

# Nuevas metodologías para la caracterización del efecto descontaminante de los materiales fotocatalíticos en ambiente real en el marco del proyecto LIFE MINOX-STREET



M. Pujadas, M. Palacios, L. Núñez y M. Germán  
 CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas)  
 Avenida Complutense, 40, 28040 Madrid (manuel.pujadas@ciemat.es)

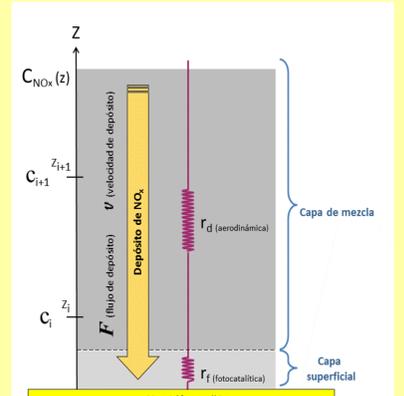
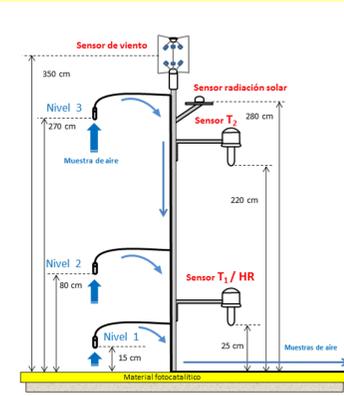


Con objeto de reducir la contaminación atmosférica en áreas urbanas se vienen implementando y evaluando distintas estrategias de mitigación. Una de las opciones de control medioambiental emergentes con potencial éxito en la eliminación específica de los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) es el uso de materiales de construcción que incorporan compuestos fotocatalíticos como el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) que, activados por la luz solar, permiten eliminar del aire estos compuestos a través de fotocatalisis por vía heterogénea.

Si bien los ensayos de laboratorio bajo norma vienen empleándose para evaluar y cuantificar la eficiencia de estos materiales en la reducción de  $\text{NO}_x$ , el estudio de su empleo como parte de las estrategias de mejora de la calidad del aire urbano requiere del desarrollo de técnicas y ensayos que permitan la evaluación del efecto ambiental del uso de estos materiales a escala real.

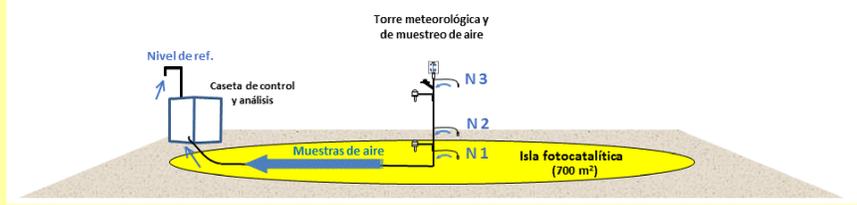
En el contexto del proyecto LIFE MINOX-STREET, cofinanciado por el Instrumento Financiero para el Medio Ambiente de la Unión Europea, y tras una selección de diferentes materiales fotocatalíticos mediante ensayos rigurosos, se han diseñado, desarrollado, puesto a punto y validado dos métodos experimentales, diferentes pero complementarios, para caracterizar el comportamiento de dichos materiales como sumideros de  $\text{NO}_x$  en condiciones ambientales reales. Por un lado, un sistema experimental para la medida de la velocidad de depósito de  $\text{NO}_x$  sobre superficies fotocatalíticas en ambiente exterior. Adicionalmente, un "túnel fotocatalítico" para la estimación de la eficiencia de superficies fotocatalíticas empleadas para la reducción de  $\text{NO}_x$  en condiciones semi-controladas.

## SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE DEPÓSITO DE $\text{NO}_x$ SOBRE SUPERFICIES FOTOCATALÍTICAS EN AMBIENTE EXTERIOR

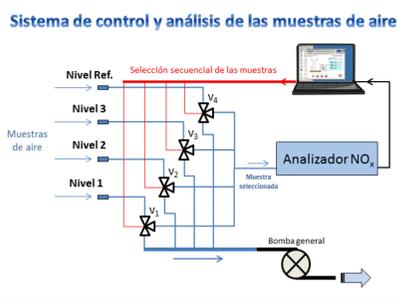


Mástil de la plataforma experimental con sensores meteorológicos y sondas de medida de gases y esquema de la disposición de la instrumentación

Esquema del modelo de resistencias empleado para el cálculo de la velocidad de depósito



Plataforma experimental y esquema de su funcionamiento



Sistema de control, adquisición y tratamiento de datos y esquema de su funcionamiento

### CÁLCULO DE VELOCIDAD DE DEPÓSITO BASADO EN MODELO DE RESISTENCIAS

El flujo de contaminante depositado sobre la superficie fotocatalítica  $F$  viene dado por  $F = -v_f c_0$ , siendo  $c_0$  la concentración próxima a la superficie y  $v_f$  la velocidad de depósito fotocatalítica.

Por otro lado, siguiendo la "Teoría de la Semejanza de Monin-Obukhov", el flujo es, por definición,  $F = -c_* u_*$ , siendo  $u_*$  la velocidad de fricción y  $c_*$  una concentración función de las concentraciones en altura  $c(z)$  y en superficie  $c_0$ , la rugosidad superficial  $z_0$  y la longitud de Monin-Obukhov  $L$ .

Siendo  $F = v_f c_0 = c_* u_*$ , derivamos una velocidad de depósito  $v$  tal que:

$$v(z) = f(u_*, u(z), L, v_f)$$

puediendo expresarse  $v$  como la inversa de una resistencia  $r$ , suma de dos resistencias, una aerodinámica  $r_d(z)$  y otra fotocatalítica  $r_f$  (modelo de resistencias de la Ley de Ohm):

$$r(z) = r_d(z) + r_f$$

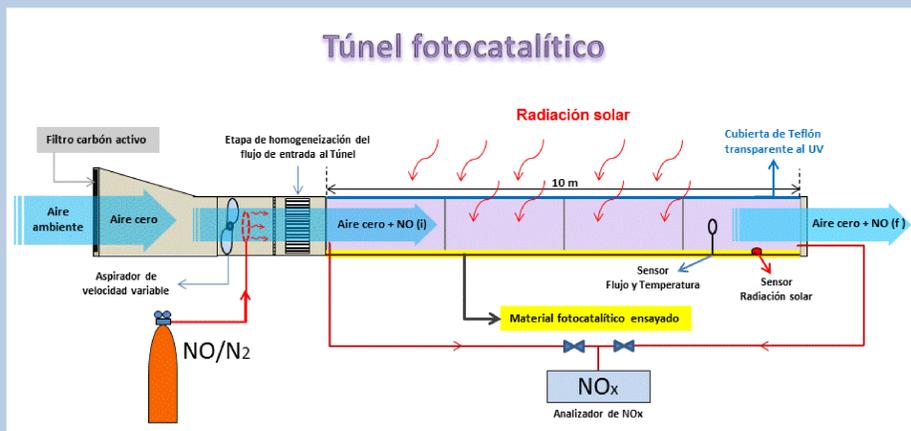
Recurriendo a la definición de la longitud de Monin-Obukhov  $L$ , y una vez estimada la misma, la resistencia aerodinámica  $r_d(z_i)$  puede calcularse como una función dependiente de  $L$  y  $c_i$ , siendo  $c_i$  la concentración medida a una altura  $z_i$ .

Assumiendo el flujo vertical  $vc$  constante con la altura,  $\frac{c_i}{(r_f + r_d(z_i))} = cte$ ,  $r_f$  puede expresarse como función del gradiente de concentración medido a dos alturas:

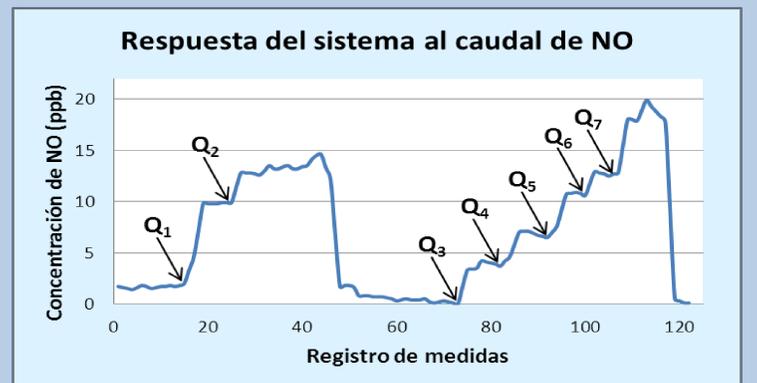
$$r_{f,i+1} = \frac{c_{i+1} r_d(z_i) - c_i r_d(z_{i+1})}{c_i - c_{i+1}}$$

Finalmente, conocidas  $r_d$  y  $r_f$ , se puede calcular  $r$  y, por tanto,  $v$ .

## SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DE SUPERFICIES FOTOCATALÍTICAS EMPLEADAS PARA LA REDUCCIÓN DE $\text{NO}_x$ EN CONDICIONES SEMI-CONTROLADAS: "TÚNEL FOTOCATALÍTICO"



Esquema del sistema experimental para la estimación de la eficiencia de superficies fotocatalíticas empleadas para la reducción de  $\text{NO}_x$  en condiciones semi-controladas: "Túnel fotocatalítico"



Se ha estudiado el tiempo de respuesta del túnel fotocatalítico y la estabilidad de la concentración de  $\text{NO}_x$  frente a cambios en la concentración de  $\text{NO}$  de la mezcla del aire de entrada generados mediante cambios en el caudal de  $\text{NO}_x$  ( $Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_4 < Q_5 < Q_6 < Q_7$ ). El sistema es capaz de generar un flujo de aire cero suficiente y de responder con rapidez y precisión a los cambios de concentración de  $\text{NO}$ .

### CANTIDAD DE $\text{NO}$ ELIMINADO POR LA SUPERFICIE FOTOCATALÍTICA

La cantidad de óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) eliminado por la superficie fotocatalítica se puede calcular siguiendo la fórmula:

$$n_{NO} = (f/22,4) \int (\phi_{NO_i} - \phi_{NO_f}) dt$$

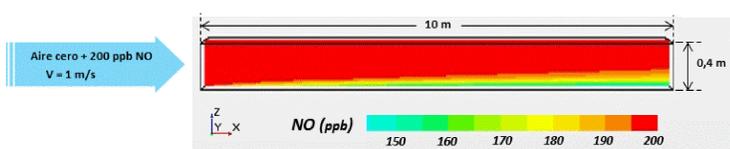
donde

$n_{NO}$  es la cantidad de  $\text{NO}$  eliminada por la superficie fotocatalítica ( $\mu\text{mol}$ )  
 $f$  es el caudal de aire en condiciones estándar ( $0^\circ\text{C}$ ;  $101,3 \text{ kPa}$ ; bases de gas seco) ( $\text{l/min}$ )

$\phi_{NO_i}$  es la fracción de volumen de  $\text{NO}$  a la entrada del túnel fotocatalítico ( $\mu\text{l/l}$ )

$\phi_{NO_f}$  es la fracción de volumen de  $\text{NO}$  a la salida del túnel fotocatalítico ( $\mu\text{l/l}$ )

### Simulación numérica del funcionamiento del Túnel fotocatalítico



Ejemplo de simulación numérica de dispersión de una masa de aire contaminada por óxido nítrico a lo largo del "Túnel fotocatalítico" (cedido por B. Sánchez, CIEMAT).

### CONCLUSIONES

- La plataforma experimental diseñada y puesta a punto para el cálculo de la velocidad de depósito de  $\text{NO}_x$  en aire ambiente, permite la medida en continuo tanto de un conjunto de variables meteorológicas (velocidad de viento, gradiente de temperatura, radiación y humedad) como de diferentes gases contaminantes de interés (gradientes de  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ;  $\text{O}_3$  y  $\text{CO}$ ), facilitando la caracterización del comportamiento dinámico y químico de la masa de aire de la que es receptora. Al encontrarse en un área suburbana, lejos de la influencia directa de fuentes emisoras, y en un emplazamiento homogéneo, permite aislar la medida de otras influencias distintas al del efecto sumidero inducido por una superficie fotocatalítica y observar el gradiente de concentración de  $\text{NO}_x$  que se establecería como consecuencia de su presencia. En condiciones episódicas, con vientos flojos y cielos despejados, las medidas meteorológicas de velocidad de viento y gradiente de temperatura junto con las medidas de gradiente de concentración del gas contaminante cuyo flujo pretende determinarse posibilitan el cálculo de la correspondiente velocidad de depósito.
- El sistema experimental diseñado para la estimación de la eficiencia de superficies fotocatalíticas empleadas para la reducción de  $\text{NO}_x$  en condiciones semi-controladas ("Túnel fotocatalítico") es capaz de responder con rapidez y precisión a los cambios de concentración de  $\text{NO}$ .

### Agradecimientos:

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto LIFE MINOX-STREET (LIFE12 ENV/ES/000280) con la contribución del instrumento financiero LIFE de la Unión Europea.

Agradecemos la participación del Dr. A. Martilli (CIEMAT) en la formulación del modelo de resistencias.