

Algunas prácticas asociadas con el desarrollo sostenible en pavimentos

Some practices associated with sustainable pavement development

SANDRA CAMPAGNOLI MARTÍNEZ

Ingeniera civil, profesora titular y miembro del Consejo Directivo de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

sandra.campagnoli@escuelaing.edu.co

Recibido: 02/03/2012 Aceptado: 05/04/2012

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

La creciente demanda de una infraestructura vial con adecuada capacidad y funcionalidad, sumada a la imperiosa necesidad de conservar los recursos naturales, reducir el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), han puesto el concepto de sostenibilidad en el orden del día de la ingeniería de pavimentos.

El empleo de pavimentos asfálticos recuperados, de subproductos industriales y de materiales reciclados, el desarrollo de mezclas asfálticas tibias, los pavimentos perpetuos, los pavimentos porosos y los pavimentos silenciosos, son algunos ejemplos de las prácticas asociadas con el desarrollo sostenible en la construcción, conservación y rehabilitación de estructuras de pavimento que se describen de manera somera en este artículo, indicando algunos de sus beneficios y limitaciones.

Palabras claves: sostenibilidad, pavimentos, mezclas asfálticas, reciclaje.

Abstract

The growing demand for road infrastructure with adequate capacity and functionality, in addition to the need for preserving the natural resources, reduce energy consumption and greenhouse gas emissions, has put the concept of sustainability on the agenda of pavement engineering.

Some examples of practices associated with sustainable development in the construction, maintenance and rehabilitation of pavement structures include the use of reclaimed asphalt pavements, industrial by-products and recycled materials, the development of Warm Mix Asphalt, perpetual pavements, porous pavements and quiet pavements. This article describes briefly these practices, highlighting some of their benefits and limitations.

Keywords: sustainability, pavements, asphalt mix, recycling.

“Nosotros no hemos heredado la tierra de nuestros ancestros, la hemos tomado prestada de nuestros hijos”.

Antoine de Saint-Exupéry

INTRODUCCIÓN

A medida que se ha venido dando el debate de las causas del calentamiento global y del cambio climático, el término *sostenible*¹ se ha convertido en una expresión cotidiana en la concepción y en el desarrollo de proyectos de ingeniería, particularmente en ingeniería de pavimentos.

Existen muchas definiciones de sostenibilidad y, en pavimentos, la definición más popular hace referencia a que un pavimento sostenible es aquel en el que se minimizan los impactos ambientales, por medio de la reducción en el consumo de energía, en el uso de recursos naturales y en las emisiones, mientras cumple con todas las condiciones y estándares de desempeño. Un pavimento sostenible es un pavimento seguro, eficiente y respetuoso del ambiente, que satisface las necesidades actuales del transporte, sin poner en peligro la capacidad para cumplir con tales requerimientos en el futuro (Brundtland Commission).

La anterior definición de un pavimento sostenible tiene un claro enfoque: minimizar los impactos negativos ambientales, económicos y sociales que se generan durante todo el ciclo de vida del pavimento, el cual comprende desde la extracción y el procesamiento de las materias primas (crudos de petróleo, minerales, etc.), la manufactura de materiales tales como el cemento, el concreto o el asfalto para su construcción, su transporte y disposición en el sitio del proyecto, la construcción, la operación o fase de servicio, y los trabajos de mantenimiento hasta el final de la vida de servicio. En la práctica, se puede decir que la mayoría de los pavimentos no tienen un término, ya que normalmente son reconstruidos para continuar en operación.

En cada una de las fases del ciclo de vida de un pavimento se presentan diferentes niveles de consumo de recursos naturales y de energía, de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (*Greenhouse Gases*, GHG), de afectación o contaminación del aire y de

fuentes de agua o de los suelos, de impactos sobre la salud, la seguridad y el confort de los usuarios de la carretera, entendiéndose como usuarios no sólo aquellos que transitan directamente sobre ésta, sino también los que habitan en su vecindad. En las últimas décadas se han hecho considerables esfuerzos para optimizar, reducir, limitar o mejorar los aspectos anteriores, según sea el caso; por ejemplo, optimizar el consumo de los recursos naturales y de energía, reducir las emisiones de GEI, limitar la contaminación o mejorar la seguridad y el confort de los usuarios, para lograr así la esencia de un pavimento sostenible.

En general, en algunos países, el Estado, la industria asociada a las carreteras, los centros de investigación y las universidades han puesto especial énfasis en la investigación y en el desarrollo de materiales, de tecnologías y de procesos para la construcción sostenible de pavimentos, que incluyen la evaluación de técnicas de estabilización de suelos para el aprovechamiento de materiales locales, el empleo de materiales reciclados y de subproductos industriales, el estudio y la aplicación de mezclas asfálticas tibias, el *rubbilizing* y el reciclaje con asfalto espumado, por mencionar algunos. Igualmente, con enfoque sostenible, se han elaborado metodologías de diseño y construcción de estructuras de pavimento, procurando que éstas sean más durables y funcionales, entre las que cabe mencionar los pavimentos perpetuos, porosos o drenantes, y los silenciosos.

Algunos de los materiales, tecnologías y procesos asociados con la sostenibilidad en pavimentos, junto con la configuración de estructuras de pavimento relacionadas también con este aspecto, resultan novedosos en el medio colombiano, por lo que la intención de este artículo es presentar una visión somera de algunos de ellos, mostrando las oportunidades y herramientas con las que los ingenieros de carreteras cuentan hoy en día para realizar prácticas denominadas sostenibles.

MATERIALES

Pavimentos asfálticos recuperados (RAP)

Autopistas, calles, caminos de acceso, pistas aéreas, parqueaderos, protecciones portuarias, revestimientos de canales, vías peatonales y ciclovías, canchas deportivas, entre otra infraestructura, tienen por superficie capas asfálticas, las cuales son el resultado de la mezcla, de 95% de agregado mineral con 5% de cemento asfáltico,

1. “Dicho de un proceso: Que puede mantenerse por sí mismo”. *Diccionario de la lengua española*, 22.ª ed. Madrid: Real Academia Española.

aproximadamente. Ambos productos son considerados recursos no renovables.

Europa y Norteamérica tienen, de lejos, las redes de carreteras pavimentadas más extensas del mundo. Se estima que más del 90% de la longitud total de carreteras en el Antiguo Continente y en Estados Unidos (5,2 millones de km y 4 millones de km, respectivamente) se encuentra pavimentado con mezclas asfálticas. La situación con respecto a la frecuencia del tipo de superficie de las carreteras pavimentadas es muy similar en los demás países.

En 2007, último año del cual se dispone de estadísticas, se produjeron aproximadamente 1600 millones de toneladas de mezcla asfáltica en el planeta, con la distribución que se muestra en la figura 1 (1). Las cifras anteriores hablan por sí solas de la magnitud de la industria de las mezclas asfálticas.

A medida que la infraestructura vial se envejece y se deteriora, se requiere invertir en más materiales; agregados, asfaltos y mezclas asfálticas para su mantenimiento, su rehabilitación o reconstrucción. De acuerdo con la política de materiales reciclados de la Federal Highway Administration (FHWA) de los Estados Unidos, los mismos materiales usados en la construcción de la carretera se pueden reutilizar para su reparación o para la construcción de otras carreteras. Es así como las mezclas asfálticas que se retiran normalmente de los pavimentos deteriorados se han convertido, una vez procesadas, en el material de mayor volumen de reciclaje.

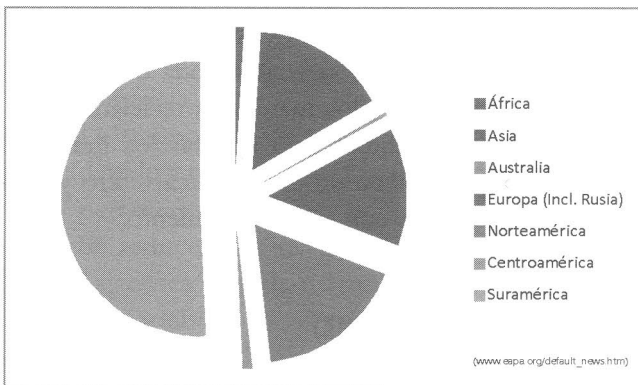


Figura 1. Producción mundial estimada en el 2007, en millones de toneladas de mezcla asfáltica (1).

Los pavimentos asfálticos recuperados, conocidos como RAP por su sigla en inglés (*Reclaimed Asphalt Pavements*), son una manera eficiente de reducir la demanda

de agregados vírgenes y de asfalto, productos que normalmente son escasos en muchas regiones y, como ya se mencionó, considerados recursos no renovables. Se estima que 30.000 toneladas de RAP son equivalentes a 70 carrotanques de 6.000 galones de asfalto y a un poco más de 28.000 toneladas de agregado. El empleo de RAP permite eliminar los costos de transporte para su disposición en botaderos o rellenos, reduce los costos de explotación y procesamiento de materiales para la elaboración de mezclas asfálticas o para la construcción de bases o subbases, e incluye el beneficio de poderlo almacenar en una planta central para su aplicación posterior (fotografía 1).



Fotografía 1. Centro de acopio de RAP, Instituto de Desarrollo Urbano.

Muchas agencias viales del mundo están promoviendo el empleo de RAP en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente (*Hot Mix Asphalt*, HMA). Según la National Asphalt Pavement Association (NAPA) (2), en Estados Unidos aproximadamente 100 millones de toneladas de pavimentos deteriorados se recuperan cada año, de los cuales unos 60 millones de toneladas se utilizan en la fabricación de mezclas asfálticas nuevas y las restantes en otras aplicaciones relacionadas con las carreteras, como la construcción de bases o de subbases granulares, de bases estabilizadas, o como material para terraplén o de relleno.

Algunos aspectos que han limitado el uso extensivo de RAP en la fabricación de mezclas asfálticas están asociados con la falta de calidad y de homogeneidad del producto, con la ausencia de procedimientos estandarizados para el diseño de las mezclas, así como con el desconocimiento sobre la durabilidad y sobre el comportamiento de las mezclas con RAP. Sin embargo, a través del programa de evaluación de desempeño

de pavimentos a largo plazo (*Long Term Pavement Performance, LTPP*), realizado en los Estados Unidos, se ha determinado que los pavimentos construidos con mezclas asfálticas que contienen hasta un 30% de RAP han mostrado un desempeño similar al de pavimentos con mezclas asfálticas elaboradas en su totalidad con agregados vírgenes. El porcentaje de RAP empleado en la fabricación de mezclas asfálticas normalmente también se ha restringido debido a limitaciones en las especificaciones, a la falta de procesamiento o de disponibilidad de RAP y, en algunos casos, a los no muy favorables resultados de experiencias anteriores.

Subproductos industriales y materiales reciclados

En varios países, además de tratar de aprovechar racionalmente los recursos naturales locales, se tienen en la actualidad políticas y acuerdos específicos que regulan el uso de subproductos industriales y de materiales reciclados, como materiales para la construcción de carreteras. En las últimas décadas se ha apreciado un fuerte desarrollo a este respecto.

A medida que los agregados vírgenes se hacen más escasos y el volumen de los residuos y de los subproductos industriales generados por la sociedad, junto con los costos para su disposición, continúan en aumento, muchos gobiernos están ejerciendo una mayor presión y ofreciendo incentivos para recuperar y reciclar diferentes residuos y subproductos industriales, para usarlos en las carreteras, donde se requieren grandes volúmenes de materiales para su construcción y mejoramiento.

Entre los subproductos industriales y materiales reciclados de mayor uso en carreteras, además del RAP ya mencionado, se destacan las escorias de alto horno, las cenizas volantes de carbón, los residuos de procesamiento de minerales, los hormigones o concretos de cemento pórtland reciclados, los desechos de llantas o polvo de neumáticos y los residuos de vidrio, las lozas cerámicas y las tejas asfálticas, por mencionar algunos. Las aplicaciones para la construcción de carreteras abarcan desde terraplenes o rellenos y capas de base o de subbase, hasta la fabricación de concretos asfálticos o de concretos hidráulicos.

Por ejemplo, el vidrio es un material que se puede reciclar varias veces sin que pierda sus propiedades originales, siendo un agregado ideal en pavimentos. Los fragmentos de concreto resultantes de la demolición de

aceras, de canales o de las mismas losas del pavimento también se han empleado en remplazo de agregados vírgenes en varias aplicaciones, y se están haciendo investigaciones para su utilización en la elaboración de mezclas de concreto hidráulico.

De particular relevancia se ha convertido el uso de llantas de desecho en pavimentos, teniendo en cuenta los volúmenes que se disponen cada año a nivel mundial. Tan sólo en Estados Unidos y en Canadá se desechan 300 millones de llantas cada año, aproximadamente una llanta por persona, lo que representa un problema significativo para su disposición (3, 4).

El polvo de neumático, incorporado en la elaboración de mezclas asfálticas, bien sea en un proceso en húmedo donde se mezcla a altas temperaturas con el asfalto y parcialmente reacciona con éste para modificar sus propiedades (denominado asfalto - caucho), o en un proceso en seco, donde se incorpora como un agregado antes de añadir el asfalto, ha demostrado algunos beneficios, como la disminución de la susceptibilidad térmica de las mezclas y de la probabilidad de que presenten fatiga o ahuellamiento, cuando el proceso se realiza en húmedo. Algunas aplicaciones específicas del asfalto - caucho son el sellado de juntas y grietas, los tratamientos superficiales y las denominadas membranas de absorción de esfuerzos (*Stress Absorbing Membrane, SAM*), o las membranas intercapa para absorción de esfuerzos (*Stress Absorbing Membrane Interlayer, SAMI*), así como las mezclas asfálticas en caliente de gradación discontinua y las de gradación abierta o mezclas asfálticas porosas, que se tratarán someramente más adelante.

En la gran mayoría de los casos, las principales limitantes para la aplicación generalizada de los subproductos industriales y los materiales reciclados son su limitada disponibilidad para aportar los grandes volúmenes requeridos en un proyecto carretero y los altos costos asociados con su procesamiento.

Mezclas asfálticas tibias (WMA)

Las mezclas asfálticas tibias (*Warm Mix Asphalt, WMA*) nacieron formalmente en Europa a finales de la década de los noventa, en respuesta a exigencias de tipo ambiental, energético y económico, teniendo desarrollos importantes en Noruega, Alemania, Bélgica y Francia, aunque se sabe de experiencias exitosas realizadas en Australia y Suráfrica, en años anteriores.

La premisa básica que encierra la tecnología de las WMA es lograr reducir la viscosidad del asfalto durante la producción de la mezcla, de modo que pueda ocurrir un cubrimiento completo de los agregados por el cemento asfáltico a una menor temperatura. WMA es un término genérico utilizado para describir una gran variedad de tecnologías que permiten a los productores de HMA reducir las temperaturas a las cuales se mezclan los materiales —agregados pétreos y asfalto— y se colocan en la carretera. Las reducciones de temperatura con respecto a las HMA varían, aproximadamente, entre 17 y 55 °C, dependiendo de la tecnología usada. En la figura 2 se presentan, de manera resumida, algunas categorías de WMA, junto con los principales nombres comerciales con que se conocen las técnicas y los aditivos.

Algunas ventajas que presentan las WMA, asociadas con la reducción de la temperatura en el proceso de mezcla y colocación, son las siguientes:

- Durante la producción y la aplicación, las emisiones de CO₂, SO₂, polvo, olores, entre otras, se reducen en forma significativa (aproximadamente en un 30 a 90%, dependiendo de la tecnología).
- El consumo de combustible y de energía se reduce en un orden del 30% y, por lo tanto, bajan los costos de fabricación.
- Se reduce el envejecimiento del cemento asfáltico y posiblemente se mejora la resistencia al agrietamiento.
- Se genera menor desgaste de la planta de fabricación.
- Permiten mayores distancias de acarreo en razón de que se reduce la velocidad de enfriamiento de la mezcla.
- La temporada de pavimentación se extiende, debido a que es posible realizar la mezcla a temperaturas más frías.
- Se reducen los riesgos de salud para los trabajadores y se da un ambiente de trabajo más confortable.

Otras ventajas asociadas a la técnica de las WMA incluyen:

- Se trabajan los mismos protocolos usados para el diseño de HMA.
- Presentan menor adherencia a los equipos de extendido y compactación.

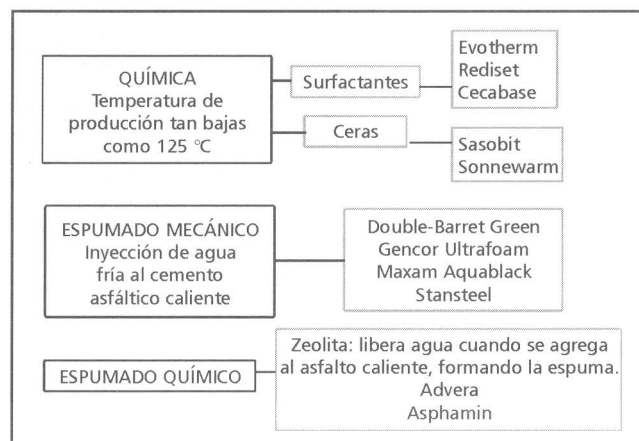


Figura 2. Categorías usuales, algunas técnicas y aditivos de las WMA.

- Se tiene la posibilidad de incluir una mayor cantidad de material de reciclaje (RAP).
- Se mejora la compactación de mezclas rígidas.
- Se pueden extender en espesores más gruesos y abrir la capa al tránsito en un periodo más corto.

TECNOLOGÍAS DE PAVIMENTO

Pavimentos asfálticos perpetuos o pavimentos de larga vida

Los pavimentos asfálticos perpetuos corresponden a un concepto introducido formalmente en el año 2000 por la Asphalt Pavement Alliance (APA), organización que los definió como pavimentos asfálticos diseñados y construidos para durar más de 50 años, sin requerir una rehabilitación estructural o una reconstrucción, necesitando únicamente una renovación periódica de su superficie, atendiendo las fallas confinadas exclusivamente a la parte superior del pavimento.

El concepto de los pavimentos perpetuos se ha derivado de los pavimentos de espesor pleno en concreto asfáltico (*Full Depth*) y de los pavimentos asfálticos de resistencia profunda (*Deep - Strength*) (figura 3), construidos desde los años sesenta en los Estados Unidos. La premisa básica del diseño de estas estructuras es que se pueden evitar las fallas estructurales con origen profundo si se mantienen los esfuerzos, las deformaciones y las deflexiones por debajo de los umbrales donde las fallas comienzan a ocurrir. En otras palabras, fallas tales como fisuración y deformaciones plásticas o ahuecamiento se confinan a la superficie de la estructura del pavimento (fotografías 2 y 3), por lo que solamente la

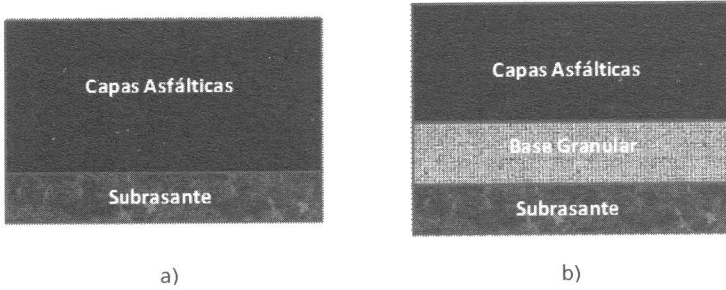
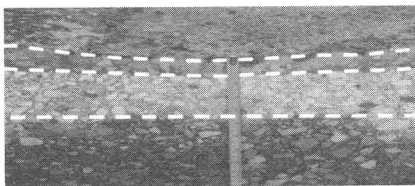


Figura 3. a) Estructura con espesor pleno en concreto asfáltico. b) Estructura de un pavimento con resistencia profunda.



Fotografía 2. Fisuración de arriba hacia abajo (5).



Fotografía 3. Ahuellamiento no estructural (5).

superficie requiere una renovación periódica, mientras que el grueso de la estructura permanece intacto.

Entre las principales ventajas que presentan los pavimentos perpetuos se encuentran las siguientes:

- Menores costos del ciclo de vida, ya que se evitan las reparaciones profundas o la reconstrucción del pavimento, haciendo un mejor uso de los recursos, con un menor costo incremental para la renovación de la superficie.
- Reducción de las demoras causadas a los usuarios, debido a que las operaciones de rehabilitación

son de menor magnitud, con el consecuente menor tiempo en su ejecución.

- Bajo impacto ambiental por la reducción de la cantidad de materiales requeridos en la vida del pavimento, pudiéndose reciclar el material retirado.

Los pavimentos perpetuos no son una utopía. Desde la introducción del concepto en el año 2000, la APA ha otorgado 69 premios a diferentes carreteras en Estados Unidos que cumplen con este criterio. En la fotografía 4 se muestran algunos ejemplos de las carreteras que recibieron este galardón en el año 2009.

En Europa también se han efectuado investigaciones alrededor de las metodologías de diseño, materiales, procesos constructivos y estrategias de mantenimiento para lograr pavimentos más durables o pavimentos de larga vida, que requieran reparaciones y rehabilitaciones menos frecuentes, y que sean seguros, generen menos ruido y colaboren con la mitigación de las congestiones.

Pavimentos permeables, porosos o drenantes

De manera general, los pavimentos permeables, porosos o drenantes, además de servir al tránsito, tienen como función el manejo de aguas lluvias. En éstos, el agua circula a través de los poros de una, de varias o de todas las capas del pavimento y es evacuada con rapidez a las zonas laterales de la calzada, o eventualmente se infiltra dentro del suelo subyacente o suelo de subrasante. La función primaria de estas estructuras de pavimento es la reducción de los volúmenes de escorrentía. En algunos casos, los diseños también persiguen el control de sedimentos, la remoción de contaminantes y la carga de nutrientes.

Hay varios tipos de pavimentos permeables, dentro de los que se encuentran los que tienen por superficie de rodadura hormigones porosos, concretos asfálticos porosos o drenantes, adoquines con entrelazado permeable, conocidos también como PICP (*Permeable Interlocking Concrete Pavers*), mallas o rejillas de concreto o de plástico llenas de agregados o de vegetación, y pasto reforzado con malla de plástico. Algunas de estas superficies se aprecian en la secuencia fotográfica 5.

Algunos autores consideran que, en un sentido estricto, los pavimentos porosos son una estructura en la que todas las capas que lo constituyen son permeables



Highway 134-North, Miller County, US 71, Section 2 - Arkansas State Highway and Transportation Department.



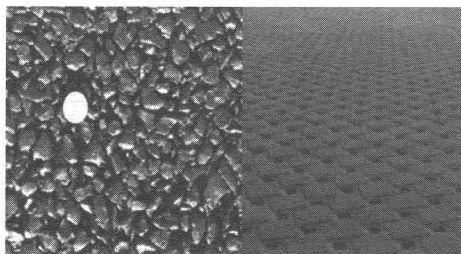
Louisville - Tennessee Road, I-65, Hart County - Kentucky Transportation Cabinet.

Fotografía 4. Ejemplos de algunas carreteras catalogadas por la APA como pavimentos perpetuos en 2009 (6).

y permiten la circulación del agua a través de ellas y no solamente es drenante la capa de rodadura. En la figura 4 se comparan las permeabilidades de cada una de las capas entre una estructura de un pavimento asfáltico tradicional, de un pavimento con una capa asfáltica drenante, denominada capa friccionante de gradación abierta (*Open Graded Friction Course*, OGFC), y de un pavimento en esencia poroso, destinado principalmente al tránsito de vehículos livianos (automóviles), por lo que su aplicación se ha limitado a parqueaderos, vías residenciales, peatonales y ciclorrutas. En la figura 5 se muestra una estructura típica de un pavimento poroso

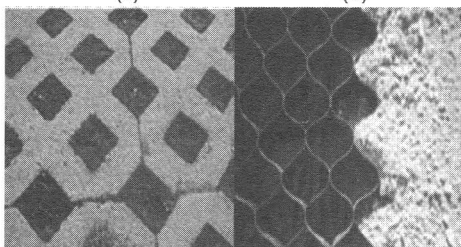
con superficie de adoquines con entrelazado permeable (PICP).

Los pavimentos porosos presentan varios beneficios, como la reducción de la escorrentía de aguas lluvias, de la temperatura del pavimento, de la erosión del suelo y de la infraestructura tradicional para el manejo de aguas lluvias, al igual que de la necesidad de uso de sal y arena durante el invierno. Así mismo, permiten la recarga de acuíferos y, si son apropiadamente diseñados, es posible reducir la contaminación del agua subterránea. Al igual que en las estructuras de pavimentos con superficie drenante, se mejoran los aspectos de seguridad, dado que se incrementa la tracción de los vehículos cuando la superficie está húmeda y se reducen las salpicaduras.



(a)

(b)



©

(d)

Secuencia fotográfica 5. a) Concreto asfáltico poroso. b) PICP. c) Malla de concreto. d) Malla de plástico.

	Tradicional	OGFC	Poroso
	Pesados	Pesados	Automóviles
Capa de Rodadura	Impermeable	Permeable	Permeable
Capa de Liga	Impermeable	Impermeable	Permeable
Base Granular	Impermeable (Estructural)	Impermeable (Estructural)	Permeable (Reservorio)
Subrasante	Estabilizada	Estabilizada	Sin compactar

Figura 4. Permeabilidad de las capas de diferentes estructuras de pavimento.

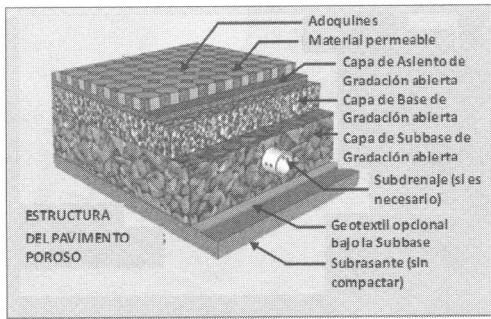


Figura 5. Estructura típica de un pavimento poroso del tipo PICP (7).

Entre las limitaciones de estas estructuras de pavimento cabe citar su alto costo inicial y el requerimiento más exigente de un mantenimiento periódico para evitar su colmatación.

Una superficie de rodadura asfáltica drenante que se ha desarrollado en los últimos años corresponde a las denominadas capas friccionantes de gradación abierta (OGFC), las cuales tienen una serie de ventajas, como las siguientes: eliminan el hidropelaje, presentan mayor resistencia al deslizamiento cuando la superficie se encuentra mojada, disminuyen las proyecciones de agua —mejorando así considerablemente la visibilidad durante tiempo lluvioso—, generan menor deslumbramiento por los faros de los vehículos, reducen el ruido al paso del vehículo, son más durables al tener una mayor película de asfalto cubriendo los agregados, presentan mayor resistencia al ahuellamiento y permiten mantener la velocidad de circulación en tiempo húmedo, reduciéndose de esta manera también las congestiones.

Sin embargo, las OGFC tienen una serie de limitaciones, como un mayor costo inicial, requieren diseños geométricos más rigurosos y drenajes laterales, pueden presentar pérdida de drenabilidad al colmatarse con el tiempo y su conservación es más exigente.

Pavimentos silenciosos

El ruido que genera el tránsito de los vehículos por las carreteras afecta el confort, la salud y el estándar de vida de la población vecina a ellas. En las últimas décadas, este aspecto se ha convertido en la mayor preocupación ambiental, especialmente en las áreas urbanas, debido a que con el incremento en los volúmenes de tránsito, el problema se está haciendo más grave.

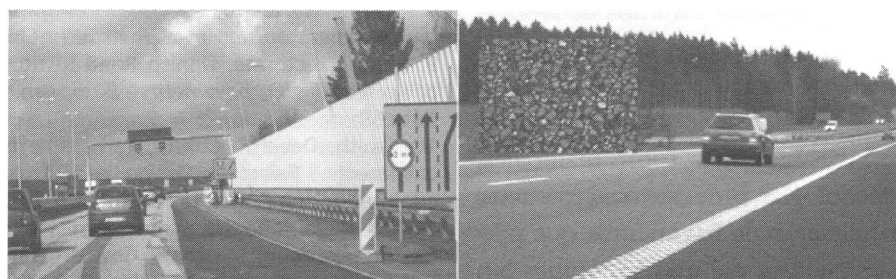
En una carretera se tienen diferentes fuentes de ruido, como el generado por el motor del vehículo, por el escape o por la interacción entre las llantas del vehículo y la superficie del pavimento. Cuando los vehículos circulan a altas velocidades, esta última fuente se destaca sobre las dos anteriores, por lo que una selección apropiada de la superficie de rodadura del pavimento resulta ser una consideración importante en el momento de buscar soluciones para mitigar el ruido.

Atendiendo esta preocupación, existe una fuerte tendencia en Estados Unidos, y principalmente en Europa, a construir pavimentos con superficies de rodadura que posean una mayor capacidad de absorber las ondas sonoras. De ahí ha nacido el concepto de los pavimentos silenciosos, los cuales se perciben como una medida adicional y económicamente más efectiva que otras empleadas para la mitigación del ruido, como las paredes o barreras acústicas, las fachadas de aislamiento o los muros de tierra.

De manera general, se ha establecido que un pavimento puede entrar en la categoría de silencioso cuando con su superficie de rodadura se logra disminuir el nivel de ruido en más de 3 dB(A) ², si se le compara con una superficie de referencia, que normalmente corresponde a una mezcla asfáltica densa en caliente (HMA). A primera vista, esta disminución parecería insignificante, pero basta con recordar que la escala de sonido es logarítmica y que una duplicación del sonido está representada por un incremento de 10 dB(A) , o que una reducción del orden de tan sólo 3 dB(A) es equivalente a duplicar la distancia entre el receptor y la fuente o, para el caso de carreteras que se discute, a disminuir el tránsito a la mitad.

Las mezclas porosas —entre éstas las ya mencionadas capas friccionantes de gradación abierta OGFC—, las mezclas asfálticas de matriz de piedra (*Stone Matrix Asphalt*, SMA) y las capas asfálticas delgadas (2 a 3 cm de espesor) o ultradelgadas (del orden de 1,5 cm), corresponden, en su orden, a las técnicas más empleadas como superficies de rodadura en los pavimentos silen-

2. Decibeles - dB(A) : término comúnmente usado para representar el nivel de ruido percibido por el oído humano. (A) indica que la escala ha sido ajustada para la audición de los humanos.



a) Ampliación del anillo vial alrededor de la ciudad de Copenhague (Dinamarca). Capas asfálticas delgadas.

b) Sección de ensayo en carretera al norte de Estocolmo. Capas asfálticas porosas.

Fotografía 6. Experiencias con pavimentos silenciosos en Europa (9).

ciosos. Estudios efectuados en Europa y en Estados Unidos (8) han concluido que, en promedio, se obtienen reducciones en el nivel de ruido de más de 3 dB(A) con las OGFC y de 2 dB(A) con las SMA como superficies de rodadura, frente a una superficie construida con mezcla asfáltica densa en caliente (HMA), tomada como referencia. En cambio, con las superficies construidas con hormigón o losas convencionales de concreto hidráulico se presentan los mayores niveles de ruido, del orden de 3 dB(A) por encima del percibido con la superficie de referencia en HMA).

La tendencia naciente en Europa, en cuanto a pavimentos silenciosos se refiere, es a usar capas delgadas con textura negativa (depresiones), elaboradas con mezclas asfálticas de gradación discontinua y agregados de menor tamaño (0/4 a 0/10 mm), en áreas urbanas y sujetas a fuertes inviernos, con acumulaciones de nieve y de hielo, mientras que en áreas rurales y en vías de alta velocidad (superiores a los 72 km/h), donde se tengan condiciones de invierno moderadas, se prefiere el empleo de una o dos capas de mezclas asfálticas altamente porosas (vacíos superiores al 18%).

En la fotografía 6 se presentan algunas experiencias con pavimentos silenciosos desarrolladas en Europa. En la fotografía 6 a) se muestra el proyecto de ampliación, de cuatro a seis carriles, del anillo vial de la ciudad de Copenhague, en Dinamarca. El anillo se emplaza en una zona residencial densamente construida y, para mitigar el ruido, en el proyecto se combina el uso de capas asfálticas delgadas reductoras de ruido, con barreras y fachadas de aislamiento. En la fotografía 6 b) se aprecia una sección de prueba con una y dos capas asfálticas porosas en una carretera al norte de Estocolmo (9).

En pavimentos de hormigón también se han desarrollado tecnologías tendientes a disminuir los niveles

de ruido generado en la interfaz llantas - pavimento, como los concretos con agregados expuestos, aplicados en construcciones nuevas, o las técnicas de pulido de la superficie con diamante para la rehabilitación de pavimentos existentes.

CONSIDERACIONES FINALES

El empleo de materiales no tradicionales, tales como subproductos industriales y materiales reciclados, en las estructuras de pavimento de las carreteras tiene grandes perspectivas. Muchos gobiernos están generando políticas relacionadas con la limitación de los volúmenes de disposición de estos materiales en rellenos y promoviendo su utilización en diferentes aplicaciones, lo que ha motivado su desarrollo. Por ejemplo, después de que se definió la legislación europea con respecto a la cantidad de RAP que se puede enviar a los sitios de disposición, su empleo comenzó a ser más efectivo y ha estado acompañado de desarrollos tecnológicos significativos.

La falta de experiencia y de habilidades técnicas, la escasez de estándares, de guías y de especificaciones, la insuficiencia de datos técnicos de desempeño bajo diferentes condiciones climáticas, la incertidumbre en aspectos de ingeniería y, en algunos casos, la mala publicidad debida a fallas experimentadas en el pasado, son factores que obstaculizan el desarrollo y el empleo de materiales no tradicionales, así como de técnicas de diseño y de procesos constructivos innovadores en carreteras.

Debe tenerse presente que aun para los materiales no tradicionales y las técnicas de diseño y construcción ampliamente usados no hay que confiar exclusivamente en la experiencia de otros países, por lo que se necesita

tomar precauciones y efectuar los estudios de laboratorio y las experiencias de campo bajo las condiciones locales.

A nivel mundial se está llevando a cabo un volumen importante de investigaciones sobre materiales, métodos de diseño, tecnologías, procesos constructivos, conservación y rehabilitación de pavimentos que persiguen hacer la infraestructura vial más sostenible. Sin embargo, es importante recordar que un pavimento sostenible no es sinónimo de construcción sostenible de pavimentos. Diversos estudios han demostrado que los impactos adversos ambientales, económicos y sociales asociados con la construcción de un pavimento son mucho menores que aquellos generados por el tránsito total acumulado en la fase operacional o de servicio. Por ejemplo, el estado o condición del pavimento en servicio afecta directamente el consumo de combustible de los vehículos y puede traer como consecuencia un mayor impacto social adverso sobre los aspectos de seguridad, confort, salud, tiempos de viaje o demoras generadas a los usuarios, a causa de reparaciones frecuentes, haciendo de esta manera al pavimento no sostenible.

La consideración anterior pretende generar conciencia en el sentido de que si no se tienen en cuenta y cuantifican los impactos negativos durante la fase de servicio de un pavimento, con el propósito de darles solución efectiva, el solo empleo de técnicas de diseño, de materiales y de procesos de construcción considerados sostenibles no trae como consecuencia un pavimento sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. National Asphalt Pavement Association (NAPA), European Asphalt Pavement Association (EAPA) (2011, February). *Production, Use, Properties, and Occupational Exposure Reduction Technologies and Trends. The asphalt paving industry. A global perspective*, 2nd ed.
2. National Asphalt Pavement Association (NAPA) (2009, September). *Black and green sustainable asphalt. Now and tomorrow*. Special report 200.
3. Epps, Jon (1994). *Synthesis of Highway Practice 198. Uses of Recycled Rubber Tires in Highways*. National Cooperative Highway Research Program. Washington, D.C.: National Academy Press.
4. Lu, Xiaohu (2009, August). *Crumb rubber in asphalt pavements and recycling*. Sweden: Group Research, Nynas AB.
5. Asphalt Pavement Alliance (2009, October). *Perpetual Pavement Design*. Ashton, Iowa: Perpetual Pavement Open House.
6. Newcomb, D.E., Willis, R. & Timm, D.H. (2010). *Perpetual Asphalt Pavements. A Synthesis*. Asphalt Pavement Alliance IM-40.
7. <http://www.icpi.org/permeable>.
8. Kandhal, P.S. (2004, March-April). *Asphalt pavement mitigate tire/pavement noise*. Hot asphalt technology.
9. Road Directorate, Danish Road Institute (2008, June). *Use of noise reducing pavements - European experience*. Technical note 69.
10. Smith, David R. (2006). *Permeable interlocking concrete pavements – Selection, Design, construction, maintenance*, 3rd ed. Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI).
11. D'Angelo, John, Harm, Eric, Bartoszek, John, Baumgardner, Gaylon, Corrigan, Matthew, Cowser, Jack, Harman, Thomas, Jamshidi, Mostafa, Jones, Wayne, Newcomb, Dave, Prowell, Brian, Sines, Ron & Yeaton, Bruce (2008, February). *Warm-Mix Asphalt: European Practice*. FHWA-PL-08-007.
12. Chappat, Michel & Bilal, Julian (2003). *The environmental road of the future. Life cycle analysis. Energy consumption and greenhouse gas emissions*. France: Colas report.
13. Wathne, Leif G. (2011, December). *Sustainability in Roadbuilding: Are We Focusing on the Right Things?* Special Report: Concrete Roadbuilding & Repair. American Concrete Pavement Association - ConcreteContractorMag.com.
14. Stripple, H. (2001). *Life Cycle Assessment of Road. A Pilot Study for Inventory Analysis*. 2nd rev. ed. (IVL, Sweden).
15. AEA, Harwell (2010, June). *Green public procurement – Road construction and traffic signs*. Technical background report. Report for the European Commission – DG Environment.
16. Miller, Timothy D. & Bahia, Hussain U. (2010, May). *Establishing a Framework for Analyzing Asphalt Pavement Sustainability*. *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 3, N.º 3.
17. Federal Highway Administration (FHWA) (2011, April). *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of Practice*. Publication N.º FHWA-HRT-11-021.
18. <http://www.fhwa.dot.gov/legsregs/directives/policy/repmat-policy.htm>. *FHWA Recycled Materials Policy*, Federal Highway Administration, Wright, Jr., F. (2001). Último acceso al sitio: mayo de 2012.
19. Asphalt Pavement Alliance (2002). *Perpetual Pavements. A Synthesis*.
20. Hall, K., Dawood, D., Vanikar, S. & Tally, R. et al. (2007). *Long-Life Concrete Pavements in Europe and Canada*. Report: FHWA-PL-07-027.
21. Santucci, Larry (2011, September). *Long-life asphalt pavements*. Pavement Technology Update. Technology transfer program, vol. 3, N.º 2.
22. http://www.icpi.org/sites/default/files/pdfs/PICP_Comparison_Brochure.pdf Permeable Interlocking concrete pavement. A comparison guide to porous asphalt and previous concrete.
23. Gibbs, D., Iwasaki, R., Bernhard, R., Bledsoe, J., Carlson, D. & Corbisier, Ch. et al. (2005, May). *International technology exchange program. Quiet Pavement Systems in Europe*, Report FHWA-PL-05-011.
24. American Concrete Pavement Association (ACPA) (2007, October). *Green Highways. Environmentally and economically sustainable concrete pavements*. Concrete pavement research and technology. Special report.
25. Liu, Kai-Wei, Álvarez, Alex E., Martin, Amy Epps, Dossey, Terry, Smith, André & Estakhri, Cindy K. (2009, October). *Synthesis of current research on permeable friction courses: performance, design, construction, and maintenance*. FHWA/TX-10/0-5836-1. Report 0-5836-1. Texas Department of Transportation.

26. Pears, Allan (2005, June). Sustainability and roads: Capturing the ESD opportunity. *Urban Policy and Research*, vol. 23, N.º 2, 235-245.

27. Cheuk Pan Chan, Peter (2010). *Quantifying pavement sustainability for Ontario highways*. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Civil Engineering. Waterloo, Ontario, Canada.

28. Brosseaud, Yves (s.f.). *Ecologiques, sécuritaires, confortables, les enrobes de demain se feront autrement: presentation des enrobes tièdes*.

29. Dorchies, T. Pierre (2008). *La route écologique du futur: Analyse de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre*. Conférence annuelle 2008 de l'Association des transports du Canada. Toronto, Ontario.

30. Brosseaud, Yves, St - Jacques, Michele (2011, Mars). Le développement durable dans les chaussées urbaines: traduction en termes techniques. *Via Bitume, le revue destiné à l'industrie des chaussées souples*, vol. 6, N.º 1.