

---

# CMIU

ISSN: 2395-8111

Número 9

Septiembre, 2022



Universidad Autónoma de Chiapas  
Dirección General de Investigación y Posgrado

Congreso Mesoamericano  
de Investigación UNACH

Número 9. ISSN: 2395-8111

D.R. © 2022. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**Edición**

Dirección General de Investigación y Posgrado

**Diseño editorial**

Bernardo O. R. De León

**Compilación de información**

Azalia Moreno Pérez, Bernardo O. R. De León, Laura Elizabeth Solís Medina,  
Beatriz Arévalo Dorry, Yazmin Chanthol Molina Albores

**Maquetación y formación editorial**

Bernardo O. R. De León

Congreso Mesoamericano de Investigación UNACH, 2022, Número 9, es una publicación anual editada por la Universidad Autónoma de Chiapas, Boulevard Belisario Domínguez km. 1081, Sin número, colonia Terán, C.P. 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Tel. (961) 61-7-80-00 ext. 1762, [www.unach.mx](http://www.unach.mx), [dgip@unach.mx](mailto:dgip@unach.mx). Editor responsable: María Guadalupe Rodríguez Galván. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2014-102713274900-203, No. de ISSN: 2395-8111; ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). La instancia responsable de este número es la Dirección General de Investigación y Posgrado, a cargo de la Dra. María Guadalupe Rodríguez Galván, Rotonda Kennedy No. 385, Fraccionamiento Jardines de Tuxtla, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, septiembre de 2022. **Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación; la información y análisis contenidos en esta publicación son estrictamente responsabilidad de los autores de los artículos.** Se autoriza la reproducción parcial o total de los textos aquí publicados, sin fines comerciales, siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.

Los resúmenes de esta publicación fueron evaluados y aprobados, a doble ciego, por tres representantes del Comité Científico Evaluador, integrado por reconocidos investigadores nacionales e internacionales.

Hecho en México (*Made in Mexico*)

## REGENERACIÓN DE UN LECHO EMPACADO CON ZEOLITAS MEXICANAS EN LA DESHIDRATACIÓN DE BIOETANOL CARBURANTE

Gabriela Leo Avelino<sup>1\*</sup>, María Guadalupe Aguilar Uscanga<sup>2</sup>,  
Javier Gómez Rodríguez<sup>2</sup>, Galo Rafael Urrea García<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz

<sup>3</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba

\*gaby.leo@live.com.mx

### RESUMEN

En el proceso de deshidratación de Bioetanol azeotrópico mediante el uso de lechos empacados, se requiere de un sistema de regeneración debido a la saturación del material adsorbente durante la operación. La regeneración se lleva a cabo in situ en una columna de vidrio empacada con zeolitas de cinco tamaños de partícula diferente, se usaron dos métodos de regeneración: PSA (Pressure Swing Adsorption por sus siglas en inglés) en el cual se genera un vacío en el sistema a 0.2 atm y TSA (Temperature Swing Adsorption) en el cual se utiliza CO<sub>2</sub> con tres diferentes presiones. De acuerdo con los resultados de ambas pruebas el tamaño de partícula de mejor desempeño es la zeolita de 3mm. El método PSA presentó ventajas en el tiempo de regeneración de 12 minutos, mientras que el método TSA al usar una presión de 3 bar fue de 15 minutos.

### PALABRAS CLAVE

Bioetanol anhidro, zeolitas, TSA, PSA.

### ABSTRACT

*In the azeotropic bioethanol dehydration process using packed beds, a regeneration system is required due to the saturation of the adsorbent material during the operation. Regeneration is carried out in situ in a glass column*



packed with zeolites of five different particle sizes, two regeneration methods were used: PSA (Pressure Swing Adsorption) in which a vacuum is generated in the system at 0.2 atm, and TSA (Temperature Swing Adsorption) in which CO<sub>2</sub> is used with three different pressures. According to the results of both tests, the best performing particle size is the 3 mm zeolite. The PSA method presented advantages in the regeneration time of 12 minutes, while the TSA method using a pressure of 3 bar was 15 minutes.

## KEYWORDS

Anhydrous Bioethanol, Zeolites, TSA, PSA.

## INTRODUCCIÓN

En la operación de adsorción en un tiempo determinado la zeolita disminuye su capacidad de adsorción, lo que provee una disminución en la calidad del producto, esto quiere decir que la zeolita se ha saturado con el líquido adsorbido. La liberación de éste debe realizarse para devolver la capacidad de adsorción de la zeolita a su estado original, permitiendo la reutilización del material adsorbente en el proceso de adsorción (ciclo de regeneración).

Para la regeneración se requiere de altas temperaturas, si se maneja a más de 270°C puede deteriorar rápidamente la estructura del material (Che et al., 2014). Para contrarrestar este deterioro se han desarrollado diferentes métodos de regeneración, entre ellas la tecnología de Adsorción por Oscilación de Presión, *Pressure Swing Adsorption*, PSA y Oscilación de Temperatura, *Temperature Swing Adsorption*, TSA. (Gabrusé et al., 2015, Kupiec et al., 2009).

El objetivo del presente trabajo es determinar el potencial de dos métodos de regeneración (PSA y TSA) en un lecho empacado por zeolitas naturales mexicanas del tipo clinoptilolita y dos zeolitas artificiales, en ambos casos con diferentes tamaños de partícula para ser implementado en el proceso de deshidratación de bioetanol a partir de Sorgo dulce RB Cañero.

## MÉTODO DE REGENERACIÓN PSA

La Oscilación de Presión es un proceso de vaivén de presión. La desorción se lleva a cabo reduciendo la presión a una temperatura constante y luego purgando el lecho a baja presión. Los procesos PSA más importantes hoy en día son la separación de aire, secado de aire y producción de hidrógeno (Kupiec et al., 2013).

## MÉTODO DE REGENERACIÓN TSA

La Oscilación Térmica es un método que generalmente utiliza una corriente de gas caliente a la temperatura a la que las especies adsorbidas se desorben y se retiran del lecho en la corriente de fluido (Gabrus et al., 2018). El proceso más simple de Oscilación Térmica (TSA) opera con dos lechos, uno de adsorción y el otro de regeneración, con el fin de proporcionar continuidad de proceso.

## METODOLOGÍA

En el presente trabajo de regeneración de las zeolitas se realizará *in situ* en una columna de vidrio, se evalúan tres distintas variedades de zeolitas, la clinoptilolita natural mexicana con tres tamaños diferentes de partícula denominadas: Z#1, Z#2 y Z#3 con diámetros de 1, 3 y 5 mm respectivamente, la zeolita artificial LV-NENG Z#4 con tamaño de 1mm y la zeolita artificial sorbead Z#5 con tamaño de partícula de 2.4 mm las dos últimas con geometría esférica.

## REGENERACIÓN POR EL MÉTODO PSA

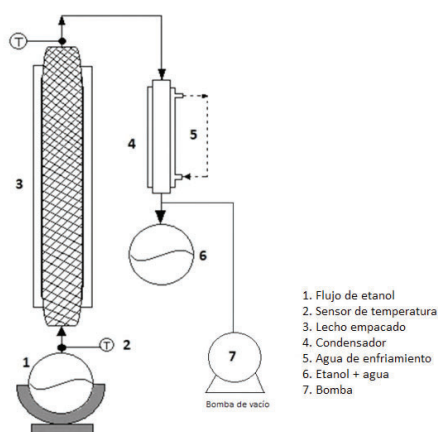
En este estudio se determinará principalmente el tiempo de regeneración mediante una curva de desorción, además del volumen de etanol anhidro (usado como agente por su afinidad con el agua).

El lecho empacado es sometido a un vacío, el etanol anhidro es vaporizado para adsorber las moléculas de agua que se encuentran atrapadas en los poros de la zeolita, esta fluye desde el fondo hacia la parte superior de la columna (Figura 1), los vapores condensados se tomarán como muestra cada 2 minutos. Los resultados se presentan en una curva de desorción.



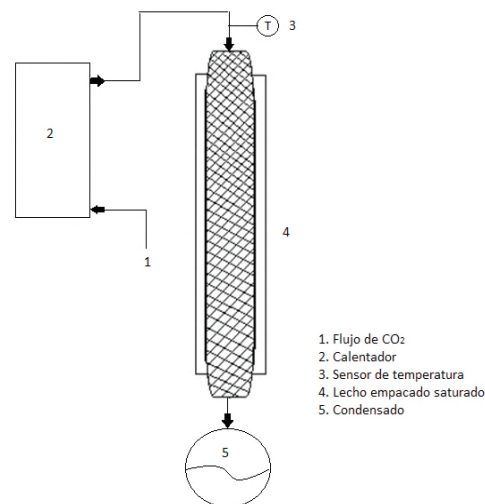
1039

Figura 1. Sistema de Regeneración PSA.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.  
Sistema de regeneración TSA.



Fuente: elaboración propia.

### REGENERACIÓN POR EL MÉTODO TSA

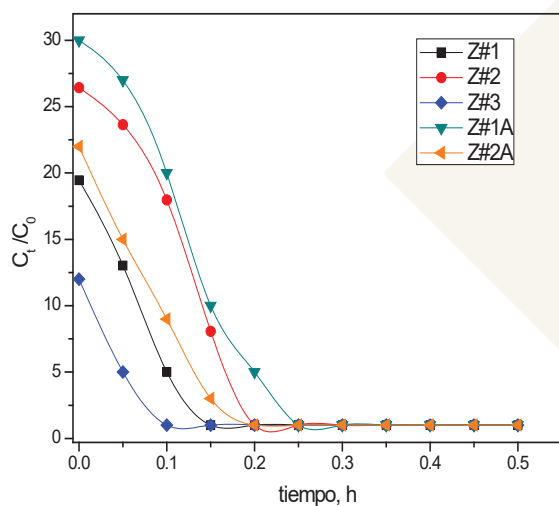
Para este estudio se hará pasar un flujo de CO<sub>2</sub> con una temperatura entre 150 - 200°C a través del lecho empacado en dirección desde la parte superior de la columna hacia el fondo como se muestra en la figura 2. El CO<sub>2</sub> se calentará mediante un intercambiador de calor, el flujo es regulado mediante válvulas situadas a la salida del tanque del CO<sub>2</sub>. Para determinar si el lecho está regenerado se registrará el peso del lecho empacado cada 3 minutos hasta llegar al peso de referencia.

### RESULTADOS REGENERACIÓN MÉTODO PSA

Para la regeneración por el método de variación de presión (PSA) a nivel laboratorio se utilizó una bomba de vacío de ½ hp la cual proporcionó al sistema una presión de vacío de 0.2 atm, el propósito de este vacío es disminuir la temperatura de ebullición del flujo de alimentación (etanol anhidro) la cual a esa presión fue de 35°C. La prueba fue realizada para cada una de las zeolitas evaluadas en el proceso de adsorción: Z#1, Z#2, Z#3, Z#1A y Z#2A y los resultados se presentan en la Fig. 3 la cual representa una curva de desorción de la concentración de agua con respecto al tiempo.

El tiempo de regeneración y el volumen de etanol anhidro empleado para la regeneración mediante el método de variación de presión (PSA) para cada una de las zeolitas evaluadas se presenta en la tabla 1.

Figura 3.  
Regeneración por PSA.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.  
Parámetros obtenidos método PSA.

Zeolita evaluada	Tiempo de regeneración, min	Volumen de etanol anhidro, ml
Z#1	9	16
Z#2	12	20
Z#3	6	10
Z#1A	15	27
Z#2A	12	20

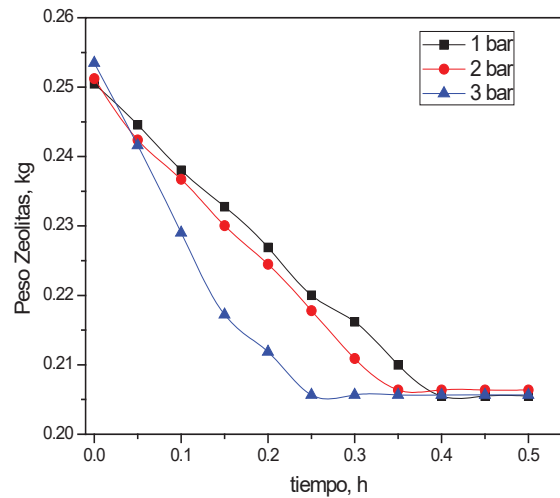
Fuente: elaboración propia.

### REGENERACIÓN MÉTODO TSA

Para llevar a cabo esta prueba se utilizó como gas inerte CO<sub>2</sub>, el cuál fue suministrado en el lecho empacado desde la parte superior de la columna a una temperatura de 150°C. Este estudio se realizó sólo para la zeolita natural mexicana con tamaño de partícula de 3 mm (Z#2) ya que durante el proceso de adsorción presentó capacidades superiores en comparación con las zeolitas de otra variedad. La presión de CO<sub>2</sub> en esta prueba fue variable: 1, 2 y 3 bar. El peso de la zeolita fue el factor usado para determinar si el lecho empacado estaba regenerado, por lo que cada 3 min por lo que en la Figura 4 se presentan los resultados de esta prueba y en la Tabla 2 se presenta el tiempo de regeneración para cada una de las presiones de CO<sub>2</sub>.



Figura 4.  
Regeneración por TSA.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.  
Tiempo de regeneración por el método TSA.

Presión de CO <sub>2</sub> , bar	Tiempo de regeneración, min
1	24
2	20
3	15

Fuente: elaboración propia.

Se determinó que la presión de operación del CO<sub>2</sub> adecuada es de 3 bar, de acuerdo con el comportamiento de los resultados.

## DISCUSIÓN

En la evaluación del método PSA, el tiempo de regeneración presentado en las zeolitas Z#1 y Z#3 fue el esperado, debido a que su tiempo de saturación en el proceso de adsorción fue 9 y 3 min respectivamente. En la zeolita natural Z#2 el tiempo de regeneración de 12 minutos es ideal ya que es igual al tiempo de adsorción y de esta manera el proceso operaría de manera alternada sin tiempos desfasados. Para el comportamiento de las zeolitas artificiales fue similar al de la Z#2, los tiempos de regeneración de ambas fue similar al tiempo de ruptura en la adsorción.

En la evaluación del método TSA para disminuir el tiempo de regeneración sería necesario aumentar la presión de CO<sub>2</sub>, sin embargo, el sistema



no soporta presiones más altas, esto conllevaría a una inestabilidad del proceso. Una posible solución es aumentar la temperatura de alimentación del CO<sub>2</sub> a 3 bar, modificando el sistema de calentamiento del gas.

## CONCLUSIONES

En el estudio de la regeneración mediante los métodos de variación de presión (PSA) y variación de temperatura (TSA) se determinó que el método PSA presenta ventajas en cuanto al tiempo del proceso, es un proceso más seguro y se omite el costo del gas inerte. Por otro lado, comparando los resultados obtenidos en cuanto al tiempo de regeneración ( $t_r$ ), Kupiec et al., (2013) obtuvo un  $t_r$  de 15 min usando el método PSA, resultados que concuerdan con los experimentos reportados en este trabajo. Se concluye que el desempeño de las zeolitas naturales es competitivo al usar el método PSA, por lo que presentó características para ser escalado a nivel piloto.

## REFERENCIAS

- Che, W.C., Sheng, C.T., Liu, Y.C., Chen, W.J., Huang, W.L., Chang, S.H., Chang, W.C. (2014). Optimizing the efficiency of anhydrous ethanol purification via regenerable molecular sieve. *J. Ap. Energy* 135: 483 - 489.
- Gabruś, E., Nastaj, J., Tabero, P., Aleksandrak, T. (2015). Experimental studies on 3A and 4A zeolite molecular sieves regeneration in TSA process: aliphatic alcohols dewatering – water desorption. *Chem. Eng. J.* 259: 232-242.
- Gabruś, E., Witkiewicz, K., Nastaj, J. (2018). Modeling of regeneration stage of 3A and 4A zeolite molecular sieves in TSA process used for dewatering of aliphatic alcohols. *Chem. Eng. J.* 337: 416 – 427.
- Kupiec, K., Rakoczy, J., Lalik, E. (2009). Modeling of PSA separation process including friction pressure drop in adsorbent bed. *Chem. Eng. and Process.* 48: 1199 – 1211.
- Kupiec, k., Rakoczy, J., Komorowicz, T., Larwa, B. (2013). Heat and mass transfer in adsorption –desorption cyclic process for ethanol dehydration. *Chem. Eng. J.* 241: 485 – 494.

