

PAVIMENTOS DESCONTAMINANTES

David Almazán

Director Firmes y Pavimentos

Eptisa

dalmazan@eptisa.com

Gianni Rovito

Consultor Independiente

gianni.rovito@gmail.com

PAVIMENTOS DESCONTAMINANTES

RESUMEN

Las micro-emulsiones fotocatalíticas son la nueva gama de los tratamientos descontaminantes basados en las propiedades del dióxido de titanio. Su aplicación sobre los pavimentos de calles y carreteras permite reducir la contaminación atmosférica de forma consistente y duradera en el tiempo.

La aplicación de la micro-emulsión se acomoda a la macrotextura de la mezcla bituminosa, permitiendo conservar prácticamente inalteradas las características superficiales de la capa de rodadura, como la adherencia neumático-pavimento, el color y eventuales características específicas, como la capacidad drenante o fonoreductora.

1 ANTECEDENTES

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. El proceso de fotocatalisis y reducción de los NOx se describe en la figura 1.

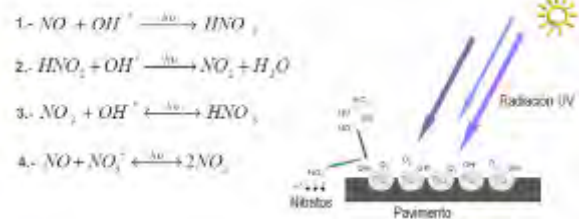


Figura 1. Mecanismo de Reacción y Degradación de los óxidos de nitrógeno en presencia del fotocatalizador TiO_2 .

El dióxido de titanio, aplicado directamente sobre la superficie de calles y aceras de las ciudades más contaminadas, puede, mediante el proceso de fotocatalisis descrito anteriormente, ayudar a reducir las concentraciones de óxidos de nitrógeno presentes en el aire que respiramos, muy a menudo superiores a los valores límites impuestos por ley. 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 incluya el desarrollo de ensayos de laboratorio y ensayos "in situ".

2. 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.
- Empleo de microemulsiones sobre superficies de rodadura existentes

La primera es la técnica más habitual empleada y más conocida, que consiste en la percolación de una lechada descontaminante especial sobre una mezcla bituminosa abierta. 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 dióxido de titanio, cemento, agua, carga mineral y fibras, con objeto de rellenar los huecos de la mezcla bituminosa.



Figura 2. Percolación de lechada especial sobre la capa de mezcla bituminosa drenante

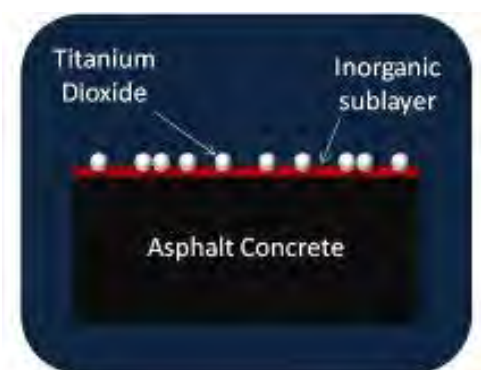
Este artículo se centra en la segunda técnica, la más novedosa, la de los sprays, pulverizados o microemulsiones aplicadas directamente sobre pavimentos (calles o aceras) que en el caso firmes en mezcla bituminosas se pueden aplicar bien "en frío" sobre pavimentos existentes, bien "en caliente" durante la fase de obra.

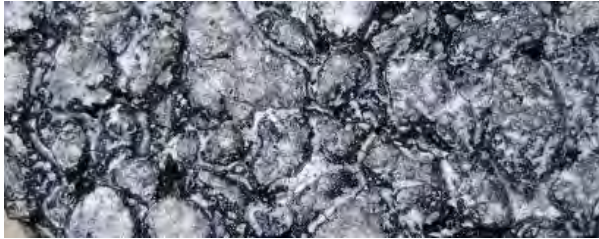
3. EMPLEO DE MICRO-EMULSIONES SOBRE SUPERFICIES DE RODADURA EXISTENTES

Los pavimentos existentes una vez pulverizados con spray (de manera similar a los riegos auxiliares), 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 tipología de la capa de rodadura.

El tratamiento consiste en una base inorgánica a la que se añade el TiO₂ (dióxido de titanio) y luego se pulveriza sobre las superficies, como se puede apreciar en la figura 3.





Figuras 3. Descripción y ejecución de técnica de pulverización sobre rodadura existente y estado final de la misma después de la aplicación.

Este tipo de micro-emulsiones 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.

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.

Ese tratamiento va a trabajar directamente contra la principal fuente de contaminación urbana, es decir las emisiones de los vehículos a motor convencionales "ricas" en NO y NO₂. El monóxido de nitrógeno es una molécula altamente inestable en el aire ya que se oxida rápidamente en presencia de oxígeno convirtiéndose en dióxido de nitrógeno.

Por tanto una importante reducción de NO conlleva una reducción de NO₂, que al final es el indicador de calidad del aire mayormente observado.

En el caso de la ciudad de Madrid, por ejemplo, el límite promedio anual máximo admisible fijado por el Anexo I del RD 102/2011 (40 µg/m³), es superado en muchas de las estaciones fijas de control de calidad del aire, como se puede observar en las siguientes tablas resumen.

ESTACIÓN	TIPO	Media Anual (µg/m ³)	Nº de superaciones del valor límite horario (200 µg/m ³)
Fdez. Ladreda	Tráfico	54	37
Pza. de España	Tráfico	46	7
Esc. Aguirre	Tráfico	43	4
Cuatro Caminos	Tráfico	43	3
Pza. Castilla	Tráfico	42	1
Barrio del Pilar	Tráfico	41	39
Ramón y Cajal	Tráfico	41	29
Pza. del Carmen	FU	41	0
Villaverde	FU	37	13
Castellana	Tráfico	37	10
Urb. Embajada	FU	37	5
Vallecas	FU	35	2
Arturo Soria	FU	34	4
Farolillo	FU	33	0
Sanchinarro	FU	32	8
Moratalaz	Tráfico	32	3
Mendez Alvaro	FU	32	2
Barajas Pueblo	FU	31	2
Tres Olivos	FU	29	0
Retiro	FU	28	0
Ens. Vallecas	FU	26	0
Casa Campo	Sub	20	0
Juan Carlos I	Sub	19	0
El Pardo	Sub	18	0
Media RED		35	0

FU: estaciones de fondo urbano; Sub: estaciones suburbanas. Se indican con fondo negro las superaciones de los valores legales.

ESTACIÓN	TIPO	Media Anual (µg/m ³)	Nº de superaciones del valor límite horario (200 µg/m ³)
Fdez. Ladreda	Tráfico	53	27
Esc. Aguirre	Tráfico	51	36
Pza. Castilla	Tráfico	44	2
Vallecas	FU	43	3
Cuatro Caminos	Tráfico	42	9
Barrio del Pilar	Tráfico	41	45
Castellana	Tráfico	40	5
Pza. del Carmen	FU	40	1
Ramón y Cajal	Tráfico	38	29
Pza. de España	Tráfico	38	0
Villaverde	FU	37	6
Urb. Embajada	FU	37	2
Arturo Soria	FU	36	2
Moratalaz	Tráfico	35	6
Farolillo	FU	33	0
Mendez Alvaro	FU	33	0
Ens. Vallecas	FU	32	24
Sanchinarro	FU	32	18
Barajas Pueblo	FU	31	0
Tres Olivos	FU	29	0
Retiro	FU	24	0
Casa Campo	Sub	20	0
Juan Carlos I	Sub	20	0
El Pardo	Sub	13	0
Media RED		35	0

FU: fondo urbano; Sub: estaciones suburbanas. Se indican con fondo negro los registros que igualan o superan valores límite legales.

Figura 4. Valores medios anuales de NO₂ (µg/m³) y número de superaciones del valor límite horario, medidos en las 24 estaciones fijas de la ciudad de Madrid en el año 2013 Y 2014 (Fuente Ecologistas en Acción)

PAVIMENTOS DESCONTAMINANTES

ZONAS / AGLOMERACIONES	POBLACIÓN	ESTACIONES	NO2 (dióxido de nitrógeno)
			Media anual µg/m3 Normativa y CMS: max=40
ÁREA DE BARCELONA	2.853.995	BADALONA (ASSEMBLEA DE CATALUNYA)	
		BADALONA (GUARDIA URBANA)	
		BADALONA (MONT-ROIG - AUSIAS MARCH)	39
		BARCELONA (CIUTADELLA)	35
		BARCELONA (EL POBLENOU)	40
		BARCELONA (EL PORT VELL)	
		BARCELONA (SRACIA - SANT GERVASI)	54
		BARCELONA (LES GOYA)	
		BARCELONA (LES VERDAGUER)	
		BARCELONA (L'EIXAMPLE)	56
		BARCELONA (PALAU REIAL)	32
		BARCELONA (PARC DE LA VALL D'HEBRON)	27
		BARCELONA (PLAZA UNIVERSITAT)	
		BARCELONA (SANTS)	33
		BARCELONA (ZONA UNIVERSITARIA)	
		CORNELLA DE LLOBREGAT (ALLENDE-BONWEI)	36
		EL PRAT DE LLOBREGAT (AEROPORT)	29
		EL PRAT DE LLOBREGAT (CEM SAGNIER)	35
		EL PRAT DE LLOBREGAT (JARDINS DE LA PAU)	33
		ESPLUGUES DE LLOBREGAT (CEIP ISIDRE MAR)	
		GAVA (PARQUE DEL MI LLENNI)	15
		L'HOSPITALET DE LLOBREGAT (AV. TORRENT G)	33
		MOLINS DE REI (AJUNTAMENT)	
		SANT ADRIÀ DE BESOS (OLÍMPIC)	41
		SANT FELIU DE LLOBREGAT (CEIP MARTÍ I POL)	21
		SANT FELIU DE LLOBREGAT (EUSENI D'ORS)	
		SANT JUST DESVER (CEIP MONTSENY)	
		SANT VICENÇ DELS HORTS (ALABA)	20
		SANT VICENÇ DELS HORTS (CEIP MARE DE DÉ)	
		SANT VICENÇ DELS HORTS (RIBOT - SANT MICH)	34
		SANTA COLOMA DE GRAMENET (BALDOVINA)	37
		SANTA COLOMA DE GRAMENET (AJUNTAMENT VILADECANS (ATRIUM))	19
		MEDIA	33

ZONAS / AGLOMERACIONES	POBLACIÓN	ESTACIONES	NO2 (dióxido de nitrógeno)
			Media anual µg/m3 Normativa y CMS: max=40
VALLÈS - BAIX LLOBREGAT	1.407.310	BARBERA DEL VALLÈS (AJUNTAMENT)	41
		CALDES DE MONTBUI (AJUNTAMENT)	
		CASTELLAR DEL VALLÈS (CAL MASAVEU)	
		CASTELLIBRAL (CEIP MARE DE DÉU DE MONTSERR)	
		EL PARIOL (CENTRE DE DIA JOSEP TARRADELLAS)	
		GRANOLLERS (FRANCESCO MACIÀ)	40
		MARTORELL (CANYAMERES - CLARET)	41
		MOLLET DEL VALLÈS (PISTA D'ATLETISME)	44
		MONTCADA I REIXAC (AJUNTAMENT)	
		MONTCADA I REIXAC (CAN SANT JOAN)	
		MONTCADA I REIXAC (LLUIS COMPANYS)	38
		MONTORNÈS DEL VALLÈS (CEIP MARINADA)	
		PALLEJÀ (MERCAT MUNICIPAL)	
		PALLEJÀ (ROCA DE VILANA)	18
		RUBÍ (CA N'ORIOL)	25
		RUBÍ (L'ESCARDIVOL)	
		SABADELL (GRAN VIA)	48
SABADELL (IES ESCOLA INDUSTRIAL)			
SANT ANDREU DE LA BARÇA (CEIP JOSEP PLA)	43		
SANT CUGAT DEL VALLÈS (PARC DE SANT FRANCIS)	30		
SANTA PERPETUA DE MOGODA (ONZE DE SETENBR)	38		
SENTMENAT (AJUNTAMENT)			
TERRASSA (MINA PÚBLICA D'AIGÜES)			
TERRASSA (PARE ALEGRE)	44		
MEDIA	38		

Figura 5. Valores medios anuales de NO2 (µg/m3) medidos en las estaciones fijas de la ciudad del Área de Barcelona y Vallès-Baix Llobregat en el año 2013 (Fuente Ecologistas en Acción)

4 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN LA APLICACIÓN DE MICRO-EMULSIONES FOTOCATALÍTICAS

En el año 2011, Impresa Bacchi, una empresa constructora de Milán que lleva desde el 2006 experimentando en colaboración con el Politécnico de Milán y aplicando soluciones fotocatalíticas para la disminución de la contaminación atmosférica (propietaria de la microemulsión fotocatalítica Coverlite®), empezó una serie de importantes

aplicaciones seguidas por "medidas in situ", controlando la variación del contenido de los gases contaminantes en la atmósfera.

El producto Coverlite se formula a partir de una emulsión con base acuosa y dióxido de titanio (TiO2) con estructura manométrica que, en función de su formulación (adaptada a cada tipo de superficie de aplicación), penetra en la mezcla bituminosa, permitiendo conservar prácticamente inalteradas las características superficiales de la capa de rodadura, como la adherencia neumático-pavimento, el color y eventuales características específicas, como la capacidad drenante o fonoreductora. Es un producto premezclado y listo para su aplicación que se lleva a cabo mediante una maquinaria específica, igualmente patentada, dotada de un sistema automático de pulverización, cuyo caudal varía en función de la velocidad del camión. La aplicación sobre la rodadura se puede ejecutar mediante dos técnicas:

1. En caliente, sobre rodaduras de nueva ejecución, tras su compactación y previamente a la apertura al tráfico (el producto seca rápidamente). Se aplica durante la fase de extendido de mezcla bituminosa, justo después del extendido y primera compactación de la misma.
2. En frío, sobre pavimentos existentes, respetando los tiempos de secado del producto antes de la nueva puesta en servicio. Es aconsejable realizar la aplicación por la noche, con objeto de evitar afecciones al tráfico y a los usuarios. Antes de la aplicación del producto, es necesario limpiar la superficie de la rodadura (o acera) existente con agua a presión, aire comprimido, barrido,...

Las experiencias que se describen en este artículo son relativas a la segunda técnica de aplicación.

La primera aplicación a gran escala fue ejecutada en el mes de junio del 2011 en la Terminal 1 del Aeropuerto de Malpensa, tanto en la vía de acceso, como en el parking descubierto de la zona de llegadas, por un total de casi 20.000 m² de aplicación.

Para la aplicación se ha utilizado un prototipo patentado que permite regular el flujo y la potencia de la microemulsión y mantener y garantizar la

misma concentración de dióxido de titanio en el producto pulverizado.



Figura 6. Aplicación de micro-emulsión fotocatalítica, mediante el prototipo patentado por "Impresa Bacchi", en la Terminal 1 del Aeropuerto de Malpensa (Milán).

En cuanto al control de la capacidad descontaminante del producto se adoptó el siguiente protocolo de medidas "in situ", a partir de estaciones móviles dotadas de registro continuo de datos:

- 2 estaciones móviles de medida que se instalaron durante 8 semanas (4 semanas antes y 4 después del tratamiento)
- 1 estación móvil que fue instalada en una zona cercana sin tratamiento cercana al pavimento existente y donde los datos recogidos fueron utilizados como valores de referencia;
- 1 estación móvil que fue instalada en la zona donde se aplicó el tratamiento recogiendo datos antes y después del tratamiento fotocatalítico.

Este protocolo de medidas in situ fue avalado y supervisado también por Legambiente (el equivalente italiano de "Ecologistas en Acción" en España), el Ente Italiano independiente para la protección del Medio Ambiente, cuya aportación ha dado valor añadido a este tipo de aplicación.



Figura 7. Estación móvil para la medida instalada en el Aeropuerto de Malpensa (Milán)

La segunda aplicación fue ejecutada en el mes de Octubre 2011 en los alrededores del nuevo Edificio de la Región Lombardía (Milán), sede político-administrativa de la Comunidad de Milán, en las calles y en las aceras, por un total de casi 25.000 m² de superficie.



Figura 8. Aplicación de micro-emulsión fotocatalítica en las aceras del Edificio de la Región Lombardía (Milán)

Esas aplicaciones, monitoreadas in situ como se ha descrito anteriormente, han dado resultados muy positivos:

PAVIMENTOS DESCONTAMINANTES

En el caso del Aeropuerto de Malpensa la reducción de óxidos de nitrógeno ha alcanzado un 9% mientras que en el caso de los alrededores del Edificio de la Región Lombardía ha alcanzado un 7,4% de reducción. Resultados muy prometedores teniendo en cuenta que las distintas épocas del año y las distintas horas de irradiación solar de las dos aplicaciones.

Es lógico pensar que un clima como el de Madrid, por poner un ejemplo, con un mayor número de horas de radiación solar, favorecería aún más esos tipos de aplicaciones y se podrían alcanzar valores superiores de reducción de los óxidos de nitrógeno.

EXPERIENCIAS NACIONALES EN LA APLICACIÓN DE MICRO-EMULSIONES FOTOCATALÍTICAS – DISTRITO DE VILLAVERDE – MADRID

Dentro del Programa Operativo FEDER Madrid 2007-2013 (Iniciativa Urbana), el Ayuntamiento de Madrid adjudicó la primera obra de aplicación de productos fotocatalíticos a gran escala en España, sobre una superficie total de unos 21000 m² en el distrito de Villaverde (Proyecto de innovación y desarrollo tecnológico en materia de fotocatalisis para la descontaminación del aire ambiente: aplicación de pavimentos y revestimientos sostenibles para la descontaminación del aire mediante la eliminación de óxidos de nitrógeno en el Distrito de Villaverde).

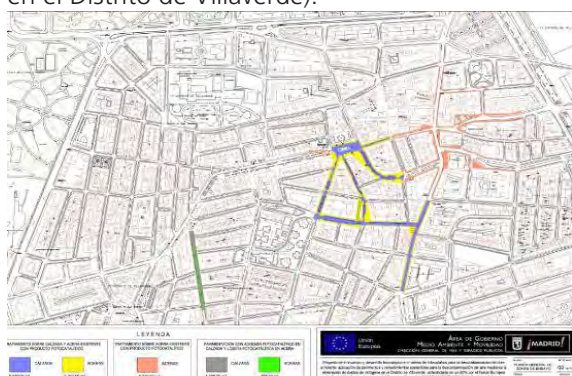


Figura 9. Distrito de Villaverde – áreas de aplicación de los productos fotocatalíticos.

La empresa adjudicataria de esta obra fue ALVAC SA, que, en colaboración con Impresa Bacchi srl, realizó la obra en el noviembre del 2014, con la aplicación del revestimiento superficial

fotocatalítico sobre los pavimentos de aceras y calzadas.



Figura 10. Aplicación de micro-emulsión fotocatalítica en la calle Doctor Martín Arévalo



Figura 11. Aplicación de micro-emulsión fotocatalítica en la Avenida de Espinela

De las imágenes se puede apreciar la aplicación del revestimiento fotocatalítico sobre distintos tipos de "soporte": mezcla bituminosa, adoquines y losas de hormigón y piedra natural.

El Ayuntamiento de Madrid está llevando a cabo la evaluación de la incidencia de estas aplicaciones en la calidad del aire ambiente mediante:

- Campañas de medición de dióxido de nitrógeno con captadores pasivos tipo tubo.
- Monitorización en continuo de óxidos de nitrógeno y ozono, según método de referencia, y de variables meteorológicas y de radiación UV-A.
- Red experimental inalámbrica de sensores de gases basados en la tecnología metal-óxido o electroquímica.
- Medida del tráfico.



Figura 12. Analizador automático en continuo para la determinación en el aire ambiente de óxidos de nitrógeno (NO, NO₂, NO_x) y de ozono (O₃) puesto en la plaza de Ágata.

5. ENSAYOS DE CONTROL DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y EFICIENCIA FOTOCATALÍTICA SOBRE MICRO-EMULSIONES APLICADAS SOBRE RODADURAS – IMPACTO SOBRE LA SEGURIDAD VIAL.

Para comprobar cómo afecta a la resistencia al deslizamiento y a su eficiencia fotocatalítica, la aplicación de una micro-emulsión 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.

Como se puede observar, la aplicación de la microemulsión fotocatalítica 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.

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).

Los resultados obtenidos de este estudio se presentan en la figura a continuación:

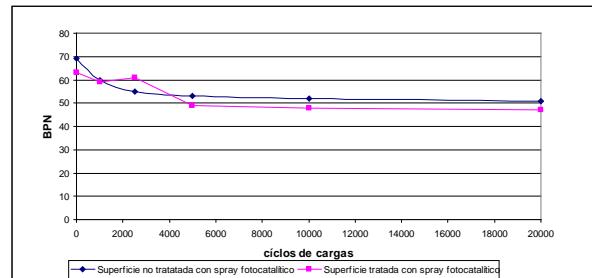


Figura 13. Ensayo de resistencia al deslizamiento aplicado sobre las superficies de rodadura tratadas y sin tratar.

A la luz de estos resultados se puede concluir que la aplicación de micro-emulsiones descontaminantes (mediante pulverizado) sobre superficies de rodadura convencionales genera, a largo plazo, una ligera reducción en la adherencia entre el neumático y el pavimento.

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 NO_x, 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.

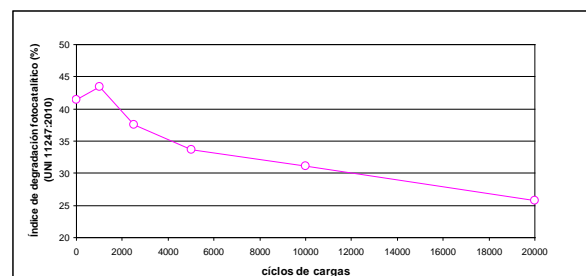


Figura 14. Curva de análisis de la resistencia al deslizamiento y eficiencia fotocatalítica de testigos extraídos de rodadura de tramo urbano.

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 NOx 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 14.

CONCLUSIONES

El empleo de este tipo de tecnología sobre capas de rodadura de numerosas infraestructuras, tales como, calles, travесías, 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) con la gran ventaja de ser una tecnología de aplicación rápida que permite conservar la capa de rodadura existente.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en Milán, esperando resultados mejores en un clima con más horas de sol e irradiación, se pueden considerar reducciones de los NOx superiores al 10%. Esta aplicación, junto a otras medidas más enfocadas hacia una disminución progresiva del tráfico vehicular en zonas urbanas, el uso de otras formas de transporte privado, vehículos eléctricos, bicicletas etc., pueden llevar a una mejora considerable de la calidad del aire de las ciudades.

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.

Hay que trabajar sobre la durabilidad de estos productos y posiblemente llegar a acuerdos o concesiones donde se habilita a concesionarios de la calidad del aire que garanticen que su producto funcione en un periodo de tiempo fijado por contrato.

BIBLIOGRAFÍA

- RD 102/2011, de 28 de Enero, relativo a la mejora de la calidad del aire
- 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
- Ing. Loretta Venturini. Coverlite® - La Stima della Vita Utile – Strade e Autostrade, n.86 - Marzo/Aprile 2011
- Documentaciones técnicas – www.coverlite.es
- 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 Nº53, Madrid, Abril, 1996a.
- Achutegui, F., Crespo del Rio, R., Sanchez, B., Sanchez, I. El Índice de Fricción Internacional (IFI). Obtención y aplicaciones. Revista Rutas Nº53, Madrid, Abril, 1996b.
- Ecologistas en Acción - La calidad del aire en la ciudad de Madrid en 2013 y en 2014 – La

- calidad del aire en el Estado español durante 2013
- Dirección General de Calidad, Control y Evaluación Ambiental del Ayto de Madrid – Calidad del Aire Madrid 2010.
 - Expedientes adjudicados en el perfil de contratante del Ayto de Madrid. <http://www.madrid.es/>
 - 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)
 - El Proyecto Fénix: Nanomateriales. www.proyectozenix.es