



## Medidas de control de eficiencia de pavimientos descontaminantes

**Autor:** David Almazán Cruzado

**Institución:** Asociación Ibérica de Fotocatálisis (AIF)

**Otros autores:** Gianni Rovito Scandiffio

## Resumen

Los problemas derivados de los altos grados de contaminación existentes en el aire han cobrado gran interés en los últimos tiempos, especialmente en las grandes ciudades, ya que es donde se dan cita los contaminantes causantes, en muchos casos, de enfermedades del aparato respiratorio y alergias, que pueden generar un grave riesgo para la salud.

Fruto de la necesidad de reducir los niveles de polución en zonas de alta concentración de contaminantes (ciudades con alto tráfico, aeropuertos, aparcamientos subterráneos, túneles...), surgen en los últimos años, principios activos, como el dióxido de Titanio que permiten, mediante procesos de fotocatalización, la reducción de altas concentraciones de NOx, cuando estos se aplican sobre superficies cercanas al foco de contaminación, como las capas de rodadura de las calles urbanas.

En este sentido, la técnica más habitual empleada consiste en la percolación de una lechada descontaminante especial sobre una mezcla bituminosa abierta, aunque en la actualidad se están desarrollando otras tecnologías aplicables sobre cualquier soporte o capa de rodadura, como pueden ser los sprays o los slurries.

Para evaluar el comportamiento de este tipo de pavimentos descontaminantes, es necesario realizar, en primer lugar un exhaustivo control de calidad en origen, y posteriormente, en las fases de puesta en obra y explotación, un control de su eficiencia fotocatalítica, con objeto de verificar su comportamiento a largo plazo, en términos de durabilidad. La ausencia de normativa española en este respecto, está estimulando la necesidad de crear un protocolo consensuado de actuación, que incluye el desarrollo de ensayos de laboratorio y ensayos 'in situ'.

**Palabras claves:** Descontaminante; NOx; Pavimento; Eficiencia; Ensayo; "in situ"

## 1.- PAVIMENTOS FOTOCATALÍTICOS. EL ESTADO DEL ARTE

En el campo de los pavimentos fotocatalíticos, entendiendo como tales aquellos que están destinados exclusivamente al tráfico rodado, se han desarrollado en los últimos años las siguientes tecnologías y aplicaciones:

### **Capas de rodadura, a partir del empleo de mezclas bituminosas drenantes como soporte y percolación de lechadas especiales.**

Esta tipología de pavimentos se lleva a cabo en dos fases. En una primera fase, se coloca una mezcla bituminosa drenante convencional, de unos cuatro centímetros de espesor, con un volumen de huecos comprendido entre el 20 y el 25%.

Posteriormente, y en una segunda fase, se percola sobre ella una lechada especial, a partir de di-óxido de titanio, cemento, agua, carga mineral y fibras, con objeto de rellenar los huecos de la mezcla bituminosa.



**Figura 1.** Percolación de lechada especial sobre la capa de mezcla bituminosa drenante

La presencia de dióxido de titanio en el pavimento, mediante procesos de fotocatalisis, permite reducir las concentraciones de NOx, generadas en mayor medida por la alta intensidad de tráfico de los grandes núcleos urbanos, aunque también contribuye en el aumento de la durabilidad de la capa de rodadura, pues desarrolla una alta capacidad mecánica y una buena resistencia al ataque de productos químicos (lubricantes, carburantes,...) y al envejecimiento del ligante. Además, dado que la superficie resultante es de color gris claro, este tipo de tratamientos permite reducir los efectos de los rayos solares con respecto a una capa de aglomerado convencional, ya que reflejaría en mayor medida estos rayos en vez de absorberlos (Efecto Albedo). Esto hace que el empleo de estas tecnologías en pavimentación sea muy ventajoso tanto en términos de reducción de contaminantes en el aire, como para la reducción de los fenómenos de sobrecalentamiento de los núcleos urbanos.



**Figura 2.** Estado de la superficie de rodadura, tras percolación de la lechada, antes (izda.) y después del granallado (dcha.)

Por otra parte, es posible que mediante el empleo de esta tecnología se pierda cierto grado de textura superficial en el pavimento por efecto de la percolación de la lechada especial. Esta situación deberá ser verificada, mediante la realización de ensayos “in situ” (como el método del círculo de la arena) en fase de construcción, una vez terminado el producto y previamente a su puesta en servicio. Caso de que se verificase una considerable reducción de este parámetro, es recomendable llevar a cabo un granallado sobre la superficie de rodadura final, para mejorar la adherencia neumático-pavimento.

Finalmente cabe señalar que esta técnica es aplicable a capas de rodadura de firmes de carreteras, calles urbanas, túneles, aparcamientos, aeropuertos, puertos y carriles bici, por citar algunos ejemplos.

### **Empleo de *sprays* (pulverizados) sobre superficies de rodadura existentes**

Los pavimentos existentes una vez pulverizados con spray, a partir de compuestos fotocatalíticos, a diferencia de la anterior tecnología, no requieren ninguna modificación en la estructura del firme, con la consiguiente reducción de costes.

Esta tecnología es muy versátil ya que permite la aplicación del producto fotocatalítico directamente en el pavimento existente y/o sobre cualquier otra superficie al margen de la capa de rodadura.

Este tipo de sprays con propiedades fotocatalíticas presentan propiedades de adhesividad con el soporte y de durabilidad para soportar el desgaste debido a las cargas de tráfico y a los fenómenos meteorológicos. Si bien, la durabilidad de estos productos, aunque no es nada despreciable, en ningún caso es comparable a la obtenida mediante la técnica de percolación que presenta una durabilidad superior, tanto en términos de eficiencia fotocatalítica (debido al desgaste del producto por el paso de las cargas de tráfico, y no a la propia eficiencia fotocatalítica durante su periodo de servicio, que en sí misma es similar a la tecnología anterior), como en capacidad mecánica.



**Figura 3.** Ejecución de técnica de pulverización sobre rodadura existente

Algunas aplicaciones recientes en áreas con alta intensidad de tráfico en Europa han demostrado que estos productos pueden ser utilizados con éxito en las áreas urbanas, tales como áreas de estacionamiento (subterráneas o en superficie), túneles, puertos, aeropuertos, carriles bici y calles urbanas.

### **Empleo de emulsiones tipo *slurry* (o revestimientos) sobre superficies de rodadura existentes**

Esta técnica en España se encuentra en fase de desarrollo en la actualidad.

## **2.- ENSAYOS DE CONTROL DE CAPACIDAD FOTOCATALÍTICA**

En la actualidad, en Europa existen tres Normas de ensayos de laboratorio para el análisis de la capacidad fotocatalítica de los materiales, a saber:

- **Norma Francesa: XP B44-011:2009-12-01:** *Photocatalyse – Méthode d’essai pour l’évaluation des matériaux photocatalytiques vis-à-vis de la dégradation des NOx – Méthode à un seul passage en mode tangentiel*
- **Norma Italiana: UNI 11247/2010:** *Determinazione dell’indice di abbattimento fotocatalitico degli ossidi di azoto in aria da parte di materiali inorganici: metodo di prova in flusso continuo*
- **Norma Internacional: ISO 22197-1/2007:** *Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Test method for air-purification performance of semiconducting photocatalytic materials —Part 1: Removal of nitric oxide.*

En España no existe una normativa estatal de ensayo en la actualidad, y por esta razón se está trabajando tanto con la normativa internacional, como con la normativa italiana a la hora de analizar la eficiencia en la reducción de concentraciones de óxidos de nitrógeno.

El laboratorio de un Centro de Investigación estatal, de reconocido prestigio ha realizado un estudio comparativo sobre las diferencias existentes, en cada uno de los tres ensayos, en cuanto a parámetros de ensayo se refiere, obteniendo las siguientes conclusiones:

	ISO 22197-1	UNI 11247	XP B44-011
<b>Q (L/min)</b>	3.0 ± 0.05	1.5 ± 0.075	3
<b>Flujo</b>	Laminar, 0.2 m/s	Turbulento	Laminar
<b>E (W/m<sup>2</sup>)</b>	10 ± 0.5	20 ± 1	15
<b>C<sub>NO</sub> (ppb)</b>	1000 ± 50	400 ± 50	500 ± 20
<b>C<sub>NO2</sub> (ppb)</b>	-	150 ± 50	250 ± 20
<b>T (°C)</b>	25 ± 2.5	20 - 35	25 (15 – 40)
<b>% HR</b>	50		50 ± 5
<b>Duración del ensayo</b>	6 h		Mínimo 30' y C <sub>NOx</sub> estable durante 10'
<b>Tipo de luz</b>	Luz negra o luz negra azul, 300 – 400 nm	Filamento Hg (Osram Vitalux)	UVA, 315 – 380 nm Vis, 380 – 780 nm
<b>Medidas de la muestra (mm<sup>2</sup>)</b>	100x50	64 ± 6 (≤ 20% V)	200x100
<b>Canal de paso del gas (mm<sup>2</sup>)</b>	50x5	-	100x5
<b>Pretratamiento muestra</b>	5h UV ≥ 10 W/m <sup>2</sup> 2h agua desionizada Secado a T < 110 °C	3 días 25 ± 3 °C y 60 ± 10 % HR.	Depende de la muestra (pintura, cemento). Acondicionamiento, 24h a 60°C
<b>Elución muestra</b>	Sí, nitratos y nitritos por cromatografía líquida	-	-

<b>Cantos sellados</b>	Sí, parafilm	Sí, parafilm También, A > 64 cm <sup>2</sup>	Sí, parafilm
<b>Cálculos</b>	NO adsorbido, NO eliminado, NO <sub>2</sub> formado, NO <sub>x</sub> desorbido, NO <sub>x</sub> eliminado neto; N eluído (moles)	$A_c = 100 \times \frac{(C_B - C_L)}{C_B} \times \frac{I_N}{I} \times \frac{S_N}{S}$	[NO] <sub>t=0</sub> ppbv [NO <sub>2</sub> ] <sub>t=0</sub> ppbv [NO] <sub>t</sub> ppbv [NO <sub>2</sub> ] <sub>t</sub> ppbv Disminución (%)
<b>Validez</b>		2 medidas sobre diferentes probetas, diferencia < 10%	

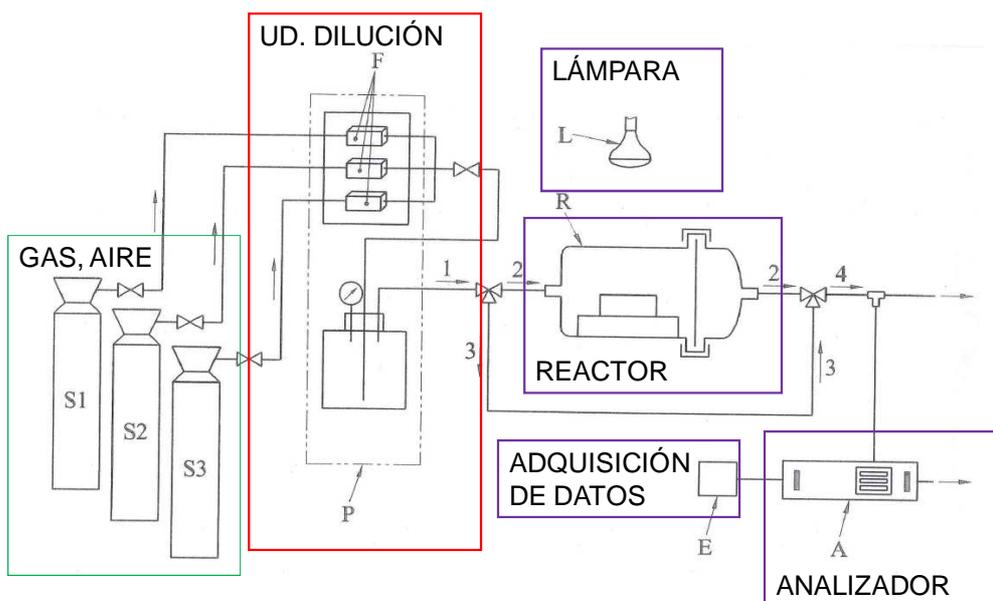
**Figura 4.** Estudio comparativo de Normas de ensayos de eficiencia fotocatalítica

A partir de este estudio comparativo, se ha observado que los resultados de eficiencia fotocatalítica, es decir, las capacidades de reducción de concentraciones de NO<sub>x</sub>, pueden llegar a ser muy distintas, dependiendo de la Norma de ensayo empleada. Por esta razón, en la actualidad, existen varios grupos de trabajo a nivel nacional e internacional (AENOR, CEN, European Federation of Photocatalysis) que están trabajando en este sentido, con objeto de unificar y normalizar este tipo de pruebas.



**Figura 5.** Cámara de ensayo de análisis de actividad fotocatalítica en laboratorio

El esquema típico de equipo de ensayo de laboratorio para analizar la eficiencia de muestras donde se ha incorporado algún producto con actividad fotocatalítica estaría compuesto por las botellas de gas, una unidad de dilución, una lámpara, un reactor, un aparato de adquisición de datos y un analizador de gases, con una disposición como la que se muestra en la figura 6.



**Figura 6.** Esquema típico de ensayo de análisis de actividad fotocatalítica en laboratorio

### 3.- ENSAYOS DE CONTROL DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y EFICIENCIA FOTOCATALÍTICA EN SPRAYS APLICADOS SOBRE RODADURAS

Para comprobar cómo afecta a la resistencia al deslizamiento y a su eficiencia fotocatalítica, la aplicación de un spray con características descontaminantes, sobre una capa de rodadura de tipo AC 16 surf 50/70, se ha realizado un estudio en laboratorio, donde se han verificado estos dos parámetros.

En una primera fase, se han efectuado dos ensayos de control de la resistencia al deslizamiento, según la Norma UNI EN 13036-Parte 1. El primero se realizó sobre la superficie de rodadura sin tratar previamente con spray, y el segundo, se realizó sobre la superficie tratada mediante pulverizado (de spray).

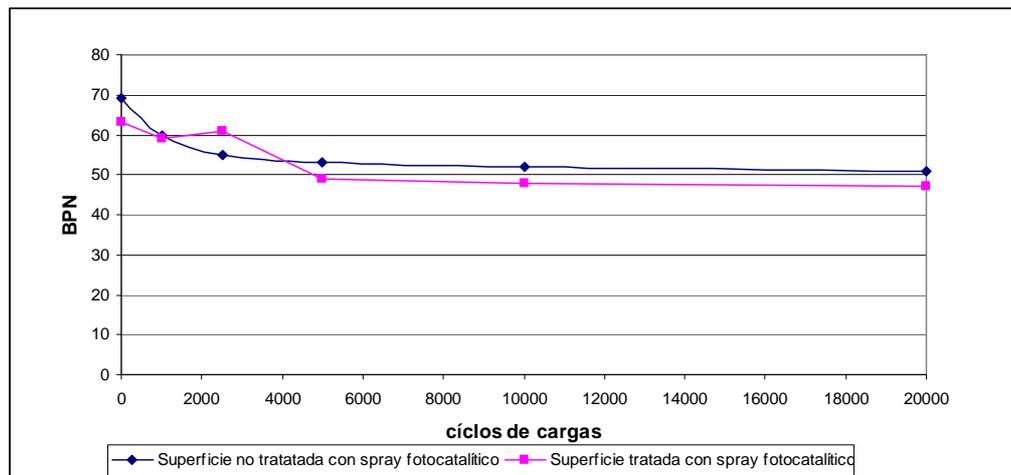
A través de estos ensayos se simula el paso del tráfico, a través de miles de aplicaciones de ciclos de carga.

La capa de rodadura, en cuestión, fue fabricada con las siguientes características:

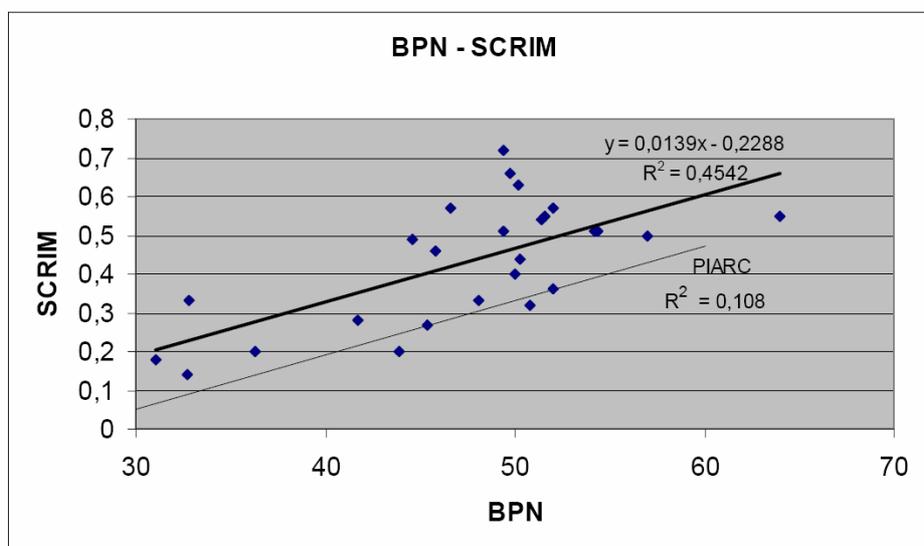
- Porcentaje ponderal de betún sobre áridos, según Norma UNI EN 12697-Parte 1: 5,40%
- Densidad aparente, según Norma UNI EN 1097-Parte 6: 2,67 t/m<sup>3</sup>
- Compactación de probetas según Norma UNI EN 12697-Parte 31
- Estabilidad, según Norma UNI EN 12697-Parte 34: 14,2 KN
- Deformación, según Norma UNI EN 12697-Parte 34: 2,4 mm
- Textura superficial de la superficie de rodadura sin tratar, según Norma UNI EN 12697-Parte 33: 0,41 mm
- Textura superficial de la superficie de rodadura tratada mediante pulverizado (spray), según Norma UNI EN 12697-Parte 33: 0,33 mm

Como se puede observar, la aplicación del spray sobre la superficie de rodadura ha generado una reducción del valor de la textura superficial, con respecto a la misma superficie sin tratar, lo cual entra dentro de previsto, pues la aplicación del pulverizado lleva implícito cierto “espesor milimétrico” de revestimiento superficial.

Los resultados obtenidos de este estudio se presentan a continuación:



**Figura 7.** Ensayo de resistencia al deslizamiento aplicado sobre las superficies de rodadura tratadas y sin tratar.

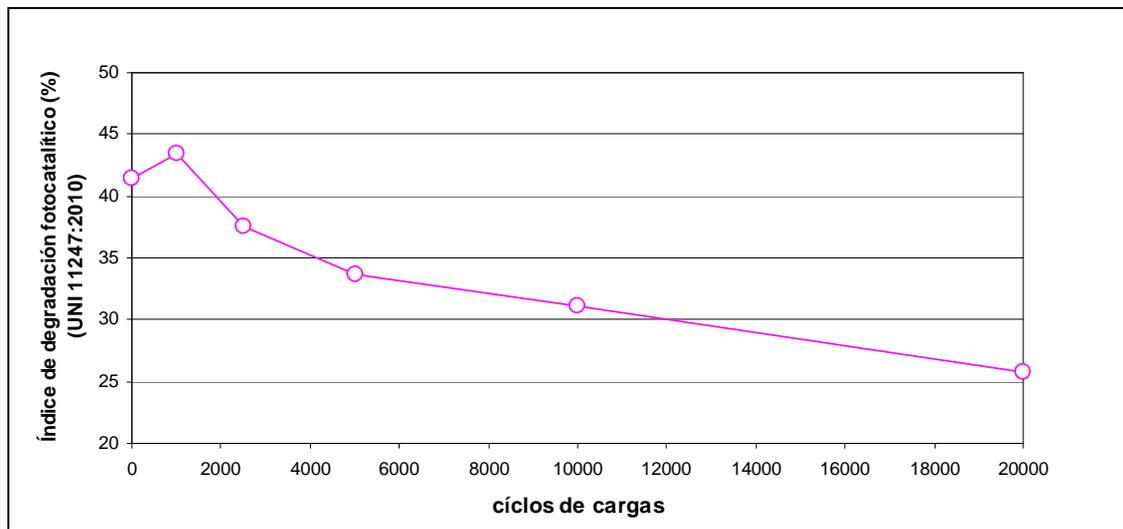


**Figura 8.** Mediciones simultáneas realizadas con péndulo de fricción británico y aparato SCRIM realizadas por Concesionarias Españolas sobre carreteras chilenas con pavimento asfáltico y de hormigón (Línea gruesa). En la línea delgada se muestra la correlación BPN-SCRIM determinada por la PIARC en el Experimento Internacional de Comparación y Armonización de las medidas de resistencia al Deslizamiento y de la Textura (La fiabilidad de esta última correlación es muy reducida a la luz del valor de su error cuadrático).

Posteriormente se llevó a cabo el análisis de la resistencia al deslizamiento, sobre ambas superficies (tratada y sin tratar) mediante el método del péndulo británico, según la Norma UNI EN 12697-Parte 22, a partir del cual se obtiene una curva que relaciona los ciclos de aplicaciones de carga con el número BPN (British Pendulum Number), el cual a su vez está correlacionado con los valores de coeficiente de rozamiento transversal que se obtienen con el aparato SCRIM.

A la luz de estos resultados se puede concluir que la aplicación de sprays descontaminantes (mediante pulverizado) sobre superficies de rodadura convencionales genera, a largo plazo, una reducción en la adherencia entre el neumático y el pavimento, constante e inferior al 9%, que en cualquier caso se sitúa en umbrales aceptables (aunque no existe normativa al respecto, valores de CRT tomados con SCRIM en tramos en fase de explotación, iguales o superiores a 0,35 pueden ser considerados aceptables) para la circulación, especialmente en tramos urbanos, donde las velocidades son reducidas.

En una segunda fase y de cara a evaluar la eficiencia fotocatalítica de este tipo de revestimientos a largo plazo, se realizó un ensayo donde se medía la reducción de concentraciones de NOx, en función del número de aplicaciones de cargas. Es decir, a partir de testigos tomados de la superficie ensayada, sobre la que se ha aplicado el spray, se han realizado ensayos de resistencia al deslizamiento en primera instancia (con péndulo UNI EN 13036), y sobre estas mismas muestras, ensayos de eficiencia fotocatalítica (UNI 11247/2010), hasta completar el gráfico adjunto.



**Figura 9.** Curva de análisis de la resistencia al deslizamiento y eficiencia fotocatalítica de testigos extraídos en rodadura de tramo urbano.

A partir de los resultados obtenidos, se observa una reducción de eficiencia fotocatalítica, con tendencia asintótica, a medida que aumenta el número de ciclos de carga. En el estudio se llegan a alcanzar reducciones de concentración de NO<sub>x</sub> del orden del 43%, que tras la aplicación de 20.000 ciclos de péndulo de fricción se reducirían al 26%. La tendencia descendente de este parámetro está íntimamente relacionada con la curva de desgaste de la Figura 9.

#### 4.- ENSAYOS DE CONTROL DE EFICIENCIA FOTOCATALÍTICA “IN SITU” SOBRE CAPAS DE RODADURA

Con objetivo de determinar el efecto descontaminante de una capa de rodadura, en cualquiera de sus variantes (percolada, pulverizada o slurry), se ha desarrollado un ensayo de medida in-situ.

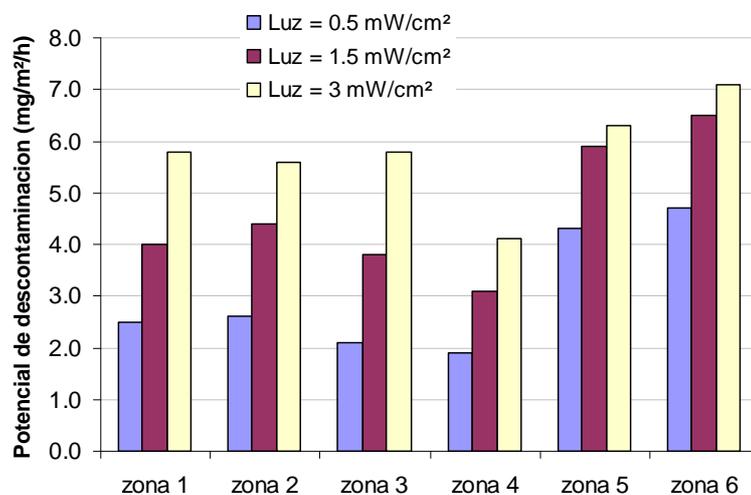
El ensayo, que tiene como base las normas de laboratorio actualmente en vigor, consiste en colocar una cámara hermética sobre la superficie de ensayo, a través de la cual se introduce aire artificialmente contaminado, hasta llegar a una concentración constante tipo, medida en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , que simula la concentración de gases NO<sub>x</sub> típica de una calle urbana.



**Figura 10.** Ensayo “in situ” de determinación de eficiencia fotocatalítica

Una vez que el aire artificialmente contaminado pasa por la cámara, se mide la concentración de  $\text{NO}_2$  a la salida de la misma. El tipo de intensidades y radiaciones lumínicas durante el ensayo están controladas y se hacen variar, con objeto de simular días de luminosidad variable a escala real (nublados-  $0.5 \text{ mw/cm}$  y soleados-  $3 \text{ mw/cm}$ )

A la luz de estos resultados, se puede admitir que la medida de los resultados obtenidos para un día, ni muy soleado, ni muy nublado ( $1.5 \text{ mw/cm}$  de luz), presenta un potencial de descontaminación superior a  $4 \text{ mg/m}^2/\text{hora}$ .



**Figura 11.** Potencial de descontaminación de una capa de rodadura percolada, medido mediante Ensayo "in situ" en seis puntos de la misma, con diferentes intensidades de luz.

Para verificar la evolución del efecto descontaminante de este tipo de superficies a lo largo del tiempo, es deseable repetir el ensayo regularmente cada cierto tiempo, en condiciones similares. En paralelo, es igualmente recomendable realizar determinaciones del coeficiente de rozamiento transversal y/o de la textura superficial en los mismos puntos de ensayo, con objeto de elaborar la curva que relaciona ambos parámetros evolutivos.

## 5.- ENSAYO ESCALA REAL 1:1 – Cámara Euphore – CEAM, Valencia

La Fundación CEAM (Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo) sita en el Parque Tecnológico de Paterna (Valencia) ha realizado un novedoso ensayo, pionero en el sector, a escala 1:1, para la evaluación de la actividad fotocatalítica de materiales.



**Figura 12.** - Cámara EUPHORE, CEAM, Valencia.

Durante seis días, las 24 horas de cada día, se introducen en la cámara monitorizada EUPHORE piezas de muestra con características fotocatalíticas, donde se introduce la misma composición química y cantidad de aire ambiental que existe en una zona representativa, tomada en la ciudad de Valencia.

De ese modo se mide la reducción de concentraciones de NOx por efecto de la aplicación de estos productos.

Cabe señalar que este ensayo a escala 1:1 no está actualmente normalizado.

## 6.- ETIQUETADOS AMBIENTALES DE PRODUCTOS

Se puede definir como etiqueta ecológica o ecoetiqueta a todas aquellas distinciones que se otorgan a productos cuya producción y/o aplicación produce un menor impacto ambiental debido a que cumplen una serie de criterios ecológicos previamente definidos por el análisis de su ciclo de vida.

Bien es cierto que este tipo de distinciones actualmente se encuentran en vías de desarrollo en España, pero sin duda, son un mecanismo de promoción del empleo de productos más respetuosos con el medio ambiente, tanto en fase de fabricación, como de aplicación.

Los criterios de evaluación que actualmente se están estudiando en España son, los consumos energéticos de la fabricación de los productos, su posible valorización o reciclado futuro, el cumplimiento de la legislación ambiental, el ruido de la rodadura y la durabilidad del pavimento.

En este respecto, y aplicado al caso que nos ocupa, es destacable destacar, que en Japón la PIAJ (Photocatalysis Industry Association of Japan) ha implantado un sistema de etiquetados de materiales con propiedades fotocatalíticas, basado en la Norma ISO 22197-1.

Se consideran productos con propiedades fotocatalíticas los que, durante el ensayo con la Norma ISO, reducen las concentraciones de óxido de nitrógeno por encima de 0,50  $\mu\text{mol}$  (JIS R 1701-1).



Figura 13. - Formato de ejemplo de la etiqueta fotocatalítica japonesa.

Se trata, sin duda, de una iniciativa a tener en cuenta de cara al futuro, aplicable tanto a nuestro país como al resto de países europeos.

## 7.- CONCLUSIONES

El empleo de este tipo de tecnologías sobre capas de rodadura de numerosas infraestructuras, tales como, calles, travesías, aparcamientos, túneles o aeropuertos, es un claro ejemplo de solución de alto valor añadido medioambiental en el sector de las obras públicas. Esta tecnología permite colocar un mecanismo descontaminante (productos fotocatalíticos en rodaduras) junto al principal foco de contaminación de las grandes ciudades (los tubos de escape de los vehículos).

Para evaluar el comportamiento de este tipo de pavimentos descontaminantes, es necesario realizar, en primer lugar un exhaustivo control de calidad en origen, y posteriormente, en las fases de puesta en obra y explotación, un control de su eficiencia fotocatalítica (que como se ha demostrado depende de la evolución de la resistencia al desgaste de la capa de rodadura sobre la que se aplica el producto), con objeto de verificar su comportamiento a largo plazo, en términos de durabilidad. La ausencia de normativa española en este respecto, está estimulando la necesidad de crear un protocolo consensuado de actuación, que incluye el desarrollo de ensayos de laboratorio y ensayos “in situ”, así como futuros etiquetados ecológicos, teniendo siempre en cuenta que la valoración de la eficiencia fotocatalítica de los productos se deberá realizar, en paralelo, con medidas de calidad del aire, antes de la aplicación del producto y después (fase de explotación).

En fase de explotación, adicionalmente, se prevén determinaciones de la calidad del aire en zonas cercanas, donde no se ha aplicado el producto, con objeto de comparar las mediciones de concentración de NOx, en las mismas condiciones ambientales y al mismo tiempo, que en las zonas donde se ha aplicado el producto fotocatalítico.

## 8.- BIBLIOGRAFÍA

- XP B44-011:2009-12-01: *Photocatalyse – Méthode d’essai pour l’évaluation des matériaux photocatalytiques vis-à-vis de la dégradation des NOx – Méthode à un seul passage en mode tangentiel*
- UNI 11247/2010: *Determinazione dell’indice di abbattimento fotocatalitico degli ossidi di azoto in aria da parte di materiali inorganici: metodo di prova in flusso continuo*
- ISO 22197-1/2007: *Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Test method for air-purification performance of semiconducting photocatalytic materials —Part 1: Removal of nitric oxide.*
- RD 102/2011, de 28 de Enero, relativo a la mejora de la calidad del aire
- JIS R 1701-1. Photocatalysis Industry Association of Japan
- Ing. Loretta Venturini. Coverlite ® - La Stima della Vita Utile – Strade e Autostrade, n.86 - Marzo/Aprile 2011

- Roco H. V., Fuentes L. C. y Valverde P. S. Evaluación de la resistencia al deslizamiento en pavimentos chilenos
- Achutegui, F., Crespo del Rio, R., Sanchez, B., Sanchez, I. El Experimento Internacional de comparación y armonización de las medidas de la resistencia al deslizamiento y de la textura.
- Revista Rutas N°53, Madrid, Abril, 1996a.
- Achutegui, F., Crespo del Rio, R., Sanchez, B., Sanchez, I. El Índice de Fricción Internacional (IFI). Obtención y aplicaciones. Revista Rutas N°53, Madrid, Abril, 1996b.
- Gaete, R., de Solminihac, H., Echeverría, G. Estudio de la resistencia al deslizamiento en pavimentos asfálticos chilenos. Revista de Ingeniería de Construcción N°4, Departamento de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Marzo 1988.
- Highway Research Board. Skid Resistance, National Cooperative Highway Research N°14, National Research Council, Washington DC, 1972.
- Less, G. Skid resistance of bituminous and concrete surfacing. Developments in Highways Pavement Engineering, Applied Science Publishers, London, 1990.
- Poncino, H. Adherencia Neumático-Pavimento. Conceptos Generales. Estado del Conocimiento. Boletín de la Comisión Permanente del Asfalto N°94, Buenos Aires, Argentina, 2001.
- Salgado, J. y Fuentes, R., Manejo de los aspectos funcionales de los pavimentos. Boletín Técnico LNV N°3, Laboratorio Nacional de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, 1990.
- Baena R, J.M.; Lesueur, D y Rousseau, P. Carreteras descontaminantes: El firme NOXER de Madrid (IV Jornadas Nacionales de ASEFMA 2009)
- Moncunill F., C y Puig G, C. Propuestas para un etiquetado ambiental de las mezclas bituminosas (V Jornadas Nacionales de ASEFMA 2010)

## 9.- AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de ICOPAL, D. Fabien Remaut y D<sup>a</sup>. Anna Wagrowska, por la colaboración prestada en el desarrollo del resumen de este trabajo.

A D. Jaime Vila Gómez, Técnico de Investigación AIDICO, por la colaboración prestada en el desarrollo del apartado 2 de este trabajo.