

DEGRADACIÓN DE MEZCLAS DE CONTAMINANTES DE AIRE DE AMBIENTES INTERIORES A TRAVÉS DE PINTURAS FOTOCATALÍTICAS

Carolina Capella

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC - CONICET)

Directora: María de los Milagros Ballari

Área: Ingeniería

Palabras Claves: Pinturas fotocatalíticas, purificación de aire, descontaminación

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire en ambientes interiores impacta significativamente sobre la salud humana debido a que las personas permanecen la mayor parte del tiempo en estos lugares. Diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos son emitidos constantemente en habitaciones cerradas, por lo que es importante removerlos para mejorar la calidad del aire interior, y de esta manera prevenir problemas de salud como los descritos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016).

La fotocatalisis heterogénea ha demostrado ser un método eficaz para la purificación química y biológica del agua y el aire. Una de las aplicaciones más atractivas es la formulación de materiales de construcción, y en particular de pinturas plásticas, conteniendo TiO_2 con propiedades purificantes de aire, antimicrobianas y autolimpiantes (Chen y Poon, 2009; Galopan et al., 2020). Sin embargo, debido a que el TiO_2 es activado por radiación UV, prevalece el desarrollo de materiales fotocatalíticos de ambientes exteriores que utilizan luz solar para llevar a cabo el proceso de purificación de aire.

En el presente trabajo, se selecciona un fotocatalizador modificado (TiO_2 dopado con carbono) para formular una pintura fotocatalítica, la cual absorbe en el espectro de radiación visible y resulta apropiada para la descontaminación de aire de interiores con escasez de radiación UV. Para determinar la actividad fotocatalítica de la pintura desarrollada se utiliza un reactor de laboratorio del tipo placas planas irradiado por luz típica de interiores y utilizando una corriente gaseosa conteniendo una mezcla de contaminantes: tolueno y acetaldehído. Al utilizar una combinación de compuestos se logra una aproximación a la situación real donde los contaminantes no se encuentran individualmente en el ambiente. Se estudia la interacción de la mezcla de contaminantes en la reacción fotocatalítica, así como también el efecto de las condiciones ambientales de humedad relativa y flujo de radiación en el proceso de descontaminación.

OBJETIVOS

Demostrar la eficiencia de descontaminación de aire a escala piloto empleando el material de construcción fotocatalítico en presencia de radiación visible.

Valorar la competencia de contaminantes orgánicos volátiles del aire durante la fotorreacción de descontaminación.

Estudiar el impacto de diferentes condiciones ambientales y configuración de la aplicación de la pintura fotocatalítica sobre la capacidad de purificación del aire.

Título del proyecto: Demostración de la purificación de aire de ambientes interiores a través de materiales de construcción fotocatalíticos.

Instrumento: CAI+D

Año de convocatoria: 2023

Organismo financiador: Universidad Nacional del Litoral

Directora: Ballari, María de los Milagros

Diseño y procedimiento experimental

Se comienza formulando la pintura fotocatalítica, para ello se utiliza un polvo de TiO_2 dopado con carbono KRONOClean 7000, en sustitución de los pigmentos de pintura normales. La pintura fotocatalítica 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) (Salvadores et al., 2020a). La aplicación de la pintura se realiza con un aerógrafo sobre una placa acrílica de aproximadamente 20 cm x 9,4 cm.

El arreglo experimental para evaluar la degradación de tolueno y acetaldeído consiste en un fotoreactor plano continuo donde las piezas acrílicas recubiertas con pintura fotocatalítica se colocan entre las paredes del reactor (Salvadores et al., 2020b). Se irradia a ambos lados del reactor con lámparas fluorescentes de radiación visible ($\lambda = 310\text{-}710$ nm), típicamente utilizadas para iluminación de interiores (Figura 1).

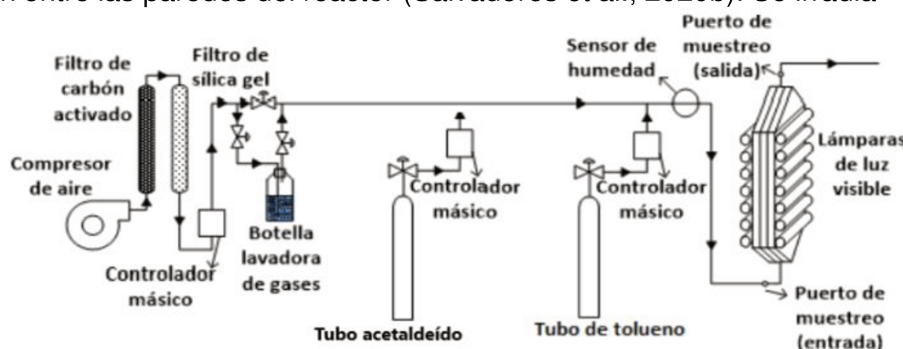


Figura 1: Dispositivo experimental para llevar a cabo la degradación fotocatalítica del acetaldeído y tolueno.

Se emplea tolueno como uno de los contaminantes modelo, ya que es un compuesto orgánico volátil (COV) normalmente presente en el aire, es un cancerígeno fuerte y un químico altamente tóxico que causa efectos adversos en la salud humana y en el medio ambiente. Además, se utiliza acetaldeído como segundo contaminante modelo ya que también es un COV recurrente, presente en los ambientes interiores que puede formarse durante los procesos de combustión y ser emitido por diferentes fuentes en los hogares.

Se utiliza un cromatógrafo de gases con un detector FID (HP Series II 5890) para determinar las concentraciones de contaminantes e intermedios a la entrada y salida del reactor, realizando una inyección directa de la muestra de gas.

Para el estudio de la interacción entre ambos contaminantes y el efecto de las variables operativas, se realiza un diseño experimental D-Optimal variando cuatro factores numéricos en 3 niveles: concentración de entrada de tolueno ($C_{\text{Tol,in}}$), concentración de entrada de acetaldeído ($C_{\text{Acet,in}}$), nivel de radiación (R) y humedad (H). El diseño experimental consta de 25 experimentos (Tabla 1).

Run	Factor 1: Concentración de Entrada de Tolueno [ppm]	Factor 2: Concentración de Entrada de Acetaldeído [ppm]	Factor 3: Humedad Relativa [%]	Factor 4: Radiación Promedio [W/m ²]
1	3.5	10	10	6.86
2	10	3.5	70	24.6
3	10	3.5	10	6.86
4	10	10	40	42.34
5	6.25	6.25	40	24.6
6	3.5	3.5	10	6.86
7	3.5	10	70	6.86
8	3.5	10	40	6.86
9	10	10	10	6.86
10	6.25	3.5	70	42.34
11	6.25	6.25	40	24.6
12	10	3.5	10	42.34
13	10	3.5	70	24.6
14	10	6.25	70	42.34
15	10	3.5	40	6.86
16	3.5	10	70	42.34
17	3.5	10	10	42.34
18	3.5	3.5	40	42.34
19	3.5	3.5	10	42.34
20	10	10	70	6.86
21	10	3.5	70	6.86
22	10	6.25	70	42.34
23	3.5	3.5	70	6.86
24	10	10	40	42.34
25	6.25	3.5	70	42.34

Tabla 1: Diseño experimental D-Optimal.

Para analizar los resultados obtenidos, se calcula X_{Tol} y X_{Acet} la conversión de tolueno, y acetaldéido respetivamente, definida como:

$$X_{Tol} = \frac{C_{Tol,in} - C_{Tol,out}}{C_{Tol,in}} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

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

donde $C_{Tol,in}$ y $C_{Tol,out}$ son las concentraciones de entrada y salida de tolueno, y $C_{Acet,in}$ y $C_{Acet,out}$ son las concentraciones de entrada y salida de acetaldéido, respectivamente.

RESULTADOS

En la Figura 2, se comparan las experiencias 1, 7 y 8 del diseño experimental (Tabla 1), éstas se componen con las mismas condiciones de flujo de radiación y concentración de entrada de tolueno y acetaldéido, pero variando la humedad relativa.

Se observa que, para ambos contaminantes se obtiene una mayor conversión cuando se opera con un menor nivel de humedad. Esto se debe a que las moléculas de vapor de agua se adsorben sobre los sitios activos del fotocatalizador, y, por lo tanto, si la humedad es baja, menos moléculas de agua compiten con las moléculas de contaminantes y la velocidad de reacción aumenta.

Por otro lado, se analizan las experiencias 13 y 21, las cuales se llevaron a cabo bajo las mismas condiciones de humedad relativa y concentración de entrada de tolueno y acetaldéido, pero con distinto nivel de radiación. Los resultados se muestran en la Figura 3. Se observa que existe una relación directa entre el flujo de radiación y las conversiones de los contaminantes, es decir, a mayor flujo de radiación, mayores conversiones de los contaminantes. Esto se debe a que, con el incremento del flujo de radiación incidente, se aumenta la generación de cargas en el fotocatalizador, y por lo tanto también la concentración de radicales libres responsables de la oxidación de los compuestos orgánicos adsorbidos sobre los sitios activos.

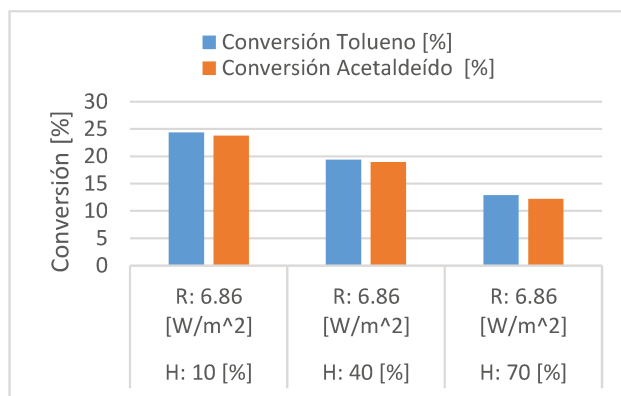


Figura 2: Experiencias 1, 7 y 8. Condiciones: $C_{Tol,in} = 10$ ppm, $C_{Acet,in} = 3.5$ ppm y flujo de radiación = $6,86$ W/m².

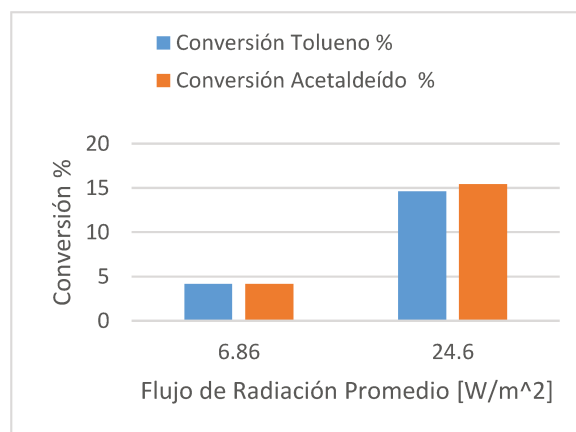


Figura 3: Experiencias 13 y 21. Condiciones: $C_{Tol,in} = 10$ ppm, $C_{Acet,in} = 3.5$ ppm, Humedad = 70%.

Finalmente, se comparan las experiencias 23 y 7 (Figura 4 a), y las experiencias 3 y 9 (Figura 4 b), manteniendo constantes el flujo de radiación, humedad relativa y concentración de entrada de tolueno, pero variando la concentración de entrada de acetaldéido. Se distingue una relación inversa entre la concentración y la conversión de acetaldéido, debido a una posible saturación de los sitios libres para altas concentraciones de acetaldéido. Por otro lado, se observa que el acetaldéido en mayor

concentración causa un aumento en la oxidación del tolueno, observándose conversiones ligeramente mayores de éste último. Esto sugiere un efecto de sinergia entre ambos contaminantes, posiblemente debido a que los radicales formados durante la oxidación del acetaldehído intervienen también en la oxidación del tolueno.

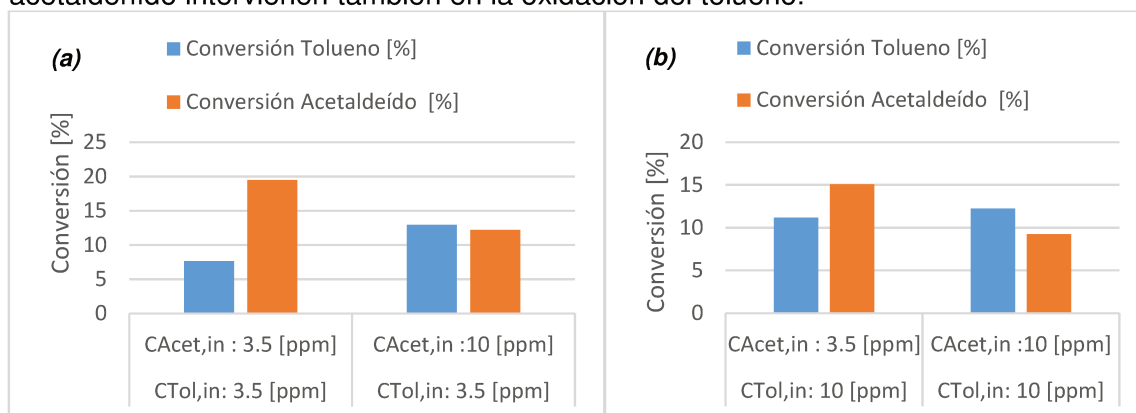


Figura 4: (a) Experiencias 23 y 7. Condiciones de operación: Humedad relativa= 70%, flujo de radiación 6,86 W/m². (b) Experiencias 3 y 9. Condiciones de operación: Humedad relativa= 10%, flujo de radiación 6,86 W/m².

CONCLUSIONES

Se verifica que las pinturas fotocatalíticas favorecen a la purificación de aire en ambientes interiores, por lo que lleva a pensar en una futura implementación en ambientes reales, es decir, hacia una mayor escala.

Este sistema, al involucrar dos contaminantes presentes en el ambiente, se acerca un poco más hacia la simulación de un entorno real.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Chen J., Poon C. S.**, 2009. Photocatalytic construction and building materials: From fundamentals to applications. *Building and Environment* 44(9), 1899–1906.
- Gopalan A. I., Lee J. C., Saianand G., Lee K. P., Sonar P., Dharmarajan R., Hou Y. L., Ann K. Y., Kannan V., Kim W. J.**, 2020. Recent progress in the abatement of hazardous pollutants using photocatalytic TiO₂-based building materials. *Nanomaterials* 10(9), 1–50.
- Organización Mundial de la Salud**, 2016. Contaminación del aire de interiores y salud., <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/es/>
- Salvadores F., Reli M., Alfano O.M. Kočí K y Ballari M.M.**, 2020 a. Efficiencies Evaluation of Photocatalytic Paints under Indoor and Outdoor Air Conditions.
- Salvadores F., Alfano O.M. y Ballari M.M.**, 2020 b. 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.