



## DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN REACTOR FLUJO EN PISTÓN CASO PRÁCTICO: ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA DE UNA IES DEL ECUADOR

**Iván Fernando Huacho Chávez**

Ingeniero Químico  
Magister Scientiae Ingeniería Química Aplicada  
Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Ivanfer89@gmail.com

**Sandra Fabiola Heredia Moyano**

Ingeniero Químico  
Becaria Univerta Delia Calabria  
herediafhm@hotmail.com

**María Fernanda Rivera Castillo**

Ingeniero Químico  
Magister Scientiae Ingeniería Química Aplicada  
Docente en Universidad Nacional de Chimborazo  
ferriverac@yahoo.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Iván Fernando Huacho Chávez, Sandra Fabiola Heredia Moyano y María Fernanda Rivera Castillo (2018): "Diseño y construcción de un reactor flujo en pistón, caso práctico: escuela de ingeniería química de una IES del Ecuador", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (julio 2018). En línea:

[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/07/disenoreactorflujo.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/07/disenoreactorflujo.html)

### RESUMEN

Se diseñó y construyó un reactor 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.

**Palabras Clave:** Reactor- Equipo-Experimento-Pistón

### **ABSTRACT**

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  $7.32 \times 10^{-3}$  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.

**Keywords:** Reactor- Equipment-Experiment-Piston

## **1. 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 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.

## **1.1. 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, construyó 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 BIODEGRADADORAS DE PETRÓLEO.

## **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 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.

## **1.2.OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERAL**

- Diseñar y construir un reactor flujo en pistón

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Construir un reactor 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.

## **2. METODOS**

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.

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.

### **2.1.3. 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.

### **2.1.4. 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

## 2.2. Determinación de la conductividad

Tabla 2-1  
Determinación de la conductividad

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

Fuente: Parte experimental realizado por Sandra Heredia e Iván Huacho

### 2.2.1. Preparación del hidróxido de sodio 0.038M

Tabla 2-2  
Preparación del Hidróxido de Sodio

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Determinación de la concentración del NaOH	Balón aforado de 1000ml Balanza analítica Espátula Papel Aluminio Piceta	Agua Destilada Hidróxido de Sodio	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	$M = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{litros de solución}}$  Donde: <b>M:</b> molaridad

Fuente: Parte experimental realizado por Sandra Heredia e Iván Huacho

### 2.2.3. Preparación del acetato de etilo 0.038M

**Tabla 2-3**  
**Preparación del Acetato de Etilo 0.038M**

<b>Fundamento</b>	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
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 align="center">Donde: <b>M:</b> molaridad</p>

Fuente: Parte experimental realizado por Sandra Heredia e Iván Huacho



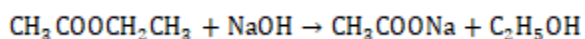
#### 2.2.4. Técnicas

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.

##### 2.2.4.1. 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.



### 2.3. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS

#### 2.3.3. 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.

#### 2.3.4. Reactivos

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

#### 2.3.5. Equipos

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

### 3. DESARROLLO

- 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.

### 3.2. DATOS EXPERIMENTALES

#### 3.2.1. 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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	0.995

Viscosidad	Kg/m s	2.183
Conductividad	$\mu$ S	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 <sup>3</sup>	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 toma de 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

#### 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  $1.54 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s, un tiempo de residencia total de 39.61s y una constante de velocidad de 0.1718 L/(mol\*min) para la reacción del acetato de etilo más hidróxido de sodio.

En la conversión teórica y experimental se obtuvo un 15% de error.

## 5. 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  $1.54 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/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  $0.1716 \frac{L}{mol \cdot min}$ .
- 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  $\mu$ s
- Se puede utilizar este reactor para la reacción de ácido propiónico más ácido clorhídrico, indicando que es una reacción irreversible.

## BIBLIOGRAFÍA

FOGLER, S.; "Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas", 3ª ed. México: Editorial Prentice Hall, 2001. 968pp.

IZQUIERDO, J.; et al.; "Cinética de las Reacciones Químicas", Universitat de Barcelona, Barcelona, 2004. 459Pp.

LEVENSPIEL, O.; "Ingeniería de las reacciones químicas", 2ª ed., Reverte, Barcelona, 1987, 662 p.

SMITH, J.; "Ingeniería de la Cinética Química", México: Editorial CECSA, 1991. 774pp.

TOMAS, A.; "Problemas de Cinética y Reactores", Universidad de Murcia, Murcia, 1993. 398pp.

WHITTEN, R., DAVIS, R., PECK, M.; "Química General"; Mac Graw-Hill Interamericana de España. – 5ª edición (1998) 565pp.

WINGROVE, A., CARET, R.; "Química Orgánica", México: Editorial Oxford University Press, 1999. 1115pp.