

LIFECERSUDS. VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTACIÓN CERÁMICA PERMEABLE

J. Mira ⁽¹⁾, J. Corrales ⁽¹⁾, I. Andrés ⁽²⁾, J. Castillo ⁽²⁾, M.F. Gazulla⁽¹⁾, F. Oliveira ⁽¹⁾, M. Orduña ⁽¹⁾, T. Ros ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE). Universitat Jaume I. Castellón. España.

⁽²⁾ Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València

RESUMEN

LIFECERSUDS, es un proyecto realizado durante el periodo 2016-2019, financiado por el Programa LIFE 2014-2020 de Medio Ambiente y Acción por el Clima de la Unión Europea con referencia LIFE15 CCA/ES/000091 con la colaboración de la Generalitat Valenciana a través del IVACE.

El objetivo principal del proyecto ha consistido en la mejora de la capacidad de adaptación de las ciudades al cambio climático promoviendo el uso de infraestructuras

verdes en la renovación de los entornos urbanos. En el marco del proyecto, se ha construido un demostrador en el municipio de Benicàssim que consiste en un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) que utiliza material cerámico de bajo valor comercial en stock para fabricación de un innovador pavimento permeable (en adelante, pavimento CERSUDS) que fue descrito en este mismo congresoⁱ.

Tras finalizar la ejecución del demostrador, se inició el periodo de monitorización desde agosto de 2018 a julio de 2019, que permitió la validación del pavimento CERSUDS, así como la respuesta del demostrador en la gestión del agua de lluvia.

Seguidamente, se exponen los principales resultados del proyecto en cuanto a: evaluación ambiental y económica del sistema CERSUDS, validación del sistema por parte de usuarios, monitorización del comportamiento mecánico y de la permeabilidad del sistema, así como la monitorización de la respuesta hidráulica del demostrador desde el punto de vista de la cantidad y calidad del agua de escorrentía.

1. EVALUACIÓN AMBIENTAL

1.1. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DEL SISTEMA CERSUDS.

Los estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), se basan en una metodología iterativa para la evaluación de cargas ambientales asociadas al ciclo de vida de un producto, proceso o actividad, mediante la identificación y cuantificación del consumo de los recursos y los residuos emitidos al entorno, con el fin de analizar el impacto de éstos sobre el medio ambiente y evaluar e implementar posibles mejoras.

En el marco del proyecto LIFE CERSUDS se ha realizado el estudio de ACV siguiendo las recomendaciones y los requisitos de las normas internacionales ISO14040:2006ⁱⁱ e ISO 14044:2006ⁱⁱⁱ tomando en consideración la norma UNE EN 15804+A1^{iv}. La modelización del ACV se ha llevado a cabo con el soporte del software GaBi y sus bases de datos asociadas^{v,vi}. Los estudios de ACV se componen de las 4 fases, tal y como se expone en la Ilustración 1.

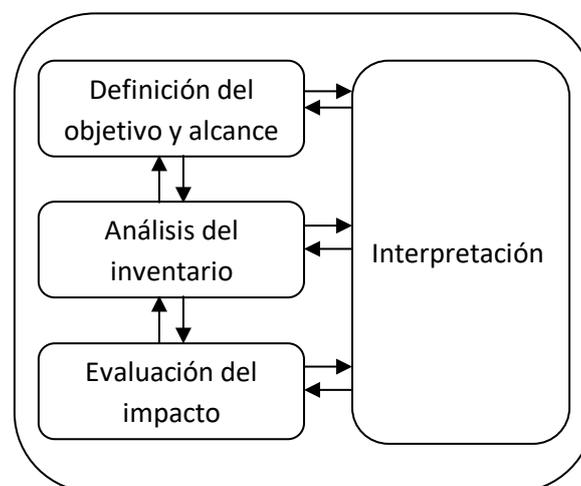


Ilustración 1. Etapas de un ACV según UNE-EN ISO 14040:2006ⁱⁱ

Este análisis ha considerado en primer lugar el cálculo del impacto ambiental del sistema CERSUDS, que utiliza baldosas cerámicas de bajo valor comercial y en stock, transformándolo en un producto estéticamente positivo y con alta capacidad drenante. En segundo lugar, este estudio ha permitido identificar los puntos ambientales fuertes y débiles del pavimento CERSUDS, comparando con productos existentes en el mercado con la misma funcionalidad para establecer acciones de mejora. Respecto al ACV su alcance es de cuna a tumba y hace referencia solamente al sistema CERSUDS, puesto que las ventajas ambientales del resto de elementos de los SUDS son ampliamente conocidas.

Los resultados ambientales están referidos a la unidad funcional, que en este caso se ha definido como un metro cuadrado de pavimentación urbana drenante. Las etapas del ciclo de vida incluidas en la evaluación son: el suministro y transporte de las baldosas de gres esmaltado de bajo valor comercial en stock, su fabricación (corte, secado, transporte, embalaje, etc.), su instalación (transporte, instalación gestión de residuos), su uso y final de vida, considerando un ciclo de vida de referencia de 40 años de duración.

En este estudio de ACV de la cuna a tumba, se ha incluido más del 95% de todas las entradas y salidas de materia y energía del sistema, excluyendo aquellos datos no disponibles o no cuantificados. Concretamente, se ha excluido la producción del equipamiento industrial y maquinaria empleada en la instalación. Asimismo, también se excluyen el tratamiento de agua utilizada para el corte (circuito cerrado), las infraestructuras de transporte por carretera, la iluminación de las plantas, la gestión de residuos del proceso de ensamblaje y posibles bajas de baldosas y cintas durante el proceso de corte de estas.

Para el análisis de inventario, se han utilizado datos proporcionados por los miembros del consorcio del proyecto y datos bibliográficos, como Declaraciones Ambientales de Producto (DAP's) específicas de gres esmaltado. Así mismo, para obtener los datos indirectos, por ejemplo, las cargas ambientales asociadas al transporte, producción de electricidad, etc., se han utilizado las bases de datos comerciales, concretamente las desarrolladas por Thinkstep^v y datos de fichas técnicas de dichos productos. En cuanto a la definición de las reglas de asignación de entradas y salidas al sistema, se han seguido las normas ISO 14040-44 y UNE EN 15804^{iii,iv}.

Sin entrar en detalle en este análisis de inventario, es necesario indicar que las baldosas de gres esmaltado son la materia prima principal del pavimento CERSUDS. Dichas baldosas son de bajo valor comercial en stock y cuya fabricación se produjo entre los años de 1999 y 2017. Del total de esta materia prima, alrededor del 15% son "picos" (baldosas que tienen 1 palé o menos del mismo modelo y por lo tanto no es rentable su comercialización debido a la baja cantidad disponible) y el otro 85% restante de materias primas ha visto disminuido considerablemente su valor comercial.

Para el demostrador de este proyecto, se han empleado baldosas de gres esmaltado con formato 33x33 cm y 9 mm de espesor. Para la obtención de 1 m² del pavimento CERSUDS se requieren 9 m² de estas baldosas. En cuanto a la instalación, consiste en la colocación manual de los módulos en seco, sobre una base de grava de granulometría 2-6 mm y posterior recebado de las juntas con arena de granulometría 1-2 mm. Se utilizan 48 kg de grava y 2 kg de arena por unidad funcional.

En cuanto a los métodos de cálculo y asignación de cargas, se ha partido de la mediana de 3 DAP's de gres esmaltado cuyas dimensiones y características son similares a las utilizadas en el demostrador. En la asignación de cargas ambientales se ha aplicado un criterio económico, considerando la reducción de costes en todas las

baldosas y en el 15% de ellas correspondiente a los picos, se ha considerado unas cargas evitadas por su deposición inevitable en vertedero. En cualquier caso, los transportes asociados siempre se han tenido en cuenta.

Para definir el método de evaluación de impacto se han seguido los parámetros metodológicos clave descritos en las normas internacionales, ISO 14040-44:2006, utilizando además las recomendaciones del ILCD/ELCD como apoyo a la toma de decisiones.

Se han aplicado métodos basados en indicadores intermedios (midpoint), propuestos por la UNE EN15804+A1^{iv}. Los factores de caracterización utilizados son los incluidos en el método CML-2001, tras la revisión de enero 2016, además se han escogido dos indicadores adicionales que describen el consumo de agua y energía.

Impacto		Unidades
GWP	Potencial de Calentamiento Global	kg de CO ₂ equivalentes
AP	Potencial de Acidificación	kg de SO ₂ equivalentes
EP	Potencial de Eutrofización	kg de PO ₄ ⁻³ equivalentes
POP	Potencial de Formación de Ozono Fotoquímico	kg de C ₂ H ₄ equivalentes
ODP	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono	kg de CFC-11 equivalentes
ADPE	Potencial de Agotamiento de los Recursos Naturales Abióticos - elementos	kg de Sb equivalentes
ADPF	Potencial de Agotamiento de los Recursos Naturales Abióticos -fósiles	MJ
PENRT	Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima	MJ
FW	Uso neto de recursos de agua corriente	m ³

Tabla 1. Impactos evaluados

Cabe recordar que los resultados obtenidos son expresiones relativas y no predicen impactos en categorías de punto final, la superación de unos niveles, márgenes de seguridad ni riesgos. Los resultados mostrados incluyen tanto las entradas y salidas de materia y energía directas de fábrica, como las procedentes de procesos anteriores y posteriores que se llevan a cabo a lo largo del ciclo de vida considerado del producto.

A continuación, en la Tabla 2 se presentan los impactos totales de todas las fases del ciclo de vida (cuna a tumba) del sistema CERSUDS. La misma información puede analizarse gráficamente en la Ilustración 2. Como puede observarse, las materias primas son los principales responsables del impacto ambiental generado, y por tanto, es en esta etapa donde se han focalizado las opciones de mejora.

Fases del ciclo de vida	ADPF	ADPE	AP	EP	GWP	ODP	POCP	PENRT	FW
Materias primas	185,0	2,5E-04	5,5E-02	6,4E-03	14,6	9,8E-07	4,0E-03	301,0	1,3E-01
Transporte	4,3E-01	6,4E-10	1,5E-04	3,0E-05	3,1E-02	6,3E-11	1,4E-05	4,4E-01	3,0E-06
Corte	15,8	1,5E-07	3,1E-03	3,1E-04	2,1	8,2E-09	2,7E-04	14,7	2,2E-02
Ensamblaje	14,3	3,4E-06	5,2E-03	6,4E-04	1,6	3,8E-08	5,5E-04	13,1	1,1E-02
Distribución	5,2	7,7E-09	1,8E-03	3,6E-04	3,7E-01	7,6E-10	1,6E-04	5,2	3,6E-05
Instalación	10,9	8,9E-07	2,1E-03	5,4E-04	1,4	-5,0E-09	1,8E-04	14,7	2,3E-03
Uso	7,3	2,7E-08	3,3E-04	5,7E-05	4,4E-01	6,0E-14	4,5E-05	7,4	1,0E-03
Fin de vida	4,2	-1,1E-07	7,2E-03	9,3E-04	8,7E-03	-6,2E-12	6,6E-04	4,7	1,6E-03
TOTAL	243,1	2,54E-04	7,49E-02	9,27E-03	20,5	1,02E-06	5,88E-03	361,2	1,68E-01

Tabla 2. Impactos totales según fase del ciclo de vida del sistema CERSUDS

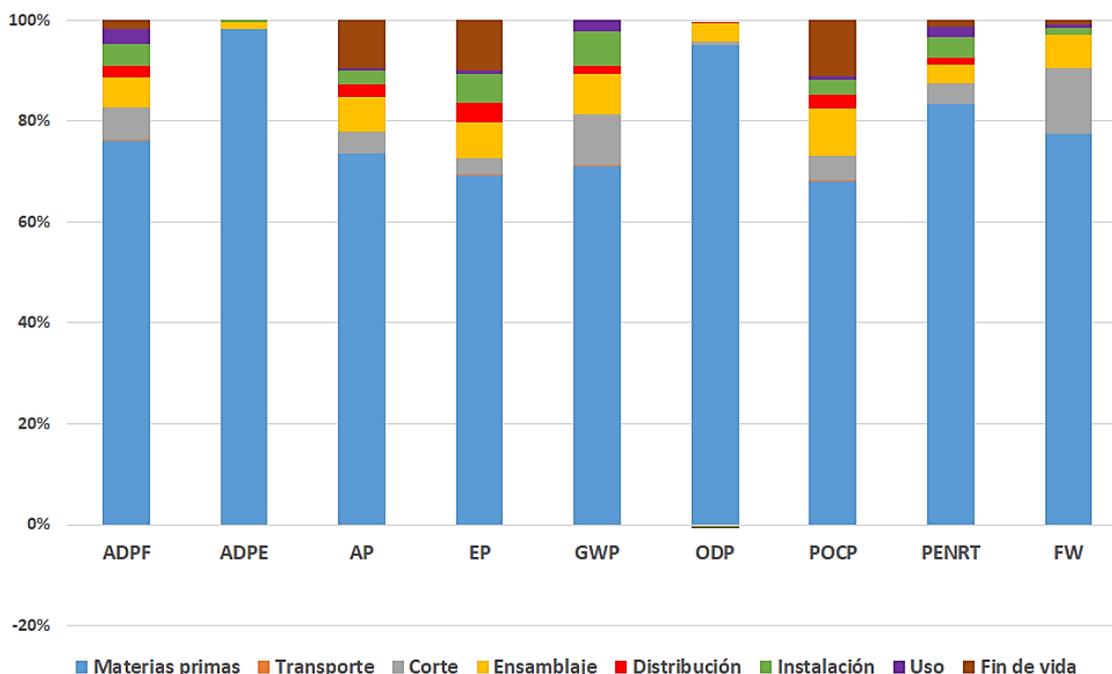


Ilustración 2. Impactos del sistema CERSUDS

2. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se ha realizado una evaluación económica comparativa del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) desarrollado en la calle Torre Sant Vicent de Benicàssim en el marco del proyecto LIFECERSUDS respecto a un sistema equivalente con drenaje convencional (sistema pluvial separativo).

Para ello, se ha considerado el área del demostrador realizado en Benicàssim y se han identificado, para ambos casos, una serie de secciones constructivas tipo que definen cada uno de los sistemas. Para estas secciones tipo se ha realizado un análisis de los costes asociados a 1m² de las soluciones constructivas durante un ciclo de vida de referencia de 40 años. El coste de cada uno de estos metros cuadrados multiplicado por la superficie de cada una de las zonas consideradas nos ha permitido obtener el coste económico total de cada uno de los sistemas.

2.1. METODOLOGÍA

Para la realización de la evaluación económica se han tenido en cuenta los costes asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida contempladas en las normas de Sostenibilidad en la Construcción (UNE-EN 15978:2012 y UNE-EN 15804:2012) siguiendo la metodología de cálculo desarrollada dentro del proyecto SOLCONCER^{vii}. En esta evaluación se ha considerado el módulo B7 Uso de agua en servicio que hace referencia a la necesidad de agua para riego de la zona ajardinada, y se ha incorporado un nuevo módulo denominado B8 Tratamiento de escorrentía, que hace referencia a los costes derivados del tratamiento de la escorrentía excedente. Los datos relativos a estas dos etapas del ciclo de vida se han obtenido a través del análisis efectuado con la

herramienta informática desarrollada en el marco del proyecto E2STORMED^{viii}. Además, con esta herramienta se ha efectuado también un análisis multicriterio.

En el análisis económico no se han tenido en cuenta todos aquellos elementos comunes a ambos sistemas (la red de alumbrado público, telecomunicaciones, mobiliario urbano...) y se han despreciado todos los elementos que forman parte de la red de aguas residuales (común a ambos sistemas).

En el caso del sistema convencional se ha considerado una red de saneamiento separativa, por lo que únicamente se ha valorado la red de aguas pluviales. Por tanto, se han considerado todos aquellos elementos que forman parte de la red tradicional de recogida de aguas pluviales (colector, pozos, imbornales...). En el caso del sistema SUDS, la función desempeñada por estos elementos la asumen el conjunto de otros componentes como: el pavimento CERSUDS, las celdas y las cajas drenantes de polipropileno.

2.2. RESULTADOS

En el gráfico inferior vemos los costes por metro cuadrado asociados a cada uno de los dos sistemas y desglosados según las diferentes etapas del ciclo de vida consideradas en el cálculo durante un periodo de 40 años.

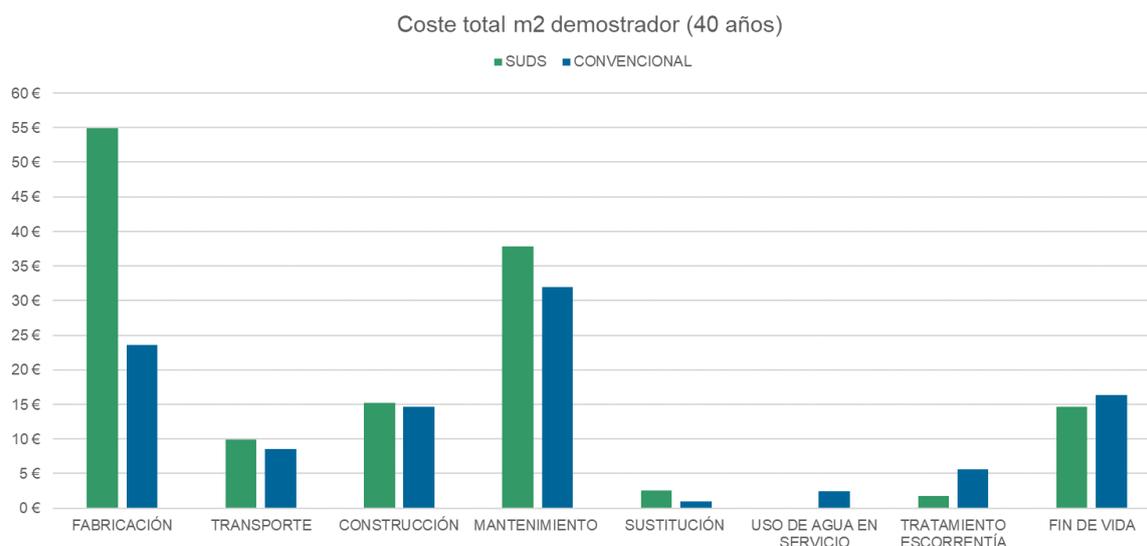


Ilustración 3. Costes asociados a cada etapa del ciclo de vida por tipo de producto

El coste por metro cuadrado de urbanización del demostrador utilizando este sistema SUDS es aproximadamente un 30% superior que en el caso de utilizar un sistema convencional. Esta diferencia se debe principalmente al mayor coste de fabricación de un adoquín cerámico permeable respecto a una baldosa de cemento convencional, ya que en el caso del adoquín se ha considerado un producto fabricado artesanalmente (coste de 44,80€/m²), mientras que la baldosa se trata de un producto estandarizado e industrializado (10,58 €/m²).

Respecto de los costes asociados al tratamiento del excedente de escorrentía, la solución SUDS supone un ahorro anual del 70% que viene derivado de la notable reducción de escorrentía respecto al sistema convencional. En cuanto a los costes asociados a la necesidad de uso de agua potable para riego, la solución SUDS permitiría,

en el escenario de riego planteado en el proyecto, ahorrar el 95% de este coste, debido a la disponibilidad de agua recogida en el aljibe.

Por último, el análisis multicriterio (Ilustración 4) efectuado para comparar ambos sistemas ha considerado, no sólo criterios puramente económicos, sino otros igualmente importante de un marcado carácter medioambiental. Los resultados de este análisis, muestran como los beneficios intangibles del sistema SUDS (servicios ecosistémicos, recarga del acuífero, calidad del agua) adoptan una importancia capital en la comparativa y compensan claramente el criterio puramente económico. Los criterios y pesos asignados a los mismos son fruto de la discusión planteada con expertos sectoriales en el seno del Grupo de Trabajo del proyecto. El valor absoluto adoptado por la variable que cada criterio adopta en cada escenario se transforma a una escala adimensional haciendo corresponder el rango [0-1] a la horquilla absoluta de variación de la variable del criterio. La suma ponderada de los productos de utilidades y pesos por criterio arroja un valor de utilidad conjunta del escenario, donde se tiene en cuenta la aportación relativa de cada criterio a la comparación.

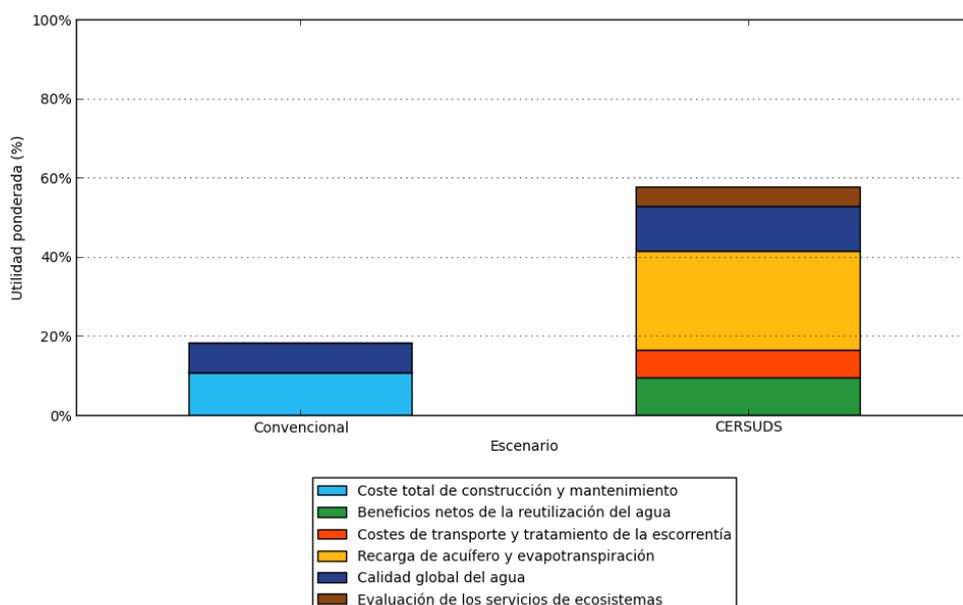


Ilustración 4. Resultados análisis multicriterio

3. VALIDACIÓN POR USUARIOS

Para poder evaluar el grado de satisfacción de los usuarios, se realizaron una serie de encuestas personales a pie de calle, en el lugar donde se instaló el prototipo LIFECERSUDS, en la calle Torre Sant Vicent, mediante una serie de preguntas cerradas y abiertas a ciudadanos de la localidad a través de una Tablet y con un entrevistador para orientar la contestación del cuestionario. El demostrador finalizó su construcción en agosto de 2018 y seis meses después, febrero de 2019, se realizaron 100 entrevistas en los días 7 y 12 de ese mes. Los resultados pueden considerarse representativos de la población total (considerando ésta la población de Benicàssim), con un margen de error menor del 10% para un nivel de confianza del 95%.

Las preguntas versaban sobre aspectos tales como: comodidad al andar, ausencia de agua de escorrentía en periodos de lluvia, calidad general de la infraestructura, mejora del espacio urbano, etc. El total de las preguntas fue de diez y en el caso de responder negativamente se procedía a indagar mediante una pregunta

abierta las causas de la insatisfacción. La mediana estadística de todas las preguntas ha sido de 4 (considerando una escala del 1 al 5, donde 1 era la peor valoración y 5 la mejor), indicando que una gran mayoría de los entrevistados consideró buena o muy buena la calidad de la intervención.

4. MONITORIZACIÓN DEL DEMOSTRADOR

4.1. COMPORTAMIENTO MECÁNICO

En la anterior edición de este congreso se expuso el proceso de diseño y validación del sistema Cersudsⁱ donde se evidenció la adecuada resistencia del sistema cerámico a helada, flexión, impactos y otra serie de características. No obstante, las pruebas del laboratorio de producto acabado no podían asegurar el correcto funcionamiento del sistema en el espacio público debido a la dificultad de reproducir la situación real de uso tanto en lo que se refiere a las cargas e impactos como a la estructura, materiales y espesores, de las diferentes capas que forman el sistema.

Durante el año que el sistema lleva en servicio, el comportamiento del sistema CERSUDS ha sido satisfactorio, detectándose puntualmente las siguientes patologías: ligeros asentamientos o blandones localizados y desconchados en las testas de las cintas cerámicas.



Ilustración 5. Foto demostrador operativo

En el caso de los blandones, la principal causa es el reordenamiento de las gravas de las subbases cuando son sometidas a cargas ya que, al carecer de finos para permitir la circulación de agua a su través, se impide la adecuada compactación. Las experiencias en otros países en el uso de este tipo de sistemas indican que es una patología frecuente que podría ser minimizada con la instalación de geoceldas o georejillas^{ix}, ^x. Está previsto que en las próximas instalaciones del sistema se utilicen este tipo de mallas.

En cuanto a la rotura en las testas tan solo se han producido en aquellas zonas donde no se han separado los módulos cerámicos entre sí o entre ellos y los perfiles metálicos de confinamiento. Cuando los módulos cerámicos descienden debido a los asentamientos anteriormente comentados, las aristas superiores de los módulos se comprimen produciendo la rotura de esas aristas. Por lo tanto, es necesario, como en todas las instalaciones con cerámica, respetar las juntas de instalación.

4.2. PERMEABILIDAD DEL SISTEMA

Para la monitorización de la permeabilidad se han establecido cinco puntos fijos del demostrador que se muestran en **Ilustración 6**.

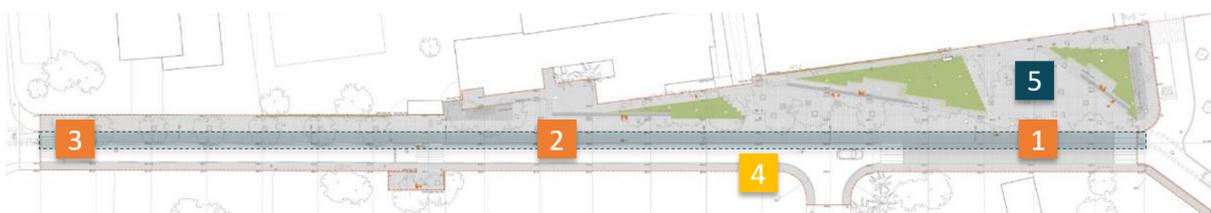


Ilustración 6. Puntos de control de la permeabilidad

Para la evaluación se ha utilizado el procedimiento descrito en la norma ASTM C1781/C1781M-13^{xi}. Los resultados de las mediciones realizadas pueden apreciarse en la ilustración 7.

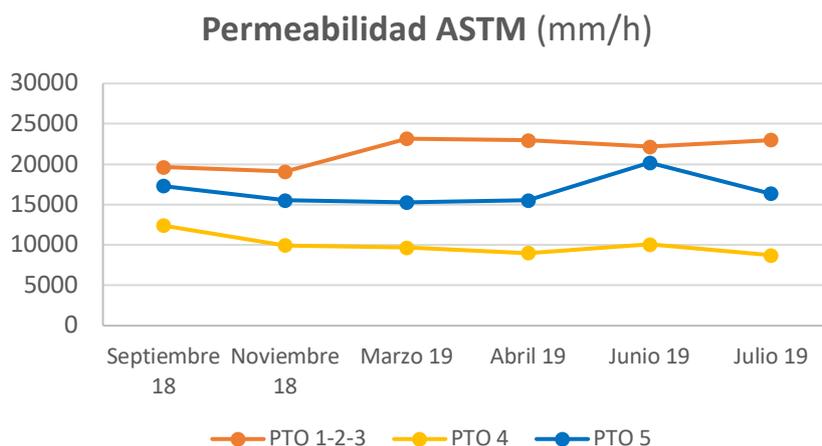


Ilustración 7. Valores de permeabilidad

Como el gráfico indica, los valores superan los 10.000 litros por metro cuadrado y hora en cuatro puntos y tan solo en uno de ellos (punto 4) ha descendido ligeramente por debajo de ese valor. Teniendo en cuenta que los valores mínimos son de 2500 mm/h, el sistema presenta un comportamiento excelente.

4.3. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

Para el control del comportamiento hidráulico del demostrador, tanto cantidad como calidad de las aguas, se instalaron equipos de control, consistentes en tomamuestras automáticos, caudalímetros y sondas de nivel, en tres puntos del sistema tal y como muestra la ilustración 8.

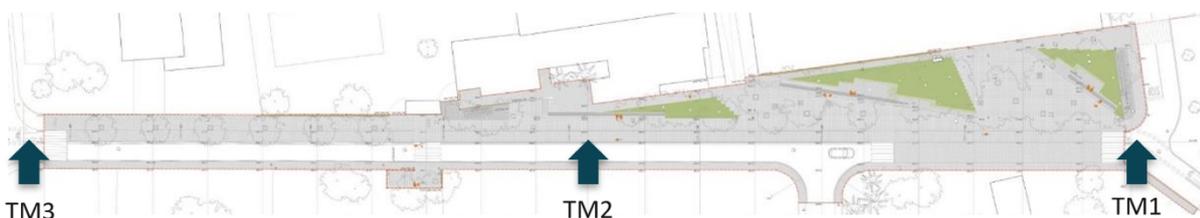


Ilustración 8.

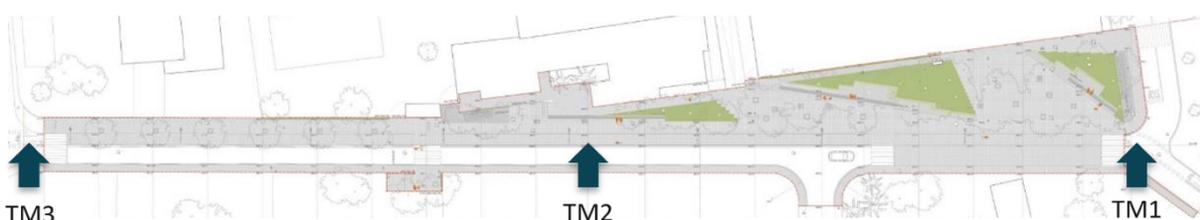


Ilustración 8. Ubicación de los equipos de control

El punto TM1 se encuentra situado fuera del demostrador y sirve como punto comparativo para evaluar el funcionamiento del sistema, el punto TM2 es un control intermedio y el punto TM3 se encuentra ubicado justo antes de la salida de las aguas, recogidas y tratadas por el demostrador, hacia el sistema convencional de drenaje.

Durante el periodo analizado, agosto 2018 a julio 2019, se han registrado 28 episodios de lluvia con un volumen superior a 1 mm/día Tabla 3.

Fecha	P (mm) 24 horas	V (l) Zona demostrador	V (l) Caudalímetro (TM3)	Reducción
15/09/2018	8,2	27.060	-	100%
18/09/2018	22,2	73.260	16.415	78%
26/09/2018	1,2	3.960	-	100%
14/10/2018	17,4	57.420	-	100%
18/10/2018	48,8	161.040	119.359	26%
19/10/2018	38,4	126.720	8.580	93%
27/10/2018	11,6	38.280	-	100%
30/10/2018	7,4	24.420	-	100%
31/10/2018	11,8	38.940	-	100%
09/11/2018	13,4	44.220	-	100%
16/11/2018	21,0	69.300	-	100%
17/11/2018	6,0	19.800	-	100%
18/11/2018	22,2	73.260	3.889	95%
19/11/2018	14,4	47.520	982	98%
23/11/2018	2,0	6.600	-	100%
13/12/2018	3,8	12.540	-	100%

Fecha	P (mm) 24 horas	V (l) Zona demostrador	V (l) Caudalímetro (TM3)	Reducción
19/03/2019	5,0	16.500	-	100%
31/03/2019	5,4	17.820	-	100%
02/04/2019	3,6	11.880	-	100%
08/04/2019	1,4	4.620	-	100%
18/04/2019	28,6	94.380	-	100%
22/04/2019	2,2	7.260	-	100%
03/05/2019	1,6	5.280	-	100%
21/05/2019	1,8	5.940	-	100%
24/05/2019	8,6	28.380	-	100%
07/07/2019	4,6	15.180	-	100%
08/07/2019	6,2	20.460	-	100%
14/07/2019	3,6	11.880	-	100%
Litros totales		1.063.920	149.225	

Tabla 3. Resumen de eventos de precipitación registrada

Los datos recogidos indican que el sistema ha gestionado el 100% del agua de lluvia precipitada sobre su superficie y que tan solo el 14% (149.255 litros) han sido vertidos, una vez filtrada el agua, al sistema de drenaje convencional. Los restantes 914.695 litros (86%) han sido devueltos al terreno una vez filtrados. La **Ilustración 9** muestra de forma gráfica el balance anual en el sistema.

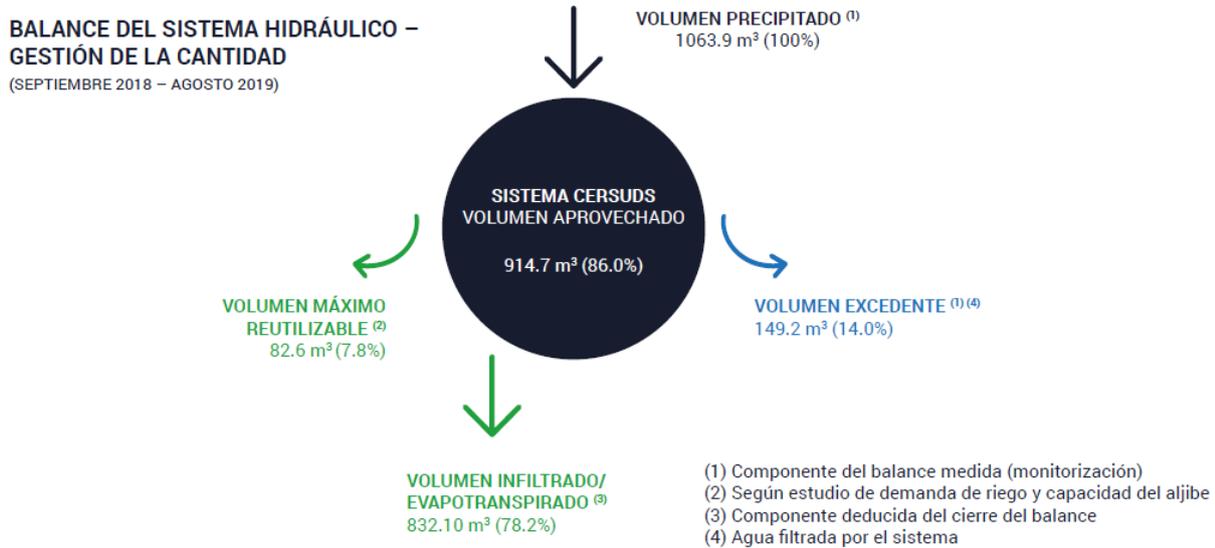


Ilustración 9. Balance hidráulico del demostrador

En cuanto a la calidad de las aguas analizadas no existen datos concluyentes todavía. No obstante, con los datos recogidos todo parece indicar que la reducción de sales ha sido cercana al 80%, el filtrado ha permitido eliminar la totalidad de la materia orgánica y la reducción de las unidades formadoras de bacterias ha sido de dos órdenes de magnitud (de $9,5 \cdot 10^4$ en el punto de control TM1 a $3,2 \cdot 10^2$ en el punto de control TM3).

Está prevista la continuidad de la monitorización hidráulica para corroborar estos datos con una serie mayor de eventos de lluvia.

5. CONCLUSIONES

- La etapa del ciclo de vida del sistema CERSUDS que más influencia tiene en todas las categorías de impacto ambientales es el suministro de materias primas, es decir, las baldosas cerámicas empleadas como materia prima; su contribución supera en cualquier impacto el 75% del total del ciclo de vida.
- La utilización de mayor porcentaje de baldosas cerámicas clasificadas como "picos" tendría una drástica influencia en la disminución de los impactos ambientales. En este sentido, con el objeto de reducir los impactos ambientales, sería necesaria la industrialización del proceso productivo para permitir la utilización de baldosas cerámicas con dimensiones más dispersas.
- El coste por m² del sistema implementado en el demostrador LIFECERSUDS es superior al del sistema convencional, debido principalmente al incremento de coste del pavimento CERSUDS respecto a un pavimento convencional. Sin embargo, el sistema propuesto aporta beneficios intangibles (servicios ecosistémicos, recarga del acuífero y calidad del agua, entre otros), que compensan claramente el criterio puramente económico.
- La validación por usuarios del demostrador LIFECERSUDS ha sido satisfactoria, siendo la mediana estadística de todas las preguntas de 4, en una escala del 1 al 5.
- En cuanto al comportamiento mecánico es imprescindible respetar las juntas entre módulos cerámicos para minimizar los desconchados en sus aristas.
- La permeabilidad media del sistema tras el año de monitorización es muy elevada (superior a los 8.000 mm/h), situándose por encima de los valores mínimos prescritos (2.500 mm/h).
- El sistema ha mostrado un excelente comportamiento hidráulico durante el año de monitorización ya que ha podido devolver al ciclo hidrológico cerca de 86% del agua gestionada. Así mismo la totalidad del agua filtrada presenta, con los datos disponibles hasta el momento, una buena calidad tanto en reducción de materia orgánica como en reducción de unidades formadoras de colonias de bacterias (UFC).

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ⁱ J. Corrales, J. Mira (2018). *LIFECERSUDS, Sistema cerámico urbano de drenaje sostenible*. XV Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Qualicer 2018.
- [2] ⁱⁱ ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
- [3] ⁱⁱⁱ ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
- [4] ^{iv} UNE-EN 15804:2012+A1:2014 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.
- [5] ^v Thinkstep, 2018a. Database for Life Cycle Engineering, copyright Thinkstep AG. 1992-2016 (DB version 8007).
- [6] ^{vi} Thinkstep, 2018b. GaBi Software-system. Compilation 8.6.0.20.
- [7] ^{vii} Beltrán, A., Celades, I., Corrales, J., Mira, J., Muñoz, A., Rioja, A., Ros, T., Agost, V. (2016). *Solconcer, herramienta de ayuda para la caracterización de soluciones constructivas*. XIV Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Qualicer 2016.
- [8] ^{viii} A. Morales-Torres, I. Escuder-Bueno, I. Andrés-Doménech, S. Perales-Momparler. *Decision Support Tool for energy-efficient, sustainable and integrated urban stormwater management*. ISSN 1364-8152. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.019>.
- [9] ^{ix} Gourav Dhane, Dhiraj Kumar, Akash priyadarshree. *Geocell: An Emerging Technique Of Soil Reinforcement In Civil Engineering Field*.
- [10] ^x Gh Tavakoli Mehrjardia, R. Behrada, S.N. Moghaddas Tafreshib. *Scale effect on the behavior of geocell-reinforced soil*.
- [11] ^{xi} ASTM C1781/C1781M–13. Standard Test Method for Surface Infiltration Rate of Permeable Unit Pavement Systems.