

Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Química

Licenciatura en Ingeniería Química



Manual de Prácticas del Laboratorio de

Ingeniería de Reactores

Elaboro: M. en C. Q. Eduardo Martín del Campo López Fecha: 03 de agosto de 2017
Dr. Armando Ramírez Serrano

Fecha de aprobación: H. Consejo Académico H. Consejo de Gobierno
26/septiembre/2017 27/septiembre/2017



ÍNDICE

| | |
|--|----|
| ÍNDICE | 2 |
| PRESENTACIÓN | 3 |
| PROGRAMA DE ESTUDIOS LABORATORIO DE INGENIERÍA DE REACTORES | 4 |
| REGLAMENTO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA DE REACTORES | 6 |
| PRÁCTICA No. 1 | 7 |
| DISEÑO DE UN REACTOR HOMOGÉNEO POR LOTES | 7 |
| EXPERIMENT No. 2 | 13 |
| PLUG FLOW REACTOR "BENZENE PYROLYSIS REACTION" | 13 |
| PRÁCTICA No. 3 | 16 |
| DESVIACIÓN DE LA IDEALIDAD: DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA... 16 | |
| PRÁCTICA No. 4 | 22 |
| REACTOR DISCONTINUO. CÁLCULOS CINÉTICOS PARA EL DISEÑO DE REACTORES INDUSTRIALES | 22 |
| PRÁCTICA No. 5 | 27 |
| ESTUDIO CINÉTICO DE LA DESCOMPOSICIÓN CATALÍTICA DEL PERÓXIDO DE HIDROGENO..... | 27 |
| PRÁCTICA No. 6 | 33 |
| OBTENCIÓN DE BIODIESEL | 33 |
| PRÁCTICA No. 7 | 39 |
| OBTENCIÓN DE BIODIESEL EN UN REACTOR TUBULAR | 39 |
| PRÁCTICA No. 8 | 44 |
| OBTENCIÓN DE BIODIESEL UTILIZANDO UN CATALIZADOR HETEROGÉNEO | 44 |
| PRÁCTICA No. 9 | 49 |
| DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA DE PARACETAMOL | 49 |
| EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN | 56 |
| ANEXOS..... | 57 |

PRESENTACIÓN

El Plan de Estudio de la licenciatura en Ingeniería Química establece un modelo educativo basado en objetivos. El currículo se divide en tres núcleos de formación: básico, sustantivo e integral, que en conjunto pretenden dar una formación acorde a los tiempos actuales de una sociedad cada vez más dinámica, participativa y demandante.

La Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Ingeniería de Reactores pertenece al núcleo integral, está ubicada en el Área Curricular de Ingeniería, y debe sumar al perfil del egresado para que sea capaz de desarrollar habilidades en el uso racional de los recursos, generar conocimientos aplicables a la ingeniería química y atender las necesidades para asimilar, adaptar, validar y transferir tecnología de procesos fisicoquímicos, utilizando conocimientos propios de la Ingeniería de Reactores y habilidades como: búsqueda, análisis e interpretación de información, uso de herramientas computacionales, manejo de equipos, instrumentos de laboratorio y equipos de proceso a escala piloto. En el transcurso de la UA, los estudiantes realizarán actividades que les permita generar o desarrollar documentos como: formatos, hojas técnicas, hojas de especificaciones, instructivos, manuales, reportes, entre otros, para informar, capacitar o comunicar de manera efectiva y asertiva procedimientos y resultados; serán competentes para interpretar información disponible en artículos técnico-científicos, patentes o similares, para dimensionar o seleccionar equipos de proceso que involucren reacciones químicas; y utilizarán métodos de acopio e interpretación de datos experimentales con instrumentos y equipos de laboratorio, para que aplicando balances de materia y energía se determinen cinéticas de reacción.

Esta UA contribuirá a que los egresados den respuesta a algunas de las problemáticas a las que se enfrenta el Ingeniero Químico de la actualidad, por ejemplo: deficiente ejecución de los planes trazados para el desarrollo y operación de una organización, incorrecta implementación y asimilación de la tecnología que soporta el desarrollo de la industria y deficiente análisis y optimización de los procesos y equipos existentes. El manejo de una segunda lengua es un atributo deseable en estudiantes universitarios, por tal motivo en el presente Manual se propuso que el protocolo de la Practica No. 2 fuera en idioma inglés, no solo para incentivarlos a realizar documentos en este idioma, sino que también para que se familiaricen con algunos términos técnicos propios de la Licenciatura.

La evaluación del aprendizaje será un proceso continuo en el cual la retroalimentación oportuna a los estudiantes acerca de su desempeño será fundamental. Se utilizarán diferentes estrategias de aprendizaje como revisiones bibliográficas, reportes de laboratorio, exposiciones y trabajo en equipo. Los exámenes departamentales se aplicarán cuando lo señale el calendario oficial.

PROGRAMA DE ESTUDIOS LABORATORIO DE INGENIERÍA DE REACTORES

UNIDAD 1. INGENIERÍA DE REACCIONES QUÍMICAS HOMOGÉNEAS Y DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA

Práctica 1. Diseño de un reactor homogéneo por lotes

- 1.1 Orden de reacción.
- 1.2 Constante cinética.
- 1.3 Energía de activación.
- 1.4 Avance de reacción.

Práctica 2. Plug flow reactor "benzene pyrolysis reaction"

- 2.1 Consecutive reactions.
- 2.2 Equilibrium constants.
- 2.3 Reactor models available in Aspen Plus.
 - 2.3.1 Mass balance models.
 - 2.3.2 Equilibrium models.
 - 2.3.3 Rigorous kinetics models.

Práctica 3. Desviación de la idealidad: distribución de tiempos de residencia

- 3.1 Inyección tipo pulso y tipo escalón.
- 3.2 Función de distribución de tiempos de residencia.
- 3.3 Primer momento de la distribución: tiempo de residencia medio.
- 3.4 Segundo momento de la distribución: varianza.

Práctica 4. Reactor discontinuo. Cálculos cinéticos para el diseño de reactores industriales

- 4.1 Ecuación de velocidad de reacción en la que intervienen dos reactivos.
- 4.2 Diseño de un reactor tipo tanque de agitación continua (CSTR).
- 4.3 Arreglo en serie de dos reactores CSTR.

Práctica 5. Estudio cinético de la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno

- 5.1 Método de las velocidades iniciales de reacción.

Practica 6. Obtención de biodiesel

- 6.1 Operación de un reactor tipo batch automatizado.
- 6.2 Importancia de los procesos de separación en la purificación de biodiesel.
- 6.3 Técnicas analíticas para la caracterización de biodiesel.

Practica 7. Obtención de biodiesel en un reactor tubular

- 7.1 Operación de un reactor de flujo tipo pistón.

UNIDAD 2. INGENIERÍA DE REACCIONES QUÍMICAS HETEROGÉNEAS

Practica 8. Degradación fotocatalítica de paracetamol

- 8.1 Procesos de oxidación avanzada para la remoción de contaminantes.
- 8.2 Mecanismo de Langmuir-Hinshelwood de un solo sitio.
- 8.3 Técnicas analíticas para determinar avance de reacción.

Práctica 9. Obtención de biodiesel a partir de aceite de cártamo catalizado con óxido de calcio

- 9.1 Importancia de la relación alcohol/aceite para la obtención de biodiesel.
- 9.2 Diferencias entre catálisis homogénea y catálisis heterogénea.

REGLAMENTO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA DE REACTORES

- Puntualidad (límite de entrada: 10 min).
- Leer con anticipación el protocolo de la práctica.
- Traer completo el material de laboratorio para el desarrollo de la práctica.
- Traer, por equipo, una franela.
- Usar bata de algodón, lentes de seguridad, guantes de nitrilo y zapatos de seguridad. Queda estrictamente prohibido utilizar zapatos de tacón alto.
- Usar cabello recogido.
- No consumir alimentos, ni bebidas en el laboratorio.
- Seguir el lineamiento interno de laboratorios de la Facultad de Química (anexo).

PRÁCTICA No. 1

DISEÑO DE UN REACTOR HOMOGÉNEO POR LOTES

INTRODUCCIÓN

Un reactor de tanque agitado por lotes (Batch) se caracteriza porque no existe entrada o salida de un material. Además, este tipo de reactor en su configuración ideal se puede asumir como perfectamente agitado (mezcla completa) y para la mayoría de las reacciones en fase líquida, el cambio de la densidad con la reacción suele ser muy pequeña y puede ser despreciable ($V = V_0$). Este tipo de reactores se utiliza ampliamente en la industria química y su diseño es de suma importancia ya que puede llegar a afectar de manera determinante la eficiencia de un proceso. El Ingeniero Químico tiene, por lo general, esta importante labor.



Figura 1.1 Reactor tanque agitado por lotes

El algoritmo de diseño de un reactor ideal homogéneo isotérmico sin caída de presión es el siguiente:

Primer paso: Balance de moles.

Segundo paso: Ley cinética.

Tercer paso: Estequiometría.

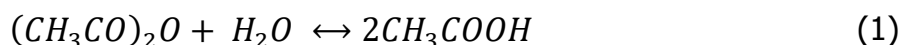
Cuarto paso: Combinación de las ecuaciones resultantes de los tres pasos anteriores.

OBJETIVOS

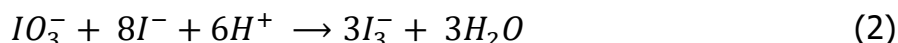
- Determinar la ley cinética (constante de reacción, orden de reacción y energía de activación).
- Determinar teórica y experimentalmente la conversión alcanzada al realizar el escalamiento de 1:10.

La reacción modelo a seguir para alcanzar los objetivos fijados será la hidratación del anhídrido acético. Esta reacción es tan rápida que no es adecuado utilizar métodos volumétricos para determinar la ley cinética de la reacción.

La reacción tiene la siguiente estequiometria:



Si a la mezcla de reacción se le añade KI y KIO_3 , entonces, a medida que aparece el CH_3COOH en el curso de la reacción se va a producir también otra, la de oxidación del IO_3^- por I^- :



La cual sólo tiene lugar en medio ácido, por lo tanto, monitoreando la cantidad de I_3^- formado se puede seguir la reacción de hidratación.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Material

- 1 bureta de 50 mL con soporte y pinzas (laboratorio).
- 2 planchas de agitación y calentamiento (laboratorio).
- 3 matraces Erlenmeyer de 125 mL (laboratorio).

- 3 matraces aforados de 25 mL (laboratorio).
- 1 matraz aforado de 200 mL (laboratorio).
- 1 matraz aforado de 500 mL (laboratorio).
- 2 vasos de precipitado de 100 mL.
- 1 pipeta de 5 mL y 1 pipeta de 10 mL.
- 1 perilla.
- 1 cronómetro.
- 1 espátula.
- 1 vidrio de reloj.
- 1 paquete de pañuelos desechables.
- 1 pizeta.
- 1 probeta de 50 mL (laboratorio).
- 1 termómetro (0 – 100 °C).
- 1 agitador magnético de 2 cm.
- 1 espectrofotómetros UV/VIS (laboratorio).
- 1 bomba de recirculación de agua (laboratorio).
- 1 termostato de agua (laboratorio).
- 1 reactor vidriado con chaqueta de enfriamiento y/o calentamiento de 1 L (laboratorio).
- 1 motor para agitación mecánica y propela (laboratorio).
- 3 m de manguera de látex (para el diámetro de las mangueras verificar las boquillas de la chaqueta del reactor).
- 2 pinzas de nuez.
- 2 pinzas de tres dedos.

Reactivos

- Yodo (I_2).
- Tiosulfato sódico ($Na_2S_2O_3$).
- Yodato de Potasio (KIO_3).
- Yoduro de potasio (KI).

- Metanol (CH_3OH).
- Anhídrido acético ($(CH_3CO)_2O$).
- Agua destilada (H_2O).
- 2 galones de anticongelante.

Metodología

Curva de Calibración

Preparar una solución acuosa de I_3^- con yodo elemental y yoduro de potasio. Se debe recordar que el I_2 es poco soluble en agua (1.33×10^{-3} M), sin embargo, al agregar un exceso de I^- se forma el anión I_3^- , el cual es muy soluble en agua.

Tomar 3 alícuotas de 10 mL de la solución de I_3^- y valorarlas por separado con una solución acuosa 5×10^{-4} M de $Na_2S_2O_3$ (solución A), utilizar un indicador de almidón. Calcular la concentración promedio de la solución de I_3^- .

Preparar 3 disoluciones de 25 mL partiendo de la solución inicial de I_3^- . Las cantidades de la solución de I_3^- en cada una de las disoluciones serán las siguientes: 12.5, 6.25 y 3.125 mL. De esta manera, se dispondrá de 4 muestras (solución inicial de I_3^- y 3 disoluciones) para construir una curva de calibración que relacione la absorbancia (medida a una longitud de onda de 450 nm), y la concentración de I_3^- . La curva de calibración se debe de trazar de tal forma que en el eje de las ordenadas aparezca la absorbancia, y en el eje de las abscisas la concentración del I_3^- .

Preparar 200 mL de una solución acuosa 0.05 M de KIO_3 y 0.25 M de KI en un mismo matraz (solución B). Es importante mencionar que la solución $KIO_3 - KI$ no presenta absorbancia a la misma longitud de onda que el I_3^- .

Ley Cinética

Preparar una solución de anhídrido acético en metanol de la siguiente manera: pesar una gota de $(CH_3CO)_2O$ y diluirla en 10 mL de CH_3OH (solución C).

Colocar en un matraz Erlenmeyer 49 mL de solución B y llevarla a la temperatura de trabajo (20, 25, 30 y 35 °C). Una vez alcanzada la temperatura deseada y que ésta permanezca constante, se le agrega rápidamente 1 ml de la solución C y se toma el tiempo.

Tomar muestras cada 30 s durante 5 min, y posteriormente cada minuto durante otros 5 min, para determinar su absorbancia a 450 nm. Es importante regresar la muestra al matraz de reacción una vez que se haya analizado su absorbancia. Se debe utilizar agua destilada como referencia y calibrar en cero al espectrofotómetro después de cada lectura.

Escalamiento 1:10

Preparar una nueva solución C de la siguiente manera: pesar una gota de $(CH_3CO)_2O$ y diluirla en 10 mL de CH_3OH . Lo anterior es con la finalidad de que la reacción no sea demasiado rápida, y se le pueda realizar un adecuado seguimiento.

Colocar en el reactor vidriado 490 ml de solución B y llevar esta solución a la temperatura de trabajo (30 °C). Una vez constante la temperatura, se le agregan rápidamente los 10 mL de la solución C, en este momento se inicia el conteo del tiempo de reacción.

Tomar muestras cada 30 s durante los primeros 5 min, y cada minuto durante los 5 min siguientes para determinar sus absorbancias. Se debe utilizar agua destilada como referencia y calibrar en cero al espectrofotómetro después de cada lectura. Es importante regresar la muestra al reactor una vez que se haya analizado su absorbancia.

RESULTADOS

Con los datos anteriores se debe entregar un reporte que responda a las siguientes preguntas con respecto a la reacción de hidratación del anhídrido acético:

- Orden de reacción.
- Constante cinética.
- Energía de activación.
- Ecuación de diseño y los pasos para obtenerla.
- Tiempo requerido para una conversión del 50 % en un reactor Batch de 500 mL.
- Tiempo requerido para una conversión total en el matraz de 50 mL y en un reactor Batch de 500 mL.

Se debe incluir una propuesta viable para disponer de los residuos generados durante la práctica. En caso de que el reporte no contemple esta sección, **la calificación obtenida por los integrantes del equipo será de 0.0**

REFERENCIAS

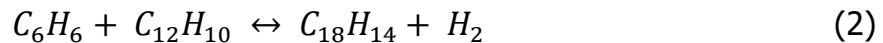
1. Fogler, H.S. (2005). *Elements of chemical reaction engineering (4ta edición)*. United States of America: Prentice Hall.
2. Levenspiel, O. (1999). *Chemical reaction engineering (3ra edición)*. United States of America: John Wiley and Sons, Inc.
3. Calleja, G.; García, F.; De Lucas, A.; Prats, D. y Rodríguez, J.M. (1999). *Introducción a la Ingeniería Química*. Madrid: Síntesis.
4. Costa, J.; Cunill, F.; Espulgas, S.; Mans, C. y Mata, J. (1996). *Curso de Ingeniería Química Técnica*. Barcelona: Reverte.
5. Morales, J. (2000). *Introducción a la Experimentación en Cinética Química Textos y Prácticas Docentes No. 19*: Universidad de la Laguna.

EXPERIMENT No. 2
PLUG FLOW REACTOR "BENZENE PYROLYSIS REACTION"

INTRODUCTION

Diphenyl ($C_{12}H_{10}$) is an important industrial intermediate. One production scheme involves the pyrolytic dehydrogenation of benzene (C_6H_6) [1]. During the process, triphenyl ($C_{18}H_{14}$) is also formed by a secondary reaction.

The reactions are as follow:



Substituting the symbolic IDs $A = C_6H_6$, $B = C_{12}H_{10}$, $C = C_{18}H_{14}$, and $D = H_2$.



Murhpy, Lamb and Watson presented some laboratory data regarding these reactions originally carried out by Kassell [2]. In these experiments, liquid benzene was vaporized, heated to the reaction temperature and fed to a plug flow reactor (PFR). The product stream is condensed and analyzed for various components. The results are tabulated in Table 1.

Table 1. Experimental data for $P = 1 \text{ atm}$

| Temperature (°F) | Flow rate (lbmol/h) | y_A | y_B | y_C | y_D |
|---------------------|------------------------|--------|--------|---------|--------|
| 1400 | 0.0682 | 0.8410 | 0.0695 | 0.00680 | 0.0830 |
| 1265 | 0.0210 | 0.8280 | 0.0737 | 0.00812 | 0.0900 |
| 1265 | 0.0105 | 0.7040 | 0.1130 | 0.02297 | 0.1590 |
| 1265 | 0.0070 | 0.6220 | 0.1322 | 0.03815 | 0.2085 |
| 1265 | 0.0053 | 0.5650 | 0.1400 | 0.05190 | 0.2440 |
| 1265 | 0.0035 | 0.4990 | 0.1468 | 0.06910 | 0.2847 |
| 1265 | 0.0030 | 0.4820 | 0.1477 | 0.07400 | 0.2960 |
| 1265 | 0.0026 | 0.4700 | 0.1477 | 0.07810 | 0.3040 |
| 1265 | 0.0007 | 0.4430 | 0.1476 | 0.08700 | 0.3220 |
| 1265 | 0.0003 | 0.4430 | 0.1476 | 0.08700 | 0.3220 |

The reactor tube dimensions: $L = 37.5 \text{ in.}$, and $D = 0.5 \text{ in.}$

Rate laws:

$$-r_{A1} = k_1 \left(p_A^2 - \frac{p_B p_D}{K_1} \right) \quad (5)$$

$$-r_{A2} = k_2 \left(p_A p_B - \frac{p_C p_D}{K_2} \right) \quad (6)$$

Specific reaction rate constants:

$$k_1 = A_1 e^{\left(\frac{-Ea_1}{RT} \right)} \quad (7)$$

$$k_2 = A_2 e^{\left(\frac{-Ea_2}{RT} \right)} \quad (8)$$

Equilibrium constants:

$$\ln(K_1) = A' + \frac{B'}{T} + C' \ln(T) + D'T + E'T^2 \quad (9)$$

$$\ln(K_2) = A'' + \frac{B''}{T} + C'' \ln(T) + D''T + E''T^2 \quad (10)$$

Parameter values:

$$Ea_1 = 30190 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}, A_1 = 3.2296 \times 10^{-6} \frac{\text{kgmol}}{\text{s} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Pa}^2}$$

$$Ea_2 = 30190 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}, A_2 = 3.7545 \times 10^{-6} \frac{\text{kgmol}}{\text{s} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Pa}^2}$$

$$A' = -19.76, A'' = -28.74$$

$$B' = -1692, B'' = 742$$

$$C' = 3.13, C'' = 4.32$$

$$D' = -1.63 \times 10^{-3}, D'' = -3.15 \times 10^{-7}$$

$$E' = 1.96 \times 10^{-7}, E'' = 5.08 \times 10^{-7}$$

$$P = 14.7 \text{ psi}, R = 1.987 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

PURPOSE

- Learn the different types of reactor models available in Aspen Plus.
- Use the handouts to replicate the data presented in Table 1 for $T = 1400$ °F and $P = 1$ atm using Aspen Plus. What is the percent difference between experimental and simulated mole fraction?

REFERENCE

1. Fogler, H.S. (2005). *Elements of chemical reaction engineering (4ta edición)*. United States of America: Prentice Hall.
2. Hougen, O. A. y Watson, K. M. (1948). *Chemical process principles part three: kinetics and catalysis*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
3. Murphy, G. B.; Lamb, G.G. y Watson, K.M. (1938). Transactions of the American Institute of Chemical Engineers, 34(429).

PRÁCTICA No. 3

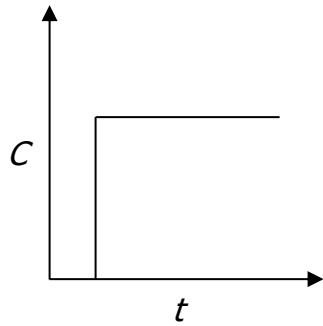
DESVIACIÓN DE LA IDEALIDAD: DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA

INTRODUCCIÓN

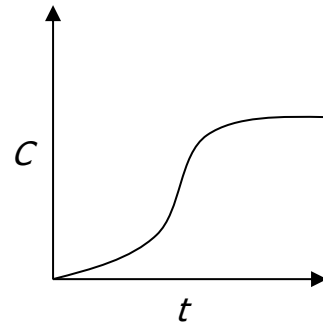
El comportamiento real de los reactores no se ajusta exactamente a las situaciones de un reactor ideal (como un reactor continuo de tanque agitado o un reactor tubular), porque siempre existen desviaciones que pueden provocar una disminución en la eficacia del proceso. Existen varios métodos para tomar en cuenta estas no idealidades que se ven reflejadas en el flujo. Uno de estos métodos es determinando la distribución de tiempos de residencia (DTR) del material que circula a través del recipiente.

Experimentalmente, se puede encontrar esta distribución utilizando un trazador físico no reactivo, aunque cuando se tienen objetivos especiales puede interesar utilizar un trazador reactivo. La inclusión del trazador al sistema reaccionante puede ser de tipo escalón o de tipo pulso.

El experimento tipo escalón consiste en introducir un trazador a la corriente del fluido que entra al reactor con una velocidad constante, iniciando la inyección al tiempo $t = 0$, antes de ese instante no se ha añadido trazador a la alimentación. La concentración de trazador en la alimentación se mantiene en este nivel hasta que la concentración en el efluente no puede distinguirse de la concentración típica de la alimentación; en este momento se puede suspender la prueba. En la Figura 3.1 se muestran las curvas de concentración de trazador típicas para este tipo de inclusión.



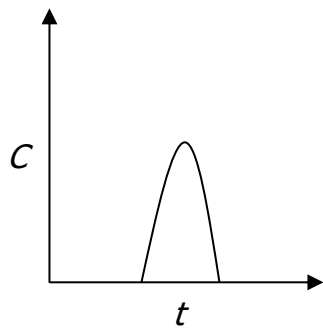
Inyección de escalón



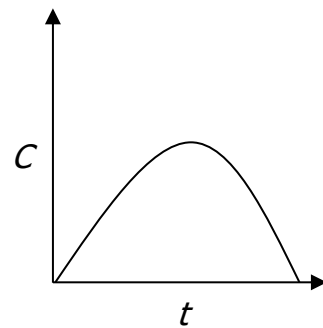
Respuesta de escalón

Figura 3.1 Gráficas típicas para un experimento tipo escalón

El experimento tipo pulso consiste en introducir repentinamente, y en una sola ocasión, cierta cantidad de trazador a la corriente del fluido que entra al reactor, tardando lo menos posible en hacerlo, luego se mide la concentración a la salida en función del tiempo. La curva de concentración del efluente contra tiempo se conoce como curva C en el análisis de la DTR, en la Figura 3.2 se muestran curvas de concentración de trazador típicas para este tipo de inclusión.



Inyección de pulso



Respuesta de pulso

Figura 3.2 Gráficas típicas para un experimento tipo pulso

La función que describe de forma cuantitativa cuanto tiempo han pasado en el reactor diferentes elementos del fluido se denomina función de distribución de tiempos de residencia, $E(t)$, y se representa matemáticamente de la siguiente manera [1-2]:

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t)dt} \quad (1)$$

Como sucede con otras variables descritas por funciones de distribución, el valor medio de la variable es igual al primer momento de la función $E(t)$. Así pues, el tiempo de residencia medio es:

$$t_m = \frac{\int_0^{\infty} tE(t)dt}{\int_0^{\infty} E(t)dt} = \int_0^{\infty} tE(t)dt \quad (2)$$

El segundo momento de uso común se toma alrededor de la media y se llama varianza, o desviación estándar al cuadrado. La varianza se define como:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - t_m)^2 E(t)dt \quad (3)$$

OBJETIVOS

- Determinar el efecto del flujo volumétrico en la desviación a la idealidad de reactores de flujo tipo pistón.
- Evaluar el efecto del área transversal en la desviación a la idealidad de reactores de flujo tipo pistón.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Material

- 1 conductímetro (laboratorio).
- 30 vasos pequeños de plástico.

- 1 vaso de precipitado de 50 mL.
- 1 cronómetro.
- 1 probeta de 50 mL (laboratorio).
- 2 buretas de vidrio de diferente volumen (módulos de reactor tubular) (laboratorio).
- 1 equipo de venoclisis.
- 2 m de manguera de látex.
- 2 jeringas, una de 1 mL y otra de 3 mL.
- 1 espátula.
- 1 soporte universal.
- 1 pinza de nuez.
- 1 pinza de tres dedos.
- 1 paquete de pilas AA.

Reactivos

- Cloruro de potasio (KCl).
- Agua del grifo (H_2O).

Metodología

- Instalar un módulo de reactor tubular de acuerdo con lo indicado por el profesor.
- Preparar 25 mL de solución acuosa de KCl con un contenido de sal de 1.25 g (Solución A).
- Mantener un flujo constante de agua a través del reactor, regulando la apertura de la válvula de salida del reactor y/o la de alimentación del agua.
- Determinar el flujo volumétrico a la salida del reactor recolectando un volumen " x " de agua en un tiempo determinado, hacerlo por triplicado.

- Tomar 1 mL de solución A si se está trabajando con reactores de diámetro intermedio, 0.5 mL para el reactor capilar, y 2 mL para el reactor de diámetro mayor.
- Inyectar la solución A en la parte superior del reactor correspondiente lo más rápido posible.
- Marcar el tiempo de inyección como tiempo cero.
- Tomar muestras dependiendo del diámetro del reactor y del flujo volumétrico del fluido de trabajo (agua). El reactor de menor diámetro requerirá muestreos más finos ya que el tiempo de residencia del trazador será más corto.
- Medir la conductividad de cada una de las muestras.
- Seleccionar otros dos flujos volumétricos y repetir la metodología anterior a partir del tercer punto.
- Cambiar de reactor y seguir la metodología descrita anteriormente desde el punto 3 hasta la medición de la conductividad. Tener cuidado en realizar este experimento con un tiempo espacial lo más aproximado posible a los anteriores.

DISCUSION Y RESULTADOS

- Curvas C , E y F .
- Calcular el primero y segundo momento para cada una de las curvas E .
- Discusión del efecto del flujo volumétrico y del diámetro del reactor sobre la idealidad del flujo.

REFERENCIAS

1. Fogler, H.S. (2005). *Elements of chemical reaction engineering (4ta edición)*. United States of America: Prentice Hall.

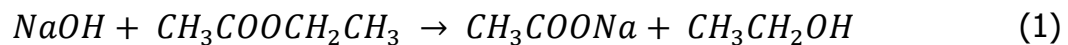
2. Levenspiel, O. (1999). *Chemical reaction engineering (3ra edición)*. United States of America: John Wiley and Sons, Inc.

PRÁCTICA No. 4

REACTOR DISCONTINUO. CÁLCULOS CINÉTICOS PARA EL DISEÑO DE REACTORES INDUSTRIALES

INTRODUCCIÓN

La reacción que será sometida a estudio cinético es la saponificación del acetato de etilo, que se considerará irreversible a bajas concentraciones:



Para su estudio cinético se utilizará la siguiente nomenclatura:



Demostrar que la velocidad de esta reacción depende de la concentración, a temperatura constante, según la definición de velocidad de reacción:

$$-r_A = kC_A C_B [=] \frac{\text{mol}}{\text{volumen} \cdot \text{tiempo}} \quad (3)$$

La ecuación 3 es una ley de velocidad de primer orden respecto a cada uno de los reactivos, y de segundo orden global. Para poder utilizar esta ecuación cinética, es necesario conocer el coeficiente específico de reacción (k) y corroborar los órdenes respecto a las concentraciones de los reactivos indicados, lo que obliga a realizar un procedimiento experimental que requiere el uso de un reactor discontinuo para establecer el cambio de concentración del reactivo de interés con respecto al tiempo. Para facilitar los cálculos, se utilizarán concentraciones iniciales iguales de ambos reactivos ($C_{A0} = C_{B0}$), y se empleará como variable de cálculo a la conversión. Por

lo tanto, la ley de velocidad de la ecuación 3 quedará expresada de la siguiente manera:

$$-r_A = kC_{A0}^2(1 - X_A)^2 \quad (4)$$

OBJETIVOS

- Realizar el seguimiento experimental de la conversión de una reacción química.
- Utilizar la ecuación de diseño de un reactor discontinuo para obtener el modelo cinético de la reacción, así como sus parámetros.
- Predecir el comportamiento de reactores industriales continuos a partir de los datos de laboratorio.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Material

- 1 reactor vidriado con chaqueta de enfriamiento y/o calentamiento de 1 L (laboratorio).
- 1 agitador mecánico (laboratorio).
- 2 probetas de 100 mL (laboratorio).
- 2 matraces aforados de 500 mL (laboratorio).
- 1 matraz aforado de 250 mL (laboratorio).
- 1 matraz aforado de 100 mL (laboratorio).
- 6 vasos de precipitado de 150 mL.
- 1 cronómetro.
- 1 conductímetro (laboratorio).
- 1 espátula.
- 1 vidrio de reloj.

- 1 pizeta.
- 1 termómetro (0 – 100 °C).
- 1 parrilla de calentamiento con agitación (laboratorio).
- 1 soporte universal.
- 2 juegos de pinzas de nuez con pinzas de tres dedos.
- 1 termostato de agua (laboratorio).
- 8 pilas alcalinas AA.

Reactivos

- Hidróxido de sodio ($NaOH$).
- Acetato de etilo ($CH_3COOCH_2CH_3$).
- Agua destilada (H_2O).

Metodología

- Preparar 500 mL de una solución acuosa de $NaOH$ con una concentración de 0.05 mol/L.
- Colocar la solución anterior al reactor, esperar a que se alcance la temperatura de 30 °C.
- Preparar 500 mL de una solución acuosa de $CH_3COOCH_2CH_3$ con una concentración de 0.05 mol/L. Colocar la solución en la parrilla de calentamiento para que también alcance la temperatura de 30 °C.
- Una vez estabilizada la temperatura de ambas soluciones, mezclarlas en el reactor y comenzar a registrar el tiempo de reacción.
- Medir la conductividad del sistema de reacción en intervalos de 10 s durante los primeros 2.5 min, posteriormente, en intervalos de 30 s durante los siguientes 2.5 min, y finalmente, en intervalos de 1 min hasta que no se registren cambios.
- Preparar 250 mL de una solución acuosa de $NaOH$ con una concentración de 0.05 mol/L. Diluir la solución madre a modo de preparar cinco diluciones con las siguientes concentraciones: 0.025, 0.0125, 0.0063, 0,0031 y 0.0016

mol/L. Las seis soluciones (incluyendo la solución original) deberán colocarse en un termo baño para que alcancen la temperatura de 30 °C. Determinar la conductividad de las soluciones para construir una curva de calibración que relacione la conductividad con la concentración del $NaOH$.

En la Figura 4.1 se muestra la representación esquemática del sistema de reacción.

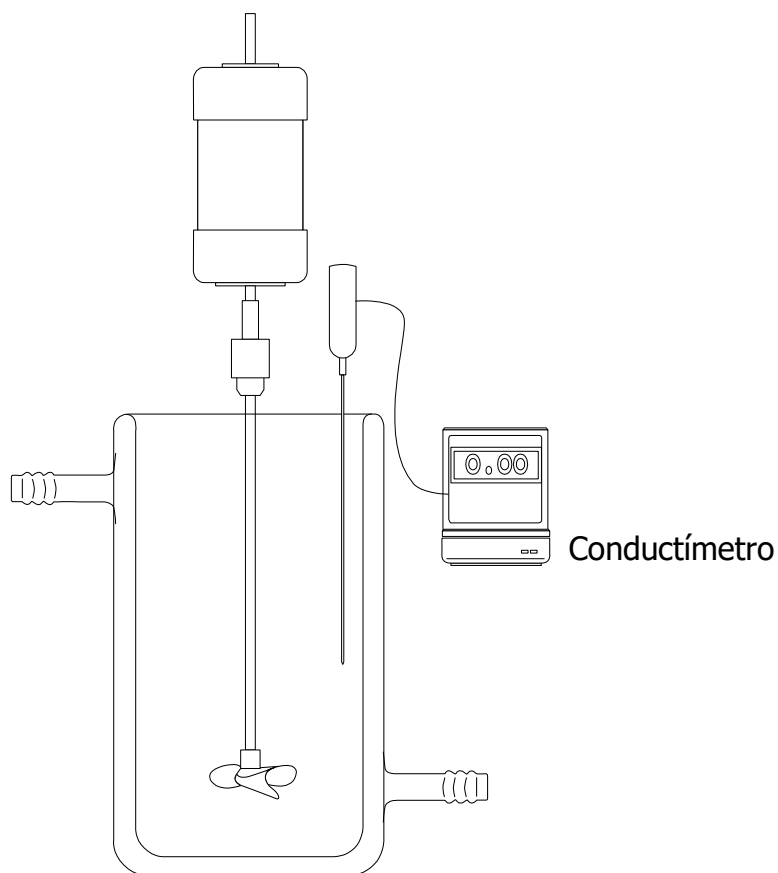


Figura 4.1 Esquema del sistema de reacción

En solución solo los iones conducen la corriente eléctrica, por lo que es posible medir la variación de la concentración de $NaOH$ con el tiempo a través de la conductividad (σ) promovida por los iones Na^+ y HO^- . Tanto el etanol como el acetato de etilo son compuestos covalentes y en solución no conducen la corriente eléctrica.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

- Establecer la ecuación de calibración del conductímetro.
- Obtener una ecuación que relacione el tiempo de reacción con la conversión.
- Transformar los datos experimentales de acuerdo con el modelo teórico, para obtener una recta que permita el cálculo del coeficiente cinético de la reacción.
- Cómo quedaría formulada la ecuación cinética para la reacción estudiada en función de la conversión, si se opera con relaciones entre concentraciones iniciales diferentes, es decir, $M_B = \frac{C_{B0}}{C_{A0}} \neq 1$.
- Si se desea llevar a cabo esta saponificación a 30 °C en un reactor industrial tipo tanque, alimentando una corriente de 100 m³/s de una disolución que contiene 0.1 kmol/m³ de NaOH y 0.5 kmol/m³ de CH₃COOCH₂CH₃, para obtener una conversión del 95 %. ¿Qué volumen de reactor se necesitaría?
- A las mismas condiciones mencionadas anteriormente ¿Cuál sería el volumen total necesario si se colocan dos reactores CSTR en serie de igual volumen?
- Si se desea llevar a cabo la reacción en las mismas condiciones mencionadas, pero en un reactor industrial tubular ¿Cuál sería el volumen necesario?
- ¿Cuál de los tres arreglos sería más rentable?

REFERENCIAS

1. Levenspiel, O. (1999). *Chemical reaction engineering (3ra edición)*. United States of America: John Wiley and Sons, Inc.
2. Calleja, G.; García, F.; De Lucas, A.; Prats, D. y Rodríguez, J.M. (1999). *Introducción a la Ingeniería Química*. Madrid: Síntesis.
3. Costa, J.; Cunill, F.; Espulgas, S.; Mans, C. y Mata, J. (1996). *Curso de Ingeniería Química Técnica*. Barcelona: Reverte.
4. Morales, J. (2000). *Introducción a la Experimentación en Cinética Química Textos y Prácticas Docentes No. 19*: Universidad de la Laguna.

PRÁCTICA No. 5
ESTUDIO CINÉTICO DE LA DESCOMPOSICIÓN CATALÍTICA DEL
PERÓXIDO DE HIDROGENO

INTRODUCCIÓN

La medida de la velocidad de reacción implica la medida de la concentración de uno de los reactivos o productos a lo largo del tiempo, esto es, para medir la velocidad de una reacción necesitamos medir la cantidad de reactivo que desaparece por unidad de tiempo, o la cantidad de producto que aparece por unidad de tiempo.

De este modo, para una reacción química hipotética:



La velocidad de reacción se define como:

$$r = kC_A^m C_B^n \quad (2)$$

Donde k es una constante que depende de la temperatura y de la naturaleza de las sustancias, m y n se denominan orden de reacción en relación a A y en relación a B , respectivamente. La suma de m y n se le conoce como orden global de la reacción. En el caso de que $m = a$ y $n = b$ se dice que la reacción es elemental.

Muchas de las reacciones químicas no se producen en un solo paso, sino que se llevan a cabo por una serie de procesos químicos elementales, cada uno de los cuales tienen su propia ley de velocidad y una constante de velocidad específica.

Se puede estar seguro de que una reacción no es un proceso elemental si: los exponentes en la ley de velocidad no son los mismos que los coeficientes de la ecuación balanceada, si alguna de las especies químicas que aparecen en la

expresión de la ley de velocidad no es un reactivo, y si el orden general de la reacción es mayor a 3.

El concepto más claro para comprender la velocidad total de una reacción por pasos, es el paso determinante de la velocidad, este corresponde a aquella etapa cuya velocidad es lo suficientemente lenta, con respecto a las demás, como para limitar la velocidad general de la reacción total

Las reacciones químicas en fase homogénea gaseosa, están provocadas por los choques entre las moléculas de los reactivos; así, cuanto mayor sea el número de moléculas por unidad de volumen (concentración), mayor será la velocidad de reacción. Si la reacción se produce en un sistema heterogéneo, es decir, con más de una fase, por ejemplo entre un líquido y un sólido, los choques solo se producirán en la superficie de separación de las fases, y serán por tanto más numerosas cuanto mayor sea esta superficie de contacto.

En general, no todos los choques dan lugar a una reacción, aun en el caso de que el proceso esté favorecido termodinámicamente, ya que al aproximarse mucho surgen repulsiones eléctricas entre las moléculas, y es preciso que la energía de colisión supere un valor mínimo para vencer estas repulsiones, esta energía mínima de colisión se llama energía de activación E_a .

Una colisión con energía E_a , o mayor, consigue que los átomos de las moléculas alcancen el estado de transición; pero para que se lleve a cabo la reacción, es necesario también que las moléculas estén orientadas correctamente. La constante de la velocidad de una reacción (k) depende también de la temperatura ya que la energía cinética depende de ella. La relación entre k y la temperatura está dada por la ecuación de Arrhenius:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (3)$$

Donde A se le conoce como factor de frecuencia.

Factores que Modifican la Reacción

El desarrollo riguroso de estas ideas básicas constituye la llamada teoría de colisiones. Nos apoyaremos, en lo que sigue, en esta interpretación de las reacciones químicas para describir cómo intervienen diferentes factores en la velocidad de reacción, por ejemplo: presión, temperatura, estado físico de los reactivos, concentración y presencia de catalizadores.

Los catalizadores aumentan la rapidez de una reacción sin transformarla, además, empeoran la selectividad del proceso, aumentando la obtención de productos no deseados. La forma de acción de los mismos es modificando el mecanismo de reacción, empleando pasos elementales con mayor E_a .

OBJETIVO

Determinar experimentalmente los parámetros de la ecuación de velocidad de una reacción química: orden de reacción y constante de velocidad.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Material

- 1 vaso de precipitado de 100 mL.
- 1 matraz erlenmeyer de 250 mL (laboratorio).
- 1 bureta de 50 mL (laboratorio).
- 1 agitador magnético de 2 cm.

- 1 soporte universal.
- 2 juegos de pinzas de nuez con pinzas de tres dedos.
- 2 tubos de vidrio, con la forma indicada en la Figura 1, acoplado con un tapón de corcho.
- 1 parrilla con agitación y calentamiento (laboratorio).
- 1 termobañó.

Reactivos

- Yoduro de potasio (KI).
- Peróxido de hidrógeno (H_2O_2).
- Agua destilada (H_2O).

Metodología

- Se prepara el dispositivo mostrado en la Figura 5.1, para eso se llena de agua la bureta y se introduce invertida en un baño de agua. La reacción se realizará en un Erlenmeyer, y antes de comenzar, el alumno deberá observar que el tapón y el tubo de vidrio se ajustan perfectamente. **Nota: evitar fugas.**
- Se coloca en el fondo del Erlenmeyer un agitador y se mezclan las soluciones de KI y de H_2O_2 , se tapa el Erlenmeyer y se introduce la otra punta del tubo de vidrio en la bureta; el oxígeno comenzara a ascender por la bureta. Se toman medidas del volumen de oxígeno durante 3 min a varios intervalos de tiempo.

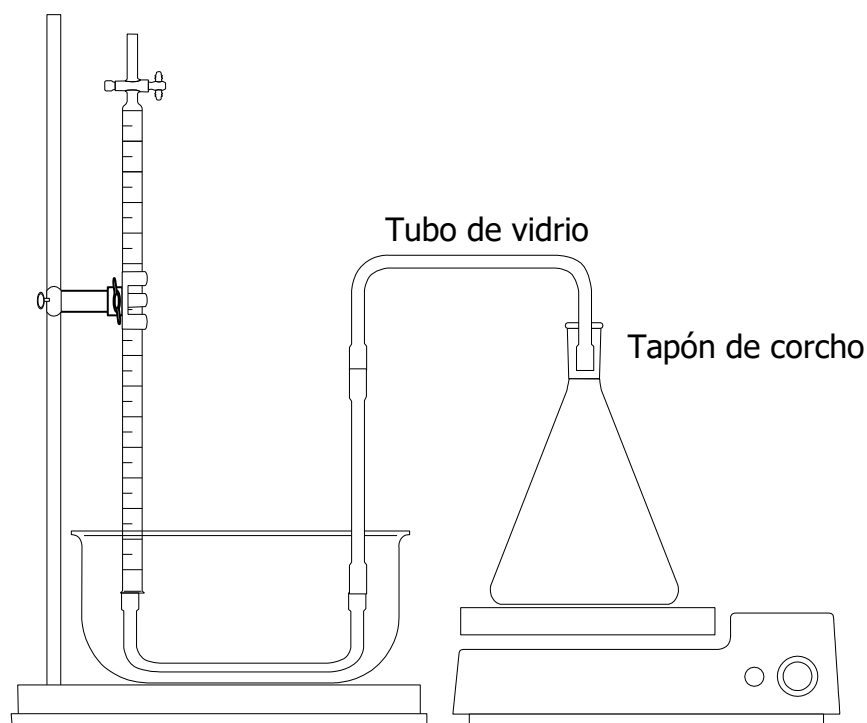


Figura 5.1 Esquema del sistema de reacción

Se realizaran 3 experimentos variando las concentraciones iniciales de los reactivos.

1er experimento: se coloca en el Erlenmeyer 5 mL de una solución de KI 0.1 M y 10 mL de H_2O . A continuación se añaden 10 mL de una solución 1.26 M de H_2O_2 , posteriormente, se tapa el Erlenmeyer y se agita constantemente. Se toma tiempo cero en el instante de la mezcla, y a partir de ese momento se mide el tiempo en varios intervalos. Cuando el experimento se ha terminado, se destapa el Erlenmeyer, se vacía y se limpia bien para el siguiente experimento. **En todos los casos hay que agregar al final el peróxido de hidrógeno.**

2do experimento: se coloca en el Erlenmeyer 10 mL de la solución de KI 0.1 M, 5 mL de H_2O y 10 mL de la solución 1.26 M de H_2O_2 ; posteriormente, se procede de la manera descrita en el 1er experimento.

3er experimento: se coloca en el Erlenmeyer 10 mL de la solución de KI 0.1 M, 10 mL de H_2O y 5 mL de la solución 1.26 M de H_2O_2 ; posteriormente, se procede de la manera descrita en el 1er experimento.

RESULTADOS

Calcular la ecuación de velocidad para el proceso estudiado, es decir, se debe determinar los valores de m , n y k . Para ello aplicar el método de las velocidades iniciales.

REFERENCIAS

1. Calleja, G.; García, F.; De Lucas, A.; Prats, D. y Rodríguez, J.M. (1999). *Introducción a la Ingeniería Química*. Madrid: Síntesis.
2. Costa, J.; Cunill, F.; Espulgas, S.; Mans, C. y Mata, J. (1996). *Curso de Ingeniería Química Técnica*. Barcelona: Reverte.
3. Levenspiel, O. (1999). *Chemical reaction engineering (3ra edición)*. United States of America: John Wiley and Sons, Inc.
4. Morales, J. (2000). *Introducción a la Experimentación en Cinética Química Textos y Prácticas Docentes No. 19*: Universidad de la Laguna.

PRÁCTICA No. 6

OBTENCIÓN DE BIODIESEL

INTRODUCCIÓN

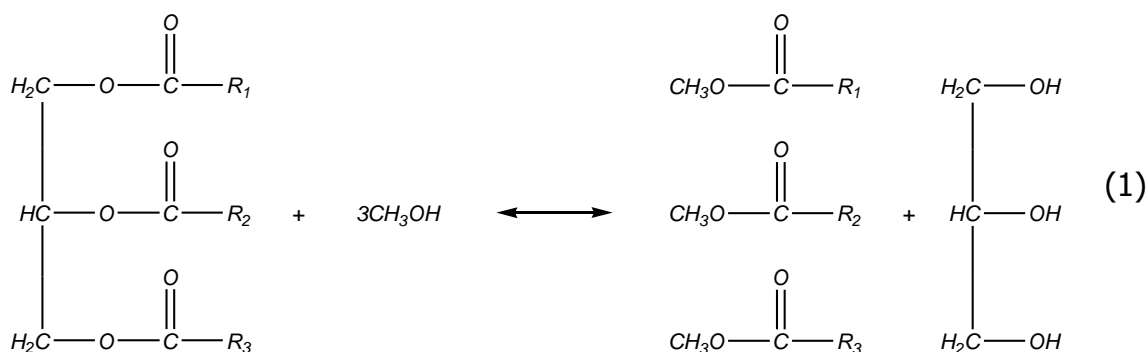
Actualmente, los combustibles fósiles representan más del 80.3% de la energía primaria consumida en el mundo, y el 57.7% de esa cantidad se utiliza en el sector transporte. Por otro lado, se estima que el consumo global de diesel sea de 934 millones de toneladas por año, por lo que el Foro de Energía Mundial (WEF, por sus siglas en inglés) pronostica que el petróleo fósil se agotará en menos de 10 décadas si no se descubren nuevos yacimientos.

Ante esta situación, se han desarrollado exitosamente energías renovables como la energía solar, eólica, hidráulica y la energía procedente de residuos y combustibles renovables, teniendo mayor potencial esta última, para limitar el uso de gasolinas fósiles. Se especula que en un futuro cercano la energía a partir de combustibles renovables, como el biodiesel, entre de manera intensa al mercado para diversificar las fuentes de energía globales.

El biodiesel es un combustible alternativo derivado de aceites vegetales y/o grasas animales, los principales componentes de los aceites y las grasas son los triglicéridos, también conocidos como ésteres de ácidos grasos unidos a un glicerol. Normalmente, los triglicéridos se componen de diferentes ácidos grasos que tienen diversas propiedades físicas y químicas, y su composición es el parámetro que más influencia tiene en sus propiedades.

El uso directo de aceites vegetales y grasas animales como combustibles no es apropiado dada su alta viscosidad cinemática y su baja volatilidad, además, su uso prolongado tiene severas consecuencias en los motores como por ejemplo: formación de depósitos, adherencia de los anillos y asfixia del inyector; en

consecuencia, estos compuestos deben ser tratados químicamente mediante una transesterificación para reducir la viscosidad de los aceites. En tal reacción, en presencia de un catalizador (base o ácido), los triglicéridos reaccionan con un alcohol de cadena corta (metano) para formar esteres metílicos de ácidos grasos (FAME, por sus siglas en inglés) y glicerol como subproducto, la Ecuación 1 muestra la reacción de transesterificación.



Los aceites y las grasas tienen propiedades hidrofóbicas, y como se sabe los triglicéridos están constituidos por un 1 mol de glicerol y 3 moles de ácidos grasos. Los ácidos grasos varían en términos de la longitud de la cadena de carbono y el número de enlaces insaturados (dobles enlaces). En su forma cruda los aceites y grasas contienen gran cantidad de impurezas como ácidos grasos libres, esteroides y agua; de hecho, los ácidos grasos libres y el agua tienen efectos significativos en la reacción de transesterificación, especialmente si se utiliza un catalizador básico, ya que pueden formar jabón durante la separación de los FAME y el glicerol en el proceso de lavado con agua (paso de purificación).

Propiamente hablando, el biodiesel es una mezcla de esteres alquílicos de ácidos grasos, cuando se utiliza metanol como reactivo, se producen FAME, pero cuando se utiliza etanol, la mezcla estará compuesta por esteres etílicos de ácidos grasos (FAEE, por sus siglas en inglés). Debido a su bajo costo y disponibilidad, el metanol es el alcohol más utilizado en la producción de biodiesel.

En la actualidad, la forma más común de producir biodiesel es mediante catalizadores básicos homogéneos, tal como hidróxido de sodio ($NaOH$) o hidróxido de potasio (KOH). Estos catalizadores se utilizan ampliamente debido a las siguientes causas: 1) son capaces de catalizar la reacción a bajas temperaturas y presión atmosférica, 2) se puede alcanzar una elevada conversión con un mínimo de tiempo, 3) amplia disponibilidad y bajo costo y 4) la velocidad de reacción puede ser 4000 veces más rápida en relación a catalizadores ácidos. Sin embargo, el uso de este tipo de catalizadores se limita a aceite vegetal refinado, con menos del 0.5% en masa de ácidos grasos libres (FFA, por sus siglas en inglés). Es importante mencionar que los FFA son ácidos carboxílicos de cadena larga desconectados de la molécula de glicerol, que reaccionan con el catalizador básico para formar jabón (desactivación), y que provocan una disminución de la cantidad de FAME obtenida.

Otro problema relacionado con el uso de catalizadores homogéneos básicos es la presencia del agua, ya que a altas temperaturas puede hidrolizar los triglicéridos a diglicéridos y formar FFA, por lo tanto, la producción de jabón también es una muestra clara de la existencia de agua en los reactivos.

OBJETIVOS

- Conocer y manejar de manera apropiada el reactor Batch automatizado de acero inoxidable que se encuentra en el laboratorio de ingeniería de reactores.
- Realizar el seguimiento experimental de la transesterificación de un triglicérido para obtener biodiesel.
- Conocer la importancia del proceso de purificación para la obtención de un producto químico.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Material

- 1 reactor Batch automatizado de acero inoxidable (laboratorio).
- 1 bomba de recirculación (laboratorio).
- 2 m de manguera de látex para vacío.
- 1 cubeta.
- 2 parrillas con agitación y calentamiento (laboratorio).
- 2 agitadores magnéticos (≤ 2 cm).
- 6 vasos de precipitado (50 mL \times 2, 100 mL \times 2 y 250 mL \times 2).
- 1 embudo de separación (laboratorio).
- 3 frascos de vidrio con tapa de 10 mL.
- 1 espátula.
- 1 vidrio de reloj.
- Papel para pesar.
- 1 probeta de 100 mL (laboratorio).
- 1 esponja para lavar, **no fibra**.
- Tiras de papel pH con caja.
- 1 medidor de pH (laboratorio).
- 1 soporte universal.
- 2 juegos de pinzas de tres dedos con pinzas de nuez.
- 2 termómetros de mercurio (0 a 100 °C).
- Guantes de látex.
- Lentes de seguridad.
- Franela.

Reactivos

- Aceite oleico (semilla de cártamo).
- Metanol (CH_3OH).
- Hidróxido de sodio ($NaOH$).
- Solución diluida de ácido clorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico (H_2SO_4) para neutralizar.

Metodología

- Calentar 110 mL de aceite oleico a una temperatura de 60 °C.
- Agregar lentamente 1.3530 g $NaOH$ en 28.1 mL de CH_3OH , agitar la mezcla durante varios minutos. Se debe de tener cuidado, ya que la reacción entre el $NaOH$ y el CH_3OH es exotérmica. La cantidad de $NaOH$ corresponde al 1.1% en masa de la cantidad total de los reactivos.
- Colocar en el reactor el aceite a la temperatura de trabajo, y la solución de $NaOH$.
- Cerrar el reactor, iniciar la agitación y mantener el medio de reacción a una temperatura de 60 °C durante 3 h.
- Finalizado el tiempo de reacción, descargar el reactor y colocar el producto en el embudo de separación. Después de varias horas, observar la separación entre la glicerina y los FAME (la glicerina es más densa y se depositará en el fondo). Una vez eliminada la glicerina, recuperar el biodiesel crudo en un vaso de precipitado.
- El biodiesel puede contener impurezas (trazas de catalizador, metanol y glicerina), sin embargo, estas impurezas son solubles en agua y pueden ser extraídas. En el vaso de precipitado que contiene el biodiesel, colocar una pequeña cantidad de agua destilada y agitar **suavemente** durante 5 min. Posteriormente, colocar la mezcla en el embudo de separación, y después de 10 min se observará la separación del agua y el aceite (el agua se depositará

en el fondo). Repetir este procedimiento hasta que el agua de lavado tenga un valor de pH cercano a 7.

- El biodiesel lavado tendrá un aspecto turbio debido a que contiene gotas de agua en suspensión. Para eliminar el agua, el biodiesel debe ser colocado en un evaporador rotatorio (rotavapor) durante 1 h.
- Recuperar el biodiesel refinado y analizarlo por cromatografía de gases (CG) en el CCIQS UAEM-UNAM.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

La calificación de esta práctica estará conformada por el desarrollo experimental dentro del laboratorio, reporte final de la práctica y el grado de pureza del biodiesel elaborado.

REFERENCIAS

1. Lam, M. K.; Lee, K. T. and Mohamed, A. R. (2010). *Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: a review*. *Biotechnology Advances*, 28(4), 500-518.

PRÁCTICA No. 7

OBTENCIÓN DE BIODIESEL EN UN REACTOR TUBULAR

INTRODUCCIÓN

El biodiesel es un biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol, el cártamo y la soja las materias primas más utilizadas en la actualidad para este fin. Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas del gasóleo de automoción en cuanto a la densidad e índice de cetano. El biodiesel puede mezclarse con gasóleo para el uso en motores, incluso sustituirlo totalmente [1].

El biodiesel se produce por una reacción química denominada transesterificación, que significa que el glicerol contenido en los aceites es sustituido por un alcohol ante la presencia de un catalizador. Se puede utilizar tanto KOH (hidróxido de potasio) como $NaOH$ (hidróxido de sodio). La ventaja del KOH es que la glicerina efluente del proceso es mucho menos tóxica, sin embargo el $NaOH$ es un material barato y fácil de conseguir.

Los productos de la transesterificación de un aceite son diversos, por ejemplo: ésteres metílicos (FAME), glicerina, metanol, catalizador, monoglicéridos y diglicéridos, sin embargo, en presencia de agua se pueden formar jabones, lo que disminuye considerablemente el rendimiento de la reacción.

De acuerdo a la estequiometría de la transesterificación, se requieren tres moles de metanol por cada mol de triglicérido, sin embargo, en la práctica se añade una cantidad adicional de metanol (6 a 1) para desplazar el equilibrio de la reacción hacia los productos.

OBJETIVOS

- Producir biodiesel mediante la reacción de transesterificación de aceite de cártamo en un reactor tubular.
- Investigar, conocer y montar las técnicas de índice de acidez y viscosidad en el Laboratorio de Ingeniería de Reactores para caracterizar el biodiesel sintetizado.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Material

- 1 embudo de separación 150 mL (laboratorio).
- 1 soporte universal.
- 1 reactor tubular (laboratorio).
- 1 termómetro de mercurio.
- 1 bomba peristáltica equipada con un controlador de flujo (laboratorio).
- 1 termobañó (laboratorio).
- 1 bomba de recirculación (laboratorio).
- 1 rotavapor (laboratorio).
- Tiras indicadoras de pH con caja.
- 1 medidor de pH (laboratorio).
- 3 frascos de vidrio con tapa de 10 mL.
- 1 pipeta 5 mL.
- 1 perilla.
- 1 cronómetro.
- 1 vidrio de reloj.
- Guantes de látex.
- Lentes de seguridad.
- Franela.

- 3 agitadores magnéticos.
- 1 matraz aforado 150 mL (laboratorio).
- 1 probeta de 50 mL (laboratorio).
- 2 espátulas.
- 2 parrillas con agitación y calentamiento (laboratorio).
- 6 pinzas de tres dedos con pinzas de nuez.
- 2 vasos de precipitado 250 mL.

Reactivos

- Hidróxido de sodio ($NaOH$).
- Metanol (CH_3OH).
- Aceite oleico (semilla de cártamo).
- Agua destilada (H_2O).
- Solución diluida de ácido clorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico (H_2SO_4) para neutralizar.

Metodología

- Instalar el módulo de reactor tubular de acuerdo con la Figura 7.1.

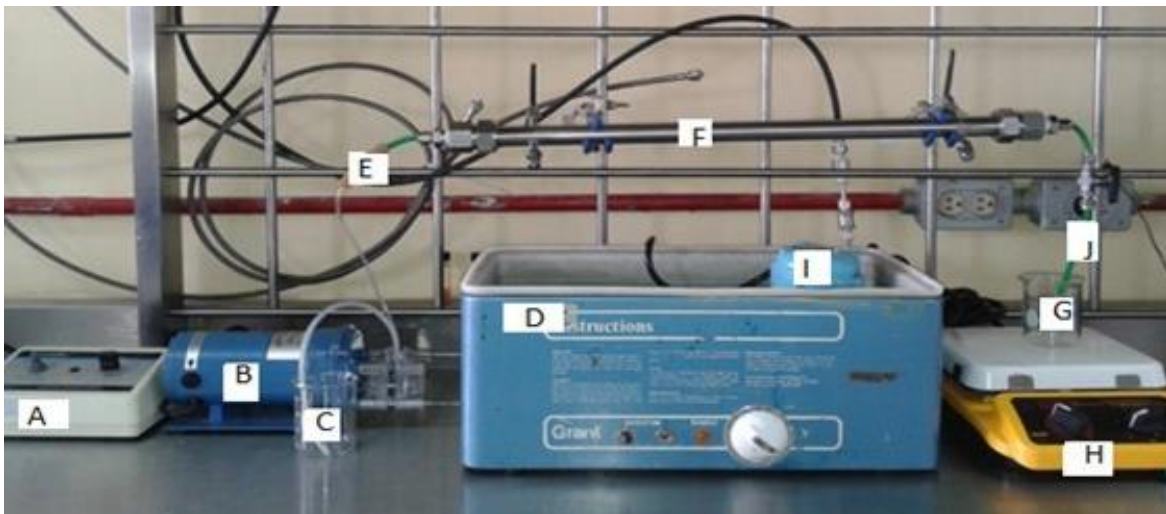


Figura 7.1 Imagen sistema de reacción tubular

En donde A: es el controlador de flujo, B: es la bomba peristáltica, C: el tanque de alimentación, D: es el termobañó, E: es la manguera de alimentación al reactor, F: es el reactor tubular, G: es el tanque de productos, H: es la parrilla de calentamiento y agitación, I: es la bomba de recirculación para el fluido de calentamiento y J: la manguera de descarga.

- Calentar 130 mL de aceite oleico a una temperatura de 60 °C.
- Agregar lentamente 1.6071 g $NaOH$ en 33.13 mL de CH_3OH , agitar la mezcla durante varios minutos. Se debe de tener cuidado, ya que la reacción entre el $NaOH$ y el CH_3OH es exotérmica. La cantidad de $NaOH$ corresponde al 1.1% en masa de la cantidad total de los reactivos.
- Agregar al tanque de alimentación (C) el aceite oleico y la solución del $NaOH$. La mezcla se debe mantener a 60 °C y en constante agitación.
- Antes de alimentar al reactor verificar que el fluido de calentamiento se encuentre a 60 °C.
- Alimentar al reactor la mezcla de aceite oleico y solución de $NaOH$ en metanol con la bomba peristáltica, verificar el momento en que el sistema se llene y registrar el volumen de reacción.
- Conectar la manguera de alimentación con la manguera de descarga, de tal manera que la mezcla de reacción se encuentre recirculando por el reactor tubular, hasta cumplir con un periodo de reacción de 3 h.
- Al finalizar el tiempo de reacción (cuando el reactor se haya descargado completamente), colocar el producto en el embudo de separación para recuperar al biodiesel crudo, se debe recordar que la glicerina es un material más denso por lo que se depositara en el fondo del embudo.
- El biodiesel puede contener impurezas (trazas de catalizador, metanol y glicerina), sin embargo, estas impurezas son solubles en agua y pueden ser eliminadas. En el recipiente que contiene al biodiesel (preferentemente un vaso de precipitado), colocar la misma cantidad (volumen) de agua destilada y agitar **suavemente** durante 5 min. Posteriormente, trasladar la mezcla biodiesel/agua al embudo de separación y desechar el agua de lavado.

Repetir este procedimiento hasta que el agua de lavado tenga un valor de pH cercano a 7.

- Montar las técnicas de índice de acidez y viscosidad para caracterizar el biodiesel.
- El biodiesel lavado tendrá un aspecto turbio debido a que contiene gotas de agua en suspensión, por lo cual será necesario colocarlo en un evaporador rotatorio (rotavapor) durante 1 h. La temperatura del fluido de calentamiento del evaporador rotatorio deberá ser de 65 °C.
- Caracterizar el biodiesel refinado por pruebas de índice de acidez, viscosidad y cromatografía de gases (CG) en el CCIQS UAEM-UNAM para determinar el grado de pureza.

RESULTADOS

- Realizar un balance de masa para determinar la conversión y rendimiento de la reacción, comparar la pureza del biodiesel sintetizado en el reactor tubular con el sintetizado en el reactor batch.
- Determinar la viscosidad, grado de acidez y porcentaje de FAMES del biodiesel obtenido.

BIBLIOGRAFÍA

1. Leiva Bautista, C. (2011). *Subproductos generados en el proceso de producción de biodiesel a partir de aceite de tempate*. San Salvador: UFG Editores.
2. Lam, M. K.; Lee, K. T. and Mohamed, A. R. (2010). *Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: a review*. *Biotechnology Advances*, 28(4), 500-518.

PRÁCTICA No. 8

OBTENCIÓN DE BIODIESEL UTILIZANDO UN CATALIZADOR HETEROGÉNEO

INTRODUCCIÓN

En la práctica número 6 se describió que el biodiesel es un biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales (soja, colza/canola, etc.) y grasas animales. Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas del gasóleo de automoción en cuanto a la densidad e índice de cetano. El biodiesel puede mezclarse con gasóleo para el uso en motores, incluso sustituirlo totalmente [1].

La producción del biodiesel se lleva a cabo por una reacción química denominada transesterificación, donde el glicerol contenido en los aceites es sustituido por un alcohol ante la presencia de un catalizador homogéneo y/o heterogéneo. Para evitar la formación de jabones, como en la fase homogénea, y la disminución considerable del rendimiento, es importante utilizar un catalizador heterogéneo, por ejemplo: CaO (óxido de calcio).

El óxido de calcio es un compuesto químico denominado cal viva y se trata de uno de los compuestos de mayor uso en México; además, se ha demostrado que este catalizador sólido básico es un sustituto real de los actuales catalizadores homogéneos ($NaOH$ y KOH).

Los productos de la transesterificación de un aceite son diversos, por ejemplo: ésteres metílicos (FAME), metanol, catalizador, monoglicéridos y diglicéridos.

OBJETIVOS

- Producir biodiesel experimentalmente mediante la reacción de transesterificación de aceite de cártamo con un catalizador heterogéneo en un reactor batch.
- Comparar los resultados entre un proceso catalítico homogéneo y un proceso catalítico heterogéneo.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Material

- 1 reactor batch automatizado de acero inoxidable (laboratorio).
- 1 bomba de recirculación (laboratorio).
- 1 rotavapor (laboratorio).
- 2 m de manguera de látex para vacío.
- 1 cubeta.
- 2 parrillas con agitación y calentamiento (laboratorio).
- 2 agitadores magnéticos (≤ 2 cm).
- 6 vasos de precipitado (50 mL \times 2, 100 mL \times 2 y 250 mL \times 2).
- 1 embudo de separación de 150 mL (laboratorio).
- 3 frascos de vidrio con tapa de 10 mL.
- 8 tubos de plástico con tapa para centrifugación.
- 1 espátula.
- 1 vidrio de reloj.
- Papel para pesar.
- 1 probeta de 100 mL (laboratorio).
- 1 esponja para lavar, **no fibra**.
- Tiras de papel pH con caja.
- 1 medidor de pH (laboratorio).

- 1 soporte universal.
- 2 juegos de pinzas de tres dedos con pinzas de nuez.
- 2 termómetros de mercurio (0 a 100 °C).
- Guantes de látex.

Reactivos

- Óxido de calcio (CaO). Este reactivo se debe de calcinar por lo menos una noche antes.
- Metanol (CH_3OH).
- Aceite oleico (semilla de cártamo).
- Agua destilada (H_2O).
- Solución diluida de ácido clorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico (H_2SO_4) para neutralizar.

Metodología

A diferencia de las practicas número 6 y 7, en esta práctica se utilizará una estequiometría diferente, es decir, la relación molar aceite-metanol será 1:9 y la cantidad de catalizador será el 10% de la masa total de los reactivos.

- Calentar en un vaso de precipitado 110 mL de aceite de semilla de cártamo a una temperatura de 60 °C. Considerar las siguientes propiedades del aceite: densidad 0.922 g/mL y peso molecular 878 g/mol.
- Calentar en un vaso de precipitado la cantidad correspondiente de metanol para alcanzar una relación molar aceite-metanol de 1:9 a una temperatura de 60 °C. Considerar las siguientes propiedades del metanol: densidad 0.792 g/mL y peso molecular de 32.04 g/mol.
- Colocar en el reactor el aceite y el metanol a la temperatura de trabajo.
- Agregar lentamente CaO a la mezcla aceite-metanol, la cantidad del catalizador será el 10% en masa de los reactivos.

- Cerrar el reactor, iniciar la agitación y mantener la mezcla de reacción a una temperatura de 60 °C durante 3 h.
- Finalizado el tiempo de reacción, descargar el reactor y colocar el producto en el embudo de separación. Después de varias horas, observar la separación de los FAMES, glicerina y catalizador.
- Recuperar el biodiesel y colocarlo en los tubos de plástico con tapa para centrifugarlos durante 30 min.
- El biodiesel libre de catalizador puede contener trazas de metanol, por lo tanto, se debe colocar en el evaporador rotatorio durante 30 min.
- Recuperar el biodiesel refinado y caracterizarlo por pruebas de índice de acidez, viscosidad y cromatografía de gases (CG) en el CCIQS UAEM-UNAM para determinar su grado de pureza.

RESULTADOS

- Realizar un balance de masa para determinar la conversión y rendimiento de la reacción.
- Recuperar el biodiesel refinado y caracterizarlo por pruebas de índice de acidez, viscosidad y cromatografía de gases (CG) en el CCIQS UAEM-UNAM para determinar su grado de pureza.

BIBLIOGRAFÍA

1. Leiva Bautista, C. (2011). *Subproductos generados en el proceso de producción de biodiesel a partir de aceite de tempate*. San Salvador: UFG Editores.
2. Lam, M. K.; Lee, K. T. and Mohamed, A. R. (2010). *Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free*

fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: a review. Biotechnology Advances, 28(4), 500-518.

3. Liu, X.; He, H.; Wang, Y.; Zhu, S. and Piao, X. (2008). *Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst.* Fuel, 87(2), 216-221.

PRÁCTICA No. 9

DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA DE PARACETAMOL

INTRODUCCIÓN

Estudios recientes revelan que el crecimiento industrial es probablemente el causante de que aumente la cantidad de agua residual depositada en el medio ambiente; además, considerando el rápido crecimiento de la industria farmacéutica y el aumento en la esperanza de vida de la población, es posible predecir un aumento en el consumo de compuestos farmacéuticos activos y el desarrollo de nuevos compuestos cuyos efectos sean desconocidos para el ambiente.

En la industria farmacéutica se pueden identificar varios tipos de procesos que están implicados en la síntesis de fármacos, por ejemplo: investigación y desarrollo, síntesis química, y extracción y formulación de productos naturales, ocasionando que los desechos de estas industrias estén conformados por una amplia variedad de sustancias. La detección de productos farmacéuticos en los efluentes de plantas tratadoras de agua, cuerpos de agua superficiales, aguas subterráneas y agua potable, ha desencadenado un problema mundial debido al riesgo de introducir estos contaminantes a hábitats silvestres. En este sentido, diferentes clases de fármacos han sido considerados como contaminantes del medio ambiente, entre los que destacan: analgésicos, antibióticos, antiepilépticos, antihipertensivos, antisépticos, anticonceptivos, hormonas y psicoterapéuticos.

El paracetamol es una amida aromática acilada que fue introducida en la medicina como analgésico y se ha utilizado como tal en los hogares por más de 30 años, es aceptado para el tratamiento efectivo del dolor y fiebre en adultos y niños. El paracetamol también se conoce como acetaminofén, N-(4-hidroxifenil)etanamida, y como es de suponerse es un ingrediente mayoritario de numerosos medicamentos contra resfriados y gripe. A dosis terapéuticas, el paracetamol es considerado como

un fármaco seguro por lo que en muchos países se puede comprar en tiendas minoristas.

La enorme producción y amplio uso del paracetamol ha ocasionado su detección en el ambiente acuático en concentraciones que van desde 0.01 a 0.3 mg/L. Es importante mencionar que a concentraciones menores de los 0.5 mM, el paracetamol es capaz de metabolizar junto con el citocromo P450, introduciendo al sistema corporal N-acetil-p-benzoquinona imina (NAPQI por sus siglas en inglés). La estructura del compuesto NAPQI indica que es capaz de tomar parte en reacciones de radicales libres, por lo tanto, el paracetamol puede conducir a una serie de consecuencias desfavorables para diferentes especies.

Diversos procesos de oxidación avanzada (POA) se han utilizado para la remoción de paracetamol en agua, sin embargo, la fotocatalisis heterogénea lleva una ligera ventaja sobre todos los demás ya que utiliza materiales semiconductores baratos (TiO_2) y es capaz de mineralizar diversos compuestos refractarios. Las propiedades fotocatalíticas del dióxido de titanio se derivan de la formación de portadores de carga (huecos y electrones) posterior a la absorción de luz UV (banda prohibida). Los huecos fotogenerados en la banda de valencia se difunden hacia la superficie del TiO_2 y reaccionan con moléculas de agua adsorbidas formando radicales libres ($HO \cdot$). Los huecos y los radicales libres oxidan las moléculas orgánicas cercanas a la superficie del TiO_2 . Por otro lado, los electrones en la banda de conducción participan en procesos de reducción, reaccionando frecuentemente con el oxígeno molecular del aire para formar el anión superóxido (O_2^-), el cual también es precursor de radicales $HO \cdot$.

OBJETIVOS

- Realizar una reacción multifásica en el Laboratorio de Ingeniería de Reactores.

- Determinar experimentalmente los parámetros cinéticos del modelo de Langmuir-Hinshelwood de un solo sitio para la degradación fotocatalítica de paracetamol.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Material

- 1 reactor de vidrio acoplado con lámparas de luz UV de 365 nm. Se pueden utilizar dos configuraciones, la primera que las lámparas estén en la parte superior del reactor; o la segunda, que las lámparas estén situadas alrededor del sistema de reacción.
- 1 espectrofotómetro UV/VIS (laboratorio).
- 1 par de celdas de cuarzo (laboratorio).
- 2 parrillas con agitación y calentamiento (laboratorio).
- 2 dispersores de aire (laboratorio).
- 2 termómetros de mercurio (0 – 100 °C).
- 2 soportes universales.
- 4 juegos de pinzas de tres dedos con pinzas de nuez.
- 1 matraz aforado de 1 L (laboratorio).
- 4 matraces aforados de 25 mL (laboratorio).
- 1 pipeta de 1 mL.
- 1 pipeta de 5 mL.
- 2 espátulas.
- 2 vidrios de reloj o papel para pesar
- 2 agitadores magnéticos (≤ 2 cm), es importante que sean del mismo tamaño.
- 2 m de manguera de látex.
- 1 perilla.

- 40 frascos de vidrio con tapa de 10 mL.
- 10 filtros de jeringa de 1 in de diámetro, cuyo medio filtrante sea nylon con un tamaño de poro de 0.45 μm .
- 5 jeringas de 5 mL.
- 2 vasos de precipitado de 100 mL.
- 2 vaso de precipitado de 250 mL.
- 1 pizeta.
- 2 m de papel parafilm.
- 1 hielera para transportar muestras.

Reactivos

- Paracetamol ($C_8H_9NO_2$).
- Agua destilada (H_2O).
- Dióxido de titanio (TiO_2).
- 1 bolsa de hielo.

Metodología

Curva de Calibración

Preparar una solución acuosa de 30 mg/L de $C_8H_9NO_2$ en un matraz aforado de 1 L. Tomar la cantidad correspondiente de la solución madre de $C_8H_9NO_2$ para preparar 4 disoluciones de 25 mL cuyas concentraciones sean de 25, 15, 10, 5 y 1 mg/L. De esta manera, se dispondrá de 6 muestras, solución madre y 5 disoluciones, para construir una curva de calibración que relacione la absorbancia, medida a una longitud de onda de 242 nm, y la concentración del paracetamol. La curva de calibración se debe de trazar de tal forma que en el eje de las ordenadas aparezca la concentración de $C_8H_9NO_2$ y en el eje de las abscisas la absorbancia.

Degradación Fotocatalítica de Paracetamol

Preparar una solución acuosa de 30 mg/L de $C_8H_9NO_2$ en un matraz aforado de 1 L y colocar la cantidad necesaria en el reactor de vidrio acoplado con las lámparas de energía UV; posteriormente, burbujear aire al reactor a una velocidad de aproximadamente 100 mL/min. Después de 10 min de burbujeo y agitación, encender la lámpara y tomar muestras de 5 mL a los 2.5, 5, 10, 15 y 20 min de reacción. Este experimento servirá como referencia, ya que se espera que con la adición del catalizador (dióxido de titanio) se tenga un efecto positivo en la degradación del contaminante modelo. Las muestras serán analizadas en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 242 nm. En caso de no contar con el espectrofotómetro en el Laboratorio (Unidad "El Cerrillo"), las muestras se deben almacenar en la hielera para su transporte a la Unidad Colón y ser analizadas lo más pronto posible.

Preparar una solución acuosa de 30 mg/L de $C_8H_9NO_2$ en un matraz aforado de 1 L y colocar la cantidad necesaria en el reactor de vidrio acoplado con las lámparas de energía UV; posteriormente, adicionar la cantidad correspondiente de TiO_2 para una concentración de 0.15 g/L y burbujear aire a una velocidad de aproximadamente de 100 mL/min. Después de 10 min de burbujeo y agitación, encender la lámpara y tomar muestras de 5 mL a los 2.5, 5, 10, 15 y 20 min de reacción. Las muestras deben ser filtradas utilizando los filtros de jeringa, ya que la presencia de sólidos puede alterar el análisis por espectroscopia UV. En caso de no contar con el espectrofotómetro en el Laboratorio (Unidad "El Cerrillo"), las muestras se deben almacenar en la hielera para su transporte a la Unidad Colón y ser analizadas lo más pronto posible.

Realizar el procedimiento anterior 3 veces más, pero modificando la concentración inicial del paracetamol, es decir, utilizando las siguientes concentraciones: 25, 20 y 15 mg/L. La temperatura de los 5 experimentos deberá ser la misma.

Los residuos de la curva de calibración y de los 5 experimentos deberán ser colocados en un recipiente etiquetado con la letra *A*, registrando la cantidad correspondiente en la bitácora, en caso de no realizar esta actividad, la práctica será anulada y la calificación será de 0.0 para todo el grupo.

RESULTADOS

- Determinar las velocidades de reacción iniciales para cada uno de los experimentos y realizar una comparación entre los procesos fofolítico y fotocatalítico.
- Considerar que la degradación fotocatalítica del paracetamol se ajusta al modelo de Langmuir-Hinshelwood de un solo sitio (Ecuación 1), en donde *A* es el paracetamol, y determinar los parámetros de este modelo, es decir, constante de reacción (*k*) y constante de adsorción (*K*).

$$-r_{A0} = \frac{kK_A C_{A0}}{1 + K_A C_{A0}} \quad (1)$$

- De acuerdo con la literatura, la oxidación fotocatalítica de compuestos orgánicos es un proceso que involucra la descomposición de la molécula original en moléculas más simples, por lo tanto, a medida que desaparece el paracetamol aparecen compuestos en el medio de reacción, denominados compuestos intermedios. ¿Es correcto, o no, considerar un solo sitio activo en la modelo Langmuir-Hinshelwood? Justificar la respuesta.

REFERENCIAS

1. Fogler, H.S. (2005). *Elements of chemical reaction engineering (4ta edición)*. United States of America: Prentice Hall.

2. Moctezuma, E.; Leyva E.; Aguilar, C.; Luna, R. y Montalvo, C. (2012). *Photocatalytic degradation of paracetamol: Intermediates and total reaction mechanism*. Journal of Hazardous Materials, 243, 130-138.
3. Yang, L.; Yu, L. E. y Ray, M. B. (2008). *Degradation of paracetamol in aqueous solution by TiO₂ photocatalysis*. Water Research, 42(13), 3480-3488.

EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

En el desarrollo de la unidad de aprendizaje (UA) se evaluará el análisis para la resolución de las prácticas, las habilidades adquiridas, las actitudes y valores desarrollados a través de:

- Actividades individuales, por ejemplo: exámenes departamentales y trabajo en el laboratorio.
- Actividades en equipo, por ejemplo: presentaciones y reportes finales de las prácticas.

La UA se acreditará a través de dos evaluaciones parciales y una evaluación ordinaria acumulativa, el discente podrá exentar si obtiene una calificación mayor o igual a 8.0 puntos en los dos exámenes parciales; si el promedio de las dos evaluaciones parciales está entre 6.0 y 7.9, el discente deberá presentar la evaluación ordinaria. Además, el discente está obligado a cumplir con el 80% de las asistencias para tener derecho a presentar cada evaluación (parcial u ordinaria).

Los porcentajes de cada evaluación en la calificación final estarán integrados de la siguiente manera:

- Primera evaluación parcial: 25%.
- Segunda evaluación parcial: 25%.
- Evaluación ordinaria: 50%

La evaluación ordinaria se conformará únicamente por el examen escrito (**TOTAL 10 PUNTOS**).

ANEXOS



Lineamientos de Laboratorios

Facultad de Química
Subdirección Administrativa
Coordinación de Laboratorios

| | | | |
|---------------------|----|--------|------------|
| Versión Vigente No. | 01 | Fecha: | 30/06/2016 |
|---------------------|----|--------|------------|

1. Propósito

Establecer los lineamientos para salvaguardar la vida, salud e integridad de la comunidad así como el cuidado de las instalaciones, dentro de los laboratorios de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

2. Alcance

El presente lineamiento es aplicable a los laboratorios de la Facultad de Química, en sus tres unidades: Colón, Cerrillo y Rosedal, donde se realice trabajo experimental, sea de docencia, servicios o de investigación. Estos sitios, para efectos del presente documento, serán denominados "laboratorios" y su observancia es obligatoria para personal académico (docentes, investigadores y jefes de departamento), administrativos, alumnos y visitantes.

3. Normas de disciplina y organización

- Durante la estancia en el laboratorio, independiente de la actividad que se realice y por seguridad de la comunidad de la Facultad de Química, TODA PERSONA debe de utilizar: bata de manga larga (preferentemente de algodón y abrochada), cabello recogido y zapato cerrado.
- Queda prohibido: introducir y/o consumir alimentos y/o bebidas, fumar, mascar chicle, usar lentes de contacto, perforaciones faciales (pearcings), zapatos altos de tacón, sandalias o zapato abierto, utilizar audífonos, gorra, correr, empujar y jugar dentro del laboratorio.
- Al escuchar la sirena de alarma de la Facultad o voz de emergencia, inmediatamente cerrar las llaves de gas, aire, agua, vacío, apagar todo equipo eléctrico, atender las instrucciones de los brigadistas y de manera ordenada y rápida salir del laboratorio (no correr, no gritar y no empujar), siguiendo los señalamientos de ruta de evacuación para dirigirse al punto de reunión.
- Nunca deberá estar una persona sola trabajando en los laboratorios, mínimo deberán de estar dos personas; una de ellas deberá ser el docente responsable.
- En periodos vacacionales se deberá solicitar vía oficio la autorización para el ingreso a los laboratorios; especificando el día y el horario con el Vo.Bo. del docente responsable. Es importante mencionar que el profesor responsable deberá estar presente en la fecha y horario indicados en el oficio.



Con aplicación especial en las prácticas de docencia

- Los reactivos con los que se cuenten en los laboratorios de docencia son para uso exclusivo de las prácticas, no deberán ser utilizados para proyectos de posgrado o de investigación.
- El documento Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura deberá ser entregado con una anticipación de 30 días a la coordinación de laboratorios (en forma física o electrónica) para poder hacer uso de las instalaciones.
- Es obligación del docente la actualización del documento Manual de prácticas de Laboratorio de su asignatura.
- En las situaciones de las prácticas dirigidas a "Proyectos" se deberá establecer una lista de los reactivos a los cuales los estudiantes tendrán acceso para su experimentación, la cual no se podrá modificar durante el semestre y se tendrán que adaptar los proyectos a esta.
- El desarrollo de prácticas de laboratorio debe realizarse en presencia del docente titular de la práctica. Quedando prohibido que los estudiantes permanezcan sin supervisión durante esta.
- Para utilizar los reactivos, el personal académico deberá solicitarlo al personal técnico de laboratorio, entregando una identificación actualizada (Credencial de elector o de la Facultad).

