

**UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS
TÉCNICOS INDUSTRIALES Y GRADUADOS EN
INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA
(UAIIE)**

“CONVOCATORIA 2017”

**II PREMIO NACIONAL DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
TECNOLÓGICA**

**EFICIENCIA DE LAS PINTURAS FOTOCATALÍTICAS
EN LA DISMINUCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS
VOLÁTILES EN INTERIORES**

**AUTORA:
MARÍA FRANCÉS TRUJILLO**

**BLOQUE TEMÁTICO:
Eficiencia energética y calidad medioambiental**

**NIVEL EDUCATIVO:
2º BACHILLERATO**

**COORDINADOR:
BLANCA LÓPEZ FERNÁNDEZ**

MARZO 2017

RESUMEN

Para minimizar el efecto negativo que los compuestos orgánicos volátiles (COVs) causan en la calidad de aire interior, se están desarrollando distintas tecnologías entre las que se encuentran la fotocatalisis, integrante de lo que vienen denominándose procesos de oxidación avanzada (POA).

En este trabajo se ha estudiado el proceso fotocatalítico, en el cuál se produce la aceleración de una fotorreacción mediante un catalizador, en este caso, dióxido de titanio (TiO₂). Para ello, se ha realizado un análisis de la eficiencia de una pintura fotocatalítica aplicada en paramentos verticales de un recinto, en distintas condiciones de renovación de aire, luz y temperatura. Tras el análisis de los datos obtenidos, se ha concluido que la pintura fotocatalítica analizada es eficiente en la reducción de COVs..

PALABRAS CLAVE: Eficiencia Energética, Compuestos Orgánicos Volátiles, Fotocatalisis, Sensores Arduíno

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS.....	6
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.....	7
3.2 FOTOCATÁLISIS	7
4. METODOLOGÍA	8
4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MAQUETA	8
4.2. EQUIPO DE MEDICIÓN Y CONTROL.....	9
4.3 TOMA DE DATOS.....	10
5. EXPERIMENTACIÓN	10
5.1. Procedimiento experimental	10
5.2 Experimentos realizados	11
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
7. CONCLUSIONES	16
8. BIBLIOGRAFÍA.....	17

1. INTRODUCCIÓN

El desplazamiento de los sistemas de producción hacia el sector servicios, la concienciación medioambiental, basada en criterios de eficiencia energética y la utilización de materiales y productos químicos en construcción, decoración , limpieza y desinfección, están causando un deterioro en la calidad de aire de ambientes de interior, pudiendo llegar a declararse el síndrome del edificio enfermo cuando al menos un 20% de los ocupantes de dicho edificio sufre los efectos que los contaminantes producen. Las enfermedades producidas no suelen ser muy graves, pero ocasionan el aumento del absentismo laboral que repercute negativamente en la productividad.

En este proyecto se estudia el origen y los efectos de los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y se diseña un sistema para comprobar la eficiencia de alguna de las técnicas emergentes para la disminución de la concentración de los mismos en ambientes de interior.

2. OBJETIVOS

➤ **Objetivo principal:**

- Determinar la eficiencia de la pintura fotocatalítica en la disminución de los niveles de COVs en el aire interior.

➤ **Objetivos secundarios:**

- Conocer los COVs presentes en el aire interior y sus efectos sobre la salud.
- Conocer el proceso de fotocatalisis, y analizar la influencia en el mismo de la luz, la temperatura y las condiciones de renovación de aire.
- Diseñar un sistema de detección y medida de COVs mediante Arduino.
- Concienciar sobre la importancia de la calidad del aire en interiores.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Son un grupo de compuestos con base química de carbono que se volatilizan a temperatura ambiente. Las fuentes exteriores de emisión son las combustiones en vehículos, calderas e industrias. En ambientes interiores proceden de materiales de construcción, decoración, así como de productos de higiene y desinfección.

La emisión de estos compuestos varía en concentración, grado de permanencia en el ambiente, siendo habitual su disminución de forma exponencial con el transcurso del tiempo. También influyen factores ambientales como: temperatura, luz, humedad, y la capacidad de renovación de aire de los espacios.

Los efectos en la salud que pueden causar se expresan desde molestias olfativas, náuseas, irritación de mucosas hasta lesiones en hígado, riñones y sistema nervioso central, si el tiempo de exposición y las concentraciones son acumulativos. En casos extremos pueden producir efectos carcinógenos y teratogénicos.

3.2 FOTOCATÁLISIS

En la **tecnología fotocatalítica** convergen tres factores: un fotocatalizador (TiO_2), un oxidante y luz, ya sea ultravioleta o visible.

La fotocatalisis es una reacción fotoquímica, catalogada como un *proceso de oxidación avanzada*, que utiliza la energía solar para reducir los contaminantes medioambientales, de origen orgánico o inorgánico, mediante un proceso de oxidación, activado por la energía solar.

La fotocatalisis que utiliza TiO_2 consiste en la formación de radicales hidroxilos ($\cdot\text{OH}$), por medio de la activación de un catalizador. (Figura 1).

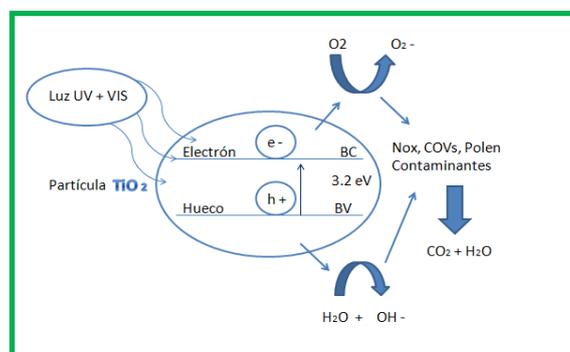


Figura 1. Mecanismo de la fotocatalisis

Fuente: Elaboración propia

La fotocatalisis se puede dar en presencia de luz solar o de luz artificial; esta última tiene una ventaja y es que se puede utilizar escogiendo la longitud de onda que excite al fotocatalizador. Éste es un material semiconductor en el cual aumenta la conductividad debido a la luz y acelera la velocidad de la reacción de oxidación que se lleva a cabo en su superficie. El TiO_2 es química y biológicamente inerte y posee un GAP fácilmente excitable con luz UV de 3,2 eV, de longitud de onda $\lambda < 400$ nm, aportada por luz solar.

4. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio completo de la eficiencia de las pinturas fotocatalíticas se realiza una serie de experimentos en diferentes condiciones de temperatura, luz y renovación de aire. Se construye una maqueta y se implementa con el equipo de control necesario.

4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MAQUETA

Con objeto de llevar a cabo los experimentos, se diseña y construye una maqueta (*Figura 2*), en la que se puedan hacer las mediciones de la concentración de volátiles ambientales, y comparar espacios tratados con pinturas fotocatalíticas con otros sin tratar. El único condicionante en el diseño es el tener dos habitáculos idénticos en forma y tamaño, uno de ellos con paramentos verticales cubiertos con pintura fotocatalítica para interiores, según la ficha técnica del fabricante.



Figura 2. Imágenes del proceso de construcción de la maqueta

Fuente: Elaboración propia

4.2. EQUIPO DE MEDICIÓN Y CONTROL

Para poder valorar la eficiencia de las pinturas fotocatalíticas en la disminución de COVs, en ambientes interiores, debemos implementar el sistema con un equipo que permita registrar valores de la concentración de COVs a lo largo del tiempo de observación y poder exportar los datos para su tratamiento posterior.

Para la determinación de la concentración de volátiles en los recintos a controlar se utilizan los siguientes equipos:

- Sensor de gases MQ135
- Sensor de temperatura y humedad DHT11
- Placa microcontroladora Arduino Uno Rev 3
- Ordenador con el software necesario: Excel, Arduino y Coolterm.

SENSORES MQ135 Y SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT11

Los sensores MQ135 (*Figura 3*) se utilizan en equipos de control de calidad del aire para recintos de interior. Son adecuados para la detección de alcoholes, cetonas, NH_3 , NO_x , benceno, humo, CO_2 , etc. La sensibilidad a cada uno de los compuestos es similar.

El DHT11 (*Figura 4*) es un sensor digital de temperatura y humedad de bajo costo. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante.



Figura 3. Sensor MQ 135 y montaje en placa

Fuente: Elaboración propia

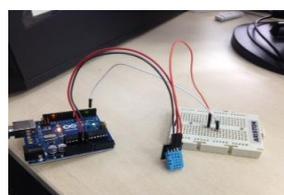


Figura 4. Conexión sensor DHT11 a la placa

Fuente: Elaboración propia

PLATAFORMA ARDUINO.

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto que cuenta con un SOFTWARE y con un HARDWARE (*Figura 5*) propio y libre.

Para el correcto desarrollo de la investigación se realizan dos programas (Figuras 5, 6 y 7) en Arduino, uno para el control de la concentración de COVs y otro para el control de la humedad y de la temperatura.



Figura 5. Tarjeta microcontroladora Arduino Uno Rev3
Fuente: Elaboración propia

```

sketch_dec08b Arduino 1.8.0
Archivo Editor Herramientas Ayuda
sketch_dec08b
Serial.begin(9600);

void loop() {
  int MQ_135 = analogRead(A0); //Lee la salida analógica del MQ
  float mhaq_135 = map(MQ_135, 0, 1023, 0); //Convierte la lectura en un rango de voltaje
  float ppmMQ135 = mhaq_135 * 0.5; //Calculamos la concentración y convertimos por partes serial
  Serial.print("MQ135: ");
  Serial.print(MQ_135);
  Serial.print(" mhaq_135: ");
  Serial.print(mhaq_135);
  Serial.print(" ppmMQ135: ");
  Serial.print(ppmMQ135);
  Serial.println();
  delay(1000);
}
Global variables use 20 bytes (11% of dynamic memory, leaving 1.41K bytes for local variables, constants and 2.04K bytes.
  
```

Figura 6. Código MQ 135
Fuente: Elaboración propia

```

sketch_dec08b Arduino 1.8.0
Archivo Editor Herramientas Ayuda
sketch_dec08b
#include <DHT11.h>
DHT11 dht11(A4);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int temp;
  float temp, hum;
  if((temp = dht11.read(temp, hum)) != 0) // Si devuelve 0 es que ha leído bien
  {
    Serial.print("Temperatura: ");
    Serial.print(temp);
    Serial.print(" Humedad: ");
    Serial.print(hum);
    Serial.println();
  }
  else
  {
    Serial.println();
    Serial.print("Error Dht = ");
    Serial.print(temp);
    Serial.println();
  }
  delay(60000); // lee una vez cada 10 minutos
}
  
```

Figura 7. Código DHT 11
Fuente: Elaboración propia

4.3 TOMA DE DATOS

El registro de los datos obtenidos con los sensores, conectados a la placa de Arduino, son exportados a través del puerto serie a Coolterm. Se realiza la grabación de datos, cada 10 minutos, durante el tiempo estimado de los experimentos y se guardan para ser importados desde Excel y analizar los resultados.

5. EXPERIMENTACIÓN

5.1. Procedimiento experimental

Se procedió a la sobreexposición continua y durante un mes a productos de limpieza y desinfección de los recintos 1 y 2, donde va a realizarse el control de la concentración de COVs. Posteriormente, se recubrieron los paramentos verticales de uno de los dos recintos idénticos (Recinto 2) con dos capas de pintura fotocatalítica SALUD ACTIVA, proporcionada por la empresa ACTIVE WALLS, para realizar las pruebas. Se incorporaron los sensores de COVs MQ135 y los sensores de

temperatura y humedad DHT11 en los recintos, para ir controlando estos parámetros. Para cada experimento realizado, las condiciones de temperatura, humedad, grado de renovación de aire y grado de iluminación fueron idénticas en ambos recintos.

Se incorporaron dos sensores en cada recinto, para el registro de volátiles, humedad y temperatura. Las placas Arduino fueron conectadas al ordenador.

La operación de recogida de datos (*Figura 8*) requiere de un período de calentamiento de los sensores, para la obtención de lecturas fiables, que puede durar hasta 24 horas y de un tiempo de operación de unas 5 horas de toma de datos, para comprobar si los efectos de la pintura sobre los compuestos volátiles eran los esperados.



Figura 8. Proceso de toma de datos

Fuente: Elaboración propia

Todos los experimentos se realizaron sometiendo cada recinto a una exposición puntual de acetona previa al experimento, añadiendo una cantidad de 10 ml en un envase de cristal abierto en el que se introduce algodón para su impregnación.

5.2 Experimentos realizados

Se diseñaron 5 experimentos distintos para el análisis de la influencia de determinados parámetros sobre la eficiencia de la pintura fotocatalítica en la disminución de COVs. Estos parámetros fueron: la luz natural o ultravioleta, la capacidad de renovación de aire y la temperatura.

Se resumen a continuación los experimentos realizados:

- Experimento 1: luz natural, sin renovación de aire y a temperatura ambiente (22° C).

- Experimento 2: luz natural, con renovación de aire y a temperatura ambiente.
- Experimento 3: luz ultravioleta, sin renovación de aire y a temperatura ambiente.
- Experimento 4: luz ultravioleta, con renovación de aire y a temperatura ambiente.
- Experimento 5: luz ultravioleta, sin renovación de aire y a 37° C de temperatura.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Para cada experimento se representan los resultados de las concentraciones de COVs (mg/L) a lo largo del tiempo en dos gráficas, correspondientes a los recintos 1 (no tratado con pintura fotocatalítica) y 2 (tratado con pintura fotocatalítica), además de una tercera gráfica con su representación conjunta para su comparación.

Experimento I

Condiciones del experimento:

- Humedad 44%
- Temperatura ambiente 22°C
- Luz natural

Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en las *Figuras 9, 10 y 11*.

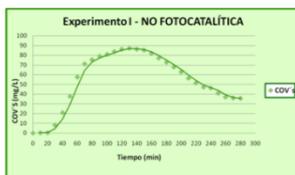


Figura 9.

Recinto 1 (mg/L COVs)

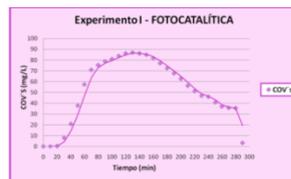


Figura 10.

Recinto 2 (mg/L COVs)

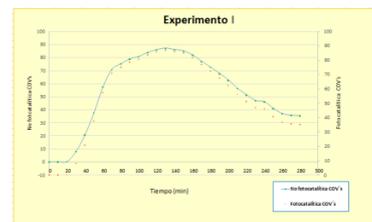


Figura 11.

Recintos 1 y 2 (mg/L COVs)

Los resultados dieron una evolución de concentración de volátiles muy similar en ambos recintos: se alcanzaron máximos de concentración de volátiles ligeramente por debajo de 90 mg/L a los 140 minutos de exposición, bajando en el recinto 1 hasta

valores de 35,48 mg/L al cabo de 5 horas, mientras que en el recinto 2 se alcanzaron concentraciones mucho menores, de 3,4 mg/L de COVs. Teniendo en cuenta que la fotocatalisis se produce de forma óptima con luz de longitud de onda próxima a los 400nm, es esperable que en el momento de recogida de datos (diciembre), el efecto fotocatalítico no sea demasiado apreciable.

Experimento II

Condiciones del experimento:

- Humedad 44%
- Temperatura ambiente 22°C
- Luz natural

Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en las *Figuras 12, 13 y 14*.



Figura 12.

Recinto 1 (mg/L COVs)

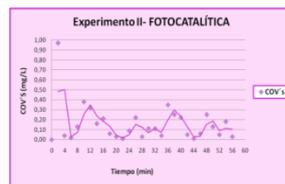


Figura 13.

Recinto 2 (mg/L COVs)

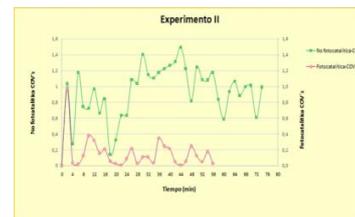


Figura 14.

Recintos 1 y 2(mg/L COVs)

Se observa una elevada dispersión de datos en ambas gráficas, así como valores de concentración de volátiles muy pequeños debido a las condiciones de recirculación de aire de los recintos abiertos. A pesar de ello, en el recinto 2 Se detectan concentraciones menores, llegando a los 0 mg/L en 56 minutos.

Estos resultados confirman que, incluso con renovación de aire en espacios interiores, sigue siendo apreciable la eficiencia de la pintura.

Experimento III

Condiciones del experimento:

- Humedad 44%
- Temperatura ambiente 22°C
- Luz artificial forzada (ultravioleta)

Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en las *Figuras 15, 16 y 17*.

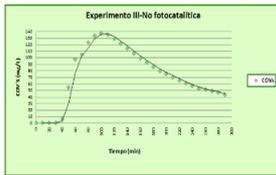


Figura 15. Recinto 1 (mg/L COVs)

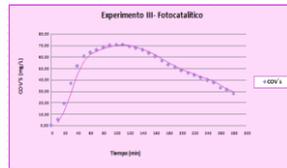


Figura 16. Recinto 2 (mg/L COVs)

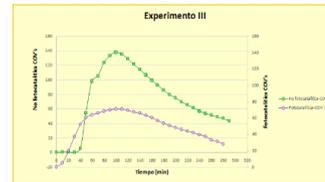


Figura 17. Recintos 1 y 2(mg/L COVs)

En este experimento puede observarse cómo los niveles de concentración de COVs alcanzan a los 120 minutos un máximo de 137,83 mg/L para el recinto 1, mientras que en el recinto 2, no superan los 70 mg/L. Se observa que la disminución de COVs es mayor que en el experimento I, con luz natural. Al término del periodo de experimentación (5 horas) la concentración disminuye hasta 30 mg/L. Todo ello parece indicar que la luz ultravioleta es un factor muy favorecedor en el efecto fotocatalítico.

Experimento IV

Condiciones del experimento:

- Humedad 44%
- Temperatura ambiente 22°C
- Luz artificial forzada (ultravioleta)

Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en las *Figuras 18, 19 y 20*.

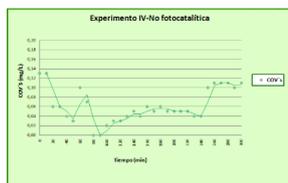


Figura 18. Recinto 1 (mg/L COVs)



Figura 19. Recinto 2 (mg/L COVs)

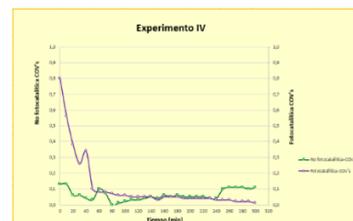


Figura 20. Recintos 1 y 2 (mg/L COVs)

Se observa un descenso fuerte de la concentración de volátiles en los primeros 60 minutos, a partir de los cuales se produce una estabilización de los niveles de volátiles, en concentraciones muy bajas, debidas a la renovación del aire. A partir de las 4 horas, la concentración de volátiles en el recinto 2 siguió descendiendo hasta valores prácticamente nulos, mientras que, en el recinto 1, los valores se estabilizaron en valores algo superiores (0,1 mg/litro). La dispersión de datos en este experimento, es mucho menor que en el Experimento II, con renovación de aire, pero con luz natural, lo que pone de manifiesto que la luz es un factor decisivo en las reacciones de fotocatalisis.

Experimento V

Condiciones del experimento:

- Humedad 44%
- Temperatura forzada 37°C
- Luz artificial forzada (ultravioleta)



Figura 21.

Recinto 1 (mg/L COVs)



Figura 22.

Recinto 2 (mg/L COVs)

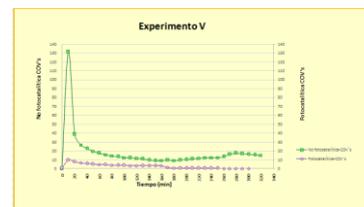


Figura 23.

Recintos 1 y 2 (mg/L COVs)

Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en las Figuras 21, 22 y 23.

En este experimento se aumentó la temperatura hasta los 37°C, utilizando una estufa de parafina, para comprobar si este parámetro era coadyuvante o inhibidor de la fotocatalisis. A la vista de los resultados, se observa que la concentración de volátiles en el recinto 2 alcanza la concentración menor y en un periodo de tiempo inferior y que la fotocatalisis se produce más rápidamente que en el experimento III, realizado a menor temperatura, pero en idénticas condiciones de luz y renovación de aire.

7. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en los experimentos realizados se puede concluir que:

1. La luz es el factor fundamental en las reacciones de fotocatalisis. Así, en condiciones de iluminación con luz natural, más alejado de los valores óptimos para dichas reacciones, el efecto de las pinturas fotocatalíticas es menos apreciable que en condiciones de iluminación UV.
2. Cuando los niveles de luz natural no son capaces de desencadenar el efecto fotocatalítico, es conveniente implementar con luz artificial UV, para conseguir efectos significativos en la reducción de las concentraciones de COVs.
3. La eficiencia de la pintura fotocatalítica sobre la concentración de COVs queda enmascarada por un parámetro mucho más decisivo, como es la continua renovación de aire. No obstante, sigue siendo, en este caso, un factor coadyuvante para la reducción de compuestos volátiles en el aire interior.
4. La superposición de varios factores con efecto positivo en la reducción de COVs refuerza la eficiencia de las pinturas fotocatalíticas.
5. La temperatura aumenta claramente la velocidad de las reacciones fotocatalíticas, reduciendo las concentraciones de COVs en menos tiempo.
6. Se concluye que **la pintura fotocatalítica objeto de la experimentación expuesta anteriormente ha resultado eficiente para minimizar las concentraciones de COVs en ambientes de interior.**

8. BIBLIOGRAFÍA.

- Web de electrónica Unicrom.
<https://goo.gl/biqZwZ>
(Fecha de última consulta 29/07/2016)
- Web de guía del Arduino:
<https://goo.gl/04b9jD>
(Fecha de última consulta 03/08/2016)
- Trabajo final de máster de Lucía Espiga Lisbona García:
<https://goo.gl/H2YF5T>
(Fecha de última consulta 04/09/2016)
- Web Levensger de nanotecnología:
<https://goo.gl/vQU4lg>
(Fecha de última consulta 04/09/2016)
- Guía Práctica de la Fotocatálisis Aplicada a Infraestructuras Urbanas:
<https://goo.gl/Ug5hFe>
(Fecha de última consulta 26/11/2015)
- Revista en innovación social:
<https://goo.gl/hM2IIX>
(Fecha de última consulta 26/11/2015)
- Web de construcción sostenible
<https://goo.gl/N4HfcK>
(Fecha de última consulta 28/11/2015)
- Jornada de construcción sostenible. Diciembre 2015
<https://goo.gl/8GiQ3u>
(Fecha de última consulta 2/12/2015)
- Web Salud Activa, pintura fotocatalítica.
<https://goo.gl/5yjTbW>
(Fecha de última consulta 04/02/2016)
- Ana Elías et al (2012). Contribución de los compuestos orgánicos volátiles (COVs) a la contaminación del aire interior.
<https://goo.gl/VxyL9v>
(Fecha de última consulta 03/12/2015)