

## **CÓDIGO 1.3.12**

### **REHABILITACIÓN HIDROLÓGICA ÚRBANA**

**Andrés-Valeri, Valerio C.A.<sup>1</sup>, Castro-Fresno, Daniel<sup>2</sup>, Sañudo-Fontaneda, Luis A.<sup>3</sup>, Rodríguez-Hernandez, Jorge<sup>4</sup>, Ballester-Muñoz, Francisco<sup>5</sup>, Canteras-Jordana, Juan C.<sup>6</sup>**

1, 2, 4, 5: Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO). Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos. Universidad de Cantabria.

e-mail: [valerio.andres@unican.es](mailto:valerio.andres@unican.es)<sup>1</sup>; [daniel.castro@unican.es](mailto:daniel.castro@unican.es)<sup>2</sup>; [jorge.rodriguez@unican.es](mailto:jorge.rodriguez@unican.es)<sup>4</sup>; [francisco.ballester@unican.es](mailto:francisco.ballester@unican.es)<sup>5</sup>

3: Sustainable Drainage Applied Research Group, Faculty of Business Environment and Society, Coventry University, Priory Street, Coventry, CV1 5FB, United Kingdom.

e-mail: [ab3221@coventry.ac.uk](mailto:ab3221@coventry.ac.uk)

6: Grupo de Ecología. Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente Universidad de Cantabria

e-mail: [juan.canteras@unican.es](mailto:juan.canteras@unican.es)

**PALABRAS CLAVE:** SUDS, Superficies permeables, Firmes Permeables, Cubiertas verdes, Escorrentía.

#### **RESUMEN**

El constante desarrollo urbano de las últimas décadas ha dado como resultado una impermeabilización masiva del suelo natural para su urbanización. Esto ha desembocado en un gran incremento de los problemas relacionados con la gestión del agua en las ciudades. Se ha realizado una revisión de la bibliografía relacionada con la potencial aplicación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), especialmente firmes permeables y cubiertas verdes, en procesos de rehabilitación hidrológica urbana. Se han estudiado las diferentes propiedades que estos sistemas ofrecen en la gestión hídrica de núcleos urbanos como la reducción del volumen y del caudal punta de la escorrentía superficial generada a partir de un evento de lluvia. Además se han analizado los costes asociados y los factores determinantes en su aplicación en procesos regeneración urbana. En todos los casos analizados se ha observado su efectividad para reducir el volumen y el caudal de escorrentía superficial. De las investigaciones realizadas hasta el momento, se desprende que las cualidades de estos sistemas los convierten en elementos con un gran potencial de aplicación en procesos de rehabilitación hidrológica urbana, permitiendo recuperar parte del equilibrio asociado al ciclo natural del agua.

#### **1. INTRODUCCIÓN**

El acelerado desarrollo y crecimiento de los núcleos urbanos ha provocado la alteración de las redes naturales de drenaje y de los procesos de precipitación-escorrentía-infiltración [1], generando en ocasiones el desbordamiento de los sistemas de saneamiento unitarios. Las zonas urbanas resultan especialmente vulnerables a los riesgos de inundación debido a la concentración de población [2]. Además la urbanización multiplica los daños que puedan causar los aguaceros intensos, debido a las superficies impermeabilizadas de las ciudades [3], agravándose en función de las topografías locales y de las modificaciones impuestas a las salidas naturales del agua [2].

Aparte de los propios efectos debidos a las inundaciones, hay que añadir la contaminación arrastrada por el agua de escorrentía y que acaba afectando a los cauces y acuíferos naturales. Esta contaminación,

conocida como difusa por su origen no localizado, variará en función del uso que se le dé al suelo por el que transcurra la escorrentía, siendo especialmente importante en zonas urbanas [4]. La integración de medidas de control de escorrentías en los desarrollos urbanos existentes resulta cada vez más importante, ya que numerosas entidades públicas y privadas buscan reducir los volúmenes de escorrentía y el contenido de contaminantes en las zonas sensibles o degradadas [5]. Con ese objetivo surgieron los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), estos sistemas tratan de reproducir artificialmente los procesos naturales de gestión de las aguas superficiales reduciendo los problemas asociados a la escorrentía mediante la aplicación de mecanismos de infiltración, transporte y retención [6].

## 2. PRINCIPALES TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN HIDROLÓGICA URBANA

Se considera rehabilitación hidrológica urbana al conjunto de actuaciones que se realizan sobre la ciudad ya construida con el objetivo de mejorar su comportamiento hidrológico, evitando inundaciones y contaminación difusa, ofreciendo una gestión sostenible del agua de lluvia. La sustitución de superficies impermeables por superficies permeables en el interior de las ciudades es una solución que contribuye a reducir los problemas de inundaciones y contaminación difusa directamente en el origen, corrigiendo los efectos negativos provocados por la impermeabilización de las superficies urbanas por las que circula el agua de escorrentía superficial. Además, el empleo de las superficies permeables permite devolver al agua de lluvia su valor original como recurso natural, permitiendo su almacenamiento y uso, con el consiguiente ahorro tanto de parte del consumo de agua potable como de parte del tratamiento de agua residual. Las superficies permeables pueden ser resistentes al tráfico rodado o no. Las resistentes al tráfico reciben el nombre de pavimentos permeables, siendo firmes permeables si todas las capas de la sección resistente permiten el paso del agua. Por otro lado, las superficies permeables que no tienen misión resistente forman parte de parques, glorietas, cubiertas, etc.

### 2.1 Descripción de los Firmes Permeables

Los firmes permeables son un subconjunto importante y ampliamente estudiado dentro de los SUDS [7], entrando dentro de la categoría de sistemas de control en origen de la escorrentía superficial. Estos firmes consisten en secciones compuestas de varias capas de materiales que permiten el paso del agua a través suyo y en los que el conjunto de sus capas ofrece la capacidad portante necesaria para resistir un tráfico determinado. Existen diferentes tipologías de firmes permeables, dependiendo de los materiales empleados en su construcción (Tabla 1) y del destino final que se de al agua de lluvia infiltrada.

Tabla 1: Clasificación de Firmes Permeables [8]

	Según el Pavimento	Según el destino del agua
FIRMES CONTINUOS	Mezcla bituminosa porosa	Infiltración
	Hormigón poroso	
FIRMES DISCONTINUOS	Césped poroso grava con refuerzos	Almacenamiento
	Adoquines con ranuras o juntas	Drenaje Diferido

Por debajo de las superficies permeables existen una serie de capas y elementos, también permeables, que completan la correspondiente sección del firme permeable. Estas capas y elementos pueden ser:

- Capas granulares: compuestas por árido con un volumen de huecos de entre un 30% y un 45%.
- Estructuras de plástico: elementos resistentes de plástico con espesores variables.
- Geosintéticos: geotextiles y geocompuestos de filtro, separación y/o refuerzo.

Como principal ventaja, Schlüter y Jefferies (2002) [9] destacan que los firmes permeables disminuyen la cantidad de aguas pluviales que llega a los sistemas de alcantarillado y mejoran además su calidad, mediante el efecto filtro de las distintas capas que constituyen la sección permeable. La capacidad de infiltración de este tipo de firmes es el elemento clave a considerar para su aplicación en la gestión de la escorrentía urbana, viéndose especialmente afectada por: la inclinación del pavimento, el nivel de colmatación debido al aporte de sedimentos y el mantenimiento que se realice durante su vida útil. Estos factores han sido estudiados en detalle por diferentes autores [10-12], habiendo sido demostrada la capacidad de los firmes permeables para reducir la escorrentía superficial incluso en condiciones adversas de colmatación superficial.

Castro *et al.* [10] estudiaron la capacidad de infiltración de firmes permeables de adoquines con juntas abiertas, ante eventos de precipitación de 50 mm/h, con diferentes inclinaciones y niveles de colmatación. Se observó que sin colmatación la infiltración superaba el 90% para las diferentes inclinaciones analizadas. Con niveles de colmatación media, la capacidad de infiltración se reducía hasta el 80% para inclinaciones del 10%. Sin embargo, cuando el nivel de colmatación aumentaba a niveles críticos se producía una reducción de la infiltración de hasta el 16% para inclinaciones del 10%. Similares conclusiones obtuvieron Rodríguez-Hernández *et al.* [11] al estudiar la infiltración de pavimentos permeables con superficie de mezcla bituminosa porosa ante el mismo régimen de precipitaciones. En este caso se observaron porcentajes de infiltración superiores al 90% para todas las inclinaciones, reduciéndose a valores comprendidos entre el 63% y el 76% para superficies colmatadas, siendo la infiltración mayor con menores pendientes. En ese mismo estudio se observó que un sencillo mantenimiento, consistente en el uso de barredora, era capaz de devolver a la superficie la mayor parte de su capacidad de infiltración original. Sin embargo, estudios posteriores llevados a cabo por Sañudo-Fontaneda *et al.* [12] sobre firmes permeables de adoquines con juntas abiertas, demostraron que en el caso de superficies discontinuas, estas recuperaciones de la infiltración por limpieza mediante barredora son menores, con valores próximos al 10% ante eventos de la misma intensidad.

## 2.2 Descripción de las Cubiertas Permeables

Las Cubiertas Permeables son sistemas de captación en origen de la escorrentía superficial, semejantes a los pavimentos permeables pero con las particularidades propias de las cubiertas de edificios, entre las que destacan la ausencia de tráfico y la necesidad de una completa impermeabilización inferior. En este tipo de cubiertas pueden emplearse distintos tipos de superficie, siempre que estas sean permeables, destacando las cubiertas verdes, por sus beneficios y su mejor comportamiento: incrementan el aislamiento térmico, reduciendo las necesidades energéticas, y mitigan el efecto de la isla de calor mejorando el microclima urbano filtrando la polución del aire [13].

Las cubiertas verdes son sistemas multicapa que recubren tejados, terrazas y balcones de todo tipo, y cuya estructura más común está compuesta por cinco capas diferentes [14]: una capa de impermeabilización inferior, una capa drenante, un elemento de filtro, una capa de sustrato y, por último, la superficie vegetal.

Las cubiertas y tejados en las ciudades suponen alrededor del 32% de la superficie de las mismas [15], por ello las cubiertas verdes ofrecen un gran potencial para recuperar y mejorar tanto la hidrología como los espacios verdes de las ciudades [16]. Actualmente es frecuente que este tipo de cubiertas se proyecten y ejecuten en obras de nueva construcción, siendo igualmente aconsejable también en rehabilitación.

Habitualmente las cubiertas verdes se clasifican según sus necesidades de mantenimiento, la profundidad del sustrato y las variedades vegetales empleadas, distinguiéndose dos categorías:

- Las **cubiertas ecológicas extensivas** son aquellas en las que la vegetación plantada es de bajo porte, resistente a la carencia de agua, con capacidad de regeneración y escaso mantenimiento. El

substrato es de espesor inferior a los 15 cm. y una vez consolidada la vegetación no se requieren cuidados posteriores especiales, más allá de un mínimo mantenimiento.

-Las **cubiertas ajardinadas intensivas** son aquellas en las que la vegetación plantada es de mayor porte y por tanto requiere mayor cantidad de agua y mayores cuidados. Estas cubiertas precisan de una capa de substrato profunda, siendo habitualmente superior a los 15 cm, y un programa de mantenimiento específico para la vegetación utilizada.

La capacidad de las cubiertas verdes para reducir la escorrentía ha sido ampliamente estudiada [17-20]. Sin embargo, la reducción de dicha escorrentía varía dependiendo de las condiciones y el contexto de cada investigación. Los estudios realizados en Alemania desde 1987 hasta 2003, recogidos por Mentens *et al.* [19], muestran reducciones de la escorrentía en términos anuales de entre el 65% y el 86% para las cubiertas intensivas, y entre el 27% y el 81% para las extensivas. Carter y Rasmussen [18] demostraron que la capacidad de retención de la escorrentía está relacionada con el volumen de agua precipitada, obteniéndose una mayor reducción para eventos de corta duración. Posteriormente, Simmons *et al.* [20] demostraron que la reducción de la escorrentía también depende de la intensidad de la precipitación, resultando mayores reducciones para bajas intensidades.

Las cubiertas verdes producen otro efecto importante desde el punto de vista de la gestión hídrica, y es la laminación del pico de escorrentía. La cuantificación de esa laminación varía entre unos estudios y otros, por la variabilidad en las tipologías de cubierta y en sus condiciones. Sin embargo, la mayoría de estudios analizados muestran una laminación del pico de escorrentía de entre 10 y 30 min. [18,20,21].

### 3. APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN HIDROLÓGICA ÚRBANA

A la hora de localizar los emplazamientos donde se pueden y deben aplicar las técnicas de rehabilitación hidrológica urbana, son necesarias herramientas de análisis espacial. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en una herramienta indispensable para el análisis del territorio. Los SIG están siendo usados con el objetivo de localizar las zonas especialmente susceptibles de padecer problemas de inundaciones y contaminación difusa [22,23]. Además, las ciudades son ecosistemas complejos formados por factores económicos, medioambientales y sociales, por ello es recomendable el uso de indicadores de medida del desarrollo sostenible urbano para apoyar la toma de decisiones.

#### 3.1 Aplicación de los Firmes Permeables

Los firmes permeables han sido aplicados con éxito en zonas de aparcamiento de vehículos ligeros y en viales residenciales de nueva construcción. Sin embargo, su aplicación en aparcamientos y viales no es habitual, ofreciendo un gran potencial de aplicación en zonas ya desarrolladas [24], permitiendo la rehabilitación hidrológica de la ciudad. La implementación de firmes permeables en los viales y aceras gestionados por los municipios puede proporcionar grandes beneficios en la reducción de los volúmenes de escorrentía y en el tratamiento de la contaminación difusa que arrastra [5].

Dentro de las ciudades, los firmes permeables pueden ser utilizados principalmente en estacionamientos y calles de bajo tránsito [25], quedando excluidos de aplicación en zonas industriales contaminadas, en carreteras con alta intensidad de tráfico pesado y en zonas con gran aporte de sedimentos o con gran pendiente [26]. Actualmente, el ámbito de aplicación de los firmes permeables no sólo se restringe a zonas residenciales de nueva construcción, sino que además se ha ampliado a zonas renovadas del centro urbano [27] e incluso se han llevado a cabo experiencias en zonas de servicio en puertos y aeropuertos [28].

Las técnicas de pavimentos permeables han sido ampliamente aplicadas en la rehabilitación de zonas existentes en países como Estados Unidos, Nueva Zelanda y Australia [24]. La aplicación de estos sistemas puede aliviar de manera importante los efectos de la escorrentía sobre el medio y sobre las zonas

impermeables adyacentes. La viabilidad de estos sistemas en la rehabilitación depende del tipo de superficie a rehabilitar [29], además la rehabilitación será más factible si se combinan sistemas convencionales con los pavimentos permeables conformando sistemas híbridos [30].

El uso de firmes permeables ofrece reducciones de costes en la fase de ejecución por no requerir de nivelación superficial para la conducción de aguas, sumideros o alcantarillas. Además también permite una reducción del coste durante su ciclo de vida al minimizar la generación de escorrentía superficial y por tanto las dimensiones de cunetas, sumideros y otros elementos del sistema de alcantarillado [31]. Además, hay que considerar la reducción de coste derivada de la estandarización de su aplicación, calculada por Bitting *et al* [32] en 100 €/m<sup>3</sup> para la ciudad de Chicago al cabo de dos años de aplicación

En 2013 se ha iniciado en la Universidad de Cantabria el proyecto de investigación RHIVU: Rehabilitación Hidrológica de Infraestructuras Viales Urbanas, al amparo del Plan Nacional de I+D+i. Este proyecto tiene como objetivo principal la búsqueda de soluciones que doten a las infraestructuras viales de un carácter multifuncional, permitiendo resistir el tráfico con un comportamiento hidrológico mejorado. Este proyecto pretende estudiar la capacidad portante, hidráulica y depuradora de diferentes paquetes de firme filtrante para su aplicación en núcleos urbanos. Además, se elaborará una metodología de identificación multicriterio, combinada con tecnología SIG, para localizar aquellos puntos en que sería viable la aplicación de estos sistemas en las ciudades.

### 3.2 Aplicación de las Cubiertas Permeables

Los principales condicionantes para determinar donde es aplicable la rehabilitación de una cubierta, convirtiéndola en una cubierta permeable, son: ubicación, tamaño, pendiente, y las limitaciones de carga de la estructura. Este último factor es el que restringe la aplicación de las cubiertas permeables en procesos de rehabilitación, siendo las cubiertas verdes las más aplicables por las menores sobrecargas que aportan. Además, existen otros factores que condicionarán el tipo de cubierta vegetal a realizar como la insolación, temperatura y la disponibilidad de agua, el mantenimiento o el presupuesto.

Stovin *et al.* [33] destacaron que la capacidad de carga de las edificaciones existentes es el principal condicionante a la hora de rehabilitar cubiertas transformándolas en cubiertas verdes. Wark y Wark [34] afirmaron que una cubierta ecológica extensiva, totalmente mojada, proporciona unas sobrecargas de entre 0,5-1,0 KN/m<sup>2</sup>. Estos niveles de carga son soportados por un gran número de edificaciones.

La antigüedad de la estructura, del sistema de drenaje y de la impermeabilización son esenciales, ya que su sustitución incrementa los costes asociados a la rehabilitación. Una revisión de los costes de construcción en New Taipei City demostró que los costes medios iniciales de las cubiertas verdes realizadas están en torno a los 57 €/m<sup>2</sup> en las extensivas y 76 €/m<sup>2</sup> en las intensivas [13]. Estos costes mostraron ser más reducidos que en otros países, como en Estados Unidos, donde se encuentran entre 120 y 150 €/m<sup>2</sup> [35]. En términos del coste total del ciclo de vida de la cubierta, el coste de una cubierta ecológica es entre un 10% y un 14% más caro que una cubierta convencional después de 60 años de vida [36]. Sin embargo, el ahorro energético que suponen al mejorar el aislamiento, combinado con el incremento futuro de los costes energéticos, y el ahorro asociado a una mejor gestión del agua pluvial, hacen que la opción de construir cubiertas ecológicas sea económicamente más atractiva en conjunto.

## 4. CONCLUSIONES

Los problemas asociados a las inundaciones y contaminación difusa en las ciudades tienen su principal origen en la impermeabilización del suelo urbano, que además favorece el efecto de la isla de calor incrementando las necesidades energéticas de climatización. La mejor forma de reducir estos problemas es

atacándolos en el origen a través de la sustitución de las superficies impermeables por superficies permeables, no solo en obras de nueva construcción, sino mediante procesos de rehabilitación urbana.

Las principales técnicas de superficies permeables se engloban en los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), destacando las cubiertas y los firmes permeables. El uso conjunto de estas técnicas en entornos urbanos mejora el comportamiento hidrológico, reduciendo el volumen de escorrentía y laminando el caudal punta, posibilitando la revalorización y reutilización del agua.

Las superficies permeables han de diseñarse para soportar el régimen hidrológico de la zona donde se instalen. La acumulación de sedimentos arrastrados por la escorrentía es el principal problema de los firmes permeables durante su vida útil, que combinado con inclinaciones crecientes del pavimento reduce su capacidad de infiltración. Por otro lado, las cubiertas ecológicas mejoran su comportamiento hidrológico con profundidades crecientes del sustrato, siendo especialmente adecuadas para la gestión de los eventos de corta duración y poca importancia.

La aplicación de superficies permeables en procesos de rehabilitación hidrológica en entornos urbanos se encuentra limitada por la necesidad de mantenimiento y el sobrecoste que conllevan. Además los firmes permeables verán restringida su aplicación por la capacidad estructural requerida para soportar el tráfico; mientras que las cubiertas permeables requerirán de un reducido peso que sea soportado por la edificación.

La rehabilitación hidrológica urbana es cada día más necesaria en las grandes ciudades, siendo los firmes permeables y las cubiertas verdes las dos principales técnicas constructivas que permiten cambiar superficies urbanas impermeables por superficies permeables al agua, reduciendo los efectos de las inundaciones y de la contaminación difusa.

## AGRADECIMIENTOS

Esta comunicación ha sido posible gracias a los proyectos BIA2009-08272 y BIA2012-32463 del Plan Nacional de I+D+i, cofinanciados por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y por fondos de PGE y FEDER, y desarrollados por el Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción de la Universidad de Cantabria.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Dolz, J., Gómez, M. Problemática del drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas y del estudio hidráulico de las redes de colectores. *Drenaje Urbano* Vol.1 (1994).
2. Dauphiné, André. *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Armand Colin (Coll. «U – Géographie»), Paris, 2003.
3. Dietz, M. E. Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water Air Soil Pollut.* Vol.186 (2007).
4. Novotny, V. *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*, J. Wiley & Sons, New York, NY, 2003.
5. Page, J. L., Winston, R. J. and Hunt, W. F. Stormwater monitoring of innovative street retrofits in urban Wilmington, NC. *World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries, Proceedings of the 2012 Congress*,
6. Castro-Fresno, Daniel, Andres-Valeri, Valerio Carlos, Sanudo-Fontaneda, Luis Angel, Rodriguez-Hernandez, Jorge. Sustainable Drainage Practices in Spain, Specially Focused on Pervious Pavements. *Water* Vol.5 (2013).

7. Pratt,C., Wilson,S. and Cooper,P. *Source control using constructed pervious surfaces. Hydraulic, structural and water quality performance issues*, CIRIA, London, 2002.
8. Rodriguez-Hernandez,Jorge. Estudio, Analisis y Diseño de Secciones Permeables de firmes para vias urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar traficos ligeros. Universidad de Cantabria **2008**.
9. Schlüter,W., Jefferies,C. Modelling the outflow from a porous pavement. *Urban Water* Vol.4 (2002).
10. Castro,D., González-Angullo,N., Rodríguez,J., Calzada,M. A. The influence of paving-block shape on the infiltration capacity of permeable paving. *Land Contamination and Reclamation* Vol.15 (2007).
11. Rodríguez-Hernandez,J., Castro-Fresno,D., Fernández-Barrera,A. H., Vega-Zamanillo,Á. Characterization of Infiltration Capacity of Permeable Pavements with Porous Asphalt Surface Using Cantabrian Fixed Infiltrometer. *J.Hydrol.Eng.* Vol.17 (2012).
12. Sañudo-Fontaneda,L. A., Rodríguez-Hernandez,J., Vega-Zamanillo,A., Castro-Fresno,D. Laboratory Analysys of the Infiltration Capacity of interlocking concrete block pavements in car parks. *Water Science and Technology* (2012).
13. Chen,C. -F. Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: A review. *Ecol.Eng.* Vol.52 (2013).
14. Czemiel Berndtsson,J. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecol.Eng.* Vol.36 (2010).
15. Frazer,L. Paving paradise: The peril of impervious surfaces. *Environ.Health Perspect.* Vol.113 (2005).
16. Lundholm,J., MacIvor,J. S., MacDougall,Z., Ranalli,M. Plant species and functional group combinations affect green roof ecosystem functions. *PLoS ONE* Vol.5 (2010).
17. Villarreal,E. L., Bengtsson,L. Response of a Sedum green-roof to individual rain events. *Ecol.Eng.* Vol.25 (2005).
18. Carter,T. L., Rasmussen,T. C. Hydrologic behavior of vegetated roofs. *J.Am.Water Resour.Assoc.* Vol.42 (2006).
19. Mentens,J., Raes,D., Hermy,M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape Urban Plann.* Vol.77 (2006).
20. Simmons,M. T., Gardiner,B., Windhager,S., Tinsley,J. Green roofs are not created equal: The hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosystems.* Vol.11 (2008).
21. Moran,A. C., Hunt,W. F. and Smith,J. T. Green roof hydrologic and water quality performance from two field sites in North Carolina. *Proceedings of the 2005 Watershed Management Conference - Managing Watersheds for Human and Natural Impacts: Engineering, Ecological, and Economic Challenges*,
22. Audisio,C., Turconi,L. Urban floods: A case study in the Savigliano area (North-Western Italy). *Natural Hazards and Earth System Science.* Vol.11 (2011).

23. Kirzhner,F., Kadmon,A. Estimation of the possible flood discharge and volume of stormwater for designing water storage. *Rev.Environ.Health*. Vol.26 (2011).
24. Li,J. -L, Che,W. Non-point source pollution and stormwater management practices of parking lot. *2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, RSETE 2011 - Proceedings*,
25. De Solminihaç,H., Castro,J. Pavimentos porosos de hormigón: una opción para mitigar los efectos de las aguas lluvias. *BIT* (2002).
26. Ferguson B.K. *Porous pavements*. Taylor & Francis, 2005.
27. Ferguson,B. K. Porous pavements: the making of progress in technology and design. *8th International Conference on Concrete Block Paving*. 6-8 November 2006.
28. Knapton,J., Cook,I. D. Integrated design method for pavements surfaced with concrete blocks or clay pavers. *Highways and transportation*. Vol.40 (1993).
29. Sniffer. Project WFD62: wetland and groundwater interactions. Phase 1 Report: knowledge base and outline framework for risk assessment of groundwater dependent terrestrial ecosystems. *Edinburgh*, 2006.
30. Swan,A. D., Stovin,V. R. A Decision-Support Framework for the Design of Retrofit SUDS. *International Conference on Sewer Operation and Maintenance (SOM2002)*, University of Bradford, 26-28 November.
31. Grover,W. C.; Hoiberg,A. J.; Haigh,T. I. Investigation of porous pavements for urban runoff control. *Water Pollution Control Research Series: 11034 DUY*. US Government Printing Office, Washington DC., 1972.
32. Bitting,J. and Kloss,C. Managing Wet Weather with Green Infrastructure - Municipal Handbook - Green Infrastructure Retrofit Policies. *Olympia WA*, 2008.
33. Stovin,V. R., Dunnett,N. and Hallam,A. Green Roofs – Getting Sustainable Drainage Off the Ground. *6th International Conference of Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management (NOVATECH)*, Lyon, France, 25-28 June.
34. Wark,C. G., Wark,W. W. Green roof specifications & standards establishing an emerging technology. *Construction Specifier*. Vol.56 (2003).
35. Livingroofs.org, Ecology Consultancy ltd. *Green Roofs - Benefits and cost implications*, Birmingham City Council, Birmingham, 2004.
36. Carter,T., Keeler,A. Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *J.Environ.Manage*. Vol.87 (2008).