

Construcción de un foto-reactor para medir el desempeño de un geopolímero fotocatalítico

GASCA-TIRADO, J. R.*†, HERRERA-DÍAZ, E. I, VÁZQUEZ-LANDAVERDE, P. A.´ y GÓMEZ-LUNA, B. E.

Universidad de Guanajuato

Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del I.P.N. Unidad Querétaro, Querétaro

Recibido Julio 25, 2016; Aceptado Septiembre 30, 2016

Resumen

A diferencia de una o dos generaciones anteriores, nosotros pasamos entre un 80 y 90% del tiempo en lugares cerrados. Por consecuencia, el aire del interior es nuestra principal fuente de exposición a los contaminantes ambientales. Dentro de los químicos que suelen estar presentes en los interiores se encuentran los compuestos orgánicos volátiles que son causantes del desarrollo de asma, alergias e incluso aumentan los riesgos de padecer enfermedades cardiovasculares y cáncer. En el presente documento se describe la construcción y operación de un foto-reactor diseñado para degradar 2-butanona a través de la acción de la luz ultravioleta sobre un geopolímero fotocatalítico. Se describe el proceso de operación, el acoplamiento del fotorreactor al cromatógrafo y se muestran los resultados de estabilización y de la reacción de la 2-butanona.

Fotorreactor, geopolímero, 2-butanona

Citación: GASCA-TIRADO, J. R., HERRERA-DÍAZ, E. I, VÁZQUEZ-LANDAVERDE, P. A.´ y GÓMEZ-LUNA, B. E. Construcción de un foto-reactor para medir el desempeño de un geopolímero fotocatalítico. Revista de Energía Química y Física 2016, 3-8: 34-39.

Abstract

Nowadays people stay in indoor places around 80 to 90 % of time. As a consequence, the indoor air is the main exposition to pollutants. The volatile organic compounds which are present in the air, may contribute to increase prevalence of asthma, allergies and cancer. In this document it is described the construction and operation of a photocatalytic reactor. It is described the construction, operation, the coupling between the reactor and the chromatograph and the early results obtained to degrade 2-Butanone by a photocatalytic geopolymer.

Photoreactor, geopolymer, 2-butanone

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ragatsi99@yahoo.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

A diferencia de una o dos generaciones anteriores, nosotros pasamos entre un 80 y 90% del tiempo en lugares cerrados. Por consecuencia, el aire de estos lugares es nuestra principal fuente de exposición a los contaminantes ambientales.

Estos contaminantes surgen a partir de dos fuentes principales: la infiltración del aire exterior y la emisión directa al interior de materiales de construcción, productos químicos empleados en el hogar, contaminantes biológicos y fuentes de combustión (incluyendo el tabaquismo) (G., 2002; Squinazi, 2002; Morrison & Nazaroff, 2002)

Dentro de los químicos que suelen estar presentes en los interiores se encuentran los compuestos orgánicos volátiles (VOC, por sus siglas en inglés) que son causantes del desarrollo de asma, alergias e incluso aumentan los riesgos de padecer enfermedades cardiovasculares y cáncer (Squinazi, 2002).

Algunos de estos VOC's son bastante inertes, pero otros son tan reactivos que sus enlaces químicos pueden romperse a través de la acción de la luz ultravioleta. Cuando este proceso se lleva a cabo con la asistencia de otro material sólido, podemos hablar de un proceso de fotocatalisis heterogénea.

La fotocatalisis heterogénea, es un proceso en donde el compuesto orgánico volátil se adsorbe en la superficie del material. Se activa el fotocatalizador en la presencia de luz ultravioleta del sol y la humedad del ambiente. Se generan radicales libres (oxidantes) capaces de destruir agentes contaminantes como: virus, bacterias, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles y finalmente se liberan las moléculas oxidadas para regresar al ambiente.

De esta manera, los compuestos orgánicos volátiles son destruidos en su totalidad, desapareciendo y eliminando sus olores característicos. Por otro lado, un geopolímero es un compuesto semejante a un polímero orgánico cuya estructura incluye unidades de sialato, sialato-siloxo o sialato-disiloxo, y iones positivos (por ejemplo: Na^+ , K^+ y Li^+) que balancean la carga negativa del Al^{3+} en el enlace tetraédrico (Davidovits J., 1991) (figura 1).

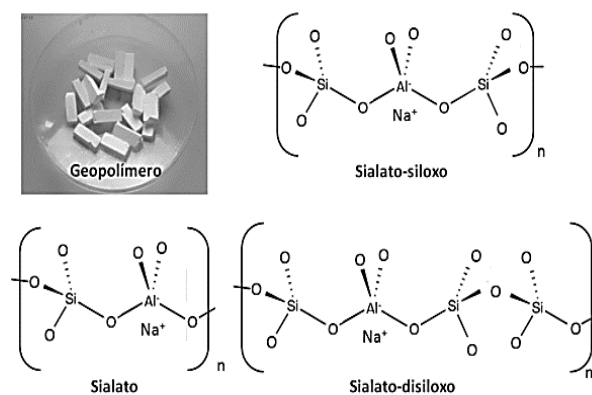


Figura 1 Geopolímero y sus estructuras químicas: sialato, sialato-siloxo y sialato-disiloxo

En el presente documento se describe cómo se construyó y se puso en operación un fotorreactor para evaluar el desempeño de un geopolímero fotocatalítico cuya síntesis se describe brevemente.

Materiales y metodos

Para la síntesis del catalizador se utilizó Metacaolín de la empresa BASF, silicato de sodio e hidróxido de sodio de la empresa SIDESA México y, oxalato monohidratado de amonio y titanio de la empresa Sigma Aldrich. Las pruebas de degradación se realizaron con 2-butanona (Sigma-Aldrich) en una mezcla de aire puro 80% N_2 – 20% O_2 (Infra México).

Para la fabricación del fotorreactor se empleó un contenedor cilíndrico de aluminio con capacidad de 5 l y dos lámparas de UV (Exo Terra 15 W, $\lambda=365$ nm) con sus respectivos balastos, una bomba de diafragma, tubería de cobre, mangueras de teflón, conectores y material de aluminio en general.

Incorporación del TiO_2 en el geopolímero.

La incorporación del TiO_2 en el geopolímero se llevó a cabo a través de una reacción química entre el geopolímero no soluble y una solución electrolítica con óxidos de titanio (Gasca-Tirado J.R., 2012). Al reaccionar este sólido con la solución, los iones (Na^+) que balancean la carga negativa del Al^{3+} se mueven libremente dentro del material y son reemplazados por los iones liberados por el oxalato. Este intercambio de Na^+ por óxidos de titanio, permite que dentro de los poros del geopolímero (alrededor de los 15 nm) se ubiquen partículas de TiO_2 con tamaños nanométricos (figura 2). El tamaño de estas partículas genera un incremento de área en los sitios activos donde las moléculas contaminantes se pueden adherir y degradar, dándole al geopolímero la propiedad de eliminar compuestos orgánicos volátiles.

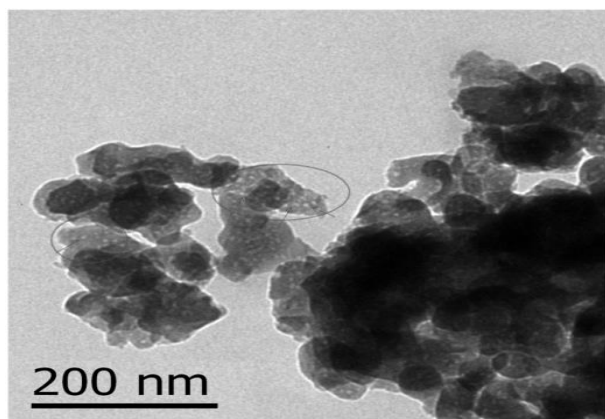


Figura 2 Las partículas de TiO_2 de una muestra de geopolímero se distinguen como puntos claros en las zonas encerradas

Construcción del foto reactor

El sistema de prueba de degradación se integró por tres secciones principales: Un fotorreactor, un sistema de recirculación de gases y un automuestreador.

El fotorreactor se construyó con un recipiente de aluminio al que se le instalaron un manómetro para medir la hermeticidad del conjunto y conexiones de 1/4" NPT que permitieran la entrada, salida y purga de los gases. Cada conexión contaba con una llave de paso y una unión a la tubería de teflón (figura 3a). En su interior; se contaba con dos lámparas de luz ultravioleta dispuestas sobre y por debajo del geopolímero fotocatalítico, un serpentín de calentamiento y una malla que fungía como soporte para el geopolímero (figura 3b).

Por otro lado, el sistema de recirculación de gases estaba basado en una bomba de diafragma (CHEMKER 400 1/6HP) que arrastraba los gases del interior del reactor hacia el muestreador (figura 4) y de regreso al fotorreactor de manera que se mantuviera una atmósfera constante en el conjunto. El muestreador fue fabricado con las mismas dimensiones de un vial, con un septo perforable, y con dos conexiones para la entrada y salida de gases.

Por otro lado, el automuestreador se colocó en el cromatógrafo de gases marca Agilent, modelo 890A (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA) de manera que cada 23 minutos se tomaba una muestra del vial metálico colocado sobre éste. El gas acarreador empleado en el cromatógrafo fue Helio de alta pureza y los picos cromatográficos se identificaron con un espectrómetro de masas marca Agilent, modelo 5975C VL (Agilent Technologies).

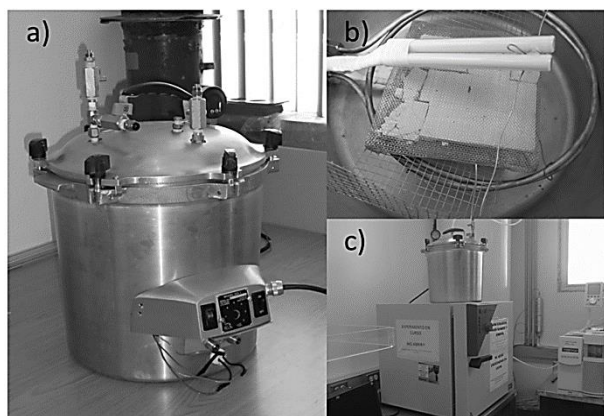


Figura 3 a) Foto-reactor con sus conexiones, b) conjunto: geopolímero fotocatalítico, lámparas UV y serpentín de calentamiento, y c) acoplamiento del fotorreactor al cromatógrafo de gases



Figura 4 Vial metálico colocado sobre la charola de automuestreo

Prueba de degradación de la 2-butanona en el foto-reactor.

En la figura 5 se esquematiza el proceso de operación del fotorreactor. 1) Se instaló el geopolímero fotocatalítico en el interior del fotorreactor, se cerró herméticamente y se hizo pasar una mezcla de aire seco (80% Nitrógeno - 20% Oxígeno), 2) Se inyectó 2-butanona a través del vial metálico y se hizo recircular el gas dentro del sistema: fotorreactor, tuberías y muestreador.

En esta etapa (3) se aseguró la estabilidad de las condiciones del equipo como temperatura, flujo y concentración de la 2-butanona a lo largo del tiempo, 4) Se prendieron las lámparas y se inició el proceso de degradación sobre el geopolímero fotocatalítico, 5) Se tomaron muestras de los gases a intervalos constantes de tiempo y finalmente en la etapa 6, se obtuvieron los cromatogramas y se generó la gráfica de concentración contra tiempo.

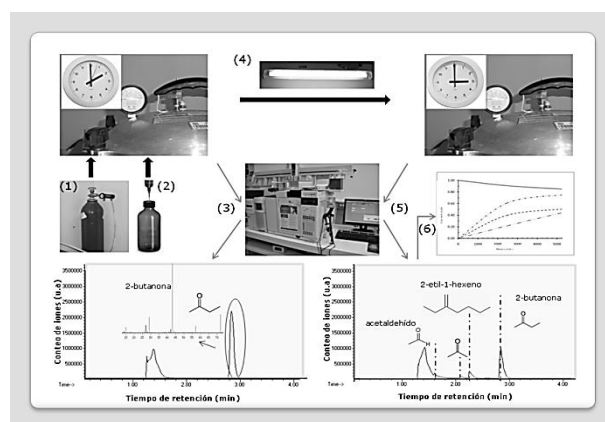


Figura 5 Esquema del proceso de experimentación

Resultados y conclusiones

En el primer resultado obtenido se obtuvo el tiempo de estabilización de la atmósfera interior del sistema sin la acción de la luz UV.

A través de una gráfica de control (Gráfico 1) se definió que a partir de los 100 min posteriores a la inyección de la 2-butanona el sistema alcanza la estabilidad y está listo para realizar las pruebas de degradación.

El error estimado en esta prueba (inyección de 10 μ l de 2-butanona) fue de $1.87785 \times 10^{-5} \pm 5.1318 \times 10^{-6}$ mol/L

Por otro lado, una vez logrado la estabilidad del sistema, se prendieron las lámparas de luz UV y se observó una disminución de la concentración de la 2-butanona a lo largo del tiempo (Gráfico 2). En esta misma figura se muestra el modelo de regresión para el comportamiento de la concentración de la 2-butanona.

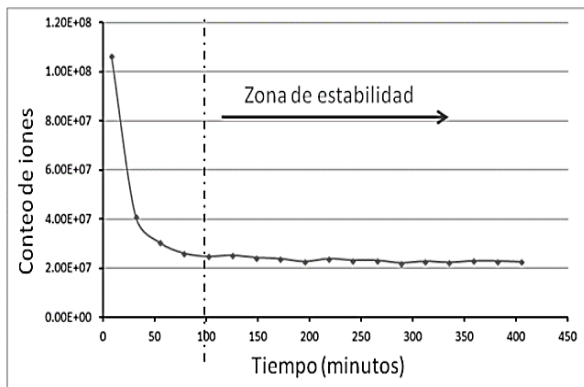


Gráfico 1 Estabilización de la concentración de la 2-butanona en el reactor

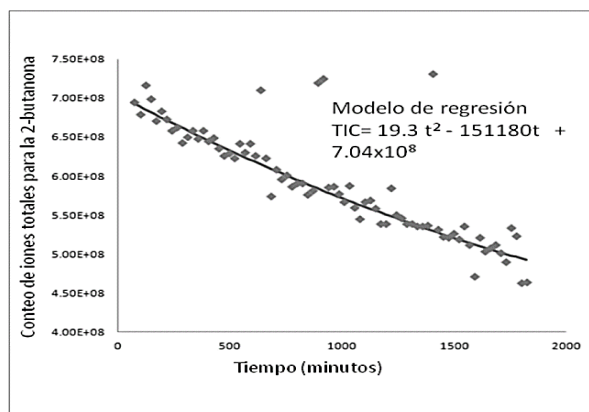


Gráfico 2 Degradación de la 2-butanona a través del tiempo y modelo de regresión

Finalmente, el modelo fue probado estadísticamente a través de la prueba de la normalidad de los residuales y su respectivo histograma (Gráfico 3)

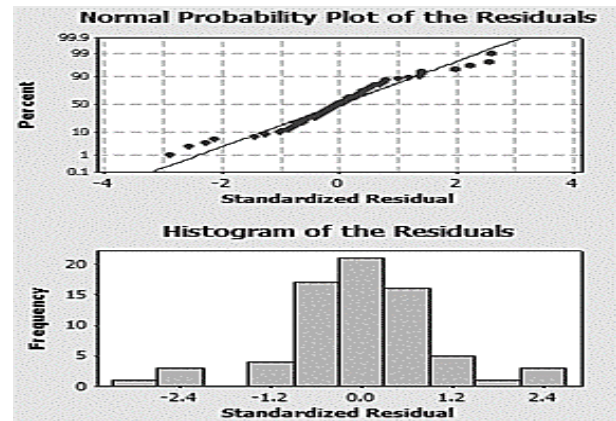


Gráfico 3 Resultados de la prueba de normalidad del modelo de degradación de la 2-butanona por el geopolímero fotocatalítico

Los resultados obtenidos demostraron que el diseño propuesto de un fotorreactor acoplado a un cromatógrafo de gases a través del sistema vial-automuestreador es robusto y permite seguir la fotólisis de la 2-butanona.

Dicha prueba se puede ampliar con diferentes compuestos orgánicos volátiles sin afectar la estabilidad del sistema y lograr así determinar la cinética de degradación del compuesto que se quiera probar.

Referencias

G., I. (2002). Free radical chemistry and its concern with indoor air quality: an open problem. *Microchemical journal*, 73, 221-236.

Gasca-Tirado J.R., M.-R. A.-M.-V.-C.-Á. (2012). Incorporation of photoactive TiO₂ in an aluminosilicate inorganic polymer by ion exchange. *Microporous and Mesoporous Materials*, 153, 282-287.

J., Davidovits. (1991). Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials. *Journal of Thermal Analysis*, 37, 1633-1656.

Morrison, G., & Nazaroff, W. W. (2002). Ozone interactions with carpet: Secondary emissions of aldehydes. *Environmental Science Technology*, 36, 2185-2192.

Squinazi, F. (2002). La pollution de l'aire a l'interior de batiments (allergenes exclus). *Revue Francaise d'Allergologie et d'immunologie clinique*, 248-255..