

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Sistema de Drenaje Urbano Sostenible

Carlos Orlando Hernández Suárez

Doctor en Ciencias Técnicas
 Ingeniero Hidráulico , Profesor Investigador de la UAGRM

Carmen Ofelia Maida Vargas

Diplomada en Tratamientos de Aguas Residuales
 Ingeniera Industrial, Profesora Titular de la UAGRM

RESUMEN

En el trabajo se presenta un nuevo enfoque innovador y alternativo de la gestión del agua de lluvia en los entornos urbanos, cuyo principio básico es el de simular la naturaleza, basado en la gestión de la precipitación cerca del lugar donde ésta cae, con el propósito de atenuar el caudal de agua antes de que se incorpore a los ríos u otros cursos de agua.

Adicionalmente se presentan algunas de las experiencias de su implementación en diversos países, lo que permitirá tener una visión de conjunto de los retos que supone el apostar por impulsar el cambio necesario para la implementación generalizada de este novedoso sistema de gestión del agua de lluvia.

Palabras claves: Drenaje urbano sostenible, Gestión del agua de lluvia, Medio ambiente

ABSTRACT

At work a new innovative and alternative approach to managing rainwater comes in urban environments,

whose basic principle is to simulate nature, based on the management of precipitation near where it falls, in order to reduce the flow of water before the rivers or other waterways joins.

In addition are some of the experiences of implementation in different countries, allowing to have an overview of the challenges the bet required to drive the widespread implementation of this new system of rainwater management change.

Keywords: Sustainable urban drainage, Rainwater management, Environment

1. INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo urbano que han ido experimentando los pueblos y ciudades en las últimas décadas, ha dado lugar a la paulatina impermeabilización del suelo, sustituyendo por asfalto y hormigón lo que antes habían sido terrenos agrícolas o superficies forestales. Estos cambios han alterado el ciclo hidrológico natural, produciendo un aumento de volúmenes de escorrentía y una disminución de la

infiltración, impidiendo así la recarga natural de los acuíferos.

Para evitar la acumulación de agua en estas superficies impermeables, se construye en el subsuelo grandes infraestructuras de drenaje convencional que evacúan rápidamente la escorrentía generada, haciéndola desaparecer de las zonas urbanas, pero trasladando el problema aguas abajo, causando inundaciones y erosión de los cauces naturales.

Con la intención de solucionar los problemas generados, se realizan costosas intervenciones de encauzamiento y protección contra inundación de zonas urbanas situadas aguas abajo, que en su mayoría continúan la cadena de destrucción del hábitat natural, y que quedarán pronto obsoletas si el proceso urbanizador sigue el patrón actual.

Con la ampliación de los núcleos urbanos, aparece además el problema de la incapacidad de las redes existentes de evacuar el incremento de escorrentía generado, lo que obliga bien a realizar grandes inversiones para aumentar la capacidad de evacuación, o bien a asumir inundaciones más frecuentes. En este último caso, se producen reboses y descargas incontroladas.

Por otro lado la escorrentía urbana, lejos de ser agua limpia, arrastra grandes cantidades de contaminantes (sedimentos, metales pesados, grasas y aceites, nutrientes, entre otros.), procedentes de diversas y amplias zonas, y por tanto de difícil acotación generando una contaminación difusa.

A nivel mundial está ampliamente reconocido que se necesita un cambio en la manera de gestionar el agua de lluvia en entornos urbanos. No es suficiente con proteger la ciudad contra inundaciones, sino que se ha de tener en cuenta el efecto que la escorrentía generada y transportada, aguas abajo, produce en el medioambiente, junto con los múltiples efectos colaterales que conlleva, y que afectan incluso a lugares situados a grandes distancias del punto de origen.

La necesidad de que el desarrollo sea verdaderamente sostenible y respetuoso con el medio ambiente, ha hecho que en multitud de países emerja con fuerza el empleo del SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE, cuyo objetivo principal es el de resolver tanto los problemas de cantidad como de calidad de las escorrentías urbanas, minimizando los impactos del desarrollo urbanístico y maximizando la integración paisajística y los valores sociales y ambientales de las actuaciones programadas.

A lo largo del presente artículo se describen las principales técnicas que se emplean en estos sistemas, y se enfatizan los beneficios más destacables de este enfoque innovador y alternativo de la gestión del agua de lluvia en los entornos urbanos, adicionalmente se presentan algunas experiencias de su implementación en diversos países, lo que permitirá tener una visión de conjunto de los retos que supone el apostar por impulsar el cambio necesario para la implementación generalizada del SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE.

2. DEFINICIÓN DE SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

Se define como sistema de drenaje urbano sostenible, aquel cuya misión es captar, filtrar, retener, transportar, almacenar e infiltrar en el terreno el agua de lluvia, de forma que ésta no sufra deterioro e incluso permita la eliminación, de forma natural, de al menos parte de la carga contaminante que haya podido adquirir por procesos de escorrentía urbana previa, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la mejora del diseño urbano.

El principio básico de este sistema es el de simular la naturaleza y para ello se gestiona la precipitación cerca de donde cae. Pueden ser diseñados para atenuar el caudal de agua antes de que se incorpore a corrientes, ríos u otros cursos de agua. Proporcionan espacios para el almacenamiento de agua en entornos naturales donde ésta puede ser infiltrada a través del suelo, evaporada desde la superficie desde la lámina del agua o evapotranspirada por la vegetación.

3. OBJETIVOS DEL SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

El objetivo del sistema de drenaje urbano sostenible es el de dotar a la urbe de “nuevas capas” permeables en cubiertas y pavimentos que se comportan como sumideros filtrantes que simulan el ciclo natural del agua. El agua filtrada es captada y gestionada de forma sub superficial para su reciclado, infiltración en el terreno o vertido en un cauce natural en perfecto estado, controlando cantidad, calidad y tiempo.

De manera general los objetivos se podrían resumir en los siguientes aspectos:

- Mejorar la calidad del agua en las corrientes urbanas.
- Restaurar el flujo natural del agua.
- Proteger las urbes de las inundaciones
- Ofrecer valores estéticos al entorno.
- Dotar de lugares recreativos a las urbes.
- Permitir la recarga de los acuíferos.
- Simplificar las instalaciones urbanas de drenaje, abaratando su costo.

4. MEDIDAS DE SOLUCIÓN QUE PROPONE EL SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

Las medidas y técnicas de solución que propone el drenaje sostenible, se clasifican en medidas estructurales y no estructurales.

4.1. Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales previenen por una parte la contaminación del agua, reduciendo las fuentes potenciales de contaminantes, y por otra, evitan parcialmente el tránsito de las escorrentías hacia aguas abajo y su contacto con los contaminantes, las mismas están encaminadas a:

- La creación de programas educacionales de participación ciudadana.

- Minimizar superficies impermeables.
- El control de la aplicación de herbicidas y fungicidas en parques y jardines.
- La limpieza frecuente de superficies de escorrentía para reducir la acumulación de contaminantes.
- El control permanente de la limpieza de las zonas donde se estén ejecutando obras para evitar el arrastre de sedimentos.
- El control de las conexiones ilegales al sistema de drenaje.
- Incentivar la recogida y reutilización de las aguas pluviales.

4.2. Medidas estructurales

Se consideran medidas estructurales aquellas que gestionan la escorrentía contaminada mediante actuaciones que contengan, en mayor o menor grado, algún elemento constructivo, o supongan la adopción de criterios urbanísticos. Las medidas estructurales más utilizadas son:

- Cubiertas vegetadas o ecológicas.
- Superficies permeables.
- Franjas filtrantes.
- Pozos de infiltración
- Drenes filtrantes.
- Cunetas verdes.
- Depósitos de detención.
- Depósitos de infiltración.
- Estanques de retención.
- Humedales.

5. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS ESTRUCTURALES

5.1. Cubiertas vegetadas o ecológicas

Las cubiertas vegetadas son sistemas multicapa que recubren tejados, terrazas y balcones de todo tipo, compuestos por una membrana impermeable de alta calidad, un sistema de drenaje, una capa de geotextil, suelo vegetal o medio alternativo para el crecimiento de la vegetación y plantas (ver figura 1).



Figura 1. Cubiertas vegetadas o ecológicas

Desde un punto de vista hidrológico, el principal objetivo de las cubiertas vegetadas es el de filtrar, retener y controlar la generación de escorrentía. Este objetivo puede conseguirse con cubiertas vegetadas o con azoteas cubiertas de material granular (gravilla, arena, entre otros).

Las cubiertas ecológicas ofrecen la posibilidad de recuperar y mejorar los espacios verdes en las ciudades, aportando una mejora micro climática a través de elementos de diseño pasivo en edificios y equipamientos (ver figura 2).

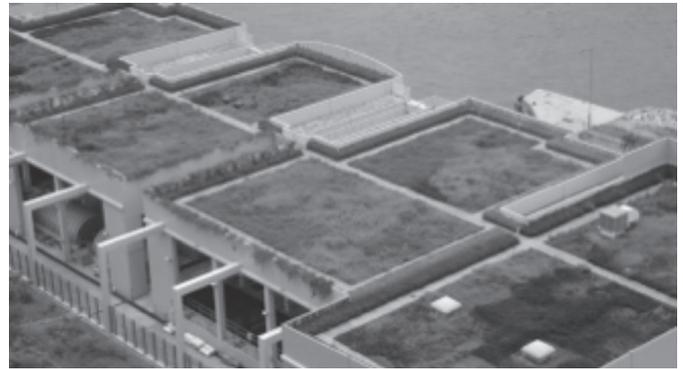


Figura 2. Implementación de cubiertas vegetadas o ecológicas

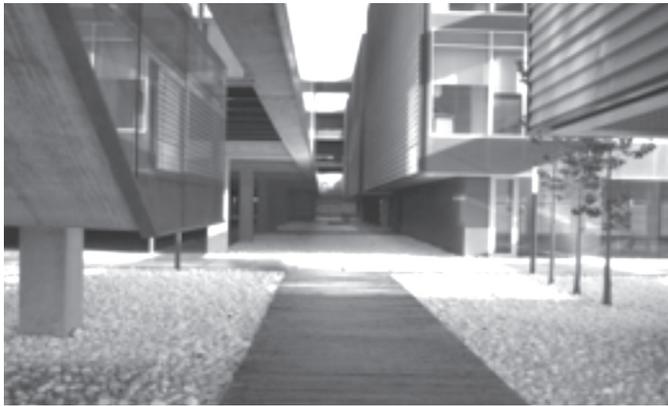
5.2. Superficies Permeables

Se entiende por superficie permeable un pavimento construido por el hombre que permite el paso del agua. Estos sistemas están constituidos por un volumen de material permeable situado bajo una superficie que permite el paso del agua pudiendo tratarse de césped, grava, pavimento de bloques impermeables con huecos rellenos de césped o grava, pavimento de bloques impermeables con ranuras sin relleno alguno, pavimentos porosos.

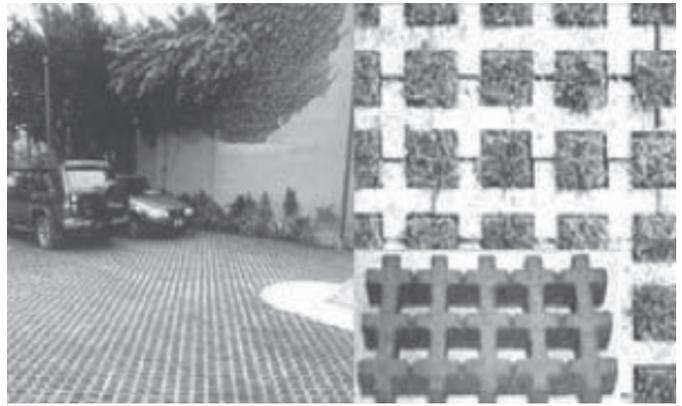
El agua atraviesa la superficie permeable, que actúa a modo de filtro, hasta la capa inferior que sirve de reserva, de manera que se atenúan las puntas del flujo. Esta reserva puede ser transportada a otro lugar, almacenadas o infiltrada en el terreno si este lo permite.

Las distintas capas permeables retienen partículas de diversos tamaños, aceites y grasas. Los hidrocarburos retenidos pueden llegar a ser biodegradados en estas capas con el paso del tiempo.

Estas técnicas están siendo actualmente utilizadas en estacionamientos de vehículos ligeros, accesos a zonas residenciales, caminos y patios. En la figura 3 se presentan algunos ejemplos de aplicación de las superficies porosas.



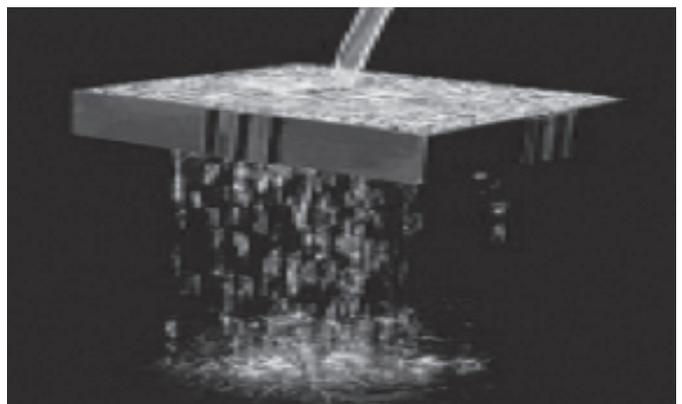
Superficie permeable de grava



Superficie bloques con huecos rellenos de césped



Bloques impermeables con ranuras sin relleno



Pavimentos porosos

Figura 3. Aplicaciones de superficies porosas

5.3. Franjas Filtrantes

La franja filtrante es una sección de tierra vegetada con cierta inclinación, diseñada para recibir la escorrentía superficial de una superficie impermeable y facilitar su filtración. Su principal misión es filtrar una lámina de escorrentía atrapando sólidos y aceites. Estas deben ser emplazadas entre una superficie impermeable y el medio que recibe la escorrentía.

Las pendientes deben ser poco pronunciadas y los anchos a atravesar por el agua los mayores posibles.

Las franjas de filtración pueden albergar cualquier forma de vegetación natural. Mientras el césped ofrece una superficie más tupida, los arbustos y árboles permiten mayor evapotranspiración y otorgan un valor medioambiental extra a la zona. En cualquier caso, a mayor anchura de franja y densidad de vegetación se obtiene mayor capacidad filtrante y grado de depuración.

Estos sistemas se utilizan para recibir la escorrentía de pequeñas cuencas, de carreteras, de plazas, andenes, teniendo especial cuidado de que no se bloquee el paso del escurrimiento a la franja filtrante (ver figura 4).



Franja filtrante para la escorrentía de vías férreas



Franja filtrante para la escorrentía de carreteras

Figura 4. Aplicaciones de las franjas filtrantes

5.4. Pozos de infiltración

Los pozos de infiltración son sistemas subterráneos de almacenamiento temporal de la escorrentía procedente principalmente de tejados y azoteas. Mediante esta técnica se consigue desconectar estas aguas de la red principal, disminuyendo así el caudal a circular por el sistema de drenaje pluvial. No pueden utilizarse en suelos poco permeables y es recomendable que queden algo por encima del nivel freático para permitir las filtraciones al terreno.

Es posible construir pequeños o grandes pozos de infiltración. Los pozos pequeños son pensados para

infiltrar la escorrentía de superficies pequeñas, como las del techo de una vivienda. La suma de pequeños pozos distribuidos espacialmente puede ser sumamente eficaz en la reducción de la escorrentía (ver figura 5).

Los grandes pozos de infiltración, por otra parte, pueden tener varios metros de profundidad e infiltrar las aguas pluviales de un pequeño vecindario.

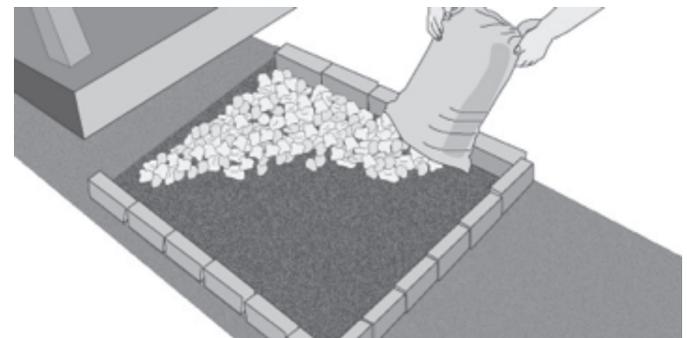
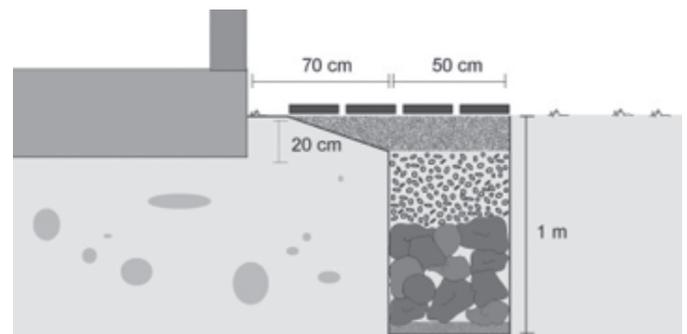
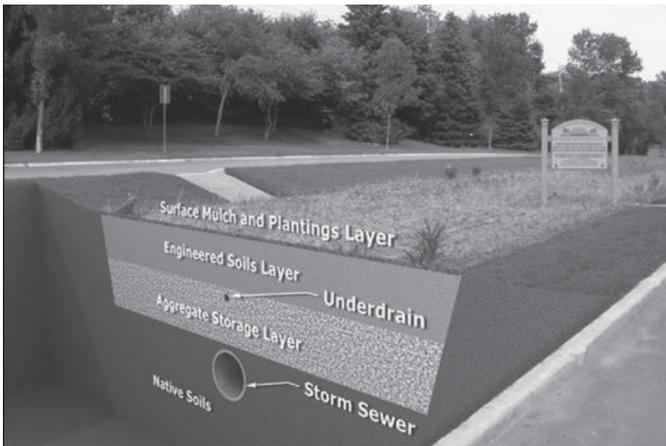


Figura 5. Pozos de infiltración de aguas pluviales del techo de una vivienda

5.5. Drenes Filtrantes

Los drenes filtrantes son conformados por excavaciones poco profundas, rellenas con materiales filtrantes granular o sintéticos, con o sin conducto inferior de transporte, concebidos para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de infiltrarlas o transportarlas hacia aguas abajo. Además pueden permitir la infiltración y la laminación de los volúmenes de escorrentía ya que crean un almacenamiento temporal sub superficial.

Estos elementos pueden captar lateralmente la escorrentía proveniente de vías, áreas verdes con poca capacidad de filtración, o de un colector que previamente haya recolectado aguas pluviales a través de otro sistema de drenaje urbano sustentable (ver figura 6). Estos sistemas deberán tener superficies cóncavas que permitan la concentración de la escorrentía hacia el centro del elemento.



Dren filtrante para la escorrentía de una carretera



Dren filtrante para la escorrentía de un centro de distribución en Zaragoza

Figura 6. Aplicaciones de los drenes filtrantes

5.6. Cunetas Verdes

Las cunetas verdes o vegetadas son canales superficiales amplios, diseñados para que la escorrentía circule lentamente promoviendo así la infiltración, el

filtrado de los contaminantes y la sedimentación de partículas en el suelo. Son un buen sistema de transporte de escorrentía, ya que proporcionan una mejora de la calidad del agua.

Existen tres tipos de cunetas verdes:

- a. **Cunetas verdes tradicionales:** Que consisten en canales amplios y pocos profundos recubiertos de césped que se usan para transportar el agua de escorrentía.
- b. **Cunetas verdes secas:** Son canales vegetados que disponen de un lecho filtrante formado por un material muy permeable que permite que todo el volumen se infiltre a través del fondo del canal. Se denominan secas porque la mayoría del tiempo no contiene agua y no llegan a encharcarse durante los períodos húmedos.
- c. **Cunetas verdes húmedas:** Están diseñadas para promover la retención o el encharcamiento del agua de forma permanente, para ello, se ejecutan en lugares que tienen el nivel freático elevado o donde el suelo sea impermeable, de manera que se mejoren los procesos de tratamiento de las aguas de escorrentía.

En la figura 7 se presentan algunos ejemplos de aplicación de las cunetas verdes o vegetadas.



Figura 7. Aplicaciones de las cunetas verdes o vegetadas en carreteras

5.7. Depósitos de detención

Este tipo de solución del sistema de drenaje sostenible es el más sencillo de todos, consiste simplemente en que el agua captada en origen (azoteas, pavimentos, entre otros) sea transportada a un depósito enterrado o no, donde se retiene con el propósito de utilizarla con fines no potables tales como en el suministro de agua a sanitarios y urinarios, en lavado de vehículos y en el riego de jardines y áreas verdes. En caso de no ser reutilizada, esta agua podrá ser vertida a la red de saneamiento sin producir un aumento brusco del caudal ni de contaminantes, mejorando su gestión.

En la figura 8 se puede observar un depósito de detención de agua de lluvia proveniente del tejado de un domicilio con el propósito de utilizarla como suministro de agua para el inodoro, lavadora, limpieza del hogar, y riego de jardines.

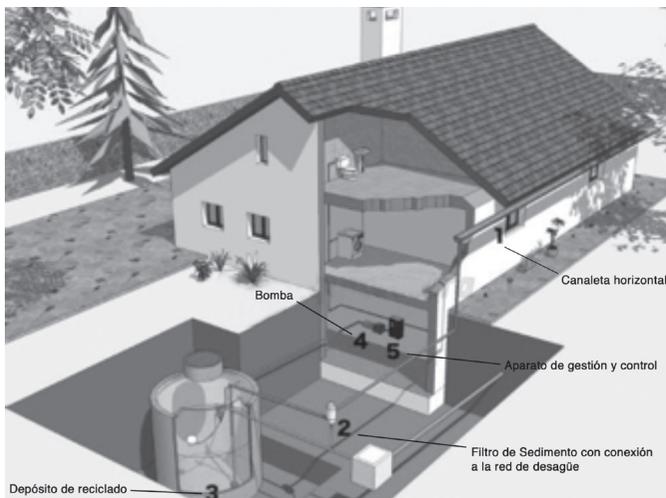


Figura 8. Esquema de una instalación de reciclado de un domicilio

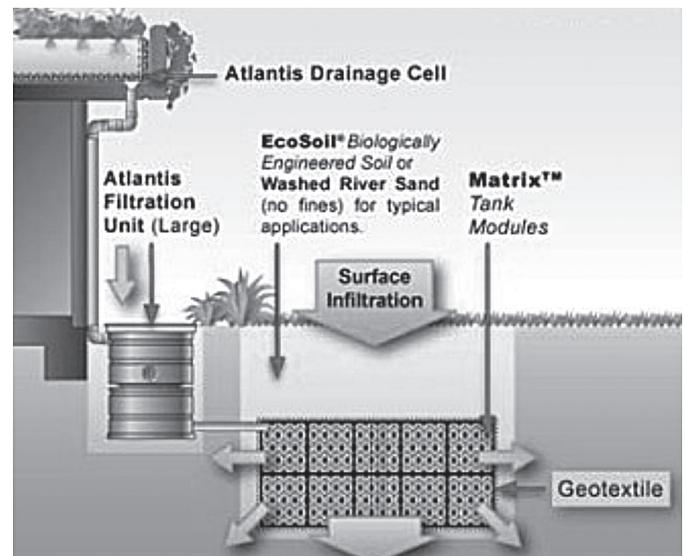
5.8. Depósitos de Infiltración

Los depósitos de infiltración son tanques o embalses superficiales poco profundos donde se almacena el agua hasta que se produce su infiltración. Estos se suelen construir con un desagüe de emergencia para en caso que se supere la capacidad de almacenamiento, enviar el agua al siguiente sistema de la cadena de tratamiento.

Por último, el agua depurada se infiltra en el terreno permitiendo la recarga de los acuíferos.

En el caso del embalse superficial, su forma es irregular con bases anchas y taludes laterales suaves cubiertos de vegetación, estos depósitos de infiltración pueden recoger el agua de una cuenca mayor que los pozos y las zanjas de infiltración, dado que también permiten en caso necesario, el almacenamiento temporal por encima de la superficie del terreno en forma de lámina de agua.

En la figura 9 se puede observar los tipos de depósitos de infiltración de agua de lluvia que se pueden encontrar.



Depósito de infiltración de agua de lluvia de un tejado



Depósito de infiltración del tipo embalse superficial

Figura 9. Depósitos de infiltración de agua de lluvia

5.9. Estanques de Retención

Son lagunas artificiales que tienen agua de forma permanente por lo que permiten la proliferación de la flora y la fauna acuática. El volumen de agua constante oculta bancos de sedimentos antiestéticos e incrementa el rendimiento en la eliminación de nutrientes, metales pesados, coliformes y materia orgánica. La característica fundamental que tienen los estanques de retención es su capacidad de eliminación de contaminantes, ya sea por sedimentación o por procesos de biodegradación llevados a cabo por las plantas y microorganismos que allí habitan. Se dimensionan para garantizar largos periodos de retención de la escorrentía, de 2 a 3 semanas.

En la actualidad se aprovecha la construcción de estos estanques para convertirlos en parques acuáticos, parques de esparcimientos y lugares para la práctica de los deportes acuáticos. (Ver figura 10).



Figura 10. Estanques de retención

5.10. Humedales

Son elementos artificiales, de escasa profundidad y con una elevada densidad de vegetación emergente, propia de pantanos y zonas húmedas. Esta alta cantidad de vegetación hace que los niveles de bioeliminación de contaminantes sean más que notables.

Por la gran efectividad en el control de la calidad del agua, también son de utilidad en el control del volumen de escorrentía. Un punto a tener en cuenta en el diseño de estos elementos es la importancia de asegurar siempre un flujo base, especialmente en periodos de sequía, ya que es imprescindible para mantener con vida la flora y la fauna que habitan en el humedal.

Una de las ventajas más significativas de estas técnicas es que aporta un gran potencial ecológico, estético, educacional y recreativo al lugar en el que son emplazadas.



Figura 11. Humedales en funcionamiento

6. CONCLUSIONES

Entre las conclusiones más relevantes sobre este nuevo enfoque de tratamiento de las aguas pluviales se encuentran:

- a. Constituyen una novedosa forma de tratamiento de las aguas de origen pluvial cuyo principio básico es el de simular la naturaleza y para ello gestionan la precipitación cerca de donde cae.
- b. Se diseñan para atenuar el caudal de agua antes de que se incorpore a corrientes, ríos u otros cursos de agua.
- c. Proporcionan espacios para el almacenamiento de agua en entornos naturales donde ésta puede ser infiltrada a través del suelo, evaporada desde la superficie o evapotranspirada por la vegetación.
- d. Tienen como filosofía la reproducción de la manera más fiel posible del ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana.
- e. Permiten la captación, la gestión y proporcionan un recurso natural, libre de contaminación.
- f. Protegen los sistemas naturales, a partir de mejorar el ciclo del agua en entornos.
- g. Reducen los volúmenes de escorrentía y los caudales punta procedentes de zonas urbanizadas mediante el empleo de elementos de retención y la minimización de áreas impermeables.
- h. Minimizan el costo de las infraestructuras de drenaje convencional, toda vez parte del caudal que irían hacia ellas es infiltrado o reutilizado.
- i. Reducen la demanda de agua potable, a partir de la realización una gestión integral de los recursos hídricos al fomentar la reutilización en origen de las aguas pluviales.
- j. El sistema de drenaje sostenible está concebido para sustituir a los colectores enterrados convencionales,

o su utilización en combinación con ellos, sin que ello vaya en detrimento del nivel de seguridad frente a las inundaciones de una ciudad.

- k. Se pueden utilizar como complemento a los sistemas convencionales que ya han sido rebasados por los aportes pluviales crecientes de una ciudad.
- l. Contemplan el agua de lluvia como un recurso natural, lo que permite realizar una gestión hídrica más eficiente, contando con el aprovechamiento de las aguas pluviales, bien para su reutilización o para su infiltración al subsuelo.

BIBLIOGRAFÍA

Ayuntamiento de Madrid (2006). Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid. Madrid.

Comité de Expertos en Sequía del MMA (2007). La Sequía en España: Directrices para minimizar su impacto. Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente. 2007.

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000.

Nisenson, L.: Using Smart Growth Techniques as Storm water Best Management Practices. United States Environmental Protection Agency. EPA 231-B-05-002, 2006.

Perales, S.; Doménech, A I.: Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia. V Congreso Nacional de la Ingeniería Civil. Sevilla. 2007.

Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, Régimen Jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE nº 294.,8 de diciembre de 2007.

Valls, G y Perales, S.: Integración de las Aguas Pluviales en el Paisaje Urbano: un Valor Social a Fomentar. I Congreso Nacional de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Bilbao. Mayo 2008.

Brailovsky, A.: Buenos Aires, Ciudad Inundable. 1ª Ed. Le Monde diplomatique, Argentina. 2007.

Gaspari, F.J., Senisterra, G.E. y Marlats, R.M.: Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. UNCUYO. Tomo XXXIX: 21- 8, 2007.

Rosatto, H.; Laureda, D.; Eficiencia de la retención hídrica de las cubiertas vegetadas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Tomo XLII. Editorial Centro de Ediciones Académicas, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, 2010.

Woods - Ballard B.; Kellagher R.; Martin P.; Jefferies C.; Bray R.; Shaffer P.: The SUDS Manual. CIRIA C697. London, 2007.

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. V Congreso Nacional de la Ingeniería Civil. Sevilla, Noviembre de 2007, UPV.

Hernández R, Jorge; Castro F, Daniel: Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Universidad de Cantabria.

Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Ministerio de Fomento.2008.

Palma C, Ignacio: Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje. Ed. Eunsa. Abril 2003.

Aguado, A., Josa, A., & Pindado, M.: Nuevas tendencias en los hormigones porosos. VII Jornada del Hormigón, Barcelona, 1998.

Domenech A.: Evaluación probabilística de indicadores de eficiencia para el dimensionamiento volumétrico de tanques de tormenta para el control de la contaminación de escorrentías urbanas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 2010.

Barro, J.: Problemática y técnicas de gestión de la contaminación de la escorrentía urbana en sistemas de saneamiento separativos y unitarios. XXII Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Tomo II, 2011.

Fernández, B; Montt, P; Rivera, P.: Nuevos Enfoques para el Drenaje Urbano de Aguas Lluvias. Centro de Aguas Urbanas. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Castro, D; Rodriguez, J; Ballester, F.: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Inter ciencia, páginas 255-260, 2005.

CEDEX: Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano. Centro de Publicaciones de la Secretaria General Técnica del Ministerio de Fomento, 2008.

CIRIA: Sustainable Urban Drainage Systems. Design manual for Scotland and Northern Ireland. Construction Industry Research and Information Association, Report, Londres, 2011.

De Solminihac, H., & Castro, J.: Pavimentos porosos de hormigón: una opción para mitigar los efectos de las aguas lluvias. Revista BIT. Junio 2002.

M.I.N.V.U.: Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de diseño. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Santiago, Chile, Chile: Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.