

Pavimentos urbanos permeables



DANIEL
**Jato-
Espino**

Doctor en Ingeniería Civil.
Grupo de Investigación de
Tecnología de la Construcción
(GITECO), Universidad de
Cantabria

VALERIO C.
**Andrés-
Valeri**

Doctor en Ingeniería Civil.
Instituto de Obras Civiles,
Universidad Austral de Chile



JORGE
**Rodríguez-
Hernández**

Doctor en Ingeniería Civil.
Grupo de Investigación de
Tecnología de la Construcción
(GITECO), Universidad de
Cantabria

DANIEL
**Castro-
Fresno**

Doctor en Ingeniería Civil.
Grupo de Investigación de
Tecnología de la Construcción
(GITECO), Universidad de
Cantabria



RESUMEN

La urbanización y el cambio climático son dos fenómenos que están transformando los procesos hidrológicos naturales. Los pavimentos permeables son un tipo de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que ofrece una oportunidad para reducir los impactos de estos fenómenos, ayudando a restaurar el ciclo natural del agua y contribuyendo a hacer las ciudades más resilientes. En este artículo se presenta una descripción de la composición y principales tipos de pavimentos permeables, así como de los materiales comúnmente empleados para su construcción. Además, se incluye una breve reseña de los principales proyectos de investigación sobre pavimentos permeables realizados en España.

PALABRAS CLAVE

Gestión del agua, materiales de construcción, pavimentos permeables, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

ABSTRACT

Urbanisation and Climate Change are two processes altering natural hydrological patterns in catchments. Permeable pavements are a type of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) providing an opportunity to reduce the effects of both these phenomena by helping to restore the water cycle and contributing to make more resilient cities. This article presents a description of the composition of the main types of permeable pavements, including the materials commonly used for their construction. In addition, an overview of the main research projects concerning the study and implementation of permeable pavements in Spain is provided too.

KEYWORDS

Water management, construction materials, permeable pavements, Sustainable Urban Drainage Systems

1

Introducción

Los pavimentos cubren alrededor del 30 %-45 % de las superficies urbanas (Akbari et al., 2009). Por tanto, su gestión es fundamental en el bienestar social. De hecho, su relevancia está destinada a crecer en el futuro, dado que los pavimentos urbanos pueden desempeñar un papel decisivo en la mitigación de dos de los mayores desafíos de los próximos años: la urbanización y el cambio climático (While and Whitehead, 2013).

El incremento en el grado de desarrollo de las superficies urbanas implica una reducción de la permeabilidad de la piel de las ciudades. Esto genera un aumento de la escorrentía, que es drenada sin tener en cuenta la recarga de las aguas subterráneas. Por otra parte, la severidad y frecuencia de las tormentas aumentará en el futuro debido al cambio climático, lo que puede sobrepasar la capacidad de los sistemas de drenaje convencionales (Huntington, 2006).

Los pavimentos permeables son uno de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) más ampliamente estudiados como medida de mitigación de las amenazas anteriores (Jato-Espino et al., 2016a). De hecho, pueden considerarse como una cadena completa de drenaje, dado que actúan como sistemas de captación, conducción, infiltración y almacenamiento, facilitando el control de la escorrentía. Su multifuncionalidad hace que los pavimentos permeables sean el tipo de SUDS más efectivo y fácil de integrar en ciudades, pudiendo instalarse en espacios urbanos diversos como carreteras, zonas peatonales y aparcamientos (Jato-Espino et al., 2016b).

2

Composición y tipos de pavimentos permeables

De abajo arriba, la sección transversal de un pavimento permeable consiste en una capa de sub-base que descansa sobre la explanada compactada, una capa base intermedia de granulometría abierta y una capa superficial permeable. Adicionalmente, se puede disponer un geotextil de filtro y separación entre capas, además de otros elementos como tuberías perforadas, geocompuestos, celdas de plástico o membranas impermeables.

Normalmente, la capa de sub-base consiste en árido triturado, natural o reciclado, limpio y con una cantidad reducida de partículas finas, a fin de asegurar un porcentaje de huecos de al menos un 35 % (Mullaney and Lucke, 2014). Otras opciones para la construcción de la capa de sub-base conside-

ran cajones de plástico de alta resistencia para su uso con tráficos ligeros (Andrés-Valeri et al., 2014), garantizando una elevada capacidad de almacenamiento de agua.

La capa base intermedia de granulometría abierta normalmente se compone de áridos de tamaño pequeño o medio (4-8 mm), con un contenido de huecos ligeramente superior al de la capa superficial para asegurar el flujo del agua. Los geotextiles pueden emplearse como capas de separación y refuerzo entre base y sub-base, mejorando además la capacidad de filtro y retención de los contaminantes depositados en su superficie. Por último, la capa superficial es la que admite un mayor abanico de acabados, incluyendo materiales porosos, adoquines y capas vegetadas reforzadas (Andrés-Valeri et al., 2014; Rodríguez-Hernández et al., 2016) (ver figura 1).

2.1. Pavimentos porosos

Los materiales porosos están constituidos por un esqueleto granular recubierto con un ligante, que define los dos tipos principales de superficies porosas existentes: asfalto poroso, aquellos con ligantes bituminosos, y hormigón poroso, si se usan ligantes hidráulicos. En ambos casos, las mezclas resultantes se diseñan con un porcentaje de huecos mínimo del 18 %-20 % para garantizar la capacidad hidráulica, empleándose, para ello, áridos de alta calidad con granulometrías abiertas y un bajo contenido de finos (Andrés-Valeri et al., 2016).

Los ligantes utilizados en mezclas bituminosas porosas incluyen betunes modificados con polímeros o con caucho y betunes de alta viscosidad (Rodríguez-Hernández et al., 2015). El contenido de betún en estos pavimentos normalmente oscila entre un 4.5 % y un 12 % en peso, dependiendo del tipo de ligante, del diseño de la mezcla y sus aditivos, así como del nivel de tráfico y las condiciones climáticas (Alvarez et al., 2011). A menudo se incorporan fibras estabilizantes para prevenir problemas de escurrimiento del betún (Andrés-Valeri et al., 2018). Otros materiales como cemento Portland, cal hidratada, filler calizo o fibras poliméricas también se emplean como adiciones para mejorar sus capacidades mecánicas y durabilidad.

Los pavimentos de hormigón poroso utilizan generalmente cemento Portland en combinación con diversos aditivos como superplastificantes, humo de sílice, modificadores de viscosidad e incorporadores de aire (Yang and Jiang, 2003; Andrés-Valeri et al., 2016). También existen experiencias con soluciones poliméricas, especialmente con látex poliméricos basados en polímeros tipo EVA (Yang and Jiang, 2003). El contenido de cemento suele exceder los 300 kg/m³ para aplicaciones de tráfico y los ratios de agua/cemento generalmente están por encima de 0,4 en diseños convencionales, descendiendo hasta 0,2 cuando se incluyen aditivos o soluciones poliméricas en las mezclas.

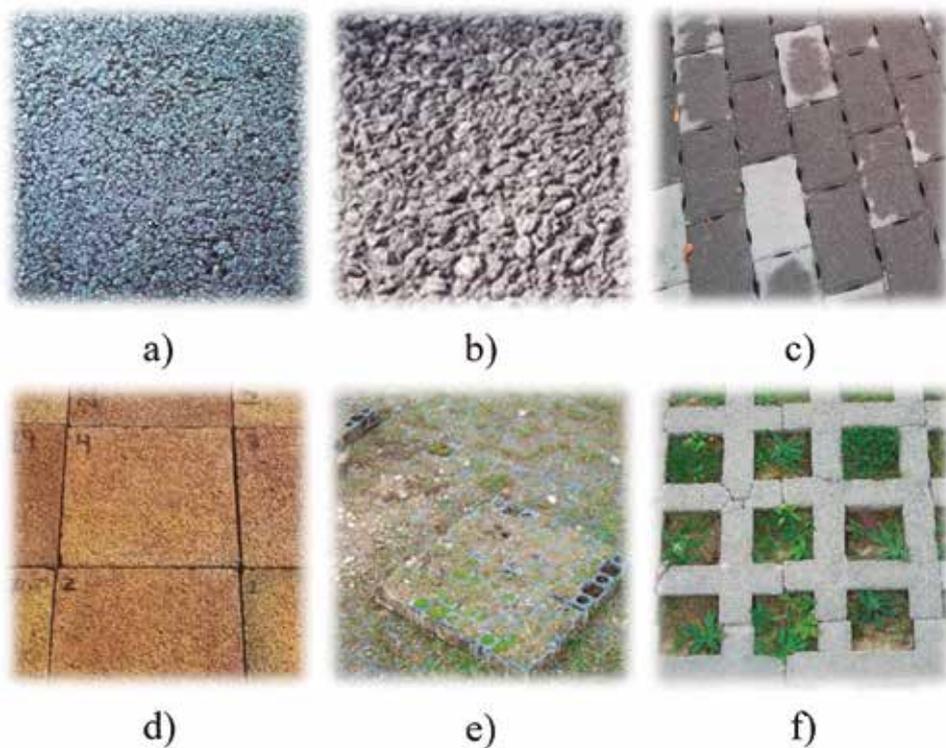


Fig. 1. Tipos de superficie en pavimentos permeables a) Asfalto poroso b) Hormigón poroso c) Adoquines impermeables con juntas abiertas d) Adoquines de hormigón poroso e) Césped reforzado con celdas de plástico f) Césped reforzado con celdas de hormigón

2.2. Pavimentos de adoquines

Los pavimentos permeables de adoquines pueden ser de adoquines impermeables con juntas abiertas o de adoquines porosos. El contenido de huecos en adoquines porosos normalmente sobrepasa el 20 %, mientras que las juntas en adoquines impermeables cubren entre el 8 % y el 20 % del área total del pavimento y pueden rellenarse con arenas de 2-5 mm (Mullaney and Lucke, 2014). Un beneficio distintivo de este tipo de pavimentos es su versatilidad estética.

Los adoquines porosos están fabricados con hormigón poroso reforzado con polímeros, cuya adición incrementa su resistencia a fatiga. Aun así, se ha demostrado que esta mejora es insuficiente en el caso de cargas de tráfico correspondientes a carreteras principales y autopistas (Scholz and Grabowiecki, 2007). Con todo, la alta porosidad de los adoquines favorece una mayor infiltración y ventilación.

2.3. Pavimentos de césped reforzado

El diseño y rol de las superficies de césped reforzado con celdas de plástico u hormigón guarda importantes diferencias en comparación con los tipos de pavimento descritos con anterioridad, especialmente en lo que se refiere a su área impermeable. Los refuerzos de hormigón presentan un área permeable que oscila entre el 20 % y el 50 % mientras en los refuerzos de plástico puede sobrepasar el 90 % (Mullaney and Lucke, 2014).

Los materiales utilizados para rellenar los huecos en las retículas de plástico y hormigón se componen de una combinación de áridos y materia orgánica para garantizar una adecuada capacidad de infiltración y servir de soporte para el desarrollo de vegetación. La cobertura de césped debe consistir en vegetación disponible a escala local, capaz de resistir concentraciones elevadas de contaminación y falta de agua, dado que esta capa a menudo se ve sujeta a condiciones de calor que pueden reducir su vida útil.

Año	Proyecto	Objetivos
2003 ¹	Desarrollo de nuevas estructuras de firmes biodegradantes de hidrocarburos (FIDICA)	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de distintas secciones permeables • Utilización de áridos reciclados • Análisis de la biopelícula en la capa de geotextil
2006 ¹	Diseño, investigación de la ejecución e instrumentación de un aparcamiento construido con firmes filtrantes biodegradantes de hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y construcción del aparcamiento de Las Llamas en Santander, con 45 plazas combinando 5 superficies permeables y 3 geotextiles diferentes • Monitorización de la cantidad y calidad del agua
2009 ¹	Diseño, monitorización y seguimiento de un aparcamiento filtrante construido con escorias y residuos de acería	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción e instrumentación de 8 plazas de aparcamiento con una capa de base construida con escorias de acería en Gijón • Monitorización de la calidad del agua
2010 ¹	Desarrollo de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia, mediante firmes filtrantes en aparcamientos, para usos no potables y como aprovechamiento de energía geotérmica de baja entalpía (VEA)	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de la capacidad de captación de agua de lluvia por parte de los firmes permeables • Desarrollo de sistemas de almacenamiento con propósitos no-potables o geotérmicos
2013 ¹	Rehabilitación hidrológica de infraestructuras viales urbanas (RHIVU)	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis mecánico e hidrológico de diferentes pavimentos urbanos permeables • Diseño de un sistema espacial de apoyo a la decisión para la rehabilitación de infraestructuras urbanas
2013 ²	<i>Improvement of energy efficiency in the water cycle by the use of innovative storm water management in smart Mediterranean cities (E²STORMED)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción y monitorización de un aparcamiento en Benaguasil • Desarrollo de una herramienta de toma de decisiones para planificar el drenaje sostenible
2013 ³	Gestión sostenible de aguas pluviales en zonas urbanas	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de una planta piloto de tres tipos de superficie permeable • Monitorización y modelización de la cantidad de agua
2016 ⁴	Superficies urbanas permeables, resilientes, inteligentes y sostenibles (SUPRIS)	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio experimental de diferentes pavimentos permeables bajo condiciones de cambio climático • Evaluación de la contribución a la sostenibilidad urbana de los pavimentos permeables
2017 ²	<i>Ceramic Sustainable Urban Drainage System (CERSUDS)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de un pavimento permeable construido con baldosas cerámicas con bajo valor comercial • Implementación y monitorización de un demostrador en Benicasim
2018 ¹	<i>Sustainable, accessible, safe, resilient, and smart urban pavements (SAFERUP!) – ESR10</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de pavimentos resilientes a las inundaciones y capaces de soportar cargas de tráfico moderadas • Desarrollo de una herramienta de localización y selección de pavimentos permeables

(1) Liderados por GITECO-UC - <https://www.giteco.unican.es/ES/proyectos.shtml>

(2) Liderados por IAMA-UPV - <https://www.iama.upv.es/iama/es/investigacion/proyectos-europeos.html>

(3) Liderado por la UGR - http://www.aopandalucia.es/innovacion/principal.asp?alias=Aguas_pluviales

(4) Coliderado por GITECO-UC e IAMA-UPV - <https://www.giteco.unican.es/proyectos/SUPRIS/resumen.shtml>

Tabla 1. Resumen de los principales proyectos de investigación sobre pavimentos permeables realizados en España

3

Pavimentos permeables en España

La primera investigación sobre pavimentos permeables en España data de 1995, encuadrada dentro del concepto de Técnicas Compensatorias de Infiltración-Retención (Tecir) (Malgrat, 1995), donde se destacó el potencial de reducción y depuración de escorrentía de estos sistemas. En paralelo, Temprano González et al. (1996) clasificaron las Tecir en medidas estructurales y no estructurales, introduciendo el concepto de control en origen de la escorrentía por primera vez en España.

Fue en la siguiente década, coincidiendo con la adopción del término SUDS en España por parte del Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO), cuando se desarrolló el primer proyecto de investigación específico sobre pavimentos permeables. Desde entonces, se han desarrollado más de 10 proyectos de investigación en distintas universidades, cuyo principal objetivo ha sido el estudio, análisis e implementación de los pavimentos permeables. La tabla 1 recoge algunos de los principales.

4

Conclusiones

La investigación llevada a cabo sobre pavimentos permeables hasta la fecha demuestra que la integración de estos sistemas en el entorno urbano es viable y tiene una influencia positiva en la gestión de la cantidad y calidad de las aguas de escorrentía. Las capas de los pavimentos permeables ofrecen una oportunidad para valorizar residuos y subproductos industriales, permitiendo mejorar la capacidad portante y de almacenamiento de agua de estos sistemas.

Los pavimentos permeables se postulan como una potente herramienta para la mitigación de los efectos del Cambio Climático y la urbanización, dos de los aspectos que comprometen en mayor medida el desarrollo sostenible de las sociedades futuras. Por tanto, la implementación de estos sistemas debe considerarse en el diseño de planes y estrategias urbanas orientadas a salvaguardar el medio ambiente y asegurar el bienestar humano. 🌐

REFERENCIAS

- Akbari H., Menon S., Rosenfeld A. (2009). *Global cooling: increasing worldwide urban albedos to offset CO₂*. *Clim Change* 94:275–286.

- Álvarez A. E., Martín A. E., Estakhri C. (2011). *A review of mix design and evaluation research for permeable friction course mixtures*. *Constr Build Mater* 25:1159–1166.

- Andrés-Valeri V., Marchioni M., Sañudo-Fontaneda L., Giustozzi F., Becciu G. (2016). *Laboratory Assessment of the Infiltration Capacity Reduction in Clogged Porous Mixture Surfaces*. *Sustainability* 8:751.

- Andrés-Valeri V. C., Castro-Fresno D., Sañudo-Fontaneda L. A., Rodríguez-Hernández J., Ballester-Muñoz F., Canteras-Jornada, J. C. (2014). *Rehabilitación hidrológica urbana*. In: REHABEND. pp 291–298

- Andrés-Valeri V. C., Rodríguez-Torres J., Calzada-Pérez M. A., Rodríguez-Hernández J. (2018). *Exploratory study of porous asphalt mixtures with additions of reclaimed tetra pak material*. *Constr Build Mater* 160:233–239.

- Huntington T. G. (2006). *Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis*. *J Hydrol* 319:83–95. doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.07.003

- Jato-Espino D., Charlesworth S., Bayon J., Warwick F. (2016a). *Rainfall-Runoff Simulations to Assess the Potential of SuDS for Mitigating Flooding in Highly Urbanized Catchments*. *Int J Environ Res Public Health* 13:149.

- Jato-Espino D., Sillanpää N., Charlesworth S. M., Andrés-Doménech I. (2016b). *Coupling GIS with Stormwater Modelling for the Location Prioritization and Hydrological Simulation of Permeable Pavements in Urban Catchments*. *Water (Switzerland)*.

- Malgrat P. (1995). *Panorámica general de la escorrentía de aguas pluviales como fuente de contaminación. Actuaciones posibles; Calidad de aguas e impacto en medios receptores por vertidos procedentes de drenajes urbanos y agrícolas*. In: Workshop Benicassim. Benicassim (España).

- Mullaney J., Lucke T. (2014). *Practical Review of Pervious Pavement Designs*. *CLEAN - Soil, Air, Water* 42:111–124. doi: 10.1002/clean.201300118

- Rodríguez-Hernández J., Andrés-Valeri V. C., Calzada-Pérez M., et al. (2015). *Study of the Raveling Resistance of Porous Asphalt Pavements Used in Sustainable Drainage Systems Affected by Hydrocarbon Spills*. *Sustainability* 7:16226–16236.

- Rodríguez-Hernández J., Andrés-Valeri V. C., Ascorbe-Salcedo A., Castro-Fresno D. (2016). *Laboratory Study on the Stormwater Retention and Runoff Attenuation Capacity of Four Permeable Pavements*. *J Environ Eng* 142:4015068.

- Scholz M., Grabowiecki P. (2007). *Review of permeable pavement systems*. *Build Environ* 42:3830–3836.

- Temprano González J., Gabriel Cervigni M., Suárez López J., Tejero Monzón J. I. (1996) *Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: Control en origen*. *Rev Obras Publicas* 45–57

- While A., Whitehead M. (2013) *Cities, Urbanisation and Climate Change*. *Urban Stud* 50:1325–1331.

- Yang J., Jiang G. (2003) *Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials*. *Cem Concr Res* 33:381–386.