



Equipo multiensayo para la determinación del poder descontaminante de productos fotocatalíticos

Autor: David Almazán Cruzado

Institución: Asociación Ibérica de Fotocatálisis (AIF)

Otros autores: Gianni Rovito Scandiffio (consultor independiente)

Resumen

La fotocatalisis parte del principio natural de descontaminación de la propia naturaleza. Al igual que la fotosíntesis, gracias a la luz solar, es capaz de eliminar los contaminantes habituales en la atmósfera, como son los NOx, SOx y COVs. Su descubrimiento se produjo en Japón hace cincuenta años, y ahora su empleo se está introduciendo en Europa para gestionar la mejora de la calidad del aire en las ciudades.

Como respuesta a la creciente demanda del empleo de productos fotocatalíticos descontaminantes aplicados sobre infraestructuras viarias y envolventes de edificación, por parte de las Administraciones Públicas españolas, se ha desarrollado el primer prototipo telecontrolado para medir la actividad de los materiales fotocatalíticos aplicados sobre pavimentos y envolventes de edificación. Se trata una iniciativa de innovación que ha desarrollado en colaboración con el CDTI y que viene a complementar otras modalidades de medición que existen en el mercado. El nuevo prototipo de ensayo, que aporta como principales ventajas su capacidad multiensayo con distintas normas, incluyendo las pruebas "in situ" y la posibilidad de su manejo en remoto, ha obtenido ya el reconocimiento de la Agencia de Certificación Española, lo que permitirá que sea utilizado por las administraciones públicas y la industria de productos descontaminantes para determinar su eficacia.

Palabras clave: Fotocatálisis, NOx, contaminación, in situ, pavimentos, calidad del aire, telecontrol, descontaminante

1. INTRODUCCION. RESUMEN TÉCNICO

Debido a la creciente concienciación para la mejora de la calidad del aire urbano y la disminución de la contaminación atmosférica, están apareciendo nuevas soluciones de materiales, los cuales pretenden, a partir de su aplicación en elementos arquitectónicos y pavimentos urbanos, reducir la concentración de ciertos compuestos contaminantes, tales como los NOx.

Sin embargo existe en el estado de la tecnología ciertas limitaciones para conocer el comportamiento real de estos nuevos materiales por medio de su ensayo y la medida real de su eficacia y su evolución una vez han sido aplicados en el medio urbano.

Dichas limitaciones vienen dadas principalmente debido a que las metodologías y medios de ensayo disponibles se basan en ensayos en laboratorio, que requieren de unas condiciones e instalaciones muy complejas y específicas, no viables para lograr la monitorización de puntos urbanos con condiciones reales sobre superficies fotocatalizadas y que tampoco permiten la monitorización en una serie temporal de la evolución de la eficacia de los materiales.

Ante esta situación el objetivo del proyecto es el **desarrollo de una nueva tecnología para la investigación y ensayo de la eficiencia (y su evolución) descontaminante a corto y a largo plazo de nuevos materiales, como es el caso de los pavimentos, las envolventes de edificación y las pinturas descontaminantes para la reducción de los niveles de NOx atmosféricos.**

El nuevo equipo y tecnología a desarrollar deberá contar con las siguientes capacidades, las cuales se definen como objetivos técnicos a alcanzar en el proyecto:

- Permitir la determinación in situ de la reducción de NOx sobre elementos constructivos descontaminantes.
- Permitir el análisis de la evolución de la eficiencia de estos materiales con distintas condiciones y factores ambientales y con su evolución en el tiempo.
- Permitir la automatización y control a distancia del nuevo equipo y por tanto de los ensayos a realizar.

Sin un conocimiento real de las propiedades y capacidades reales de los materiales fotocatalíticos, así como de las reacciones y su dinámica, es imposible el diseño de un nuevo equipo de ensayo. Por lo tanto, como primer paso del proyecto, se llevan a cabo las actividades de investigación que permitan adquirir los nuevos conocimientos y una superior comprensión científica sobre dichos materiales y reacciones químicas.

Una vez obtenidos los resultados de las actividades de investigación y como aplicación de los nuevos conocimientos adquiridos se procede al diseño de la nueva tecnología de investigación y ensayo, tanto del equipo prototipo que por primera vez permita la experimentación in situ, como del sistema de automatización, teniendo en cuenta la electrónica y la modelización del software necesario, incluyendo el estudio e investigación del sistema físico a regular así como de los bucles y sistemas de control.

Los diseños teóricos se desarrollan de forma experimental dando lugar a los consecuentes prototipos conceptuales y funcionales, incluyendo el equipo de reacción química y las tecnologías de automatización (electrónica de análisis y desarrollos software) que permitan el ensayo in situ y la automatización, control, monitorización y evaluación temporal de los procesos de ensayo.

Y también y dado que el objetivo del proyecto es el desarrollo de todas las tecnologías necesarias para la concepción de un prototipo de ensayo único y pionero en el estado de la técnica, se lleva a cabo la ingeniería de pruebas, ensayo y validación experimental, tanto en laboratorio como en escenarios experimentales que permita obtener una muestra suficientemente representativa para garantizar la viabilidad y alcance del nuevo prototipo.

2. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS

A continuación, se presenta el diagrama donde se puede observar la estructura de planificación del proyecto de I+D+i en dos hitos:

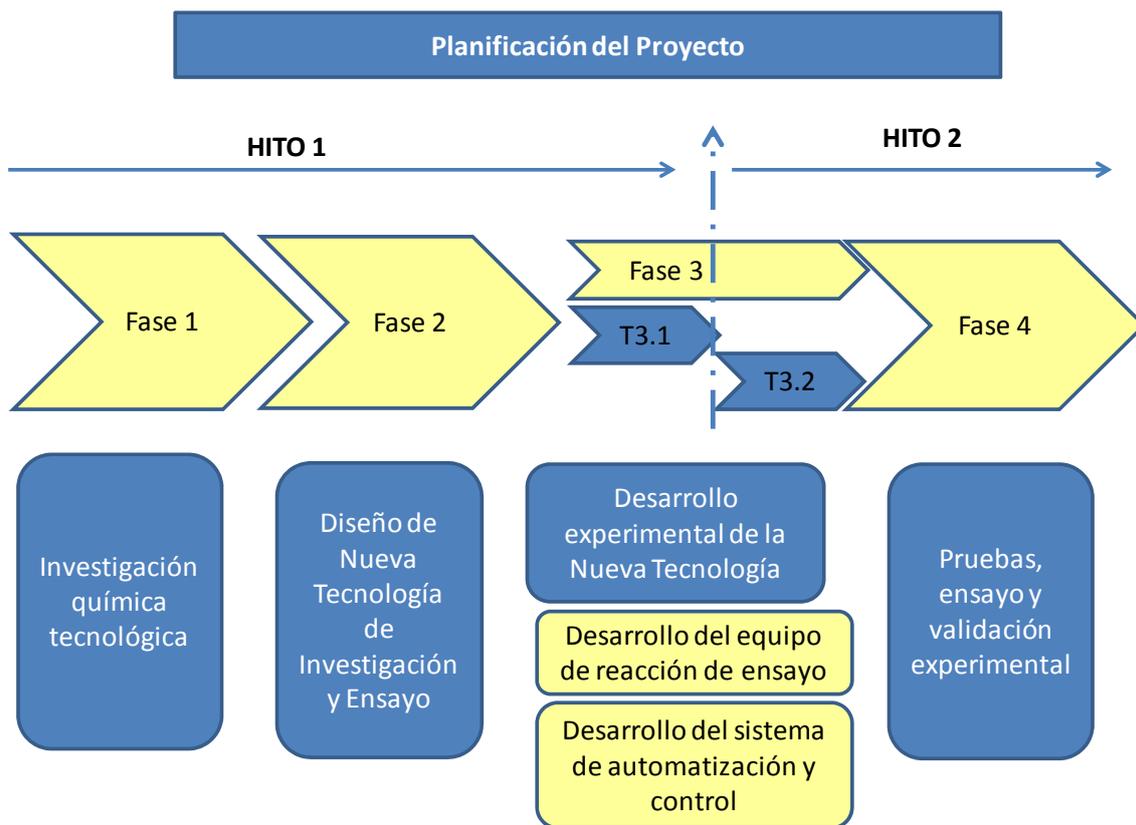


Figura 1: Planificación del proyecto

FASE 1: INVESTIGACIÓN QUÍMICA TECNOLÓGICA

El objetivo de esta fase fue la investigación experimental sobre diferentes muestras de materiales para conocer, las reacciones químicas y la influencia sobre éstas de diferentes condiciones de concentraciones atmosféricas de NOx, soleamiento, temperatura y humedad.

Se llevó a cabo la investigación sobre los fenómenos químicos y físicos que se dan en el equipo prototipo de ensayo, teniendo en cuenta factores como:

- Naturaleza y cantidad de reactivos
- Estequiometría de la reacción

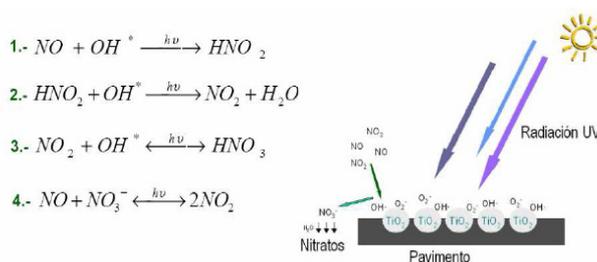


Figura 1. Mecanismo de Reacción y Degradación de los óxidos de nitrógeno en presencia del fotocatalizador TiO₂.

Figura 2: Mecanismo de reacción y degradación de los NOx en presencia de fotocatalizador de tipo dióxido de titanio.

- Influencia de la humedad en la reacción
- Energía liberada, cambios térmicos y de volumen, etc.

FASE 2: DISEÑO DE NUEVA TECNOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO

Esta fase tuvo como objetivo aplicar los nuevos conocimientos obtenidos de la fase de investigación, para el diseño de la nueva tecnología de ensayo, la cual comprende como elementos principales los siguientes:

- Diseño de la cámara de reacción.
- Diseño del sistema de regulación del proceso químico.
- Diseño de la electrónica de análisis.
- Diseño del sistema de automatización y control a distancia.

Se tuvo en cuenta para las fases de diseño las especificaciones propias a cumplir con las dos normativas vigentes principales en vigor (las cuales indican qué medir, pero no describen ni hacen ninguna indicación sobre los equipos y medios de ensayo a utilizar), pero también la capacidad del nuevo desarrollo y de su diseño para adaptarse a futuras normativas o la evolución de las existentes.

Una de las principales actividades que se llevaron a cabo durante esta fase fue el diseño de la cámara de reacción, como corazón del proceso de transformación química de ensayo.

Este reactor se diseñó de acuerdo a los siguientes parámetros del proceso:

- Diseño de acuerdo a la reacción y su extensión requerida.
- Condiciones de operación: temperaturas, presión, velocidades de flujo, etc.

Esta fase también incluyó el diseño de la instrumentación y mecanismo de control del proceso, determinando los bucles de control, el retardo de la respuesta, señal de entrada y de respuesta, perturbaciones, error de medida, etc. Así como se definió la electrónica de análisis, la cual permita la integración de la ecuación cinética de reacción en los circuitos correspondientes.

En cuanto al diseño de la electrónica de análisis, se definió como el sistema electrónico encargado de la integración de la ecuación cinética para cada instante de tiempo.

Los diseños del sistema de automatización y control, comprendieron la definición del sistema controlador de señales de estados y actuación, el sistema de conversión y adquisición de señales, y el sistema de actuación automática.

El hardware del equipo se diseñó como un “armario de control”, estableciendo durante esta fase de diseño los elementos principales:

- Sistema controlador de señales de estado y actuación sobre electroválvulas de tres vías para la regulación másica de los gases patrón y ‘aire cero’.
- Sistema de conversión y adquisición de señales de sondas complementarias (sondas de temperatura y humedad).
- Sistema de actuación automática sobre los elementos: ON/OFF sobre lámparas, analizador, regulador de caudal de gases, etc.

Durante esta fase también se llevó a cabo el diseño de los algoritmos y protocolos del software de automatización de los ensayos.

Para el diseño del software se definieron las funcionalidades a cumplir, los módulos a desarrollar, interfaces y representación gráfica, estableciendo como primer paso para el diseño del sistema software las condiciones del proceso, y condicionantes externos, entre ellos:

- Duración total del ensayo (1 a 6 horas).
- La flexibilidad frente a futuras evoluciones normativas.
- La capacidad de integración y de intercambio de información con los sistemas de gestión de los laboratorios.
- Capacidad de actuación sobre otros elementos del ensayo, como para la realización del ensayo.

Es decir, por un lado, dicho sistema software se definió teniendo en cuenta una duración de los ensayos de 1-6 horas, condicionando la arquitectura de los algoritmos a la ejecución ‘automática’ de todos los procesos necesarios para realizar los ensayos. Esto implica la necesidad de diseñar los algoritmos para la actuación sobre el equipamiento de

medida, generación de 'aire cero', así como la verificación de su correcto funcionamiento, generando alarmas al operador en caso contrario.

Para conseguir la flexibilidad frente a la posible evolución de las normativas, se realizó el diseño de un módulo de configuración de parámetros de ensayos con valores definibles por el usuario.

En cuanto a la actuación sobre otros elementos de ensayo del sistema software se establecieron las siguientes funciones a implementar en el diseño:

- Regulación de caudal de gases: se establece la comunicación directa con el regulador de caudal de salida de los gases empleados
- Envío de consignas de caudal de cada uno de los gases.
- Recepción en tiempo real del caudal de salida
- Recibir en tiempo real las señales de estado de funcionamiento correcto del controlador.

Y envío de la orden de marcha/paro del regulador para impedir el consumo de gases fuera del periodo de ensayo

- Analizador de NOx:
 - Recibir en tiempo real la medida de NO, NO₂, NO_x.
 - Recibir en tiempo real las señales de estado de funcionamiento correcto.
- Electroválvulas de regulación de gases: enviar las órdenes al controlador de válvulas, para colocarlas en posición de flujo de aire al analizador o en posición de flujo de aire a la cámara de ensayo, dependiente del avance del ensayo.

Por último para conseguir la funcionalidad objetivo de automatización y control del ensayo, se pretende que el software ideado guíe al operador en todos los pasos necesarios para realizar el ensayo, y muestre en tiempo real los estados de los diferentes elementos implicados en el ensayo así como la gráfica de evolución de los parámetros medidos.

Por lo tanto y para lograr esta funcionalidad, se definieron en la presente fase los siguientes módulos:

1. Módulo de configuración de ensayo
2. Módulo de Inicio de ensayo:
 - a. Guía al operador en el encendido manual de los diferentes elementos y comprueba el estado correcto para iniciar el ensayo.
 - b. Enciende de forma automática aquellos equipos o elementos conectados directamente al armario de equipos.
 - c. Pide los valores de:
 - Tipo de lámpara utilizada, valor de radiación, etc.
 - Valores de temperatura y humedad.
 - Otros valores que se consideren necesarios y que se obtienen de forma manual.

- d. Módulo de Aire:
 - Posiciona de forma automática las electroválvulas de tres vías para realizar la medida de contaminantes del aire patrón.
 - Toma medida durante varios segundos/minutos hasta alcanzar una medida estable, tomando esta como referencia.
3. Módulo de Realización del ensayo:
 - a. Presenta en pantalla en tiempo real la siguiente información:
 - Gráficos de evolución de parámetros contaminantes
 - Señales de estado de funcionamiento de los equipos
 - Valores de caudal de entrada de gases
 - b. Presenta botones que permitan parar el ensayo en cualquier momento
 - c. Una vez finalizado el ensayo, apaga los equipos para evitar consumos eléctricos o de gases, informando al operador.
 - d. Todos los datos del ensayo se almacenan localmente en el portátil en un formato CSV estándar.

FASE 3.1: DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA NUEVA TECNOLOGÍA

Durante esta fase y a partir de los diseños conceptuales obtenidos se lleva a cabo el desarrollo experimental de las nuevas tecnologías.

A partir de estas actividades se obtienen los prototipos funcionales que permitan el ensayo experimental para validar y determinar la viabilidad y alcance del proyecto.

La realización de esta fase se ha dividido en dos tareas diferenciadas, cada una de las cuales se lleva a cabo en un hito del proyecto:

- T3.1: Desarrollo del equipo de reacción de ensayo
- T3.2: Desarrollo del sistema de automatización y control

Las actividades en esta primera tarea se centraron sobre el hardware de reacción del proceso, es decir, sobre el equipo prototipo de ensayo, principalmente la cámara de reacción, los analizadores, reactores, líneas de conducción de los fluidos, pero también de igual manera se desarrollan todos aquellos elementos necesarios para la regulación del proceso químico (electroválvulas de presión, sensores de temperatura o de humedad, etc.).

Estas actividades tienen un alto componente experimental durante el cual se desarrollaron los prototipos conceptuales, que con un diseño en bruto permitiesen validar la funcionalidad de la concepción teórica de la tecnología, para dar lugar posteriormente a los prototipos funcionales y experimentales.

En concreto se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Desarrollo y determinación del sistema de alimentación de gases. Se determina de forma experimental cual sería el diseño de este sistema para proveer de la mezcla, caudal y presión requerida.

- Desarrollo de un prototipo de cámara de reacción, como forma para conocer exactamente las condiciones de iluminación y área de ensayo para la correcta reacción química.
- Desarrollo del sistema de regulación del proceso químico, teniendo en cuenta los parámetros de control, y la interacción con el sistema de automatización y control.

FASE 3.2: DESARROLLO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

En esta tarea el objetivo fue el desarrollo de los equipos de control y aplicaciones informáticas necesarias para llevar a cabo el ensayo de reducción de contaminantes sobre muestras asfálticas de la manera más automatizada posible.

La aplicación obtenida guiará al operador en todos los pasos necesarios para realizar el ensayo y mostrará en tiempo real los estados de los diferentes elementos implicados en el ensayo así como la gráfica de evolución de los parámetros medidos.

Dentro de la electrónica de automatización fue necesario tal y como se ha señalado el desarrollo de los sistemas de control de las señales tanto para la regulación de los gases como de otras señales y sondas complementarias como las de temperatura y humedad, así como aquellos sistemas automáticos de encendido y apagado. La electrónica de análisis desarrollada incluye los controladores de las señales de estado y actuación sobre las electroválvulas, el sistema de tratamiento de las señales de las sondas y los sistemas de actuadores sobre otros elementos.

El desarrollo de esta automatización comenzó por el desarrollo de la lógica de los procesos de ensayo tanto por la norma ISO como por la UNI.

Por otro lado en esta tarea también se llevó a cabo el desarrollo del software, para ello se desarrollaron los algoritmos de programación, los módulos e interfaces y se implementaron en el sistema de forma que se permita la automatización de los ensayos, así como la monitorización y control de todos los parámetros.

De igual manera se desarrollaron los módulos correspondientes para la automatización y control del ensayo, definiendo tanto la configuración del ensayo como las condiciones de inicio del ensayo y la monitorización e información gráfica de los resultados del ensayo y su evolución en tiempo real.

FASE 4: PRUEBAS, ENSAYO Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

Durante esta última fase se ensayó la tecnología desarrollada, en escenarios experimentales y en un espacio temporal que permita obtener una muestra suficientemente significativa de los resultados obtenidos.

En el último semestre de 2013 se han realizado numerosos ensayos de actividad fotocatalítica, tanto por la normativa ISO, como por la UNI, como "in situ". Las muestras ensayadas han sido en su mayoría, amablemente facilitadas por las empresas fabricantes y/o suministradoras de productos fotocatalíticos, aunque las muestras tipo

testigo, tomadas en campo, han sido facilitadas por el Ayuntamiento de Madrid. Esta Administración tiene grandes expectativas puestas en esta tecnología para su aplicación a gran escala, pues está involucrado en varios proyectos de I+D+i tipo LIFE de aplicación de productos fotocatalíticos, y a finales del año 2013 ha licitado la primera gran obra de pavimentación fotocatalítica en el Distrito de Villaverde (Madrid), que incluye aplicaciones en túnel.

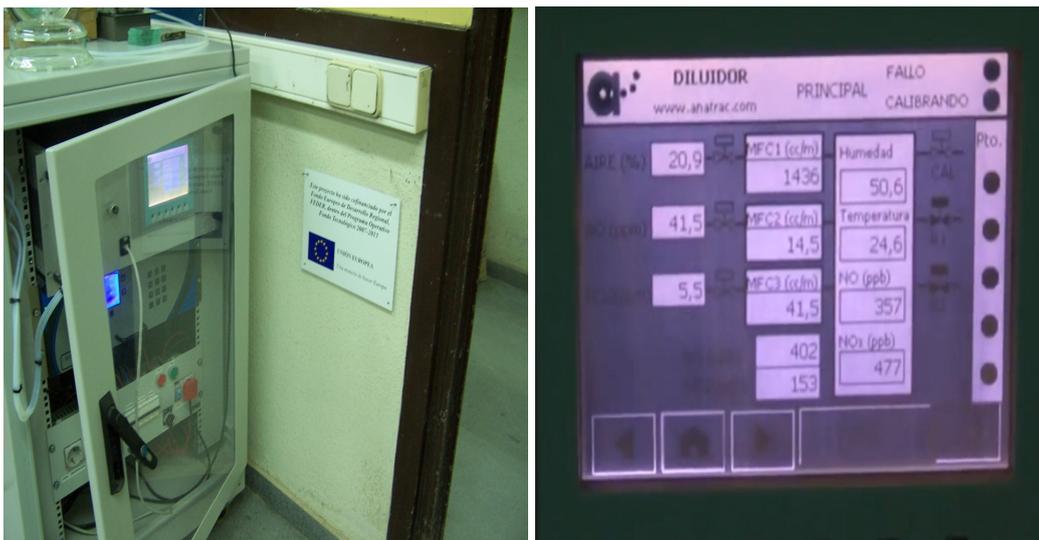


Figura 3: Imagen de prototipo de ensayo finalizado (izda). Detalle de display del diluidor de la mezcla de gases (dcha)

Ensayos de los cuales se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Conclusiones de los ensayos ISO:
 - a) Sólo el 50% de las muestras ensayadas presentan resultados superiores a 0.5 μ moles. Este valor umbral no está normalizado, sin embargo es el valor mínimo que se toma de referencia en Japón, cuna de la fotocatalisis heterogénea, para considerar a un producto como fotocatalítico y ser susceptible de conseguir el correspondiente sello distintivo.

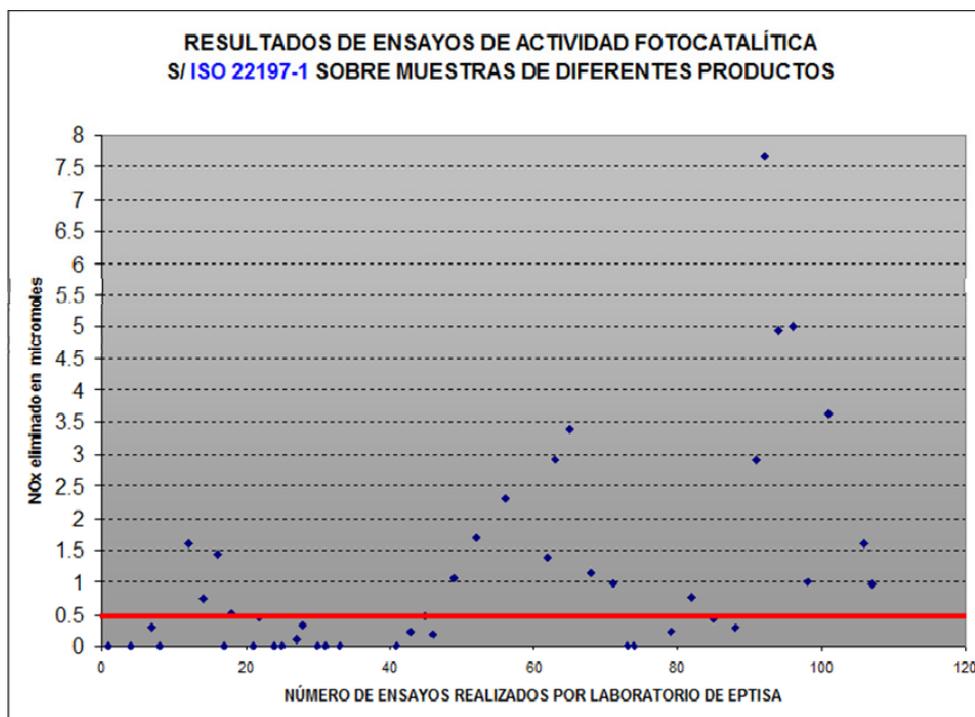


Figura 4: Resultados de ensayos con Norma ISO

- b) Existe mucha heterogeneidad, a nivel de eficiencia fotocatalítica en el mercado:
- c) Se observa una mejoría general de los productos fotocatalíticos presentes en el mercado de un tiempo a esta parte, fruto del interés que están mostrando algunas administraciones públicas.

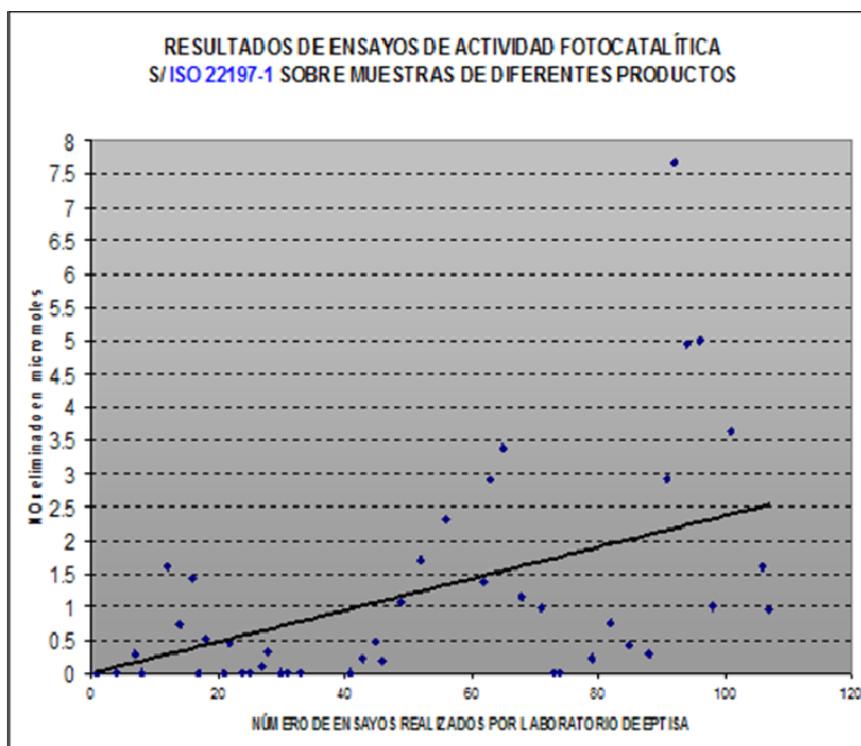


Figura 5: Líneas de tendencia de resultados con Norma ISO. Periodo 2012 a 2013

Conclusiones de los ensayos UNI

- a) Al igual que en el caso anterior, no hay un valor normalizado para caracterizar un producto como fotocatalítico en la normativa italiana. Si bien, en base a las experiencias y a la bibliografía existente podría considerarse como razonable un valor mínimo del 15% de reducción de NOx. Pues bien, en torno al 40% de las muestras ensayadas presentan resultados superiores a 15%, lo cual está el mismo orden de magnitud de las conclusiones establecidas en la Norma ISO.
- b) Se observa una mejoría general de los productos fotocatalíticos presentes en el mercado de un tiempo a esta parte, fruto del interés que están mostrando algunas administraciones públicas.

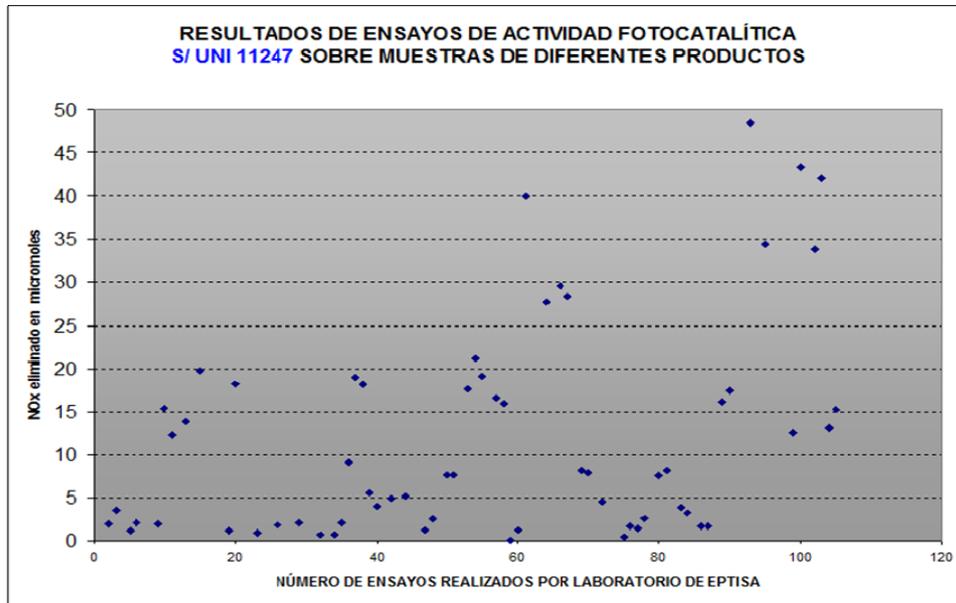


Figura 6: Resultados de ensayos con Norma UNI

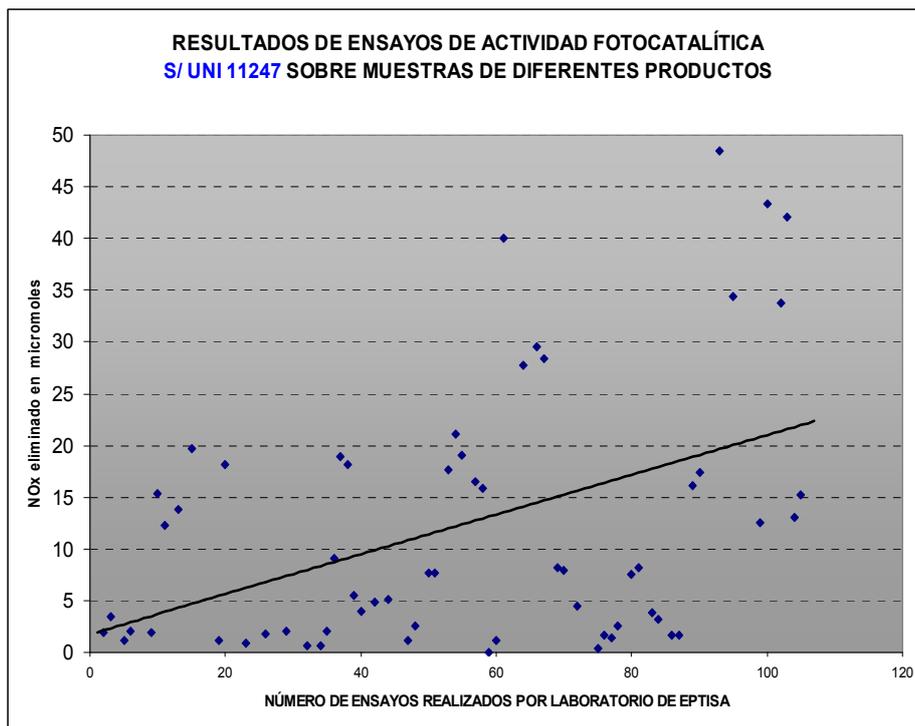


Figura 7: Líneas de tendencia de resultados de ensayos con Norma UNI. Periodo 2012 a 2013

Además con objeto de validar los resultados de los ensayos realizados, se solicitó la colaboración de otros laboratorios externos, como contraste de mediciones.

Para ello, se establecieron dos escenarios de medidas de contraste:

Escenario 1. Ensayos realizados sobre testigos de calzada extraídos “in situ”

Las medidas de actividad fotocatalítica de estos testigos se corresponden con los ensayos 1 y 2 del siguiente cuadro.

N° Ensayo ISO	Eptisa	Resultados en μ moles	
		Laboratorio 1	Laboratorio 2
1	0.22	0.40	0.00
2	0.75	0.55	-
3	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	-

Figura 8: Cuadro resumen de ensayos de contraste

Como se puede observar, los resultados de los laboratorios 1, 2 y Eptisa presentan resultados claramente distintos. Tras analizar con el resto de laboratorio los parámetros intervinientes y los equipos empleados, se llegó a la conclusión de que los resultados tenían una alta dependencia de la franja longitudinal en la que se hubieran tomado los testigos, ya que, como se puede ver en la figura de abajo, se observan 3 zonas claramente diferenciadas, que soportan distinta intensidad de tráfico: La Zona 1, franja longitudinal localizada en las inmediaciones de la línea de separación de sentidos de tráfico, que sólo es solicitada por los usuarios cuando se producen cambios de carril. La Zona 2, que es la zona de rodadas, por donde típicamente circulan los usuarios y la Zona 3, que es la franja longitudinal más exterior, que se sitúa en las inmediaciones de los bordillos de separación de tráfico peatonal y tráfico rodado.

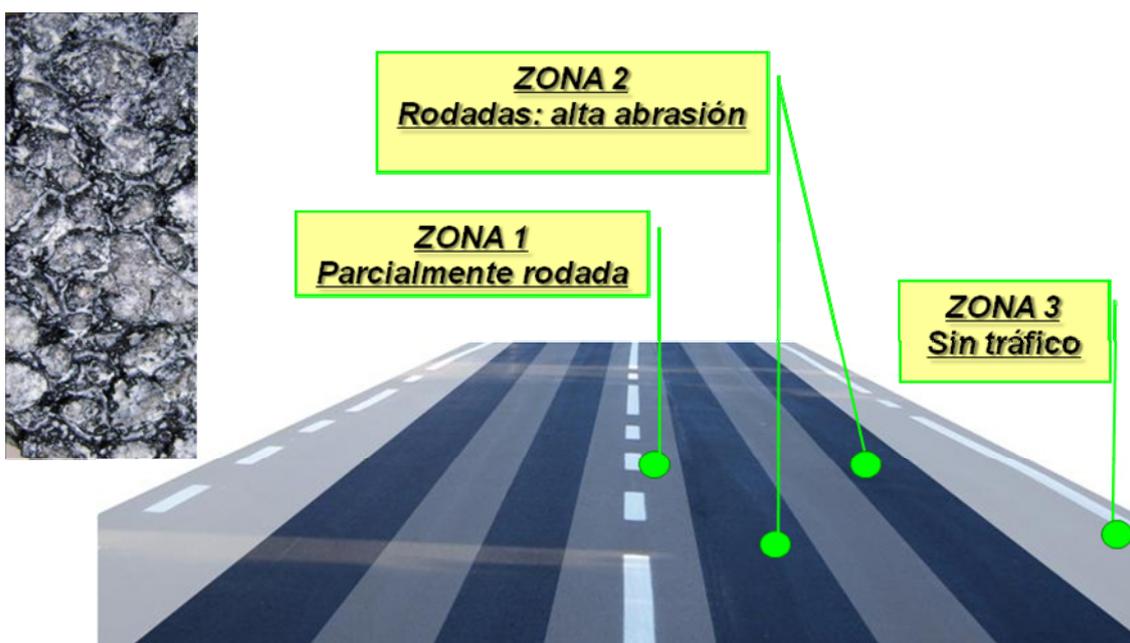


Figura 9: Esquema de zonas de Rodaje según la circulación de tráfico

En definitiva se puede concluir en este escenario que:

- a) Es fundamental informar sobre la zona de extracción de testigos al laboratorio de ensayo de cara a contrastar resultados
- b) Es posible que la aplicación del producto no sea lo homogénea que se deseara, especialmente si no se ha empleado una maquinaria especializada, con control de dosificación, de caudal y de presión.

Escenario 2. Ensayos realizados sobre muestras provenientes de fábrica

Las medidas de actividad fotocatalítica de estas muestras se corresponden con los ensayos 3 y 4 de la Tabla anterior.

En esta ocasión, el factor de incertidumbre de calidad de aplicación o de zona de aplicación, es inexistente, ya que las muestras provenían de fábrica, y por tanto, los resultados de los ensayos fueron idénticos.

3. PROTOCOLO DE ENSAYO IN SITU

El ensayo “in situ” es un sistema de control de la actividad fotocatalítica no normalizado en la actualidad.

Algunas de las grandes ventajas que este sistema de medición tiene sobre las convencionales son las siguientes:

- Evita la toma de muestras “in situ”, de manera que se permite mantener la integridad de la calzada
- Permite obtener un valor instantáneo puntual, en unas determinadas condiciones ambientales, de manera rápida y eficaz
- Permite modelizar la actividad fotocatalítica de una calle genérica completa, acumulando una gran densidad de datos
- Es aconsejable calibrar este ensayo con los protocolos de laboratorio normalizado.

A continuación se detallan las conclusiones alcanzadas en base a los estudios realizados en el desarrollo del proyecto, con objeto de establecer los primeros criterios de diseño del método de ensayo “in situ”. Cabe señalar que la base de estos métodos son los ya mencionados ISO e UNI.

- Definición de las medidas Reactor : 19,8 cm x 11,5 cm x 13,2 cm



Figura 10: Detalle del reactor en el ensayo “in situ”

- Definición de medidas de estanqueidad

Se han realizado numerosas pruebas donde se han observado resultados anómalos debidos a una falta de estanqueidad entre el reactor y la superficie de ensayo, y a la elección de materiales sellantes que desprendían NO₂ durante el ensayo.

Para solucionar estos problemas se han probado numerosos productos de sellado entre el reactor y la superficie de aplicación, hasta obtener un producto adecuado, que no emitiera NO_x.

El procedimiento continuaría colocando una cinta aislante por debajo de los vértices de la base abierta del reactor, para posteriormente posicionar el reactor en la zona de ensayo. A continuación, sellar y aislar externamente los vértices de la base de apoyo.



Figura 11: Detalle de calibración de irradiancia en ensayo “in situ”.

Una vez posicionado el reactor, antes de pasar el aire contaminado por el mismo, es importante asegurarse de que no pasen radiaciones UV por el reactor.

- Caudal de ensayo: 1,6 litros/min
- Irradiancia: La del sol, o, en caso de hacer el ensayo de noche o en días con menos de 5W/m^2 , utilizar la lámpara UV hasta alcanzar una irradiancia de 10W/m^2 en el centro de la zona de ensayo dentro del reactor.
- Concentración de NO: 500 ± 50 ppb
- Concentración de NO₂: 0-50 ppb max.
- Procedimiento. Fase Final:
 - 1) Calibrar caudal y concentraciones NOx
 - 2) Pasar por el reactor y esperar que las concentraciones sean estables por lo menos 10 minutos, con una variación inferior al 5%. Asegurarse que no haya fugas de gas esparciendo con líquido especial los lados de la base de apoyo del reactor.
 - 3) Una vez estabilizadas las concentraciones dentro del reactor, destapar el reactor/ encender la luz y dejar bajo irradiación una media hora, hasta que las concentraciones sean estables con una variación inferior al 5%.
 - 4) Se apaga la luz o se vuelve a tapar el reactor y se pasa solo aire por el reactor hasta que las concentraciones de NOx estén por debajo de 20 ppb.

Finalmente, se calcula el porcentaje de NO y NOx eliminado.



Figura 12: Ejemplo de ensayo “in situ”

4. CONCLUSIONES

El fuerte interés y la creciente demanda del empleo de productos fotocatalíticos descontaminantes aplicados sobre infraestructuras viarias, por parte de las Administraciones Públicas españolas, nos ha llevado a desarrollar y a poner en marcha un equipo muy versátil y fácilmente controlable con un ordenador, que permite evaluar la eficacia de todo tipo de productos fotocatalíticos, y está pensado para ser transportado y hacer ensayos in situ, sin tener que extraer testigos, dando la posibilidad de analizar los mismos puntos a lo largo del tiempo y de esta forma, no solo medir la eficacia fotocatalítica del punto, sino también su variación y su durabilidad.

El prototipo en cuestión es capaz de conectarse a dos reactores y permite hacer ensayos en serie, según las normas existentes ISO y UNI, o bien, creando el protocolo de ensayo que se desee, configurando adecuadamente los parámetros de ensayo.