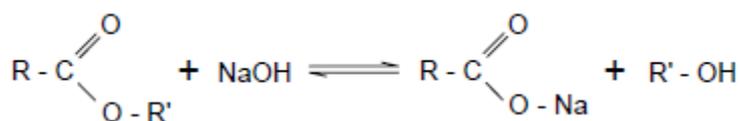
Es simplemente la reacción inversa de la esterificación, produciéndose por lo tanto el ácido carboxílico y alcohol respectivo

⁹<http://www-EcuRed.edu/esteres> 2012-10-07



1.9.2.2. Hidrólisis alcalina de los ésteres (reacción de saponificación)

Es la reacción entre un éster y un hidróxido de sodio o potasio. Los productos de la reacción son una sal carboxilato de sodio o potasio y el respectivo alcohol. La forma general de la reacción es de la forma:



Para describir la hidrólisis alcalina de los ésteres, se emplea el término “*saponificación*”, debido a que los jabones, que son sales de sodio o potasio de ácidos carboxílicos de cadena larga, se preparan por hidrólisis alcalina de grasas y aceites, los que a su vez son ésteres de ácidos grasos de cadena larga y glicerol.

1.9.3. Ésteres importantes

El salicilato de metilo ó aceite de bétula o aceite de gaultería, o aceite de Wintergreen es un líquido incoloro, amarillo o rojizo que tiene el olor y sabor de la gaultería.

Comercialmente se emplea en perfumes y como saborizante en caramelos. Se emplea como ingrediente analgésico en linimentos y para contrairritación cutánea ya que al frotarlo en la piel posee la propiedad común de penetrar a través de la superficie. Con

esto ocurre la hidrólisis, liberando ácido salicílico, el cual alivia el dolor. Su aplicación excesiva ha producido fallecimientos. Se ha clasificado como veneno pediátrico y debe prescribirse el uso en terapéutica

El salicilato de fenilo o salol es un antiséptico estomacal de uso muy amplio. Los ácidos no lo hidrolizan y, por lo tanto, pasan a través del estómago sin cambios. En el medio alcalino intestinal, ocurre la hidrólisis a fenol y salicilato. También se emplea como capa entérica para algunas píldoras medicinales a fin de permitir su paso a través del estómago intacto y desintegrarse en los intestinos

El benzoato de bencilo es muy empleado en el tratamiento de la sarna y también es útil en el tratamiento de la pediculosis (afección cutánea producida por piojos)

El p-aminobenzoato de etilo (benzocaína), p-aminobenzoato de butilo y el 3-amin-4-hidroxibenzoato de metilo (ortoformo) son polvos cristalinos, blancos e insolubles en agua. Son anestésicos que se absorben muy lentamente y atóxicos. Pueden aplicarse directamente en las heridas y en las superficies ulceradas como polvos de espolvoreo, mezclados o no con talco estéril

1.10. ACETATO DE ETILO

Fórmula: $C_4H_8O_2$, $CH_3COOCH_2CH_3$

Peso molecular: 88.1 g/mol

Composición: C: 54.53 %, H: 9.15 % y O: 36.32 %.

“El acetato de etilo es un líquido incoloro con olor a frutas, inflamable, menos denso que el agua y ligeramente miscible con ella. Sus vapores son más densos que el aire. Se obtiene por destilación lenta de una mezcla de ácido acético, alcohol etílico y ácido sulfúrico, o bien, a partir de acetaldehído anhidro en presencia de etóxido de aluminio. Se usa en esencias artificiales de frutas, como disolvente de nitrocelulosa, barnices y lacas, en la manufactura de piel artificial, películas, placas fotográficas, seda artificial, perfumes y limpiadores de telas, entre otros.”¹⁰

1.10.1. Propiedades físicas y termodinámicas

Punto de ebullición: 77 °C

Punto de fusión: - 83 °C

Índice de refracción: 1.3719 (20°C)

Densidad: 0.902 (20 °C respecto al agua a 4 °C), 0.898 (25 °C respecto al agua a 25°C).

Límites de explosividad (% en volumen en el aire): 2.5-11.5

Presión de vapor (mm de Hg): 100 (a 27 °C)

Punto de inflamación (Flash point): -4 °C

Temperatura de autoignición: 426 °C

Solubilidad: 1 ml es miscible con 10 ml de agua (a 25°C), su solubilidad aumenta al bajar la temperatura. Forma azeótropo con agua (6.1 % peso/peso) con punto de ebullición de 70.4 °C y con etanol y agua (9 % y 7.8 % peso/peso, respectivamente) que ebulle a 70.3°C. Miscible en etanol, acetona, cloroformo y éter.

¹⁰http://www.letslab.com/file/SOLVECH/MSDS_SOLVECH_ACETATODEETILO.pdf 2012-10-07

1.10.2. Propiedades Químicas

Productos de descomposición: monóxido y dióxido de carbono. En general es incompatible con agentes oxidantes, bases, ácidos y humedad. Reacciona vigorosamente con ácido clorosulfónico, dihidroaluminato de litio y clorometilfurano y oleum. Se ha informado de reacciones muy violentas con tetraaluminato de litio, hidruro de litio y aluminio y terbutóxido de potasio.

1.11. HIDRÓXIDO DE SODIO

“Su fórmula química es (NaOH), también conocido como sosa cáustica es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire (higroscópico). El hidróxido de sodio es muy corrosivo, generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%. Es usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos, y detergente.

1.11.1. Propiedades físicas

A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire (higroscópico). Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%.”¹¹

1.11.2. Propiedades químicas

- Función química: Hidróxido
- Tipo de reacción: Corrosiva, exotérmica

¹¹http://www.cisproquim.org.co/hidroxido_de_sodio.pdf 2012-10-07

1.12. ACETATO DE SODIO

“El acetato de sodio, (también llamado, etanoato de sodio) es la sal de sodio del ácido acético. Es un producto químico económico producido en cantidades industriales para una amplia gama de uso.

1.12.1. Aplicaciones del acetato de sodio

El acetato de sodio es utilizado en la industria textil para neutralizar las corrientes residuales de ácido sulfúrico, y como fotorresistente cuando se usan colorantes de anilina. También se usa como agente de encurtido en el curtido con cromo, ayuda a retardar la vulcanización del cloropreno en la producción sintética de caucho.

Es el compuesto químico que da sabor a las patatas fritas. Se suele añadir a los alimentos como conservante; en este caso se nombra como diacetato de sodio y se etiqueta como E262.

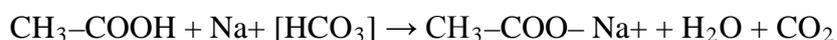
Como base conjugada de un ácido débil, una disolución de acetato de sodio y ácido acético puede actuar como disolución tampón para mantener relativamente constante el pH. Esto es especialmente útil en bioquímica, donde las reacciones dependen del pH.

También se utiliza en las bolsas térmicas autoactivables ("hielo caliente"). Cuando se calientan cristales de acetato de sodio trihidratado (punto de fusión 58 °C) (se debe poner cristales hasta que no se pueda disolver mas) alrededor de 100 °C, estos se funden. Si se enfría tras este proceso, se obtiene una disolución supersaturada de acetato

de sodio en agua. Esta disolución es capaz de enfriarse a temperatura ambiente, es decir, por debajo de su punto de fusión, sin formar cristales. Presionando en un disco metálico del interior de la bolsa, se forma un centro de nucleación que causa la cristalización de la disolución en acetato de sodio sólido.”¹²

1.12.2. Síntesis

El acetato de sodio es muy económico, y es comúnmente comprado a los distribuidores de productos químicos, en vez de ser sintetizado en el laboratorio. Es algunas veces producido en el laboratorio experimentalmente por la reacción del ácido acético con Carbonato de sodio, Bicarbonato de sodio, o Hidróxido de sodio para nombrar unas pocas bases que contienen Sodio.



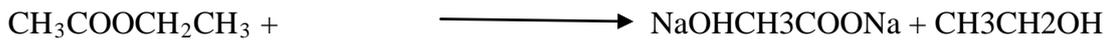
Esta es una reacción conocida como "burbujeo" entre el Bicarbonato de sodio y el Vinagre. 84 gramos de Bicarbonato de sodio reaccionan con 750 g de vinagre con 8% de concentración de ácido acético para hacer 82 g de Acetato de sodio en solución. Por la posterior evaporación del agua, uno puede obtener una solución más o menos pura de Acetato de sodio o sus cristales.

¹²http://es.wikipedia.org/wiki/acetado_de_sodio 2012-10-07

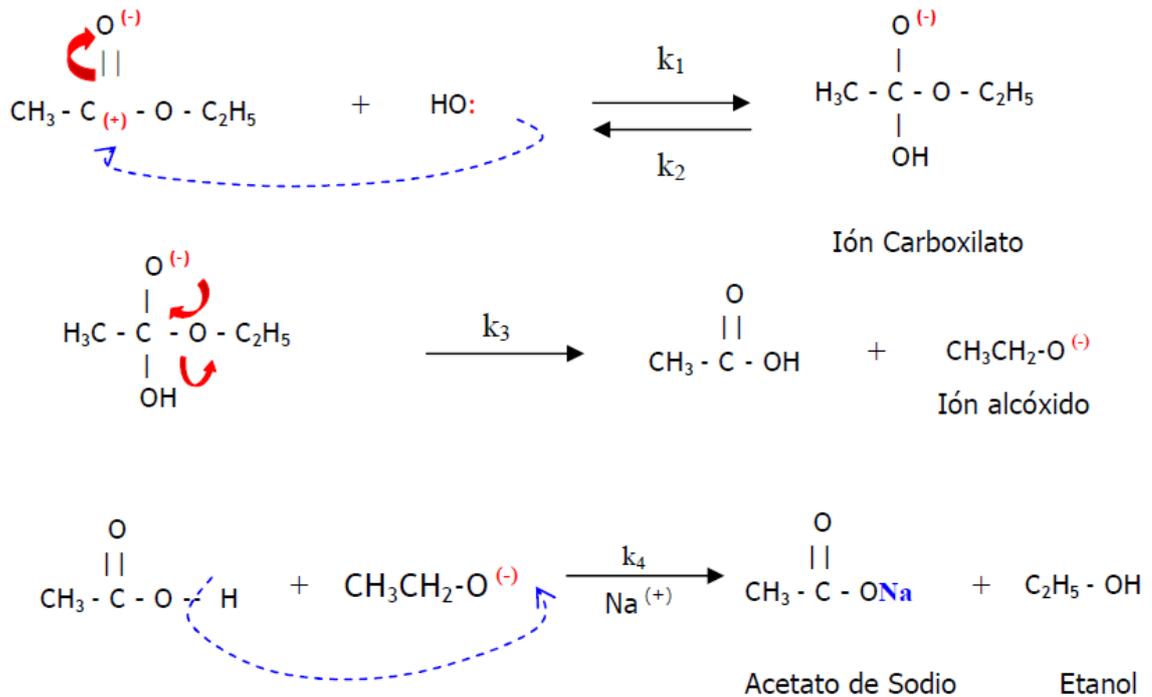
También, $\text{CH}_3\text{-COOH} + \text{Na (OH)}$. Para conseguir cantidades industriales. 100 g de Hidróxido de sodio (NaOH) reaccionan con 150 g de ácido acético puro (1875 g de vinagre al 8%), para dar 45 g de agua y 205 g de Acetato de sodio.

1.12.3. Mecanismo de reacción

La saponificación del Acetato de Etilo en medio alcalino. Esta se realiza en fase homogénea (líquida), y a temperatura y volumen constante. La estequiometría de la reacción es:



El mecanismo propuesto es:



1.13. BOMBAS

Las bombas incrementan la energía mecánica del líquido, aumentando su velocidad, presión, o elevación, o las tres anteriores.

1.13.1. Bombas centrifugas

“Es el tipo de bomba que se utiliza más en la industria química para transferir líquidos de todos los tipos, así también para los servicios generales de abastecimiento de agua entre otros, son sencillas, de bajo costo inicial, generan altas velocidades de rotación, convirtiendo la energía cinética resultante del líquido, en energía de presión.”¹³

Se ha escogido esta bomba por tener unas características adecuadas para el perfecto funcionamiento del reactor; porque se ha obtiene un flujo continuo durante el funcionamiento de nuestro equipo, esto debe ser una característica del funcionamiento del reactor para obtener una mezcla homogénea de las sustancias durante todo el proceso del mismo.

Teniendo un flujo continuo durante el proceso, y una mezcla homogénea, se tiene datos más reales y secuencias durante el tiempo de operación del reactor.

1.14. MANGUERA DE PVC (POLICLORURO DE VINILO)

El PVC (Policloruro de Vinilo) es un termoplástico que se obtiene por polimerización de Cloruro de Vinilo (CV). Este polímero se puede fabricar mediante los siguientes procesos de polimerización: emulsión, suspensión en masa y en solución. La resina que se obtiene es un polvo blanco, fino, inodoro y atóxico.

¹³ BRITO H.; “Texto Básico de Mecánica de Fluidos”, Riobamba; pag. 75-76

Este termoplástico es sumamente sensible a la temperatura, cuando alcanza un estado que le permite fluir la molécula, se destruye produciéndose lo que se llama degradación del polímero, por esta razón el policloruro de vinilo no se puede emplear solo para ser moldeado.

En este estudio, se ha visto la necesidad de trabajar con este polímero por la gran resistencia química, como así también elevada tolerancia a sustancias altamente alcalinas y ácidas.

También se tomo muy en cuenta la resistencia a la corrosión en el tubo o manguera de PVC es inmune a casi todos los tipos de corrosión experimentados en sistemas de tuberías, como el PVC es un no conductor, los efectos galvánicos y electroquímicos no existen en sistemas de tuberías de PVC. En consecuencia no son necesarios ningún tipo de recubrimiento ni protección catódica cuando se usan mangueras o tubos de PVC.

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

Para la elaboración de esta tesis, el tipo de investigación que se empleó de acuerdo a la profundidad de estudio fue la descriptiva, bibliográfica y de campo, mediante éstas llegamos a obtener los datos necesarios para el diseño del reactor flujo en pistón y para la construcción del mismo.

2.1.MUESTREO

2.1.1. Plan de muestreo

Con la utilización del equipo simulador, se tomó 5 muestras de Acetato de Sodio en diferentes distancias y tiempos, con la finalidad de medir la conductividad en cada toma

realizada, y, mediante cálculos de ingeniería llegar a la obtención de la Conversión de la solución en cada punto, llegando a obtener la conversión final.

2.1.2. Sistema de toma de muestras

Estas muestras fueron recolectadas en vasos de precipitación respectivamente enumerados para cada toma, y éstas se analizaron de manera consecutiva, llegando a obtener las conductividades de cada una.

2.2.METODOLOGÍA

Esta investigación se la realizó aplicando una metodología adecuada, con la finalidad de ir desarrollando todas las incógnitas que se van presentando dentro del desarrollo de la práctica, para obtener un óptimo funcionamiento del Reactor Flujo en Pistón.

2.3.MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.3.1. Métodos

2.3.1.1.Deductivo

Por medio de estudios realizados a nivel nacional (Escuela Politécnica Nacional), y estudios a nivel internacional, se ha visto la necesidad de elaborar un equipo a nivel de laboratorio para que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química adquieran mejores conocimientos, realizando prácticas de la cátedra de Ingeniería de Reacciones Químicas.

Así mismo, con la aplicación de materias fundamentales como: Química Analítica, Química Orgánica, Mecánica de Fluidos, Dibujo Industrial, e Ingeniería de las Reacciones, desarrollamos las incógnitas o problemas que se presentan en el proceso de este estudio, lo que nos permitió diseñar y construir nuestro equipo.

2.3.1.2.Experimental

A nivel de laboratorio, utilizamos algunos métodos que nos ayudaron en nuestra investigación como son:

- Determinación de la Densidad.
- Determinación de la Viscosidad
- Determinación de la Conductividad

2.3.1.2.1. Determinación de la conductividad

Tabla 2-1
Determinación de la conductividad

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
<p>es un método analítico basado en la conducción eléctrica de los iones en solución, que se utiliza para medir la molaridad de una disolución, determinada por su carga iónica, o salina, de gran movilidad entre dos puntos de diferente potencial.</p>	<p>Conductímetro Piceta Vaso de precipitación</p>	<p>Agua destilada Solución de NaOH Solución de Acetato de etilo Solución de Acetato de Sodio</p>	<p>Método conductímetro</p>	<p>Se determina directamente en la escala del instrumento</p>

Fuente: Parte experimental realizado por Sandra Heredia e Iván Huacho

2.3.1.2.2. Preparación del hidróxido de sodio 0.038M

Tabla 2-2
Preparación del Hidróxido de Sodio

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
<p>Determinación de la concentración del NaOH</p>	<p>Balón aforado de 1000ml Balanza analítica Espátula Papel Aluminio Piceta</p>	<p>Agua Destilada Hidróxido de Sodio</p>	<p>Pesar 1.5 gramos de NaOH en papel aluminio Colocar el NaOH en el Balón aforado de 1000ml Disolver con agua destilada Aforar con agua destilada</p>	$M = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{litros de solución}}$ <p>Donde: M: molaridad</p>

Fuente: Parte experimental realizado por Sandra Heredia e Iván Huacho

2.3.1.2.3. Preparación del acetato de etilo 0.038M

Tabla 2-3
Preparación del Acetato de Etilo 0.038M

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Determinación de la concentración del NaOH	Balón aforado de 1000ml Probeta de 10 ml Piceta	Agua Acetato de etilo	Pesar 3.7 ml de acetato de etilo Colocar el acetato de etilo en el Balón aforado de 1000ml Disolver con agua destilada Aforar con agua destilada	$M = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{litros de solución}}$ <p>Donde: M: molaridad</p>

Fuente: Parte experimental realizado por Sandra Heredia e Iván Huacho

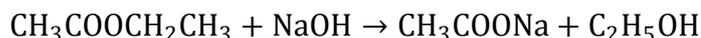
2.3.2. Técnicas

Para cumplir con nuestro objetivo, hemos optado por la técnica más apropiada para el estudio de la cinética y la ingeniería de reacciones, tomando en consideración la disposición de los reactivos existentes.

A continuación se explica de manera detallada la técnica utilizada para comprobar el funcionamiento del equipo construido.

2.3.2.1. Técnica utilizada

Para la comprobación del equipo se ha escogido dos tipos de reactivos que se dispone en stock en bodega de la facultad de ciencias como son: Acetato de Etilo e Hidróxido de Sodio, que a su momento se fusionaron, obteniéndose Acetato de Sodio y Etanol.



2.4. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS

2.4.1. Materiales

- 6 vasos de precipitación de 100ml.
- 2 vasos de precipitación de 150ml.
- 1 probeta de 10ml.
- 2 balones aforados de 1000ml.
- 1 piceta.

- 1 espátula.
- Papel aluminio.
- 5 jeringuillas de 20ml.

2.4.2. Reactivos

- Hidróxido de Sodio.
- Acetato de Etilo.
- Agua destilada.

2.4.3. Equipos

- Balanza Analítica
- Conductímetro.
- Reactor Flujo en Pistón.
- Cronometro

2.4.4. Procedimiento

- Lavar el material a utilizar de manera adecuada, y luego pasar en cada uno de ellos agua destilada.
- Secar los vasos de precipitación de 100ml, y enumerar respectivamente por el número de muestras.
- Preparar 2 litros de Acetato de Etilo y 2 litros de Hidróxido de Sodio 0.38M.
- Colocar en el recipiente respectivo las soluciones.
- Verificar que la llave de la manguera de desfogue de residuo interno, se encuentre de manera cerrada.

- Verificar que la llave de paso de reflujo de la bomba se encuentre cerrada.
- Colocar las jeringuillas en cada una de las tomas de muestra.
- Abrir en su totalidad las llaves de paso de los recipientes al mismo tiempo.
- Encender el reactor.
- Tomar el tiempo, desde que se enciende el equipo, hasta que la solución llegue al recipiente final.
- Al momento que la solución pase por cada una de las tomas, absorber las jeringuillas, obteniendo las diferentes muestras para análisis.
- Colocar las muestras en los vasos de precipitación de 100ml respectivos.
- Una vez tomadas las muestras respectivas, apagar el equipo, y cerrar las llaves de paso de los recipientes respectivos.
- Medir la conductividad.
- Un vez cerradas las llaves y apagado el equipo, abrir la llave de desfogue del equipo, y esperar que no quede solución en la manguera.

2.5.DATOS EXPERIMENTALES

2.5.1. Variables del proceso

Para la realización del diseño y construcción del reactor flujo en pistón, nos guiamos en las propiedades físico – químicas de los reactivos empleados, que fueron determinadas a base de prácticas analíticas e instrumentales, densidad, viscosidad, conductividad, llevadas a cabo experimentalmente en el Laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias, llegando a establecer las siguientes variables.

Tabla 2-4
Datos experimentales para Hidróxido de Sodio 0.038 M

Variable	Indicador	Índices
Densidad	Kg/m ³	0.9968
Viscosidad	Kg/m s	2.4832
Conductividad	mS	94.924
pH	-	12.381

Fuente: Datos experimentales obtenidos por Sandra Heredia e Iván Huacho

Tabla 2-5
Datos experimentales para Acetato de etilo 0.038 M

Variable	Indicador	Índices
Densidad	Kg/m ³	0.995
Viscosidad	Kg/m s	2.183
Conductividad	μS	5701
pH	-	6.101

Fuente: Datos experimentales obtenidos por Sandra Heredia e Iván Huacho

Tabla 2-6
Datos experimentales para Acetato de Sodio

Variable	Indicador	Índices
Densidad	Kg/m ³	995,935
Viscosidad	Kg/m s	0,233
Conductividad	mS	62.112
pH	-	12.094

Fuente: Datos experimentales obtenidos por Sandra Heredia e Iván Huacho

Tabla 2-7
Datos experimentales para el caudal

Longitud tomade muestra (m)	Caudal corrida 1 (L/s)	Caudal corrida 2 (L/s)	Caudal corrida 3 (L/s)
9.4753	0.035	0.036	0.036
17.1506	0.029	0.029	0.029
24.8259	0.025	0.025	0.025
32.5012	0.021	0.021	0.021
40.1765	0.019	0.019	0.019

Fuente: Datos experimentales obtenidos por Sandra Heredia e Iván Huacho

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR DE FLUJO EN PISTON

3.1.CÁLCULO PARA EL DISEÑO DEL REACTOR

3.1.1. Cálculo del volumen del reactor

$$V = A * h$$

Donde:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Remplazando tenemos:

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

$$V = \frac{\pi(4.7625 \times 10^{-3})^2}{4} * 41.0865$$

$$V = 0.732 \text{ L}$$

$$V = 7.32 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

3.1.2. Cálculo del caudal del fluido

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{7.32 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{47.57 \text{ s}}$$

$$Q = 1.54 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 1.52 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3}$$

$$Q = 0.0154 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.1.3. Cálculo de la velocidad del fluido

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * \phi^2}$$

$$v = \frac{4 * 1.54 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi * (4.7625 \times 10^{-3})^2}$$

$$v = 0.86 \frac{m}{s}$$

3.1.4. Cálculo de la densidad y viscosidad de la mezcla

Para el cálculo de la densidad y viscosidad de la mezcla se obtuvieron los datos experimentales de densidad y viscosidad de los reactivos hidróxido de sodio y acetato de etilo.

ρ y μ del acetato de etilo 0.038 M a 21 °C

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 3.4175 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

ρ y μ del hidróxido de sodio 0.038 M a 21 °C

$$\rho = 1.015 \text{ /m}^3$$

$$\mu = 6.3 \times 10^{-2} \text{ kg/m.s}$$

3.1.4.1. Determinación de la densidad de la mezcla

$$\rho_{\text{mezcla}} = \rho_{\text{AC}} X_{\text{AC}} + \rho_{\text{NaOH}} X_{\text{NaOH}} + \rho_{\text{H}_2\text{O}} X_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\rho_{\text{mezcla}} = 0.998 (6.835 \times 10^{-4}) + 1.015 (6.745 \times 10^{-4}) + 0.998 (0.999)$$

$$\rho_{\text{mezcla}} = 998.37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

X_{AC} = Fracción Molar del acetato de etilo

X_{NaOH} = Fracción Molar del hidróxido de sodio

X_{H_2O} = Fracción Molar del agua

3.1.4.2. Determinación de la viscosidad de la mezcla

$$\mu_{mezcla} = \mu_{AC} X_{AC} + \mu_{NaOH} X_{NaOH} + \mu_{H_2O} X_{H_2O}$$

$$\mu_{mezcla} = 5 \times 10^{-4} (6.835 \times 10^{-4}) + 0.093 (6.745 \times 10^{-4}) + 1.2 \times 10^{-3} (0.999)$$

$$\mu_{mezcla} = 1.26 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

Donde:

X_{AC} = Fracción Molar del acetato de etilo

X_{NaOH} = Fracción Molar del hidróxido de sodio

X_{H_2O} = Fracción Molar del agua

3.1.5. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * v * d}{\mu}$$

$$Re = \frac{998.37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.86 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 4.7625 \times 10^{-3} \text{m}}{1.26 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re = 3245.3$$

$$Re = 3.3 \times 10^{-3}$$

Donde:

d = diámetro interno del reactor

v = velocidad del fluido

ρ = densidad de la mezcla (kg/m^3)

μ = viscosidad de la mezcla fluido ($\text{kg/m}\cdot\text{s}^2$)

3.2.BALANCE DE MASA

Para la obtención del modelo matemático que se ha utilizado, hemos partido de los conocimientos básicos de ingeniería y de reactores, como es el balance de materia. Con la finalidad de simplificar el modelo se han hecho algunas suposiciones:

- Se asume que la velocidad del fluido se mantiene constante, por tanto la concentración temperatura y presión, son iguales en cualquier punto del reactor, así como en la corriente de salida.
- La temperatura se mantiene constante a lo largo de la trayectoria del reactor, es decir desde la corriente de entrada, hasta la corriente de salida.
- El flujo de salida de productos es igual al flujo de entrada de material reactante.

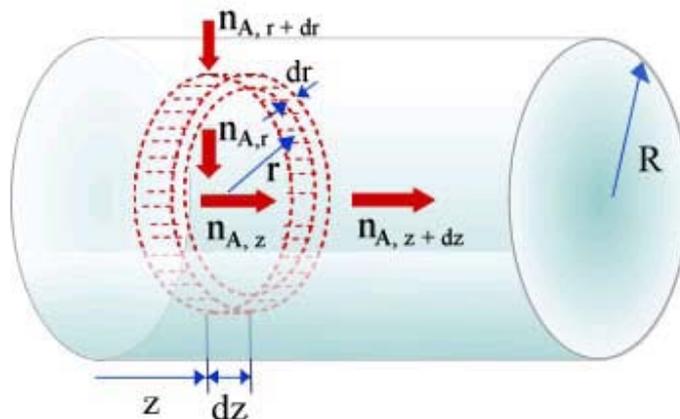
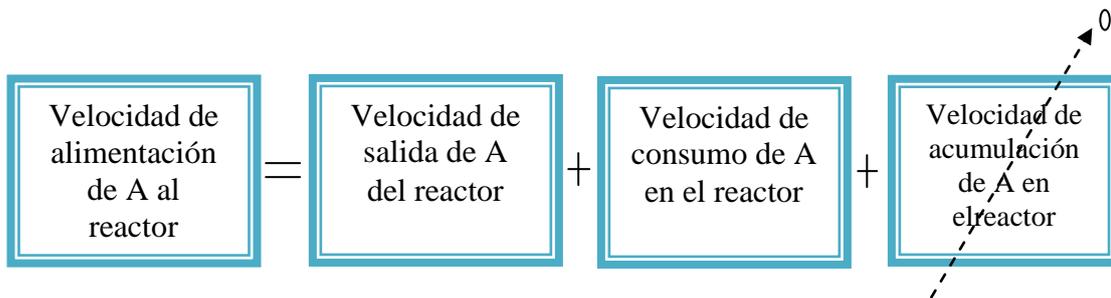


Figura3-1. Esquema del reactor principal

El balance de masa referido al reactivo limitante A de hidróxido de sodio en un reactor continuo de tanque agitado, puede expresarse a través del siguiente esquema:

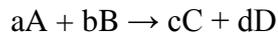


Matemáticamente puede expresarse mediante la siguiente expresión:

$$QC_{A0} - QC_A - V(-r_A) = 0$$

$$\frac{Q(C_{A0} - C_A)}{V} = (-r_A)$$

Así para la siguiente reacción:

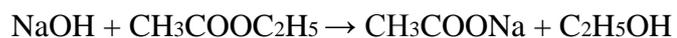


Entonces la velocidad de reacción con respecto al reactivo A se representa como se muestra a continuación:

$$(-r_A) = \frac{dC_A}{dt} = KC_A^\alpha C_B^\beta$$

α y β representan a los órdenes de reacción con respecto a A y B respectivamente.

La reacción es la saponificación del acetato de etilo e hidróxido de sodio la cual se muestra a continuación:



Esta reacción se puede considerar de primer orden con respecto al hidróxido de sodio y al acetato de etilo, y de segundo orden con respecto a los reactivos en conjunto con una concentración de 0.038M de cada uno de los reactivos y una temperatura entre (21 – 25)°C.

Para poder hallar la concentración del hidróxido de sodio C_A se utilizaron las correlaciones a partir de las lecturas de la conductividad y la conversión para ello se debe construir una curva de calibración de Concentración vs Conductividad para ello se preparan 3 soluciones a 0.025 M, 0.038 M y 0.05 M de NaOH en 100ml de cada una y medir sus conductividades. Para ello el conductímetro debe estar debidamente calibrado.

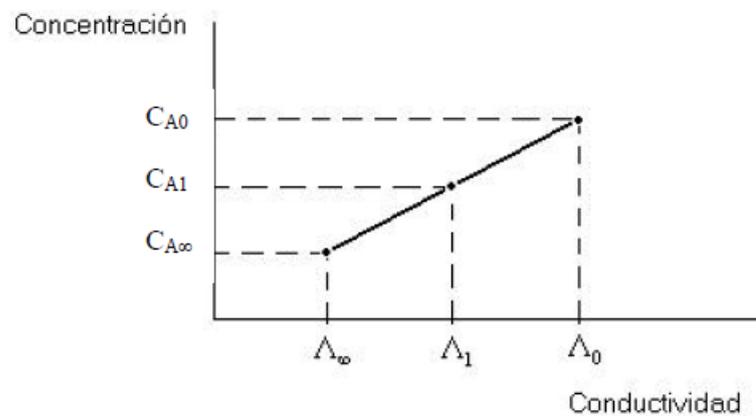


Figura 3-2. Concentración Vs. conductividad del NaOH

Para conocer cualquier valor interpolado a partir de la figura 3.3-2 se planteara la siguiente relación lineal utilizando como referencia dos puntos conocidos $(\lambda_0 ; C_{A0})$ y $(\lambda_{\infty} ; C_{A\infty})$ por lo tanto:

$$(Y_2 - Y_1) = m(X_2 - X_1)$$

Es por ello que para la reacción propuesta se cumple:

$$(C_{A0} - C_A) = \left(\frac{C_{A0} - C_{A\infty}}{\lambda_0 - \lambda_\infty} \right) \lambda_0 - \lambda_1$$

Agrupando términos se obtiene la siguiente ecuación que permite conocer la concentración del NaOH a cualquier conductividad (λ_1) a partir de la siguiente expresión.

$$C_A = \left(\frac{C_{A0} - C_{A\infty}}{\lambda_0 - \lambda_\infty} \right) \lambda_0 - \lambda_1 + C_{A0}$$

Además la conversión del hidróxido de sodio puede ser conocida con la relación:

$$C_A = C_{A0}(1 - X_A)$$

$$X_A = \left(\frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}} \right)$$

Suponiendo que la reacción es completa y que todo lo que entra al reactor reacciona la concentración del NaOH para un tiempo infinito $C_{A\infty}$ será considerada como 0, por lo que en un tiempo muy largo las lecturas de conductividad solo corresponderán al acetato de etilo.

3.2.1. Cálculo de la concentración final del acetato de sodio

$C_{A0} = 0.038$ mol/litro

C_A = Concentración del acetato de etilo a la salida del reactor que se calcula a partir de la curva de calibración.

$$C_A = \left(\frac{C_{A0} - C_{A\infty}}{\lambda_0 - \lambda_\infty} \right) \lambda_0 - \lambda_1 + C_{A0}$$

Donde:

$M = \text{Pendiente} = \left(\frac{C_{A0} - C_{A\infty}}{\lambda_0 - \lambda_\infty} \right)$ que se calcula a partir de la fórmula

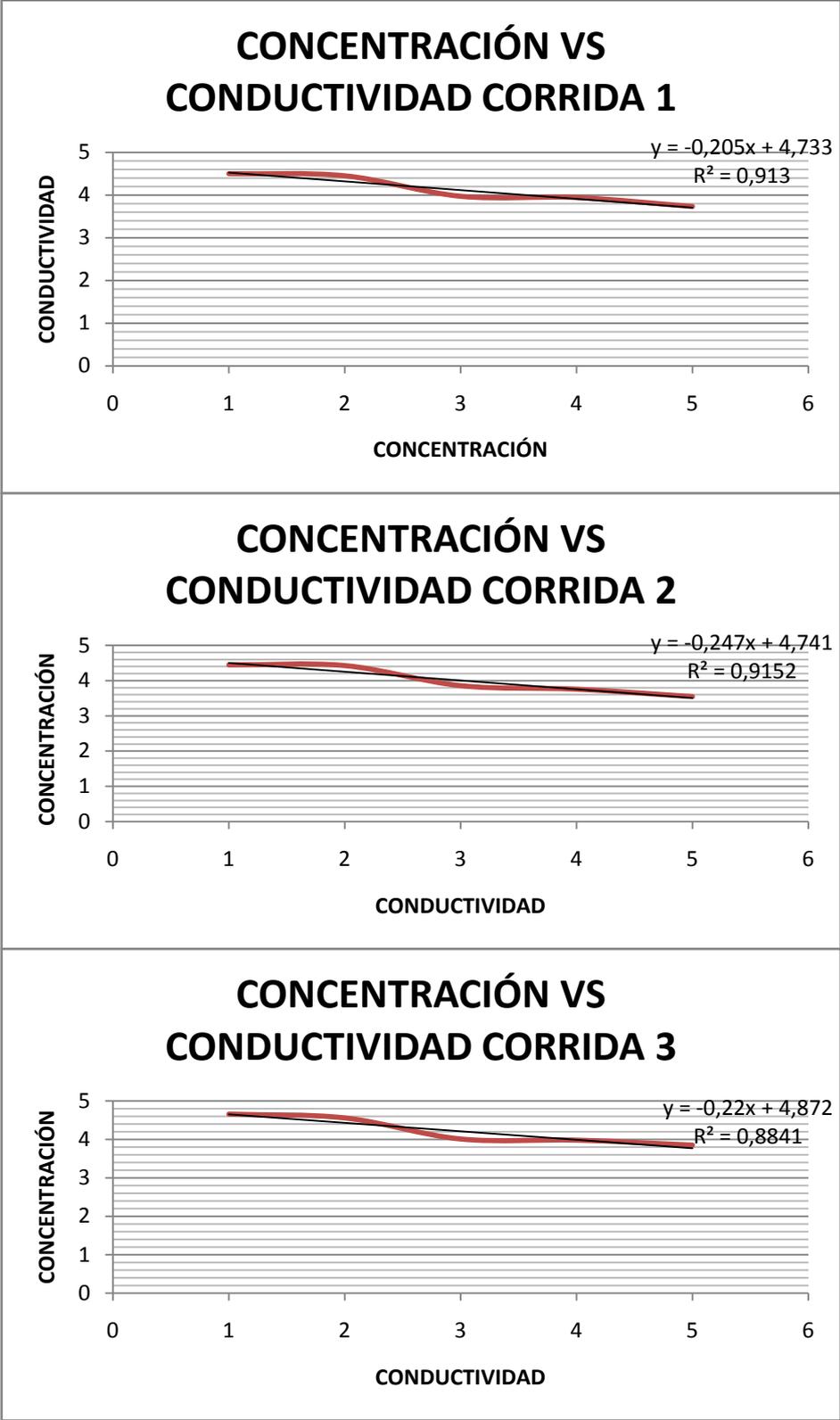


Figura 3-3. Concentración vs Conductividad en las diferentes Corridas

3.3.2. Cálculo de la conversión teórica del acetato de sodio

$$\frac{V * K * C_{A0}}{F_{A0}} + 1 = \frac{1}{1 - X_A}$$

$$F_{A0} = C_{A0} * V_{A0}$$

$$C_{A0} = 0.029 \frac{mol}{L}$$

$$V_{A0} = \frac{V_o}{2} = \frac{0.0154}{2}$$

$$V_{A0} = 0.462 \frac{L}{min}$$

$$K = 0.1718 \frac{L}{mol} \cdot min$$

$$V = 0.732 L$$

Reemplazando tenemos:

$$\frac{V * K * C_{A0}}{V_{A0} * C_{A0}} + 1 = \frac{1}{1 - X_A}$$

$$\frac{0.732 \frac{L}{min} * 0.1718 \frac{L}{mol} \cdot min}{0.462 \frac{L}{min}} + 1 = \frac{1}{1 - X_A}$$

$$1.27 = \frac{1}{1 - X_A}$$

$$X_A = 0.21$$

Donde:

F_{A0} = Flujo másico

C_{A0} = Concentración inicial

V_{A0} = Flujo volumétrico

3.3.3. Cálculo de la conversión experimental del acetato de sodio

$$X_A = 1 - \frac{C_A}{C_{A0}}$$

$$X_A = 1 - \frac{0.029}{0.038}$$

$$X_A = 0.24$$

Donde:

X_A = Conversión

3.3.4. Cálculo de la constante cinética de la reacción química

$$K\tau = \frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}}$$

$$K\tau = \frac{1}{0.029} - \frac{1}{0.038}$$

$$K = \frac{8.167}{47.532}$$

$$K = 0.1718 \frac{L}{mol} \cdot min$$

3.3.5. Cálculo de la velocidad mediada la reacción química

$$v_{me} = \left(\frac{C_{A0} - C_A}{t} \right)$$

$$v_{me} = \left(\frac{0.038 - 0.029}{0.74} \right)$$

$$v_{me} = 0.012 \frac{mol}{L} \cdot min$$

3.3.6. Cálculo del tiempo de residencia

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

Para 1/6 de la longitud total del reactor:

$$\theta = \frac{0.732 L * \frac{1m^3}{1000L}}{1.54 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}}$$

$$\theta = 7.92 \frac{m^3}{s}$$

Para 2/6 de la longitud total del reactor:

$$\theta = \frac{0.732L * \frac{2 * 1m^3}{6 * 1000L}}{1.54 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}}$$

$$\theta = 15.84 \frac{m^3}{s}$$

Se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 3-1
Distancias y tiempos de residencia en el reactor

Distancias desde la mezcla de reactivos (m)	Tiempo de residencia (s)
0	0
9.4753	7.901
17.1506	15.843
24.8259	23.772
32.5012	31.691
40.1765	39.611

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

3.3.7. Cálculo de la velocidad de reacción

$$-r_A = K * C_A^2$$

$$-r_A = 0.1716 * 0.029^2$$

$$-r_A = 1.44 * 10^{-4}$$

3.3.8. Cálculo de las cantidades de productos obtenidos

Además con una alimentación de 15.4 ml/s de hidróxido de sodio y 15.2 ml/s de acetato de etilo flujos con los cuales se trabajó para realizar las pruebas de laboratorio que fueron encontrados en la literatura se obtuvieron los siguientes resultados.

Para lo cual:

$$\rho_{\text{NaOH}} = 1.015 \text{ kg/m}^3$$

Entonces:

$$1.54 \text{ ml NaOH} \times \frac{1.015 \text{ g}}{\text{ml}} = 1.56 \text{ g}$$

$$1.56 \text{ g NaOH} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{40 \text{ g NaOH}} \times \frac{1 \text{ mol AcNaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} \times \frac{82.04 \text{ g AcNaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} = 3.19 \text{ g AcNaOH}$$

$$1.56 \text{ g NaOH} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{40 \text{ g NaOH}} \times \frac{1 \text{ mol EtOH}}{1 \text{ mol NaOH}} \times \frac{46.07 \text{ g EtOH}}{1 \text{ mol EtOH}} = 1.79 \text{ g EtOH}$$

Donde:

NaOH = Hidróxido de sodio

AcNaOH = Acetato de sodio

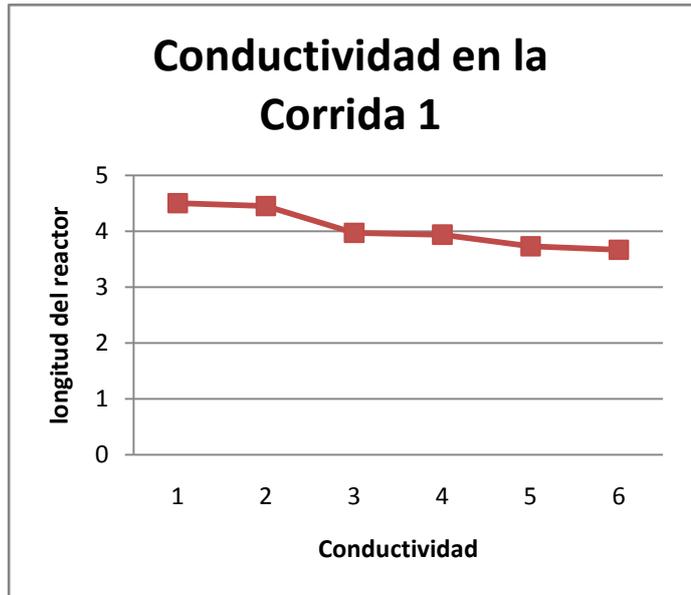
EtOH = Etanol

3.3.9. Conductividades a longitudes equidistantes del reactor tubular a 21°C, concentraciones iniciales de 0.038 M de acetato de etilo y 0.038 M de hidróxido de sodio tomando 10 ml de muestra

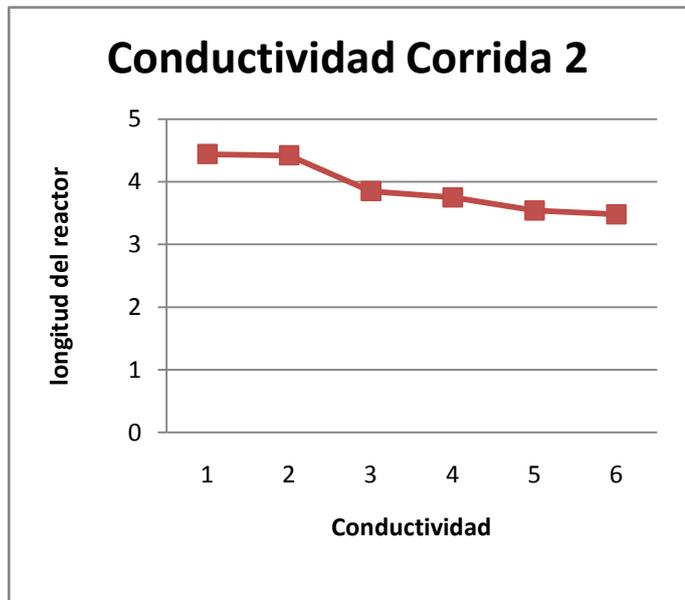
Tabla 3-2
Conductividad en las diferentes corridas

Longitud toma de muestra (m)	Conductividad corrida 1 (mS/cm)
9,4753	4.501
17,1506	4.452
24,8259	3.970
32,5012	3.943
40,1765	3.731
41,0865	3.670

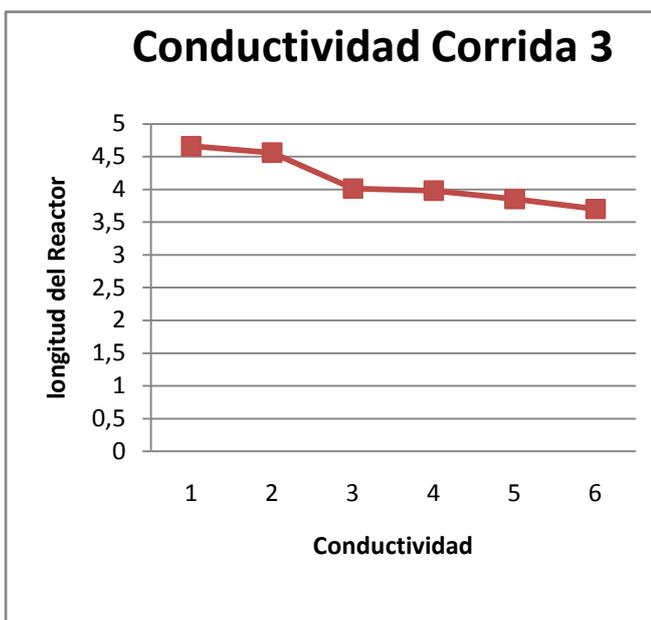
Figura 3-4
Conductividad en las diferentes corridas



Longitud toma de muestra (m)	Conductividad corrida 2 (mS/cm)
9,4753	4.440
17,1506	4.421
24,8259	3.850
32,5012	3.753
40,1765	3.541
41,0865	3.483



Longitud toma de muestra (m)	Conductividad corrida 3 (mS/cm)
9,4753	4.664
17,1506	4.565
24,8259	4.015
32,5012	3.983
40,1765	3.852
41,0865	3.701



Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

Con los datos experimentales que se obtuvieron y se tabularon, y graficando la relación longitud del reactor vs conductividad, se observa que mientras aumenta la longitud del reactor la conductividad de reactivos disminuye debido al transcurso de la reacción química como se esperaba teóricamente.

Este comportamiento se puede observar en las graficas correspondientes.

Tabla 3-3
Concentración teórica en las diferentes corridas

Longitud toma de muestra (m)	Concentración corrida 1 (mol/L)	Concentración corrida 2 (mol/L)	Concentración corrida 3 (mol/L)
9.4753	0.035	0.035	0.035
17.1506	0.034	0.034	0.034
24.8259	0.032	0.032	0.032
32.5012	0.031	0.031	0.031
40.1765	0.029	0.029	0.029

Tabla 3-4
Concentración experimental en las diferentes corridas

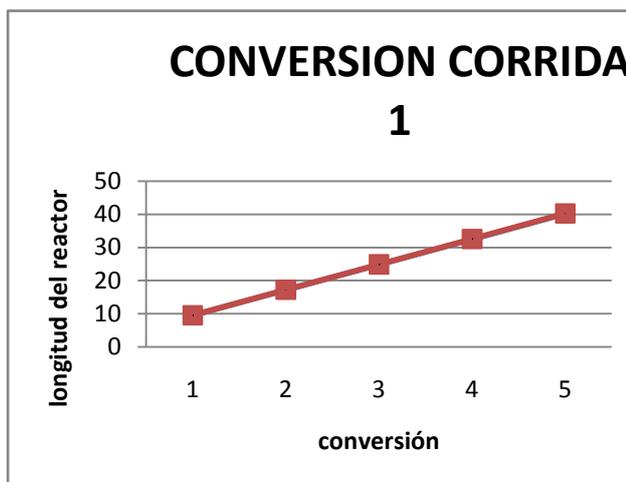
Longitud tomade muestra (m)	Concentración corrida 1 (mol/L)	Concentración corrida 2 (mol/L)	Concentración corrida 3 (mol/L)
9.4753	0.037	0.037	0.037
17.1506	0.033	0.032	0.032
24.8259	0.032	0.031	0.031
32.5012	0.030	0.029	0.029
40.1765	0.029	0.028	0.027

3.3.10. Concentración a longitudes equidistantes del reactor tubular a 21°C, concentraciones iniciales de 0.038 M de acetato de etilo y 0.038 M de hidróxido de sodio tomando 10 ml de muestra

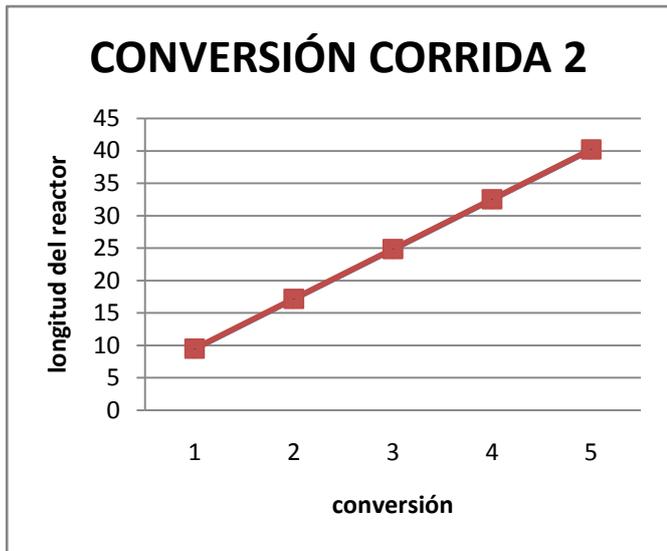
Tabla 3-5
Conductividad en las diferentes corridas

Longitud toma de muestra (m)	Conversión corrida 1
,475	0.030
17,150	0.134
24,825	0.165
32,501	0.213
40,176	0.242

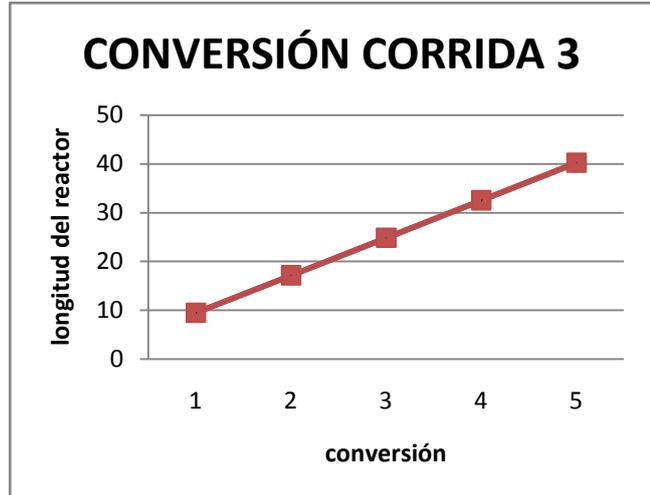
Figura 3-5
Conductividad en las diferentes corridas



Longitud toma de muestra (m)	Conversión corrida 2
9,475	0.034
17,150	0.163
24,825	0.180
32,501	0.242
40,176	0.261



Longitud toma de muestra (m)	Conversión corrida 3
9,475	0.031
17,150	0.162
24,825	0.187
32,501	0.142
40,176	0.280



Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

Tabla 3-6
Conversión teórica en las diferentes corridas

Longitud toma de muestra (m)	Conversión corrida 1	Conversión corrida 2	Conversión corrida 3
9,4753	0.03	0.03	0.03
17,1506	0.10	0.10	0.10
24,8259	0.14	0.14	0.14
32,5012	0.18	0.18	0.18
40,1765	0.21	0.21	0.21

Tabla 3-7
Conversión experimental en las diferentes corridas

Longitud toma de muestra (m)	Conversión corrida 1	Conversión corrida 2	Conversión corrida 3
9,4753	0.03	0.03	0.03
17,1506	0.13	0.16	0.16
24,8259	0.16	0.18	0.18
32,5012	0.21	0.24	0.14
40,1765	0.24	0.26	0.28

$$\frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} * 100 = \%error$$

$$\frac{0.24 - 0.21}{0.21} * 100 = \%error$$

$$\%error = 14.28$$

3.3.11. Tiempo a longitudes equidistantes del reactor tubular a 21°C, concentraciones iniciales de 0.038 M de acetato de etilo y 0.038 M de hidróxido de sodio tomando 10 ml de muestra

Tabla 3-8
Tiempo en las diferentes corridas

Longitud toma de muestra (m)	Tiempo corrida 1(s)	Tiempo corrida 2(s)	Tiempo corrida 3(s)
9.475	4.747	4.712	4.735
17.150	10.533	10.445	10.541
24.825	17.982	17.954	17.881
32.501	26.996	27.063	27.003
40.176	37.941	37.975	37.947

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

3.3.12. Velocidad a longitudes equidistantes del reactor tubular a 21°C, concentraciones iniciales de 0.038 M de acetato de etilo y 0.038 M de hidróxido de sodio tomando 10 ml de muestra

Tabla 3-9
Velocidad en las diferentes corridas

Longitud toma de muestra (m)	Velocidad corrida 1(m/s)	Velocidad corrida 2(m/s)	Velocidad corrida 3(m/s)
9.475	1.993	2.019	2.008
17.150	1.635	1.643	1.635
24.825	1.381	1.388	1.396
32.501	1.205	1.204	1.204
40.176	1.068	1.065	1.062

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

3.3.13. Volumen a longitudes equidistantes del reactor tubular a 21°C, concentraciones iniciales de 0.038 M de acetato de etilo y 0.038 M de hidróxido de sodio tomando 10 ml de muestra

Tabla 3-10
Volumen experimental en las diferentes corridas

Longitud tomade muestra (m)	Volumen corrida 1 (L)	Volumen corrida 2 (L)	Volumen corrida 3 (L)
9.475	0.165	0.169	0.170
17.150	0.305	0.305	0.305
24.825	0.449	0.449	0.447
32.501	0.567	0.567	0.567
40.176	0.721	0.721	0.721

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

Tabla 3-11
Volumen teórico en las diferentes corridas

Longitud toma de muestra (m)	Volumen corrida 1 (L)	Volumen corrida 2 (L)	Volumen corrida 3 (L)
9.4753	0.169	0.169	0.170
17.1506	0.306	0.306	0.306
24.8259	0.442	0.442	0.440
32.5012	0.578	0.578	0.578
40.1765	0.716	0.716	0.716

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

3.4. RESULTADOS

Tabla 3-12
Análisis físicos del hidróxido de sodio (0.038 m)

DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad	Kg/m ³	1.015
Viscosidad	Kg/ms	0.093

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

Tabla 3-13
Análisis físicos del acetato de etilo (0.038 m)

DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad	Kg/m ³	0.998
Viscosidad	Kg/ms	5x10 ⁻⁴

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

Tabla 3-14
Análisis físicos del acetato de sodio (0.029 m)

DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad	Kg/m ³	998.371
Viscosidad	Kg/ms	1.26x10 ⁻³

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

Tabla 3-15
Conductividades a las diferentes concentraciones del acetato de sodio

CONCENTRACIÓN (M)	UNIDADES	RESULTADOS
0.037	μs/cm	4.500
0.033	μs/cm	4.452
0.032	μs/cm	3.974
0.030	μs/cm	3.945
0.029	μs/cm	3.730

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

Tabla 3-16
Condiciones iniciales de operación del sistema para cada corriente de entrada

DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADOS
Temperatura	⁰ C	25
Caudal	m ³ /s	1.54x10 ⁻⁵
Concentración	mol/L	0.038

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

Tabla 3-17
Resultados finales de la conversión y la constante de velocidad de la reacción en función del acetato de etilo

DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADOS
Conversión	%	0.245
Concentración final del Acetato de Etilo	mol/L	0.029
Constante de velocidad de la reacción química	$\frac{L}{mol * min}$	0.171

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

3.5. DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR

Tabla 3-18
Dimensionamiento del reactor

DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad	Kg/m ³	998.371
Viscosidad	Kg/ms	1.26x10 ⁻³
Velocidad	m/s	0.86
Volumen	L	0.732
Caudal	m ³ /s	1.54x10 ⁻⁵
Diámetro interno de tubería	M	4.7625x10 ³
Número de Reynolds	-	3245.3

Fuente: Datos calculados por Sandra Heredia e Iván Huacho

3.6. REQUERIMIENTOS PRESUPUESTARIO

3.6.1. Recursos humanos

Tabla 3-19
Recursos humanos

DENOMINACIÓN	COSTOS(dólares)
Mano de Obra para la construcción del equipo	430
Mano de Obra para la instalación eléctrica del sistema	70
TOTAL	500

Fuente: Sandra Heredia, Iván Huacho

3.6.2. Recursos materiales

Tabla 3-20
Recursos materiales

DENOMINACIÓN	COSTOS(dólares)
Materiales y suministros de oficina	150
Reactivo para pruebas de Laboratorio Acetato de etilo	45
Materiales para la construcción del equipo	600
Transporte	90
Varios	70
TOTAL	955

Fuente: Sandra Heredia, Iván Huacho

3.6.3. Recursos totales

Tabla 3-21
Recursos totales

DENOMINACIÓN	COSTOS(dólares)
Recursos Humanos	500
Recursos Materiales	955
Subtotal	1455
Imprevistos 10%	145.50
TOTAL	1600.50

Fuente: Sandra Heredia, Iván Huacho

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- En la tabla 3-2 se puede observar el comportamiento de la conductividad de los reactivos a lo largo de la longitud del reactor, se observa que mientras aumenta la longitud del reactor la conductividad de reactivos disminuye debido al transcurso de la reacción química, como se esperaba teóricamente. Este comportamiento también puede observarse en la Figura 3-4.
- En la tabla 3-3 se puede observar el comportamiento de la concentración de los reactivos a lo largo de la longitud del reactor, se observa que mientras aumenta la longitud del reactor la cantidad de reactivos disminuye debido al transcurso de la reacción química, como se esperaba teóricamente. Este comportamiento también puede observarse en la Figura 3-6.
- Se pudo verificar que la conversión experimental de la reacción mantuvo un comportamiento directamente proporcional a la longitud del PFR.

- Se comprobó experimentalmente que se obtiene durante el tiempo del funcionamiento del reactor un Número de Reynolds de 3245.3 encontrándose en la zona crítica, pero presentando un comportamiento de flujo laminar.
- La saponificación del acetato de sodio se realizó a temperatura ambiente de 21 °C, debido a que permite controlar la velocidad de reacción, de esta manera se obtienen datos más reales, ya que no existe una interacción molecular, obteniendo una conversión del 21%.
- Se ha determinado una concentración final de 0.029 mol/L, un caudal de 1.54×10^{-5} m³/s, un tiempo de residencia total de 39.61s y una constante de velocidad de $0.1718 \frac{L}{mol \cdot min}$ para la reacción del acetato de etilo mas hidróxido de sodio.
- En la conversión teórica y experimental se obtuvo un 15% de error.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se efectuó el diseño y construcción de un reactor de flujo en pistón dispuesto en forma helicoidal utilizando manguera de PVC transparente por su alta resistencia, obteniendo un volumen de 0.732 L litros durante su funcionamiento.
- Los valores de las variables utilizadas para la práctica son: los flujos de entrada de $1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ con una concentración de 0.038 M de hidróxido de sodio y de 0.038M de acetato de etilo.
- Se obtuvo una concentración final del acetato de sodio de 0.029 M, una conversión de 0.24, la constante de velocidad es $0.1716 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{min}}$.

- Se determinó que dentro del reactor el régimen de flujo es laminar, debido a que se obtuvo un número de Reynolds de 3245.3 siendo así que se encuentra en la zona de transición.
- Se pudo observar en las tablas que los caudales, volúmenes y velocidades se mantienen constantes en cada corrida y en cada longitud del reactor.
- La mayor conductividad del Acetato de sodio experimental fue $4.66 \mu\text{s}$
- Se puede utilizar este reactor para la reacción de ácido propiónico más ácido clorhídrico, indicando que es una reacción irreversible.

5.2.Recomendaciones

- Pesar el hidróxido lo más rápido posible ya que el mismo es higroscópico y absorbe la humedad del aire.
- Para la realización de la práctica utilizar los reactivos GR (grado reactivo) ya que estos contienen un alto porcentaje de pureza.
- Mantener los flujos de los reactivos constantes debido a que si no se cumple eso, cambia la estequiometría de la reacción y se producen variaciones que provocan errores en la práctica.
- Mantener las muestras a temperatura ambiente para desacelerar la velocidad de la reacción y poder obtener resultados confiables.
- En el RFP las muestras deben tomarse en forma ascendente, desde el primer punto hasta el último, para que no ocurra una perturbación a lo largo del transcurso del flujo del fluido.
- Calibrar el conductímetro y tener en cuenta que se debe dejar correr un litro dentro del rector, para que con ello limpie los residuos anteriores.
- Para la obtención de resultados exactos una vez tomada la muestra inmediatamente medir la conductividad.

- Para la correcta puesta en marcha y mantenimiento del reactor deberá guiarse en el manual de operación del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

GENERAL

1. **FOGLER, S.**; "Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas", 3ªed.
México: Editorial Prentice Hall, 2001. 968pp.
2. **IZQUIERDO, J.**; et al.; "Cinética de las Reacciones Químicas",
Universitat de Barcelona, Barcelona, 2004. 459Pp.
3. **LEVENSPIEL, O.**; "Ingeniería de las reacciones químicas", 2^{da}. ed., Reverte,
Barcelona, 1987, 662 p.
4. **SMITH, J.**; "Ingeniería de la Cinética Química", México: Editorial CECSA,
1991. 774pp.
5. **TOMAS, A.**; "Problemas de Cinética y Reactores", Universidad de Murcia,
Murcia, 1993. 398pp.
6. **WHITTEN, R., DAVIS, R., PECK, M.**; "Química General"; Mac Graw-
Hill Interamericana de España. – 5ª edición (1998) 565pp.
7. **WINGROVE, A., CARET, R.**; "Química Orgánica", México: Editorial Oxford
University Press, 1999. 1115pp.

BIBLIOGRAFIA DE INTERNET

1. BOMBAS

<http://bombascentrifugas.info-tecnica.org/>

2012/09/10

2. CONDUCTIVIDAD

<http://docencia.udea.edu.co/cen/QuimicaAnaliticaII/con1.html>

2012/09/10

<http://definicion.de/conductividad/>

2012/09/10

3. INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

<http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/teoria.htm>

2012/09/10

4. MANGUERA DE PVC (POLICLORURO DE VINILO)

<http://www.reydelplastico.com/mediopvc.htm>

2012/09/10

5. PRACTICA DE LABORATORIO DE REACCIONES

<http://es.scribd.com/doc/54865952/INFORME-PRACTICA-1>

2012/09/10

6. REACCIONES QUÍMICAS

http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_fyq3/tema6/index6.htm

2012/09/10

<http://www.amschool.edu.sv/paes/science/reacciones.htm>

2012/09/10

7. REACTOR FLUJO EN PISTÓN

<http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/00006i.htm>

2012/09/10

<http://lmidarraga.blogspot.com/caracteristicas-de-los-reactores-flujo.html>

2012/09/10

8. REACTORES QUÍMICOS

http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_quimica/reactorquimico/

2012/09/10

<http://www.slideshare.net/IsraelCaballero1/reactores-quimicos-9193771>

2012/09/10

ANEXOS

ANEXO I

PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES 0.038 M DE ACETATO DE ETILO Y 0.038M DE HIDRÓXIDO DE SODIO



a) Preparación de acetato de etilo
0.038 M



b) Preparación del Hidróxido de sodio
0.038 M

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Sandra Heredia Moyano Iván Huacho Chávez	Diseño y construcción de un reactor flujo en pistón		
Preparación de las soluciones de Acetato de etilo e Hidróxido de sodio 0.038M	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		FECHA	LÁMINA	ESCALA
				03-11- 2012	01

ANEXO II

CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR PARA LA REALIZACIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Sandra Heredia Moyano Iván Huacho Chávez	Diseño y construcción de un reactor flujo en pistón		
Construcción del reactor para la realización de la parte experimental.			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			03-11- 2012	01	20:1

ANEXO III

PRÁCTICA DE LABORATORIO PARA LA TOMA DE DATOS DEL REACTOR



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Sandra Heredia Moyano Iván Huacho Chávez	Diseño y construcción de un reactor flujo en pistón		
Práctica de Laboratorio para la toma de datos del reactor.	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		FECHA	LÁMINA	ESCALA
			03-11-2012	01	20:1

ANEXO IV

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD DEL ACETATO DE SODIO



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Sandra Heredia Moyano Iván Huacho Chávez	Diseño y construcción de un reactor flujo en pistón		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
Determinación de la Conductividad del Acetato de Sodio	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		03-11- 2012	01	20:1

ANEXO V

EQUIPOS UTILIZADOS



a) Balanza Analítica



b) Conductímetro

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Sandra Heredia Moyano Iván Huacho Chávez	Diseño y construcción de un reactor flujo en pistón		
Equipos Utilizados			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			03-11- 2012	01	20:1

ANEXO VI

REACTOR FLUJO EN PISTÓN



a) Reactor Flujo en Pistón

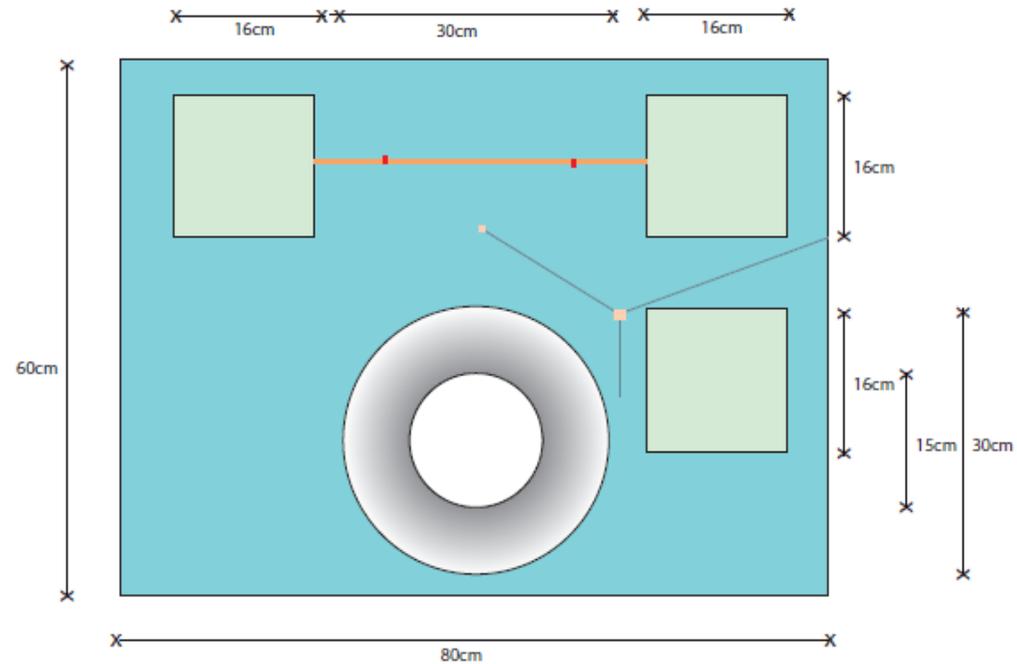


b) Reactor Flujo en pistón vista frontal

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Sandra Heredia Moyano Iván Huacho Chávez	Diseño y construcción de un reactor flujo en pistón		
Reactor Flujo en Pistón			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			03-11- 2012	01	20:1

ANEXO VIII

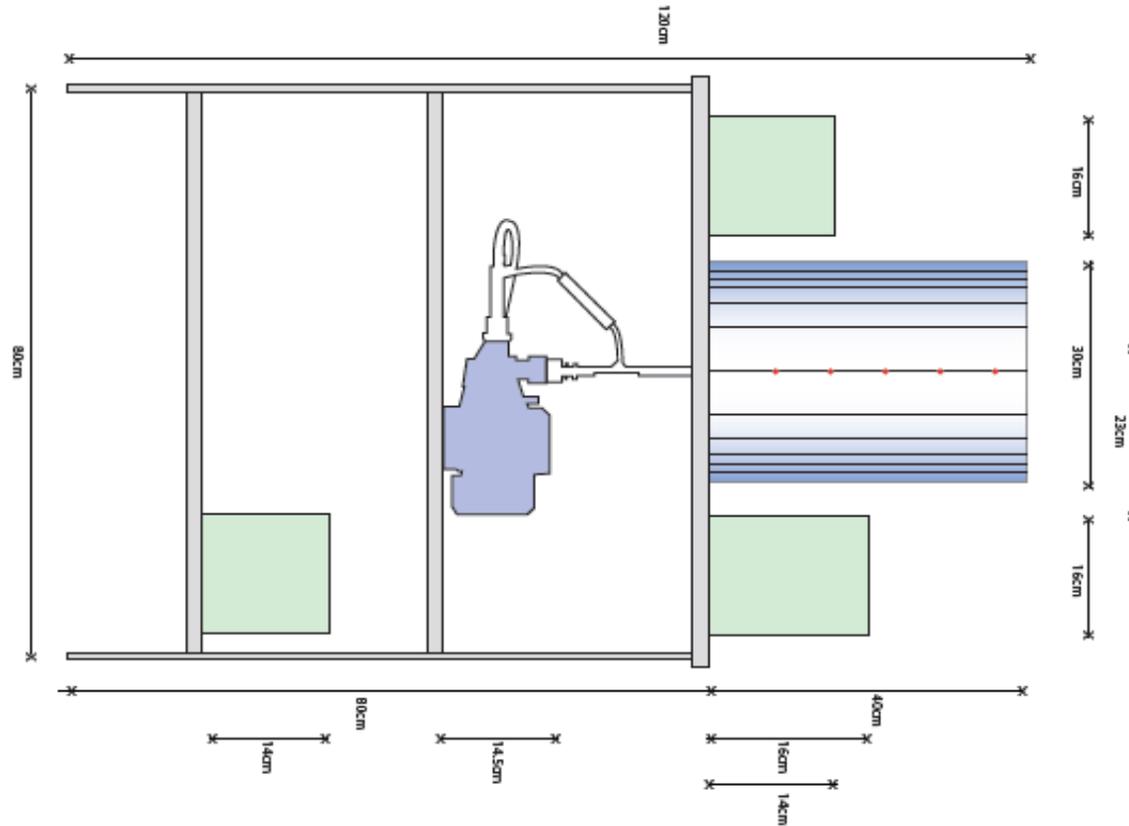
VISTA AÉREA DEL REACTOR FLUJO EN PISTÓN



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño y construcción de un reactor flujo en pistón		
Vista Aérea	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar	Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Sandra Heredia Moyano Iván Huacho Chávez	FECHA	LÁMINA	ESCALA
			03-11-2012	01	20:1

ANEXO IX

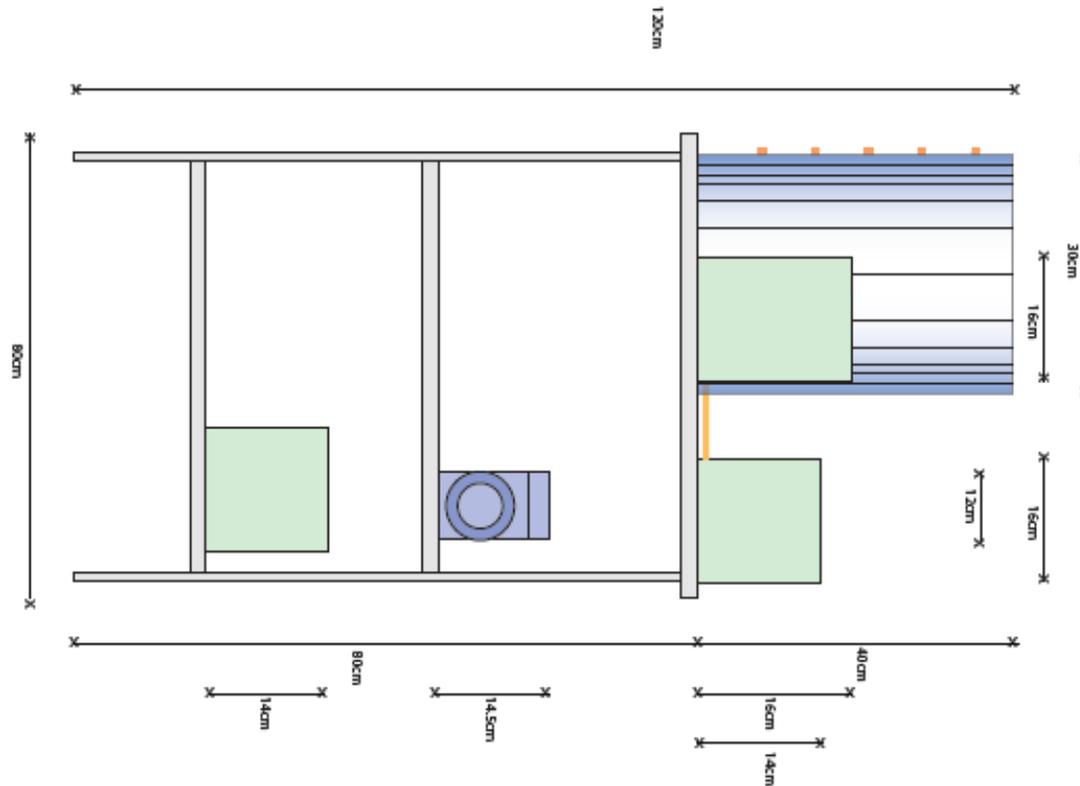
VISTA FRONTAL DEL REACTOR FLUJO EN PISTÓN



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Sandra Heredia Moyano Iván Huacho Chávez	Diseño y construcción de un reactor flujo en pistón		
Vista Frontal	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		FECHA	LÁMINA	ESCALA
			03-11-2012	01	20:1

ANEXO X

VISTA LATERAL DEL REACTOR FLUJO EN PISTÓN



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química Sandra Heredia Moyano Iván Huacho Chávez	Diseño y construcción de un reactor flujo en pistón		
Vista Lateral	Certificado Por aprobar Aprobado Para informar Por calificar		FECHA	LÁMINA	ESCALA
			03-11-2012	01	20:1

ANEXO VII

MANUAL DE OPERACION DEL RACTOR DE FLUJO EN PISTON PFR

Objetivos de la operación

- Estudiar la cinética de reacción en fase líquida de un PFR
- Determinar la conversión que se logra con la reacción química Acetato de Etilo, Hidróxido de Sodio.

Descripción general

Antes de utilizar el Reactor Flujo en Pistón, debemos identificar todos los componentes que posee el mismo, para poder comprender su funcionamiento, y la utilización del mismo. A su vez saber cómo está constituido el reactor.

Elementos del reactor flujo en pistón

- ✓ Una mesa de acero inoxidable con un soporte inferior
- ✓ Un cilindro de acero inoxidable, para dar la forma helicoidal.
- ✓ Una bomba centrífuga.
- ✓ Tubería de cobre
- ✓ Dos recipientes recolectores de soluciones, una para Hidróxido de Sodio y la otra para Acetato de Etilo respectivamente, con una capacidad de 2L cada uno.
- ✓ Llaves de paso de las soluciones
- ✓ Manguera de PVC
- ✓ Accesorios de Bronce
- ✓ Un recipiente recolector de la mezcla, de capacidad 4L.

Consideraciones de Seguridad

- Para iniciar el funcionamiento del Equipo, debe existir una persona autorizada y capacitada para operar el reactor.
- Se debe tener en consideración todas las instrucciones que deben ser comprendidas por el operador.
- El quipo no debe ser sometido a golpes y exposiciones solares que puedan afectar físicamente al reactor.
- Revisar y rectificar cualquier tipo de fuga que pueda existir.
- No manipule las llaves de paso tanto de la bomba como la de los recipientes.
- Trabajar de forma responsable al momento de manipular los reactivos que se van a emplear.
- Tener muy en cuenta que la llave de purga, se encuentre debidamente cerrada antes de encender el equipo
- Una correcta manipulación de las jeringuillas.
- Verificar que las jeringuillas se encuentren de manera correcta en cada punto de toma de muestra.
- La persona calificada y autorizada, será el responsable del mantenimiento del mismo.

Procedimiento de operación

- Lavar el material a utilizar de manera adecuada, y luego pasar en cada uno de ellos agua destilada.
- Secar los vasos de precipitación de 100ml, y enumerar respectivamente por el número de muestras.
- Preparar 2 litros de Acetato de Etilo y 2 litros de Hidróxido de Sodio 0.38M.

- Colocar en el recipiente respectivo las soluciones.
- Verificar que la llave de la manguera de desfogue de residuo interno, se encuentre de manera cerrada.
- Verificar que la llave de paso de reflujo de la bomba se encuentre cerrada.
- Colocar las jeringuillas en cada una de las tomas de muestra.
- Abrir en su totalidad las llaves de paso de los recipientes al mismo tiempo.
- Encender el reactor.
- Dejar que recorra 1L de solución en el reactor, para que el siguiente litro sea para toma de muestras.
- Tomar el tiempo, desde que se enciende el equipo, hasta que la solución llegue al recipiente final.
- Al momento que la solución pase por cada una de las tomas, absorber las jeringuillas, obteniendo las diferentes muestras para análisis.
- Colocar las muestras en los vasos de precipitación de 100ml respectivos.
- Una vez tomadas las muestras respectivas, apagar el equipo, y cerrar las llaves de paso de los recipientes respectivos.
- Medir la conductividad.
- Un vez cerradas las llaves y apagado el equipo, abrir la llave de purga del equipo, y esperar que no quede solución en la manguera.

Recomendaciones generales

- Utilizar siempre el manual de operación del equipo.
- Después de la práctica desarrollada en el reactor, se recomienda lavar con 2L de agua destilada en cada recipiente.

- Utilizar toda la protección personal necesaria para la realización de las prácticas en el Reactor Flujo en Pistón