



Received: 15/06/2023

Accepted: 25/09/2023

Anales de Edificación
Vol. 9, Nº2, 1-12 (2023)

ISSN: 2444-1309

DOI: 10.20868/ade.2023.5363

Los beneficios de la reproducción y explotación del proceso natural de infiltración de las escorrentías. Collaborative planning of subcontractors using the The benefits of replicating and exploiting the natural process of runoff infiltration.

Evelio Tejión López-Zuazo^a; Álvaro González Payo^b

^a Departamento de Construcción y Agronomía, Universidad de Salamanca.

^b Departamento de Proyectos y Obras de Infraestructuras del Ayuntamiento de Getafe, Madrid.

Resumen-- El agua fue y es fuente de vida, y su comportamiento natural, denominado ciclo del agua, marca la diferencia entre un espacio más o menos rentable a nivel social, medioambiental y económico. Una parte del ciclo del agua es la infiltración en el terreno cuando llega a la superficie terrestre en forma de precipitación atmosférica. La infiltración aporta claros beneficios entre los que podemos enumerar: la reducción de la pobreza energética en los entornos urbanizados; la mejor calidad de vida para sus habitantes; la contribución a la sostenibilidad general de la civilización y también beneficios menos etéreos y más palpables como son el menor consumo de recursos, la viabilidad urbanística en determinados casos, la resolución de problemas administrativos o el reconocimiento profesional que indudablemente redundan en un mejor desarrollo empresarial y mayor prestigio. Entonces, ¿por qué no abandonar la gestión centralizada de la escorrentía, y adoptar tecnologías de descentralización?

Palabras clave— LEED, drenaje, mantenimiento, urbanismo, Agenda 2030.

Abstract— Water was and is the source of life, and its natural behaviour, called the water cycle, makes the difference between a more or less profitable space on a social, environmental and economic level. One part of the water cycle is infiltration into the ground when it reaches the earth's surface in the form of atmospheric precipitation. Infiltration brings clear benefits among which we can list: the reduction of energy poverty in urbanised environments; better quality of life for its inhabitants; the contribution to the general sustainability of civilisation and also less ethereal and more palpable benefits such as lower consumption of resources, urban viability in certain cases, the resolution of administrative problems or professional recognition that undoubtedly results in better business development and greater prestige. So why not abandon the centralised management of runoff and adopt decentralised technologies?

Index Terms— LEED, drainage, maintenance, urbanism, Agenda 2030.

I. INTRODUCCI3N

DE una forma simplista podr3amos decir que el gran crecimiento de las ciudades empez3 a producirse, si hablamos de Europa o Estados Unidos, en el siglo XIX, con motivo de la industrializaci3n que, de forma constante, fue atrayendo a las mismas a la gente que viv3a en el campo. Un flujo migratorio que es, cada vez, m3s acusado.

Por motivos meramente econ3micos, a partir de los a3os 60 el urbanismo apost3 por una elevada densidad edificatoria, que se acus3 especialmente, si ya hablamos de Espa3a, en los a3os 80 y 90.

Este modelo ha venido mostrando la problem3tica que plantea a distintos niveles, y uno de ellos es el drenaje de las ciudades y la depuraci3n de las aguas urbanas. Un problema que adem3s se ha acrecentado con el cambio clim3tico, pues las precipitaciones ya no se comportan como antiguamente. Han visto su cuant3a generalmente reducida, y, sin embargo, su concentraci3n es cada vez mayor. Es decir, que llueve menos, pero cuando llueve, suele ser de forma estrepitosa, con vol3menes que antiguamente se extend3an durante, en ocasiones, hasta 2 meses.

¿Y cu3l es el problema en s3?

Tiene m3ltiples facetas:

1. La elevada densidad urbana unida a la casi total pavimentaci3n de los espacios p3blicos o el forrado artificial de los edificios provoca un efecto isla de calor. Esto se traduce en pobreza energ3tica, pues se requiere de mayor consumo energ3tico para soportar las elevadas temperaturas.
2. La gesti3n centralizada de las aguas urbanas est3 empezando a crear serios problemas medioambientales, porque cada a3o, entre una y dos veces de media, en distintas zonas de la pen3nsula y m3s acusado cuanto m3s al sur, cuando se producen lluvias torrenciales, los sistemas unitarios de saneamiento urbano conducen a las estaciones depuradoras caudales superiores a los que 3stas son capaces de tratar por motivos de dise3o. Fueron dise3adas en base a una limitaci3n, no prohibici3n, que las Confederaciones Hidrogr3ficas obligaron a cumplir en cuanto a la viabilidad de los vertidos directos de aguas urbanas o industriales a los

cauces naturales. Dicha limitaci3n se basaba en los estudios realizados sobre d3cadas de registro de datos de precipitaci3n, que dieron como resultado unos determinados modelos de precipitaci3n, y que determinaron que la poca probabilidad de determinados eventos no merec3a la pena tenerla presente a la hora de dise3ar los sistemas de depuraci3n ya que el ratio coste / beneficio era demasiado elevado.

Hoy en d3a, los modelos de precipitaci3n ya no sirven, y se multiplican las veces en las que los gestores no tienen m3s remedio que cerrar las obras de entrada a las depuradoras, o suprimir los procesos de depuraci3n secundarios y terciarios, provocando as3 importantes vertidos directos de aguas negras a los cauces naturales. Vertidos que no siempre pueden cumplir con las limitaciones legales.

En algunos casos, la falta de capacidad de gesti3n centralizada del agua es tal que, administrativamente, ya es inviable la ejecuci3n del planeamiento urban3stico, porque dicha ejecuci3n conlleva, tal y como fue aprobada en su momento, m3s aportes a unos sistemas est3n al l3mite de su capacidad. Todos conocemos lo que supone para los municipios, la econom3a y la ciudadan3a no poder llevar a cabo sus planes urban3sticos.

Es decir, que, si el urbanismo de entonces hubiese sido sostenible, el agua de lluvia se quedar3a en los terrenos del barrio, y no sufrir3an sus habitantes el efecto isla de calor, ya que unos espacios verdes en los que adem3s existe agua que mantiene h3medo el subsuelo evitan que la temperatura ambiental real se eleve unos grados m3s, como cuando estamos en una ciudad.

Para poder entenderlo de forma sencilla, cada cu3l dentro de sus posibilidades, puede probar a circular por la carretera N-400, a la altura del kil3metro 10, donde la carretera atraviesa unos terrenos de vega. El efecto t3rmico es claro, pues con las ventanillas bajadas, de repente, se siente aire fresco. Esta sensaci3n es especialmente acusada en los d3as calurosos, y muy agradable en las noches de verano.

3. Los repentinos fuertes caudales vertidos directamente



Fig. 1. Vertido directo de aguas urbanas a cauce desde una EDAR (Fuente: Ayto. de Getafe).



Fig. 2. Ejemplo de aparcamiento cuya construcci3n se vio comprometida ante la imposibilidad de conectarlo con los sistemas de drenaje disponibles. Su viabilidad fue posible gracias a la infiltraci3n de la escorrent3a. (Fuente: Google Maps).

a un cauce en un punto concreto generan, además, daños físicos en el entorno natural. Donde el agua de lluvia se infiltraba en el terreno allí donde ahora hay un denso barrio con un sistema unitario de saneamiento, es recogida y transportada, incluso a veces, a cuencas que nos les corresponden, por lo que esas cuencas también sufren las consecuencias de verse obligadas a gestionar caudales imprevistos.

4. Los eventos más extremos de precipitaciones que se
5. producen cada vez más frecuentemente afectan a los ciudadanos, mermando su calidad de vida, dañando su patrimonio y, lo que es peor, poniendo en riesgo su integridad.

Conscientes los problemas que han acarreado los excesos del pasado en la explotación y deficiente aprovechamiento de los recursos naturales, más de 190 países, entre ellos España, suscribieron la Agenda 2030, aunque más antiguamente ya se habían aprobado estrategias a largo plazo, como Europa 2020 o The Millenium Project.

La Agenda 2030 supone en sí una base para que se desarrollen regulaciones de índole legal y normativa que contribuyan al cumplimiento de sus ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), pero ya en Europa y en España existe un marco regulatorio extenso.

En Europa destacan:

- La Directiva Marco del Agua (2000/60/EC) que estandariza los criterios de evaluación del estudio de las masas de agua en Europa y tiene como objetivo gestionar la demanda del agua, su calidad y su cantidad. Esta directiva pone de manifiesto la necesidad de avanzar hacia una gestión del agua desde una perspectiva holística que vea el agua como un recurso valioso y finito.
- La Directiva de Evaluación y Gestión de los riesgos de Inundación (2007/60/EC). Esta directiva busca reducir el riesgo producido por las inundaciones a través de una planificación con usos compatibles en las zonas aluviales, reduciendo la exposición de las ciudades ante estos eventos.
- A finales de 2019, la Comisión Europea aprobó el Pacto Verde Europeo, una parte integral de la estrategia para implementar la Agenda 2030 en Europa. El Pacto Verde aborda los desafíos relacionados con el clima y el medio

ambiente, mencionando específicamente la necesidad de abordar la contaminación procedente de escorrentías urbanas.

En España tenemos, como marco legal, la Ley de Aguas. Sin embargo, no es objeto de esta ley entrar en los detalles relacionados con el drenaje urbano. Textos legales posteriores que han venido a complementarla o a modificar su reglamento, han ido estableciendo las pautas que hoy en día comienzan a configurar el marco estatal específico en materia de drenaje urbano.

Este marco legal de ámbito estatal se vio alterado drásticamente por la entrada en vigor del Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Este Real Decreto aborda la problemática de los Desbordamientos de Sistemas de Saneamiento (DSS), generalizando la casuística de los Desbordamientos de Sistemas Unitarios (DSU). En concreto, el artículo 259 ter. 1, sobre desbordamientos de sistemas de saneamiento en episodios de lluvia, establece que, en las autorizaciones de vertido de sistemas de saneamiento de zonas urbanas, se tendrán en cuenta los siguientes criterios en relación a desbordamientos en episodios de lluvia:

- Los proyectos de nuevos desarrollos urbanos deberán justificar la conveniencia de establecer redes de saneamiento separativas o unitarias para aguas residuales y de escorrentía, así como plantear medidas que limiten la aportación de aguas de lluvia a los colectores.
- En las redes de colectores de aguas residuales urbanas no se admitirá la incorporación de aguas de escorrentía procedentes de zonas exteriores a la aglomeración urbana o de otro tipo de aguas que no sean las propias para las que fueron diseñados, salvo en casos debidamente justificados.
- En tiempo seco no se admitirán vertidos por los aliviaderos.
- Los aliviaderos del sistema colector de saneamiento y los



Fig. 3. Vista del Arroyo Culebro aguas abajo de la obra de salida de la EDAR tras la DANA de 2018. Previamente, el ancho del cauce, en el fondo, rondaba los 6 – 8 metros. Tras la DANA, se alcanzaron los 40 metros en algunos puntos. A la izquierda de la imagen se observa que casi quedó completamente cortado el único camino de acceso a multitud de fincas, que, de otra forma, sólo hubieran podido acceder desde Rivas – Vaciamadrid (Fuente: Ayto. de Getafe).



Fig. 4. Continúa de lo expuesto en la figura 3. Daños causados a un puente y a un apoyo de línea eléctrica de media tensión. (Fuente: Ayto. de Getafe).



Fig. 5. Obras de emergencia para proteger el camino da3ado y garantizar el acceso desde Getafe (Fuente: Ayto. de Getafe).



Fig. 6. Frecuentes inundaciones de una estaci3n de Cercan3as Madrid a causa de la insuficiencia de sus sistemas de drenaje. (Fuente: Twitter).

de entrada a la depuradora deber3n dotarse de los elementos, pertinentes en funci3n de su ubicaci3n, antigüedad y el tama3o del 3rea drenada para reducir la evacuaci3n al medio receptor de, al menos, s3lidos gruesos y flotantes. Estos elementos no deben reducir la capacidad hidr3ulica de desagüe de los aliviaderos, tanto en su funcionamiento habitual como en caso de fallo.

Este Real Decreto pone de manifiesto la necesidad de desarrollar medidas que limiten la cantidad de agua que llega a los colectores en zonas urbanas.

Una de estas medidas son los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Son sistemas de gesti3n de aguas pluviales y planeamiento urbano que persiguen reproducir y/o restituir los procesos hidrol3gicos previos al desarrollo urban3stico (infiltraci3n, filtraci3n, almacenamiento, laminaci3n, evapotranspiraci3n), integrando estrat3gicamente elementos de control de escorrent3a en el paisaje urbano (De la Fuente Garc3a *et al.*, 2021).

Pero los SUDS no s3lo permiten cumplir a nivel regulatorio, sino que ofrecen, adem3s, rentabilidad medioambiental, social y econ3mica:

- Contribuyen en la restauraci3n natural del paisaje urbano.
- Aportan calidad de vida a los ciudadanos y les involucra en el correcto uso del agua para sus vidas y su bienestar.
- Ahorran recursos respecto de las inversiones dirigidas al incremento y reforma de las infraestructuras existentes para la gesti3n del agua urbana, cada vez m3s presionadas a medida que crece la superficie urbanizada.
- Benefician las econom3as dom3sticas, permitiendo reducir el consumo de agua o un frecuente uso de la climatizaci3n artificial.
- Permiten obtener reconocimientos que otorgan prestigio profesional, tales como las certificaciones medioambientales (Passivhaus, BREEAM®, LEED, VERDE y Cradle to Cradle®).
- Facilitan los desarrollos urban3sticos que, a su vez, dinamizan la econom3a y la sociedad, beneficiando as3 a todas las partes involucradas, pues los SUDS permiten superar barreras administrativas que, de lo contrario, impedir3an dichos desarrollos.

La implantaci3n de SUDS en Espa3a es relativamente reciente si lo comparamos con el resto de Europa, pero empieza

a ser una tecnolog3a que viene mostrando sus beneficios desde hace unos 10 a3os en la Comunidad Valenciana, y ya existen Administraciones que obligan a su implantaci3n en determinados casos, como es el caso del Ayuntamiento de Madrid, que lo tiene normalizado, de momento, para espacios verdes.

Parece entonces imparable su evoluci3n y desarrollo como sistemas imprescindibles para el urbanismo que viene, y existen indicios de que podr3a llegar a imponerse tambi3n a nivel edificatorio.

Existe un caso real que, aunque a d3a de hoy no est3 aprobado, ha obligado a la introducci3n de SUDS en las viviendas de una promoci3n de chalets. Administrativamente hablando, era inviable su aprobaci3n por el Ayuntamiento afectado si hab3a vertido de pluviales a los sistemas generales de saneamiento, drenaje y depuraci3n. No existe en la regi3n infraestructura suficiente que permita m3s desarrollos urbanos en los que la aportaci3n se limite a las aguas negras, debiendo eliminar de la ecuaci3n las escorrent3as.

El planteamiento realizado para combinar varios tipos de SUDS capaces de gestionar, con garant3as, las precipitaciones del 3mbito, tiene ya el informe favorable de la autoridad en materia de gesti3n del agua, y pr3ximamente ser3 aprobado.

Tambi3n existen casos reales en los que la regeneraci3n urbana o la recuperaci3n de infraestructuras existentes han sido posibles gracias a los SUDS, no porque fueran la 3nica



Fig. 7. Objetivos de Desarrollo Sostenible, Agenda 2030.

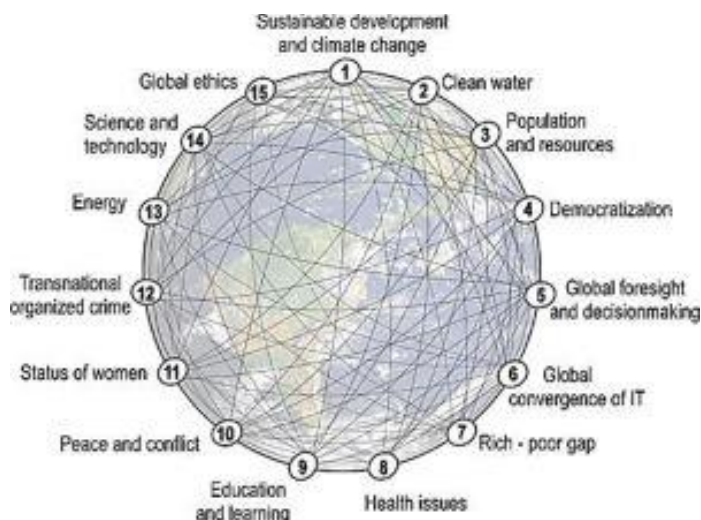


Fig. 8. The Millennium Project, junio de 2014 (Fuente: www.millennium-project.org).

alternativa, sino porque han supuesto una alternativa rentable si se compara con otro tipo de soluciones.

Ahora bien, toda técnica que se idea y que, tras un proceso de experimentación se implanta, debería llevar aparejada un prospecto en el que se incluyan las recomendaciones e instrucciones de uso y las medidas para su conservación y explotación. En el caso de los SUDS no existe ese prospecto, por lo que hay un muy extenso campo de investigación por delante con el que poder elegirlos, diseñarlos, calcularlos, conservarlos y explotarlos correctamente.

A día de hoy hay alguna publicación que sirve de prospecto, pero sólo como recomendaciones a la hora de su selección, y que incluye una serie de pros y contras observados desde que se implantaron. Se trata de la Guía Básica de Diseño de SUDS para el TT. MM. De Castelló de la Plana. A partir de la página 17 aborda las medidas estructurales disponibles, que son aquellas que requieren, en mayor o menor medida, de algún elemento constructivo. (De la Fuente García *et al.*, 2019)

Queremos hacer mención de que existen también medidas no estructurales. Su finalidad es reducir la generación de escorrentía, prevenir su contaminación, y mejorar la gestión de las aguas de lluvia, sin que su implementación precise de ninguna intervención concreta sobre la red de drenaje.

Dentro de estas medidas, cabe destacar las siguientes: programas educacionales (pueden conseguir que en edificaciones existentes los propios propietarios opten por implementar medidas estructurales) y participación ciudadana, a través, por ejemplo, de carteles informativos-educativos; legislación y planeamiento; control de la aplicación de herbicidas y fungicidas; limpieza frecuente de superficies; cuidado en las obras para evitar arrastre de sedimentos; control de conexiones ilegales; reducción de superficies impermeables; y planes de mantenimiento.

Algunos SUDS son exclusivos de zonas verdes, otros de plazas y calles, otros de edificios, pero la mayoría son potencialmente empleables de forma generalizada.

El SUDS que más potencial tiene es la zanja drenante, también denominada zanja de infiltración. Se trata de un sistema que combina las propiedades de casi todos los demás

tipos de medidas estructurales. Lo idóneo en los núcleos urbanos y en las edificaciones, ya sean de tipo abierto o cerrado, es su empleo combinado con los clásicos sistemas de conducción hacia los puntos de gestión centralizada. Ello consiste en que en el interior de la zanja se dispone un tubo drenante de tal forma que, en caso de falta de capacidad, el agua entra en el tubo y la conduce hasta los sistemas de colectores, todo ello a una cota concreta que optimice la infiltración, es decir, que el agua evacuada sea la mínima posible, mientras que la que finalmente se infiltre al terreno sea la máxima posible.

La gran ventaja de las zanjas de infiltración es que permiten que sobre ellas existan pavimentos impermeables aptos incluso para tráfico pesado, pues el agua puede introducirse a través de imbriales, rejillas y pozos que, además, facilitan el mantenimiento de todo el sistema. (Teijón López-Zuazo, *et al.* 2022)

Pero al mismo tiempo, es un SUDS que, una vez ejecutado, impide conocer lo que realmente ocurre dentro de él, de forma que lo único observable es si ante determinadas circunstancias evacua o no agua a través de los tubos drenantes hacia los colectores urbanos.

A la vista de las figuras 11, 12 y 13 es fácil hacerse una idea de las dudas que plantea un sistema que a corto plazo ha demostrado ser eficaz, pero que a largo plazo se desconoce su grado de deterioro y cuándo sería óptima su renovación, o si es viable mantener, mediante dispositivos adicionales y

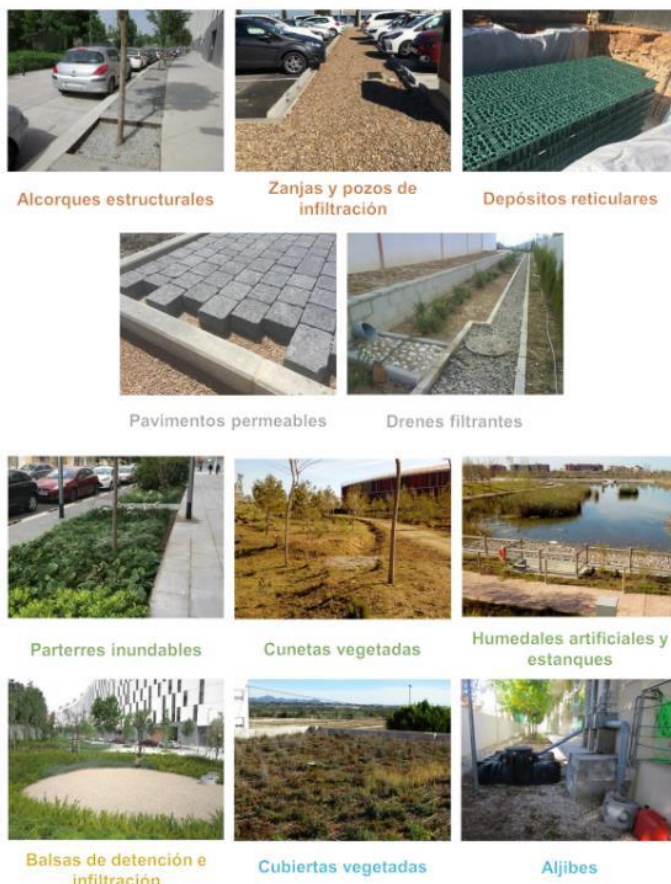


Fig. 9. Principales medidas estructurales de SUDS (Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el Término Municipal De Castelló de la Plana).

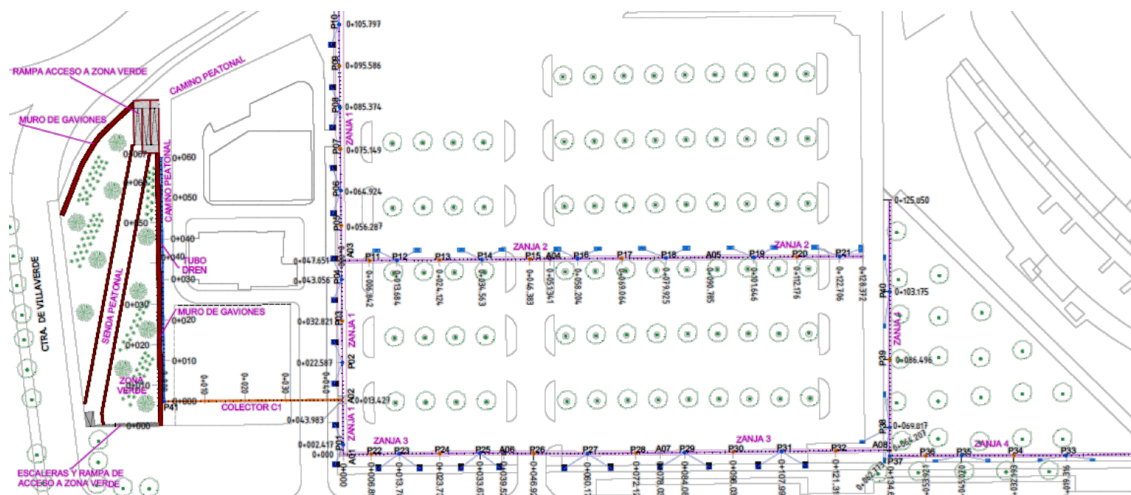


Fig. 10. Vista general de combinaci3n de diversos tipos de SUDS donde las zanjas y pozos de infiltraci3n son el elemento principal de descentralizaci3n e infiltraci3n de la escorrenta (Fuente: elaboraci3n propia).

programas de mantenimiento, un alto grado de eficacia a largo plazo.

Con todo lo expuesto hasta aqu3, podemos enumerar los siguientes hitos que suponen un punto de inicio para diversos proyectos legislativos y de investigaci3n, y que en el mismo orden que se exponen a continuaci3n se desarrollan en el punto 2. Resultados de esta presentaci3n:

1. Reducci3n de la pobreza energ3tica mediante la introducci3n de SUDS y elementos de sombreado. Existe un dispositivo experimental en desarrollo.

2. Eliminaci3n de barreras administrativas relacionadas con la inviabilidad de asumir, con la infraestructura existente, m3s vol3menes de agua urbana o industrial a gestionar de forma centralizada durante periodos de lluvia, independientemente de su intensidad. Existe un dispositivo experimental pionero en Espa3a que, de momento, en forma de proyecto de urbanizaci3n residencial, ha obtenido el visto bueno de la autoridad en materia de agua para que pueda llevarse a cabo el desarrollo urban3stico en un sector destinado a viviendas unifamiliares.

3. Hacer viable lo que, bas3ndose en un sistema centralizado de gesti3n del agua, resultaba inviable. Se trata de una actuaci3n de regeneraci3n urbana de la carretera de acceso al cementerio de Getafe. A su vez, est3 relacionado con la superaci3n de barreras administrativas.

La problem3tica que se ha conseguido resolver es compleja.

Los vecinos de Getafe ven3an demandando, hist3ricamente, que se actuara en la carretera de acceso al cementerio desde la calle Toledo para transformarla de tal forma que fuera viable la circulaci3n en ambos sentidos, que fuera posible el paseo en condiciones de seguridad, que fuera posible la pr3ctica de deporte para todas las edades y que fuera otro punto de acceso para la estaci3n de Cercan3as ‘‘Getafe – Sector III’’, debiendo disponerse, por tanto, tanto de aparcamiento como de un acceso por el lado opuesto al acceso existente a la estaci3n, que actualmente se realiza al otro lado de las v3as.

Los obst3culos para atender tal petici3n ciudadana eran varios y de elevada importancia.

La carretera discurre, totalmente encajada, entre el muro que la delimita de la infraestructura de v3a de ADIF y la valla que la delimita de los terrenos titularidad de la Base A3rea de Getafe, competencia del Ministerio de Defensa.

En esa zona la 3nica red de saneamiento a la que poder conectar los sistemas de drenaje del nuevo viario se encuentra al otro lado de las v3as, y en esa red de saneamiento ya hay constatados problemas de capacidad, pues con

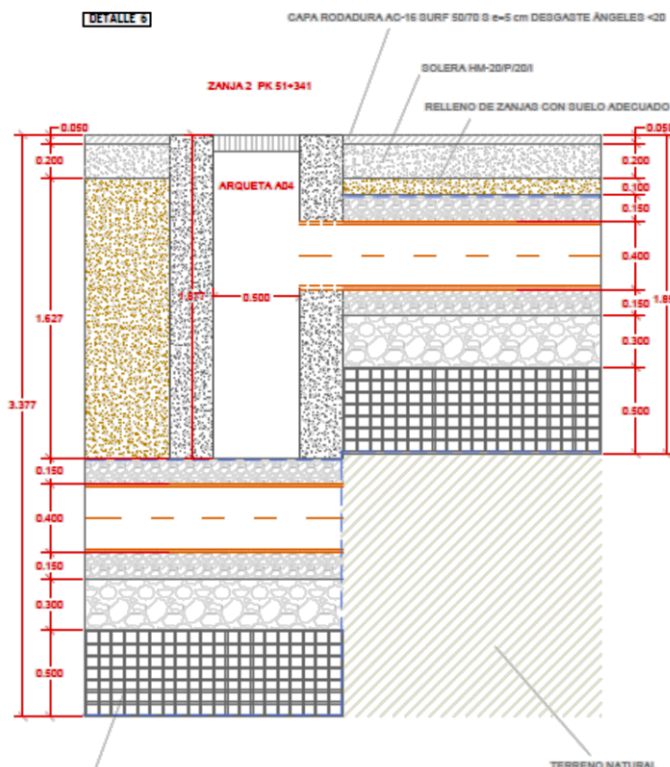


Fig. 11. Conexi3n de continuidad de zanjas drenantes con diferentes cotas (Fuente: elaboraci3n propia).

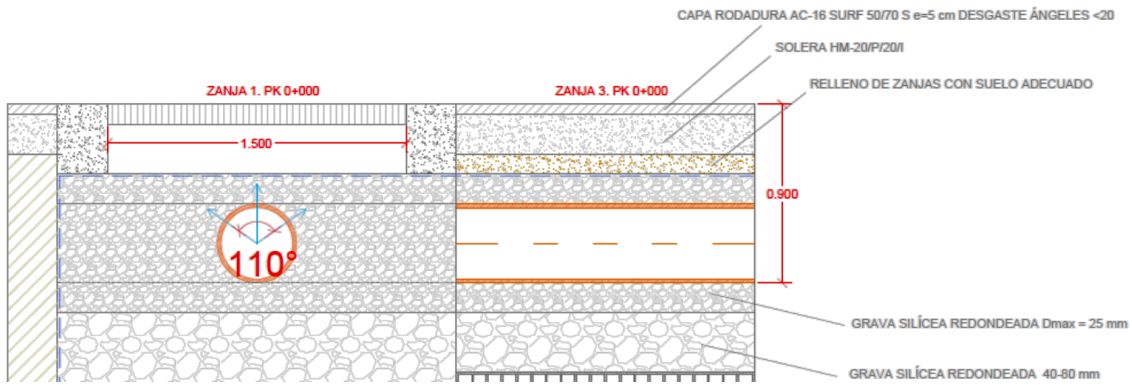


Fig. 12. Conexión de intersección de zanjas filtrantes a igual cota. (Fuente: elaboración propia).

frecuencia venía sucediendo (ya no, porque también están en ejecución las obras que han resuelto el problema) lo que se observa en la figura 6.

Hace años se pensó en que la única posibilidad que haría viable la petición ciudadana era esperar al desarrollo del Polígono Industrial La Carpetania II, ya que en dicho proyecto se dejó prevista la posibilidad de conexión del saneamiento de la carretera a los colectores del desarrollo industrial. Sin embargo, por determinadas circunstancias, ese desarrollo se paralizó y al tiempo se consideró que llevaría décadas poder materializarlo, lo que también supuso un parón para materializar la petición vecinal. No había posibilidad de evacuar la escorrentía. Por un lado, el Ministerio de Defensa no admitía que la escorrentía se enviara a sus terrenos, que ya de por sí, en zonas concretas, se inundaban temporalmente cuando llovía torrencialmente.

Por otro lado, a través de un Anteproyecto, se planteó crear un depósito de bombeo, de tal forma que se ejecutaría el colector necesario en la carretera hasta el futuro pozo de

conexión con Carpetania II, y mientras ese desarrollo industrial no estaba operativo, el agua sería bombeada hasta el colector situado al otro lado de las vías. Esta opción, a la vista de los problemas de capacidad de ese colector existente, hizo que la autoridad competente condicionara a que primero se ejecutaran las obras necesarias para eliminar el problema de capacidad en dicho colector, y ampliándolo para poder recibir los aportes desde el otro lado de las vías. El coste total era excesivo e inasumible para el presupuesto municipal.

Toda la problemática, finalmente, se ha resuelto con una zanja de infiltración capaz de almacenar la escorrentía del evento de lluvia que precipita el 90 % del volumen máximo registrado en un periodo de retorno de 10 años. Además, el agua almacenada es evacuada hacia el subsuelo en un tiempo máximo de 48 horas.

Además, en la zanja de infiltración se incorporan tanto un tubo drenante que recogería los excesos para laminarlos hacia los terrenos, ahora naturales, de Carpetania II, y pozos de infiltración que, al mismo tiempo, hacen las veces de los

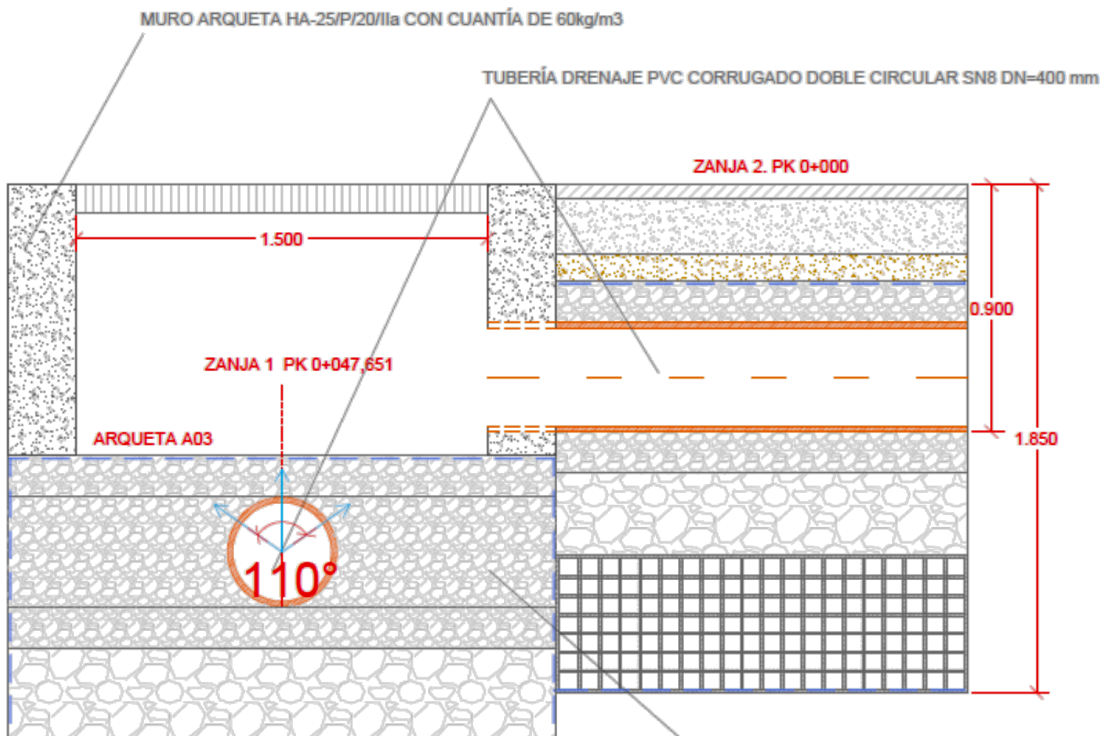


Fig. 13. Conexión de intersección de zanjas filtrantes a distinta cota. (Fuente: elaboración propia).



Fig. 15. Planta del estado actual de la zona de intervenci3n en el barrio de Las Margaritas de Getafe. El sombreado corresponde a la superficie peatonal disponible, actualmente resuelta con pavimento de terrazo, existiendo alg3n parterre aislado. (Fuente: Ayuntamiento de Getafe).

futuros pozos de registro y de sistema primario de depuraci3n para impedir que hojas, barro, etc. accedan a los dep3sitos de grava que deben almacenar el agua. De lo contrario, en un breve periodo de tiempo los huecos de aire entre los granos de grava estar3an colmatados, y el sistema perder3a eficacia.

4. Conseguir, en la medida de lo posible, que para aquellos SUDS que no consistan en balsas de retenci3n, parterres, jardines de lluvia, cunetas vegetadas, etc, es decir, los SUDS m3s artificiales o tecnol3gicos como los alcorques estructurales y todos los relacionados con t3cnicas de infiltraci3n por entrada directa de escorrent3a conducida desde los puntos de captaci3n en superficie, se puedan incluir sistemas que permitan la inspecci3n y limpieza, no consider3ndose viable su reparaci3n si no es por medio de su desmantelamiento y reconstrucci3n.

Es precisamente en este aspecto en el que muy recientemente hemos empezado a trabajar desde la

Universidad de Salamanca, a trav3s de D. Evelio Teji3n L3pez – Zuazo tras haber intervenido como tutor del Trabajo Fin de Grado de adaptaci3n al Grado de Ingenier3a Civil cursado por D. 3lvaro Gonz3lez Payo en 2021 – 2022.

En dicho documento se plantea, en planos, y con su correspondiente descripci3n, una posibilidad para que pueda llevarse a cabo el mantenimiento adecuado de las zanjas de infiltraci3n.

Se ampl3an los detalles de esta l3nea sobre la que se pretende investigar y realizar ensayos en el apartado siguiente.

II. METODOLOG3A

1. Dispositivo experimental para la reducci3n de la pobreza energ3tica

El Fondo Europeo de Desarrollo Regional, a trav3s de su



Fig. 16. Planta del estado final de la zona de intervención en el barrio de Las Margaritas de Getafe. El sombreado anexo a las alineaciones de fachada corresponde a pavimento de baldosas de hormigón, no drenantes, para impedir el acceso del agua al subsuelo en el que se alojan las cimentaciones. El sombreado gris corresponde a pavimento de adoquín drenante. Las zonas amarilleadas corresponden a parterres, siendo el único parterre inundable el mayor de ellos situado en la zona central, donde se ubicó el dispositivo de recogida de datos de temperatura y humedad. (Fuente: Ayuntamiento de Getafe).

“laboratorio urbano” denominado Urban Innovative Actions (UIA), está desarrollando un proyecto de investigación para conocer el efecto que determinado tipo de actuaciones en zonas urbanas con elevadas temperaturas causadas por el efecto isla de calor tienen sobre la reducción de la temperatura ambiente, antes y después de ejecutar la intervención.

En Getafe se han seleccionado dos ubicaciones concretas, y las obras está previsto que estén finalizadas en el mes de junio de 2023, momento a partir del cual se registrarán las temperaturas y humedades diarias para contrastarlas con las mediciones efectuadas durante el verano pasado.

Los tipos de intervenciones se han seleccionado, primero, identificando en qué lugares se acentúa el efecto isla de calor; y segundo, escogiendo las soluciones que en esos lugares son viables teniendo en cuenta los diferentes condicionantes que afectan a los espacios públicos, tales como la necesidad de garantizar los accesos para las emergencias, adaptarse a la dinámica municipal de labores periódicas de mantenimiento y limpieza, la accesibilidad universal, la iluminación nocturna, etc.

Una de las actuaciones se ha previsto en el barrio de La Alhóndiga, en un lugar donde ya existen árboles de elevado porte, pero debido a la incidencia solar, los modelos de

simulación establecieron necesarios más elementos de sombreado. Se ha recurrido a pérgolas estratégicamente ubicadas para desviar la incidencia solar y así tratar de mantener la temperatura en la zona más baja de lo que es actualmente.

La otra actuación tendrá lugar en el barrio de Las Margaritas, en un punto en el que la superficie disponible es peatonal, con un total de unos 600 m². En este lugar la inversión es mucho mayor, y se utilizarán pavimentos permeables (adoquín drenante), parterres inundables, arbolado de gran porte para el sombreado futuro, y pérgolas para aportar la sombra necesaria hasta que el arbolado se desarrolle.

Además, en la actuación está previsto un alto grado de reciclado de residuos. Las baldosas de hormigón y los adoquines drenantes se han previsto de fabricantes que emplean RCD's en su fabricación. Los gaviones se ejecutarán a base de adoquines recuperados de la fase de demoliciones. Los pliegos de la licitación han previsto la optimización en lo que a RCD's se refiere, tanto para su destino final como para la incorporación en obra de materiales constructivos potencialmente sustitutivos de materiales procedentes de la explotación de recursos naturales.

Tanto para los pavimentos drenantes como para el parterre inundable se emplearán geotextiles capaces de neutralizar los contaminantes que frecuentemente se encuentran en los pavimentos urbanos, a través de la progresiva formación de una cobertura bacteriana que depura los hidrocarburos y las sustancias orgánicas.

En definitiva, se trata de actuaciones de remodelación urbana encaminadas a regenerar barrios en los que existe una elevada problemática de pobreza energética, a base de favorecer la infiltración de agua en el subsuelo y dotar a los espacios de vegetación.

El proyecto completo se encuentra a disposición en el perfil del contratante del Ayuntamiento de Getafe, que se encuentra alojado en la Plataforma de Contratación del Sector Público, así como la documentación administrativa que justifica el origen de los fondos y los objetivos del proyecto europeo de investigación.

2. Dispositivo experimental para superar barreras administrativas relacionadas con las limitaciones legales impuestas en cuanto a vertidos de aguas negras a los cauces naturales

En el proyecto de urbanización se han diseñado cadenas de SUDS, con combinación de tres tipos principales: pavimentos permeables de hormigón poroso (García-Haba *et al.*, 2022) sobre bases de arena de miga y zanjarras, zanjas de infiltración y pozos de infiltración con dispositivos de depuración primaria.

Estos pozos han supuesto, a muy bajo coste, la llave que ha abierto la puerta a la viabilidad de todo el desarrollo, ya que son pozos que captarán la escorrentía de las parcelas edificables, y que para los propietarios no supone necesariamente mayores costes de mantenimiento.

La disposición de SUDS sólo en los viarios no era suficiente para minorar los aportes “prohibidos” a la depuradora, y hubo que recurrir a soluciones para suprimir mucha más superficie de la fórmula de la escorrentía que se enviaba a depuración.

En estos pozos de infiltraci3n nos encontramos con los siguientes elementos, cada uno de ellos con una funci3n concreta:

- Su cimentado es la propia zanja drenante o zanja de infiltraci3n, que es en s3 un dep3sito de grava envuelta en geotextil. Es donde se almacena la escorrent3a durante un m3ximo de 48 horas por efecto de infiltraci3n en el subsuelo.
- Su fuste consta de dos tramos diferenciados. Un tramo inferior de f3brica de ladrillo dispuesta de tal forma que quedan huecos entre cada ladrillo para permitir el paso del agua. Interiormente se dispone un geotextil que envolver3 un filtro de grava cuya funci3n es retener los arrastres finos dispersados en la escorrent3a que accede, a trav3s de ellos, a la zanja de infiltraci3n. Es en este tramo donde se conectan los tubos drenantes que recogen los excesos de agua que ya no pueden almacenarse en la zanja de infiltraci3n, llev3ndolos hasta los sistemas urbanos de alcantarillado, pero con efecto laminador, ya que el agua ha de atravesar los filtros de grava de cada pozo. Los tubos dren, al mismo tiempo, sirven para almacenar volumen de agua. El tramo superior ya puede ser de ladrillo enfoscado interiormente, o de prefabricados de hormig3n, y es donde se reciben los alba3ales de los dispositivos de captaci3n de la escorrent3a (imbornales, absorbedores, sumideros, etc.).
- Sobre el filtro de grava del punto anterior se dispone de un "plato de geotextil" sobre el que se coloca gravilla. Su funci3n es retener los elementos gruesos de la escorrent3a que acceden hasta los pozos a trav3s de los dispositivos de recogida. Tanto este plato como el filtro de grava son f3cilmente removibles en operaciones de mantenimiento para garantizar su correcto funcionamiento, alargando as3 la vida 3til de las zanjas de infiltraci3n.

3. *Dispositivo experimental para hacer viables proyectos de regeneraci3n o transformaci3n urbana*

En este caso, los SUDS, adecuadamente seleccionados y calculados, proporcionan una soluci3n para donde no es viable dar continuidad directa a los cauces, como ocurre cuando se

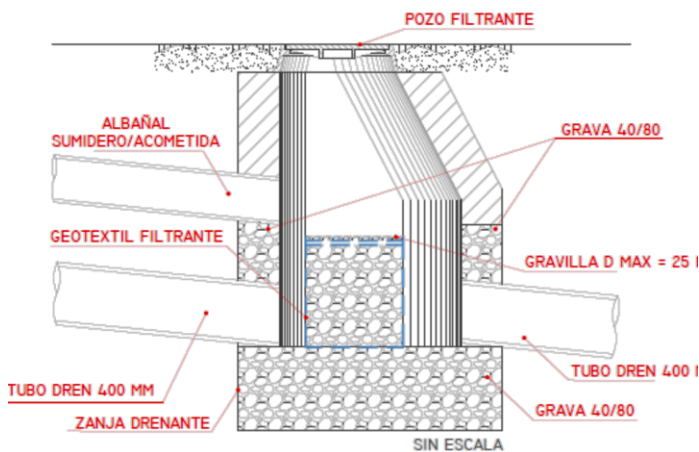


Fig. 17. Detalle de pozo de infiltraci3n. (Fuente: elaboraci3n propia).

construyen obras lineales, pero tampoco existe posibilidad de conexi3n a sistemas de canalizaci3n del agua, o los mismos,

existiendo, no tienen capacidad, o bien, no existiendo, su ejecuci3n es econ3micamente inviable o no puede justificarse la inversi3n necesaria para el objetivo perseguido.

El dispositivo creado para la reforma de la carretera de acceso al cementerio consiste en una zanja de infiltraci3n situada en una franja verde que separar3 el viario municipal de los terrenos de la Base A3rea de Getafe, con pozos de infiltraci3n cada 50 metros, de la misma forma que se ha descrito en el dispositivo n3 2.

Lo que consigue este dispositivo es:

- Retener e infiltrar al subsuelo la escorrent3a que, de otra forma, habr3a que verter directamente en los terrenos de la Base A3rea.
- Hacer viable la actuaci3n, ahorrando los m3s de 3 millones de euros que costar3a construir todo el sistema de bombeo hasta el colector situado al otro lado de las v3as de la l3nea C-4 de Cercan3as, m3s la ampliaci3n de todo el colector existente para dotarle de capacidad suficiente para conducir el agua procedente de la nueva cuenca, lo que adem3s implica mayores problemas para la E.D.A.R. a la que nos refer3mos en la figura 1, y por tanto, mayores problemas de da3os patrimoniales y medioambientales.

4. *Dispositivo experimental para el mantenimiento y explotaci3n de zanjas de infiltraci3n construidas con materiales granulares o con materiales que, por agregaci3n, se asemejan a materiales granulares*

En la siguiente figura podemos observar una zanja de



Fig. 18. 1. SUDS entre la carretera y la Base A3rea. 2. Colector existente. (Fuente: Google Maps y edici3n propia).

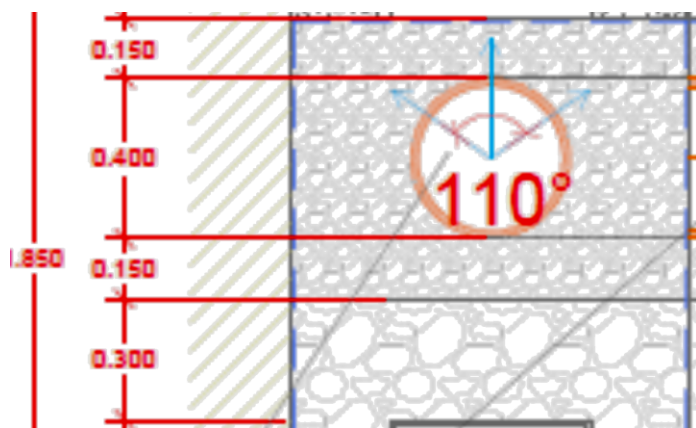


Fig. 19. Sección tipo de zanja de infiltración. (Fuente: elaboración propia).

infiltración que incorpora tubo drenante a una cota superior a la de la sección útil o sección de llenado.

Son sensiblemente diferentes a los drenes que ya son ampliamente conocidos, donde el tubo dren se sitúa en la base para recibir y conducir el agua que le llega a través del relleno filtrante que se sitúa sobre su generatriz. En las zanjas de infiltración se pretende, siempre, que sólo en caso realmente necesario, el agua llegue a entrar en el tubo dren para evacuarla y no provocar daños en los lugares donde se han dispuesto estos sistemas de drenaje.

Una de las principales ventajas de las zanjas de infiltración reside en que permiten ejecutar sobre los mismos pavimentos convencionales, lo que las hacen muy interesantes para los desarrollos urbanísticos y la edificación, donde en mayor o menor medida es necesario optimizar el espacio ocupado.

Una vez excavada la zanja a la cota necesaria se reviste su fondo y paredes con geotextil, se vierte el material de relleno, generalmente gravas, y se arropa con el geotextil previamente dispuesto.

Se forma así un depósito de material poroso capaz de almacenar agua y, al mismo tiempo, ir filtrándola al terreno circundante.

Cuando se ha finalizado la pavimentación, el depósito de grava queda oculto para siempre, motivo por el que hablábamos de los pozos de infiltración de la figura 17 como elementos fundamentales para proteger este depósito de la colmatación de sus huecos.

Aun así, con el paso del tiempo, no tendríamos certeza del estado de conservación del depósito de grava.

En el mencionado Trabajo Fin de Grado se ha desarrollado una idea viable, pendiente de ser sometida a experimentación, para poder inspeccionar y limpiar estos depósitos de grava periódicamente utilizando los sistemas existentes hoy día para el mantenimiento de los colectores de las redes urbanas de saneamiento.

Consiste básicamente en la introducción de dos elementos:

- Una jaula formada a base de malla rígida para gaviones, con un paso de malla adecuado a la granulometría del material de relleno, pero que ha de procurarse que sea lo más abierta posible. Podríamos decir que, en lugar de un depósito de gravas, estaríamos construyendo un gavión inverso que, de entrada, aporta beneficios inmediatos: incremento

considerable del volumen de aire, reducción de la sección de zanja y menos consumo de materiales de relleno.

- Un pozo con arenero, de tipo convencional, que habría que insertar entre cada dos pozos de infiltración, para así poder realizar los trabajos de mantenimiento en ambas direcciones desde un mismo pozo. A través de este pozo puede introducirse en el gavión invertido tanto el robot que incorpora CCTV para la inspección visual del material de relleno como las alcachofas empleadas para la limpieza de los colectores, pues el agua a presión con alcachofas de impacto que pueden ser recogidas paulatinamente se piensa que serían capaces de retirar al arenero del pozo de mantenimiento los productos que estuvieran colmatando los huecos, así como reactivar la capacidad filtrante del geotextil de envuelta. En el arenero se dispondría de una bomba de fangos para elevar a la superficie el agua empleada en la limpieza.

III. RESULTADOS

1. Dispositivo experimental nº 1

Las obras comenzarán a principios de abril de 2023 y tienen un plazo de ejecución de 2 meses, de forma que aún no existen resultados arrojados tras la finalización de la intervención y el periodo de tiempo mínimo necesario para tener un muestreo con el que poder obtener conclusiones.

2. Dispositivo experimental nº 2

El proyecto de urbanización aún no está aprobado, por lo que habrá que esperar a que la urbanización esté terminada, y también construidas las viviendas, todo ello para comprobar el funcionamiento de todo el sistema de SUDS.

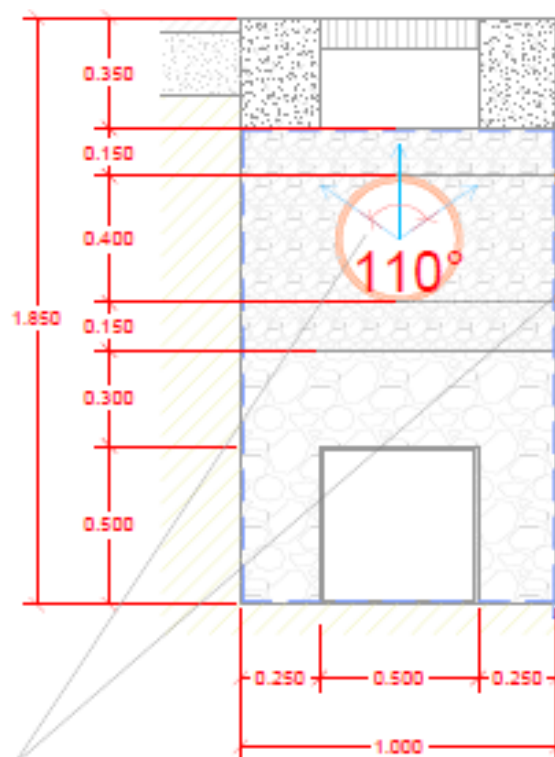


Fig. 20. Zanja de infiltración conceptual: gavión invertido. (Fuente: elaboración propia).

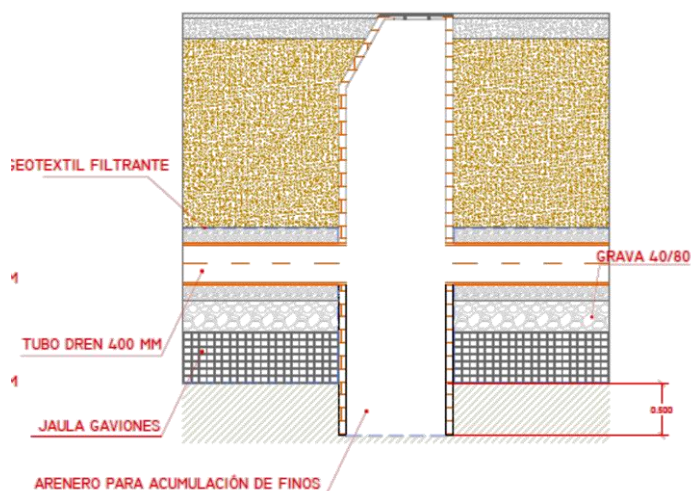


Fig. 21. Pozo de mantenimiento de zanjas de infiltraci3n. (Fuente: elaboraci3n propia).

3. Dispositivo experimental n3 3

La obra est3 en ejecuci3n y quedar3 finalizada, previsiblemente, para el mes de abril.

En base a otras peque1as actuaciones (instalaciones deportivas de uso libre, aparcamientos en superficie, etc.) que se han realizado en Getafe utilizando zanjas y pozos de infiltraci3n, se considera que los resultados ser3n positivos, aunque no est3 previsto examinar el sistema m3s all3 de la habitual comprobaci3n de si existe vertido de agua que accede al tubo dren por falta de capacidad en la zanja drenante, lo que ante determinadas circunstancias podr3a significar que la infiltraci3n al terreno no est3 funcionando o que la capacidad para la que se dise13 el sistema es menor por alg3n motivo relacionado con el paulatino relleno de los huecos por sedimentos y arrastres.

4. Dispositivo experimental n3 4

De momento se trata de un dispositivo conceptual, pendiente de financiaci3n para el desarrollo de los trabajos de experimentaci3n necesarios.

IV. CONCLUSIONES

Parece evidente que los SUDS aportan una serie de beneficios sociales, medioambientales y econ3micos que, teniendo en cuenta adem3s su reducido coste, hacen recomendable, al menos, aplicar medidas no estructurales para su divulgaci3n, de forma que el conocimiento de los mismos se generalice y se contemplen por todos los sectores relacionados con el urbanismo y la arquitectura a la hora de planear y proyectar tanto nuevos desarrollos como intervenciones de regeneraci3n urbana.

Si los SUDS aportan los beneficios que se han plasmado en esta presentaci3n, y son sistemas complementarios para las redes de gesti3n centralizada, por cuanto sostenibilidad aportan

al ciclo del agua, parece tambi3n necesario financiar investigaciones que permitan su adecuada conservaci3n y explotaci3n.

REFERENCIAS

- De la Fuente Garc3a, L., Perales Momparler, S., Rico Cort3s, M., Andr3s Dom3nech, I., Marco Segura, J. B. Gu3a B3sica para el Dise1o de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de Val3ncia. Cicle Integral de l'Aigua. Ajuntament de Val3ncia. Junio 2021.
- Garc3a-Haba, E., Rodr3guez-Hern3ndez, J., Andr3s-Dom3nech, I., Hern3ndez-Crespo, C., Anta, J., Mart3n, M. 2022. Design of permeable pavements in Spain: current situation and future needs. *Ingenier3a del agua*, 26(4), 279-296. <https://doi.org/10.4995/la.2022.18290>
- Sara Perales Momparler, Elena Calcerrada Romero, Crist3bal Badenes Catal3n, In3s Beltr3n Pitarch, Gu3a B3sica de Dise1o de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el T3rmino Municipal De Castell3 de la Plana, Ayuntamiento de Castell3 de la Plana, Noviembre 2019.
- Teji3n L3pez-Zuazo, E., Gonz3lez Payo, A. Trabajo Final de Grado de adaptaci3n a Ingenier3a Civil. Universidad de Salamanca. 2022.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generaci3n de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.