

PINTURAS FOTOCATALÍTICAS PARA LA DESCONTAMINACIÓN DEL AIRE DE AMBIENTES INTERIORES

RAMONDA, SABRINA

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química INTEC-CONICET

Directora: Ballari, María de los Milagros

Codirector: Salvadores, Federico

Área: Ingeniería

Palabras claves: Descontaminación, Pinturas Fotocatalíticas, Tolueno.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las industrias químicas ha provocado un aumento en la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) que son los contaminantes atmosféricos más comunes. El tolueno es uno de los COV más frecuentes. Es un cancerígeno fuerte y un químico altamente tóxico que causa efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.

La fotocatalisis heterogénea ha demostrado ser un método eficaz para la purificación química y biológica del agua y el aire (Ibhadon y Fitzpatrick, 2013). El fotocatalizador más estudiado es el dióxido de titanio (TiO_2), que puede activarse mediante la radiación UV (200-400 nm). Para ampliar la absorción de la radiación del TiO_2 a las longitudes de onda correspondientes al espectro visible (400-700 nm), se desarrollaron varios métodos de modificación como la sensibilización con colorantes y el dopaje con metales de transición o con no metales (Khaki et al., 2017). Una aplicación emergente es la combinación de TiO_2 con diversos materiales de construcción, resultando en superficies autolimpiantes y con capacidad de descontaminación del aire (Ballari y Brouwers, 2013; Salvadores et al., 2020). Uno de los materiales de construcción más empleados son las pinturas, las cuales cumplen una función estética pero también de protección de muros.

En el presente trabajo, el estudio cinético de la oxidación de tolueno se llevó a cabo aplicando una pintura fotocatalítica bajo una fuente normal de iluminación interior y diferentes condiciones ambientales en un fotorreactor continuo tipo placas planas.

OBJETIVOS

- Evaluar la viabilidad técnica de pinturas fotocatalíticas para la purificación química de aire de ambientes interiores.
- Predecir el comportamiento de la purificación de aire utilizando pinturas fotocatalíticas a través del desarrollo de modelos matemáticos.

METODOLOGÍA

Formulación de la pintura fotocatalítica

Se empleó un polvo de TiO_2 dopado con carbono KRONOClean 7000 para formular la pintura fotocatalítica en sustitución de los pigmentos de pintura normales.

Título del proyecto: Diseño óptimo de dispositivos e intensificación de procesos avanzados de oxidación para la descontaminación de aire y agua

Instrumento: CAI+D

Año de convocatoria: 2020

Organismo financiador: Universidad Nacional del Litoral

Director: Rodolfo Brandi

La pintura fotocatalítica formulada está compuesta por agua (30% p/p), resina acrílica de estireno (33% p/p), CaCO_3 (18% p/p), TiO_2 (18% p/p) y un agente dispersante (1% p/p). La aplicación de la pintura se realizó con un aerógrafo sobre una placa acrílica de aproximadamente 20 cm x 9,4 cm. Debido a la dificultad de depositar la misma cantidad exacta de pintura en ambas caras de la placa, se decidió pesarla luego de que la pintura de cada lado estuviera seca, resultando en $8,31 \times 10^{-4}$ g/cm² y de $1,16 \times 10^{-3}$ g/cm² respectivamente (a futuro este dato será de utilidad para calcular la velocidad de absorción de fotones en cada recubrimiento).

Reactor fotocatalítico y procedimiento experimental

El arreglo experimental para evaluar la degradación de tolueno consiste en un fotorreactor plano continuo donde las piezas acrílicas recubiertas se colocan entre las ventanas del reactor. Las dimensiones del reactor fotocatalítico son de 20 cm de largo, 10 cm de ancho y 0,2 cm de espesor a cada lado de la placa pintada, que define la sección de flujo por donde circula la corriente de gas. Las ventanas del reactor son de acrílico transparente de un espesor de 3 mm. El sistema se irradia con siete lámparas fluorescentes de radiación visible, típicamente utilizadas para iluminación de interiores, en ambos lados (Figura 1).

Parte del flujo de aire seco y limpio se burbujea en una botella de lavado de gas con el fin de ajustar el nivel de humedad. La corriente de aire total se usa luego para diluir el flujo de gas tolueno hasta alcanzar la concentración de contaminante deseada para alimentar el reactor. El nivel máximo del flujo de radiación promedio fue de 42,34 W/m² en cada lado del fotorreactor, y se empleó filtros ópticos cuando se deseaba reducir el mismo. Los experimentos se realizaron en condiciones isotérmicas seleccionando una temperatura ambiente representativa de 25 ± 1 °C. Las concentraciones de entrada y salida de tolueno se analizaron mediante cromatografía de gases con un detector de ionización de llama (FID).

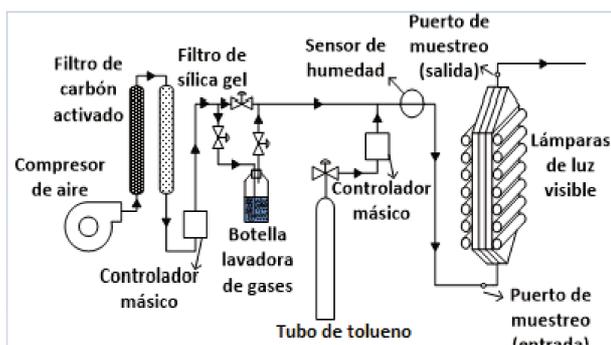


Figura 1: Dispositivo experimental para llevar a cabo la degradación fotocatalítica del tolueno.

Diseño experimental y metodología de superficie de respuesta

Las condiciones de operación del fotorreactor de placas planas se modificaron de acuerdo a un diseño experimental D-optimal seleccionando cuatro factores numéricos que fueron variados en tres niveles: humedad relativa (10, 40 y 70 %), caudal total de aire (1, 1.35 y 1.7 L/min), nivel de irradiación (6.86, 16.25 y 42.34 W/m²) y concentración de tolueno a la entrada (2.5, 5 y 10 ppm). El análisis de los resultados experimentales de conversión del contaminante se realizó con la metodología de superficie de respuesta aplicando un modelo reducido interacción de dos factores sin transformación en la respuesta:

$$X_{tol} = a + b \cdot H + c \cdot Q + d \cdot R + e \cdot C_{tol,in} + f \cdot H \cdot C_{tol,in} + g \cdot Q \cdot R + h \cdot R \cdot C_{tol,in} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde H es la humedad relativa, Q el caudal de aire, R el nivel de radiación, $C_{tol,in}$ la concentración de tolueno a la entrada, de a hasta h son los coeficientes del modelo a estimar, y X_{tol} es la conversión de tolueno definida como:

$$X_{Tol} = \frac{C_{Tol,in} - C_{Tol,out}}{C_{Tol,in}} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde $C_{Tol,out}$ es la concentración de salida de tolueno. Esta concentración corresponde al estado estacionario de operación del fotorreactor. La significación de los factores

seleccionados para la degradación del tolueno se analizó mediante un Análisis de Varianza (ANOVA).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Degradación fotocatalítica del tolueno

La Figura 2 presenta una ejecución experimental típica de la oxidación fotocatalítica del tolueno. Cuando las luces se encienden, la concentración de tolueno disminuye, sin detectar la formación de un intermediario de reacción, y luego su concentración permanece casi constante alcanzando el estado estacionario. El límite de detección del tolueno y sus posibles intermediarios con el método analítico desarrollado es de 0,2 ppm. Al variar las diferentes condiciones de operación dentro del diseño experimental, las conversiones de tolueno variaron entre el 5 y el 90%.

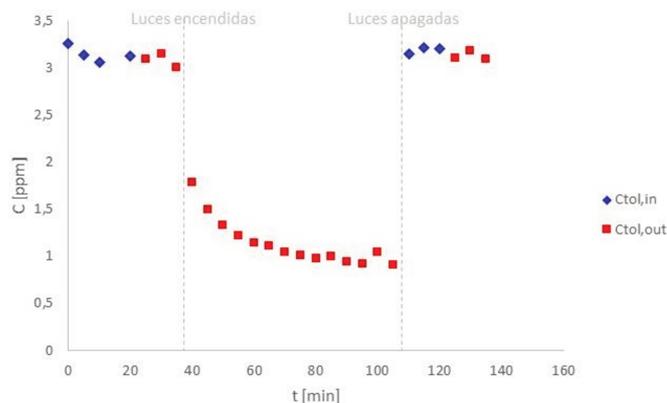


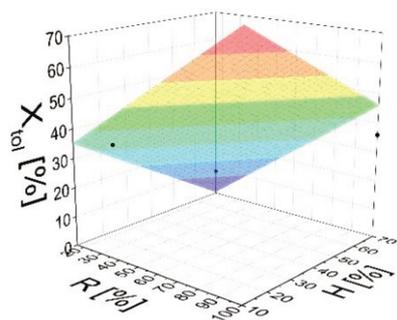
Figura 2: Degradación de tolueno en función del tiempo ($H = 32,05\%$, $Q = 1,18$ L/min, $R = 100\%$ y $C_{tol,in} = 3,2$ ppm).

Influencia de las condiciones ambientales

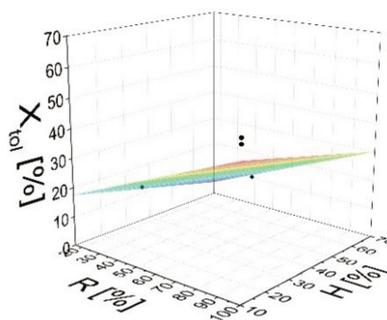
En la Figura 3 se muestra la conversión de tolueno en estado estacionario variando la concentración de tolueno de entrada, el caudal de aire, la humedad relativa y el nivel de irradiación, según el diseño experimental D-Optimal. Se observó una relación inversa entre la humedad relativa y el caudal de aire con la conversión, es decir, cuanto menor es la humedad y el caudal de aire, mayor es la conversión. A menor caudal de aire, el tiempo de residencia del tolueno en el reactor aumenta, incrementándose la posibilidad de reaccionar con la superficie del fotocatalizador. Por su parte, las moléculas de vapor de agua se adsorben en los sitios activos del fotocatalizador. Por lo tanto, si la humedad es baja, menos moléculas de agua compiten con el tolueno y la velocidad de reacción aumenta. Por otro lado, a mayor nivel de radiación se observó un aumento de la conversión. Además, se observa una relación inversa entre la concentración de tolueno inicial y la degradación del mismo, es decir, cuanto menor es la concentración inicial de tolueno, mayor es la conversión. Esto podría sugerir que la cinética de reacción no es de primer orden, ya que para este orden de reacción la conversión permanece constante al variar la concentración del reactivo a la entrada del reactor.

Los coeficientes de las superficies de respuesta para la conversión de tolueno (Ecuación 1) se ajustaron con los datos experimentales y se muestran en la Tabla 1. El coeficiente de determinación del modelo es 0,95 para la conversión de tolueno.

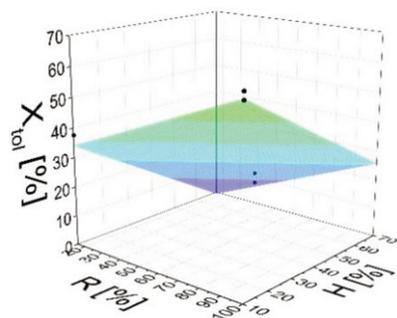
Se realizó un ANOVA para verificar estadísticamente la significación de los distintos factores sobre la respuesta seleccionada (Tabla 1). Cuando el valor p asociado a cada factor es inferior a 0,05, el efecto del mismo se considera significativo. Así, los efectos significativos para la conversión del tolueno fueron los términos lineales de los factores nivel de irradiación, humedad relativa, caudal y concentración inicial de tolueno, y la interacción entre la humedad relativa y la concentración inicial de tolueno, entre el caudal y el nivel de irradiación y entre el nivel de irradiación y la concentración inicial de tolueno. Cabe aclarar que, previo a la determinación de esta superficie de respuesta, se ajustaron los coeficientes de un modelo de interacción de dos factores completo, considerando todas las interacciones posibles entre los cuatros factores analizados. Descartando los términos que no resultaron significativos de ese análisis inicial, se propuso la Ecuación (1) para predecir el comportamiento del sistema, con un número menor de coeficientes para ser estimados que el modelo original, y con un nivel de ajuste aún satisfactorio.



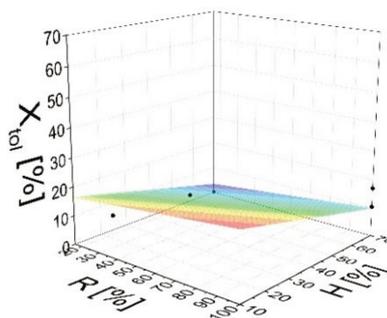
a) $Q = 1 \text{ L/min}$, $C_{tol,in} = 2,5 \text{ ppm}$



b) $Q = 1 \text{ L/min}$, $C_{tol,in} = 10 \text{ ppm}$



c) $Q = 1,7 \text{ L/min}$, $C_{tol,in} = 2,5 \text{ ppm}$



d) $Q = 1,7 \text{ L/min}$, $C_{tol,in} = 10 \text{ ppm}$

Figura 3: Superficie de respuesta y datos experimentales para la conversión de tolueno.

Tabla 1: ANOVA y superficie de respuesta para la conversión de tolueno.

Factor de modelo	Coficiente	Valor estimado	p - valor
Intercepción	a	34,21533	
H	b	-0,69876	< 0,0001
Q	c	3,72130	0,0004
R	d	2,24343	< 0,0001
$C_{tol,in}$	e	-2,32072	< 0,0001
$H \cdot C_{tol,in}$	f	0,048179	0,0017
$Q \cdot R$	g	-0,77276	0,0043
$R \cdot C_{tol,in}$	h	-0,074705	0,0023
Coficiente de determinación	0,9545		

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son útiles para la futura implementación de pinturas fotocatalíticas en ambientes interiores reales. Las pinturas fotocatalíticas son una tecnología factible de descontaminación del aire a desarrollar a mayor escala, proceso en el cual la determinación de un modelo cinético intrínseco es una herramienta fundamental.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Ballari M.M., Brouwers, H.J.H., 2013.** Full scale demonstration of air-purifying pavement. *J. Hazard. Mater.*, 254–255(1), 406–414.
- Ibhadon A., Fitzpatrick P., 2013.** Heterogeneous Photocatalysis: Recent Advances and Applications. *Catalysts*, 3(1), 189–218.
- Khaki M.R.D., Shafeeyan M.S., Raman A.A.A., Daud W.M.A.W., 2017.** Application of doped photocatalysts for organic pollutant degradation - A review. *J. Environ. Manage.*, 198, 78–94.
- Salvadores F., Alfano O.M., Ballari M.M., 2020.** Kinetic study of air treatment by photocatalytic paints under indoor radiation source: Influence of ambient conditions and photocatalyst content. *Appl. Catal. B Environ.* 268, 118694.