

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)

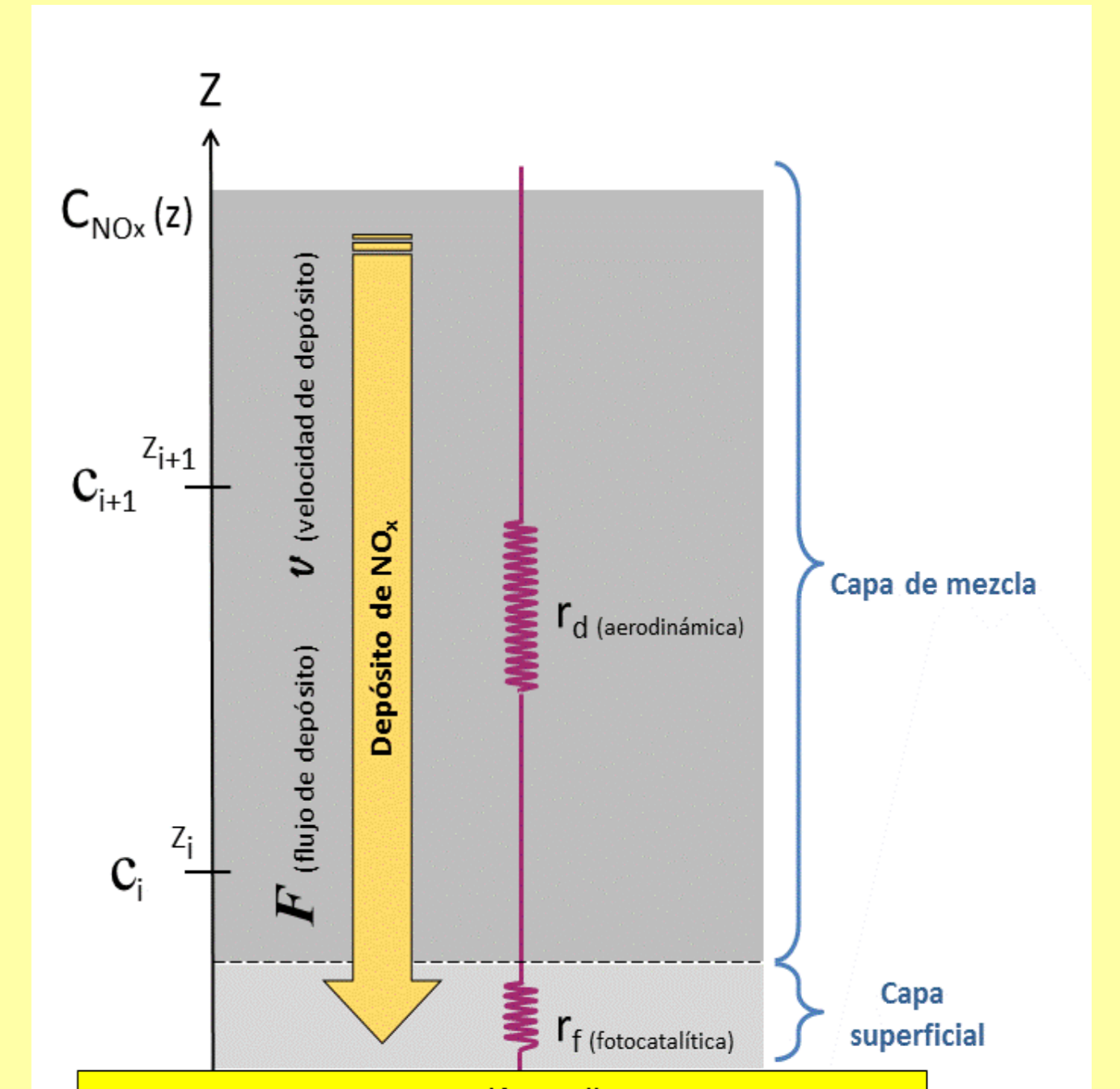
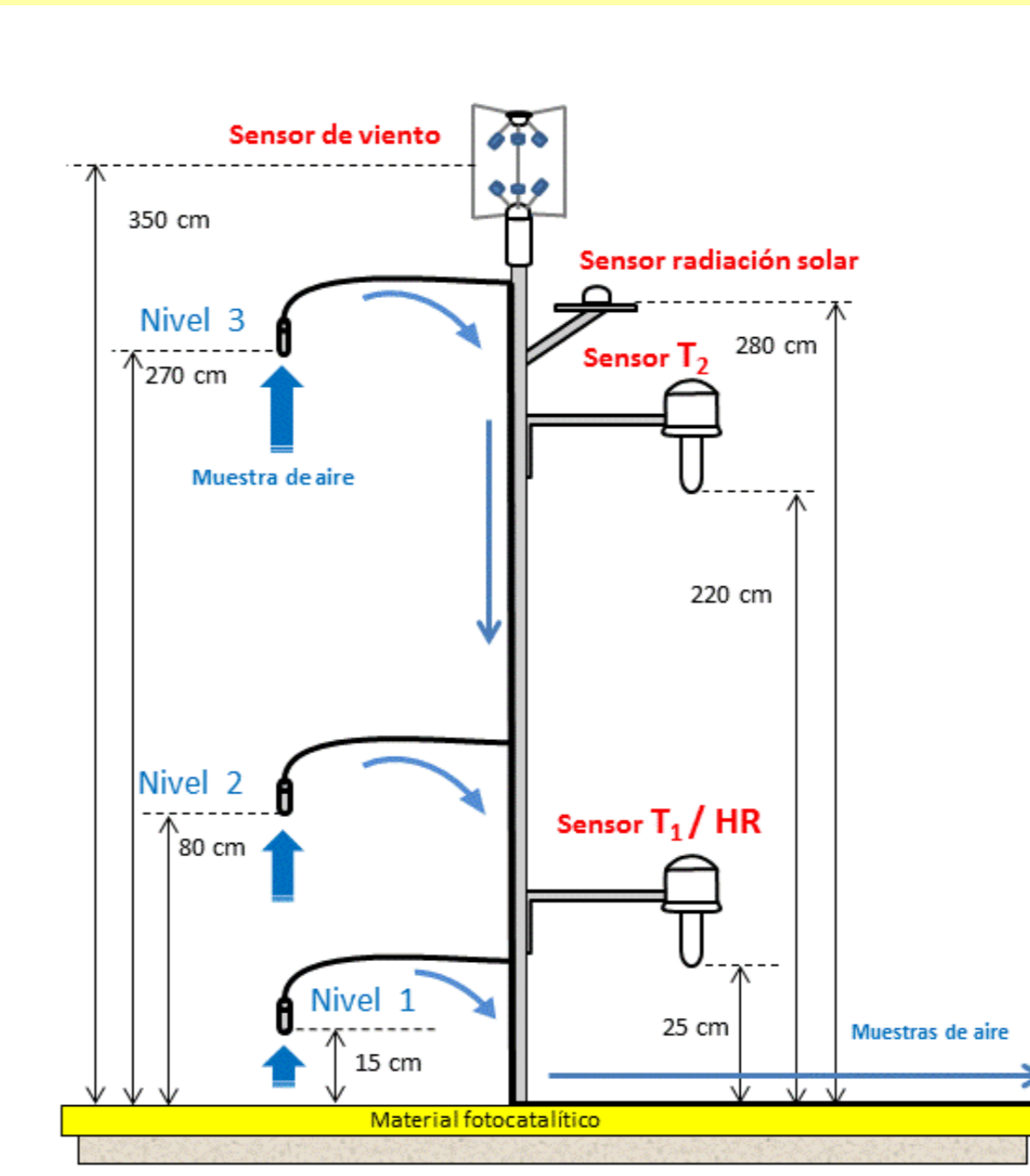


Con objeto de reducir la contaminación atmosférica en áreas urbanas se vienen implementando y evaluando distintas estrategias de mitigación. Una de las opciones de control medioambiental emergentes con potencial éxito en la eliminación específica de los óxidos de nitrógeno (NO_x) es el uso de materiales de construcción que incorporan compuestos fotocatalíticos como el dióxido de titanio (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 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.

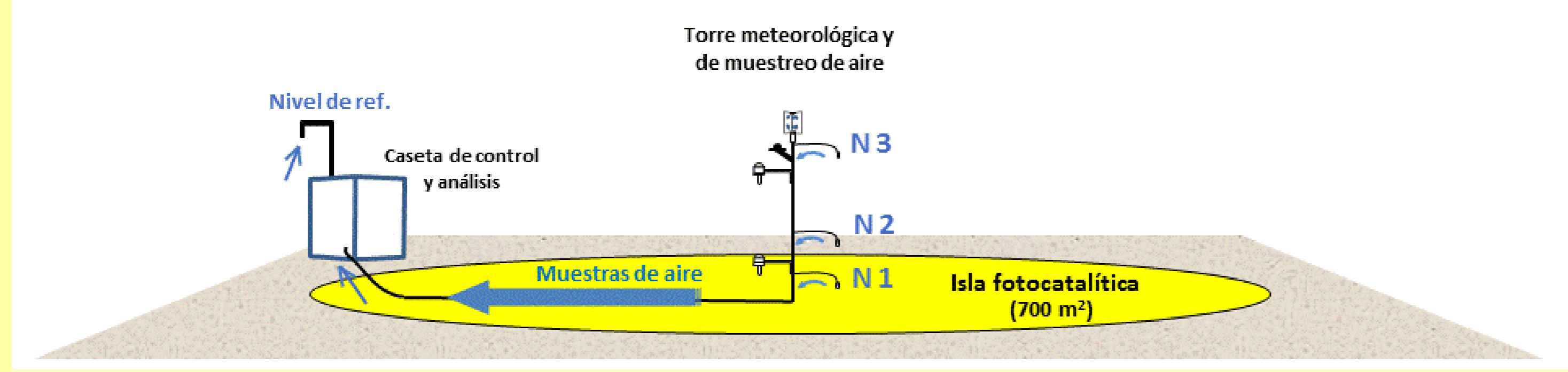
En el contexto del proyecto LIFE MINOX-STREET, cofinanciado por el Instrumento Financiero para el Medio Ambiente de la Unión Europea, y tras una selección de diferentes materiales fotocatalíticos mediante ensayos rigurosos, se han diseñado, desarrollado, puesto a punto y validado dos métodos experimentales, diferentes pero complementarios, para caracterizar el comportamiento de dichos materiales como sumideros de NO_x en condiciones ambientales reales. Por un lado, un sistema experimental para la medida de la velocidad de depósito de 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 NO_x en condiciones semi-controladas.

SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE DEPÓSITO DE 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

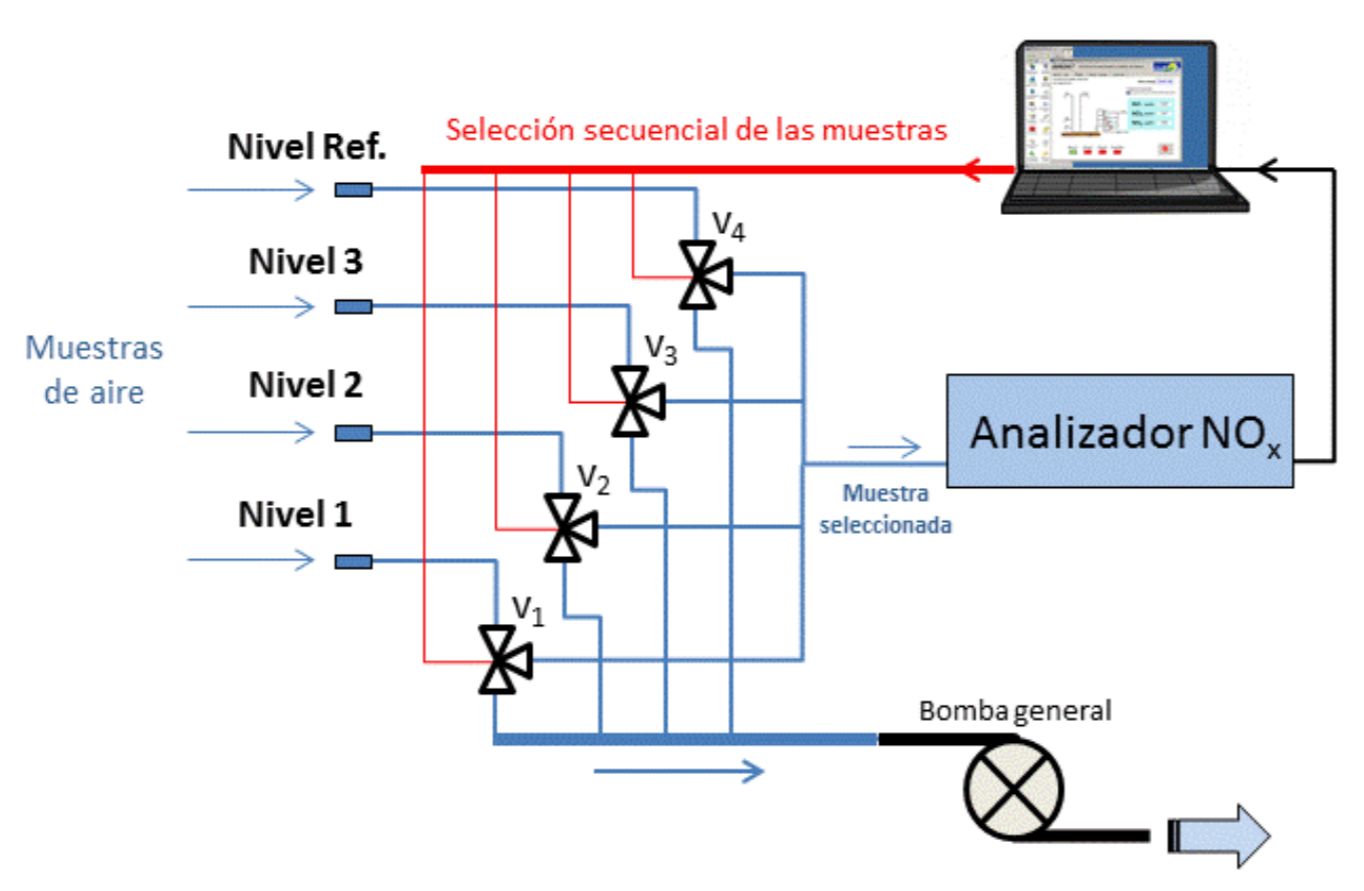
Esquema del modelo de resistencias empleado para el cálculo de la velocidad de depósito



Plataforma experimental y esquema de su funcionamiento



Sistema de control y análisis de las muestras de aire



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):

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

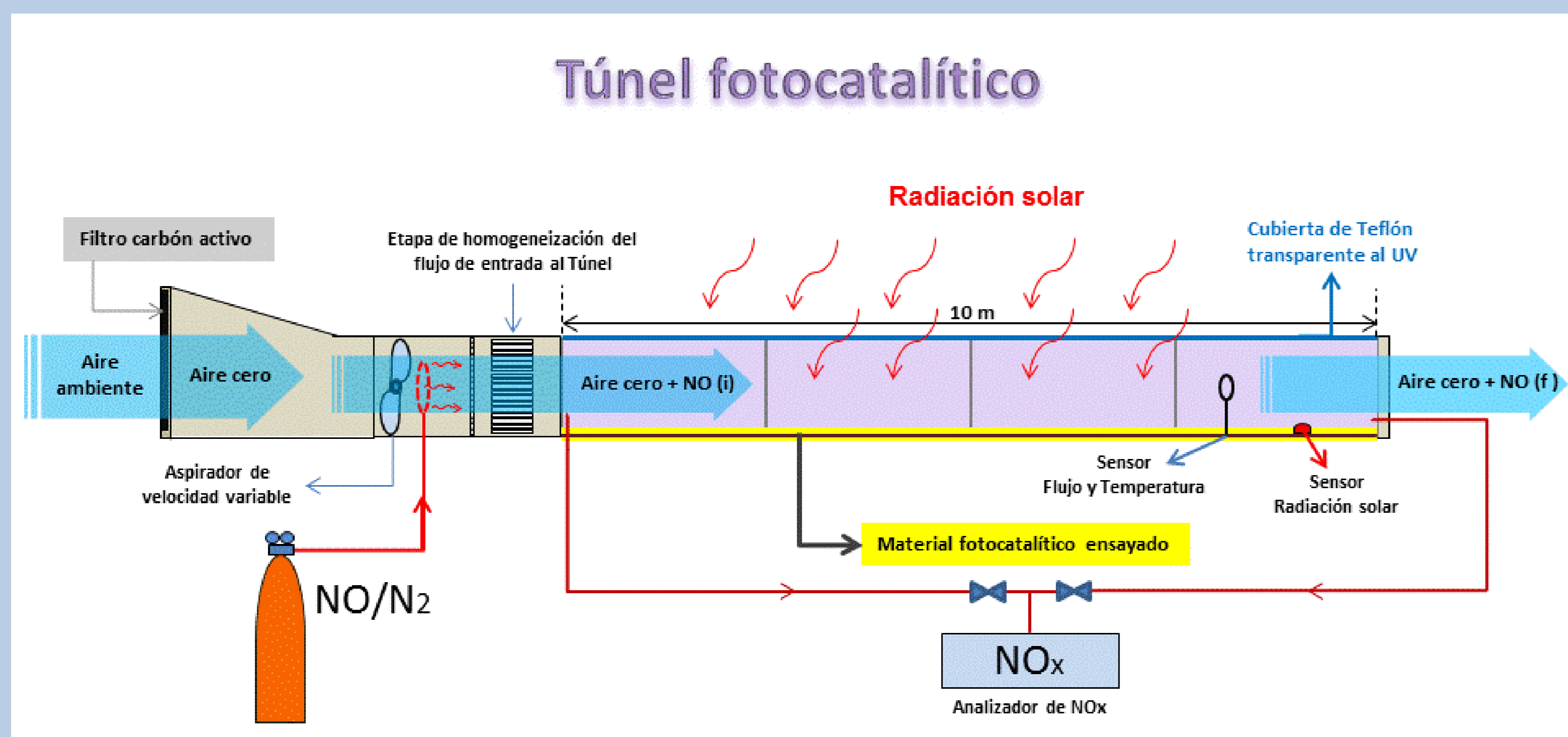
Recurriendo a la definición de la longitud de Monin-Obukhov L , y una vez estimada la misma, la resistencia aerodinámica $r_d(z_i)$ puede calcularse como una función dependiente de L y c_i , siendo c_i la concentración medida a una altura z_i .

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:

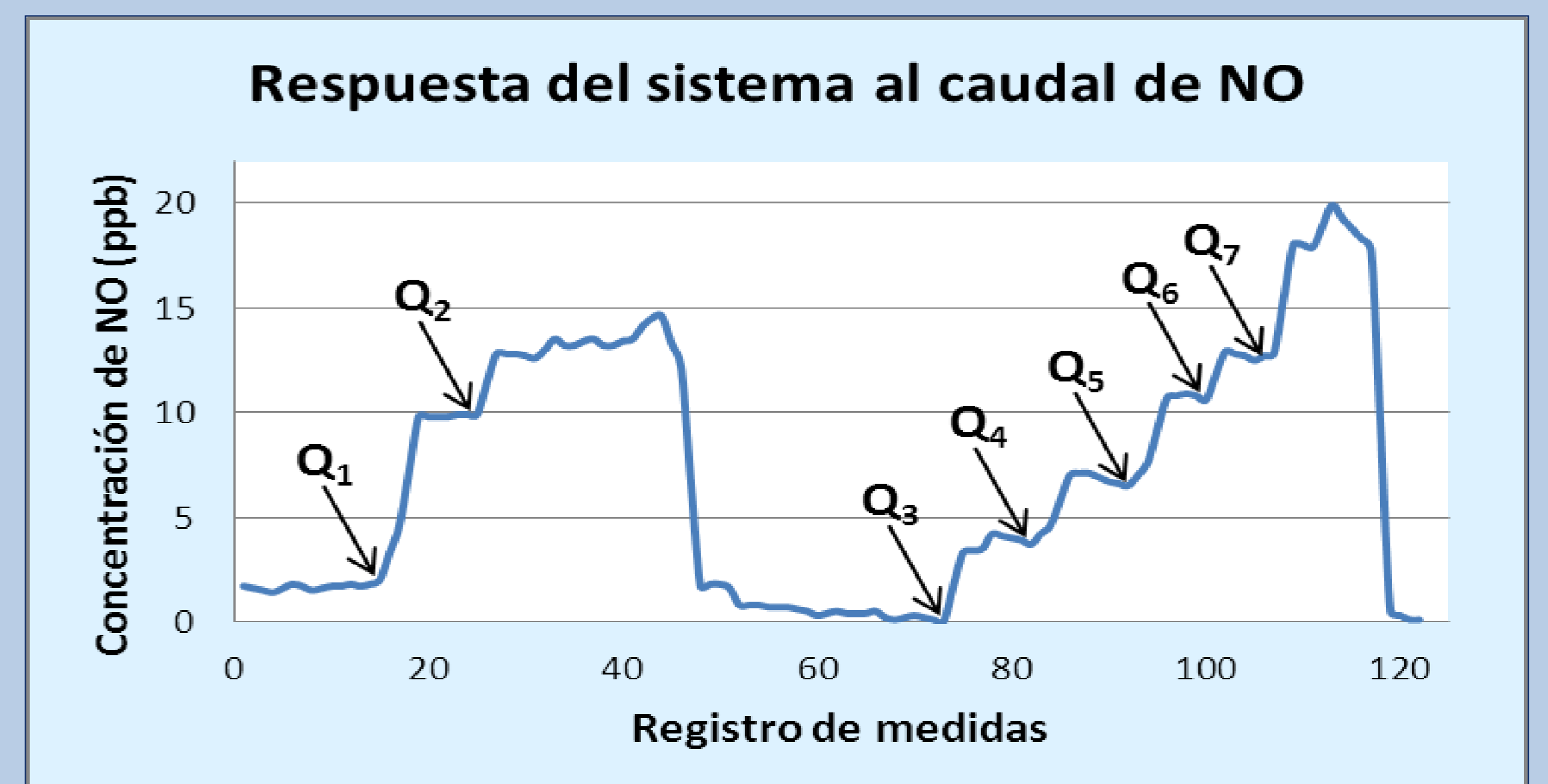
$$r_{f_{i+1}} = \frac{c_{i+1} r_d(z_i) - c_i r_d(z_{i+1})}{c_i - c_{i+1}}$$

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 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 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 NO_x frente a cambios en la concentración de NO de la mezcla del aire de entrada generados mediante cambios en el caudal de NO_x ($Q_1 < Q_2$ y $Q_3 < Q_4 < Q_5 < Q_6 < Q_7$). 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 NO .

CANTIDAD DE NO ELIMINADO POR LA SUPERFICIE FOTOCATALÍTICA

La cantidad de óxido nítrico (NO) eliminado por la superficie fotocatalítica se puede calcular siguiendo la fórmula:

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

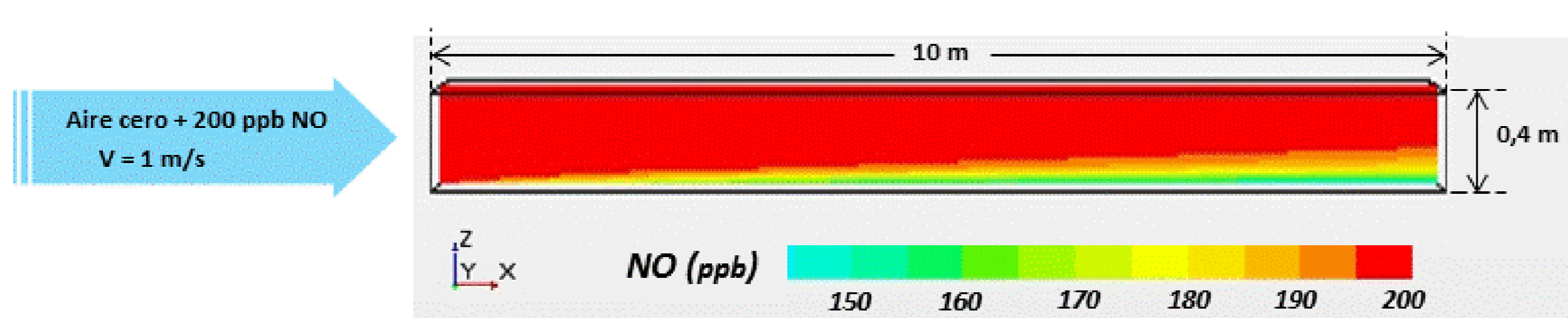
donde

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

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

ϕ_{NO_f} es la fracción de volumen de 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 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 NO y NO_2 ; O_3 y 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 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 NO_x en condiciones semi-controladas ("Túnel fotocatalítico") es capaz de responder con rapidez y precisión a los cambios de concentración de 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.