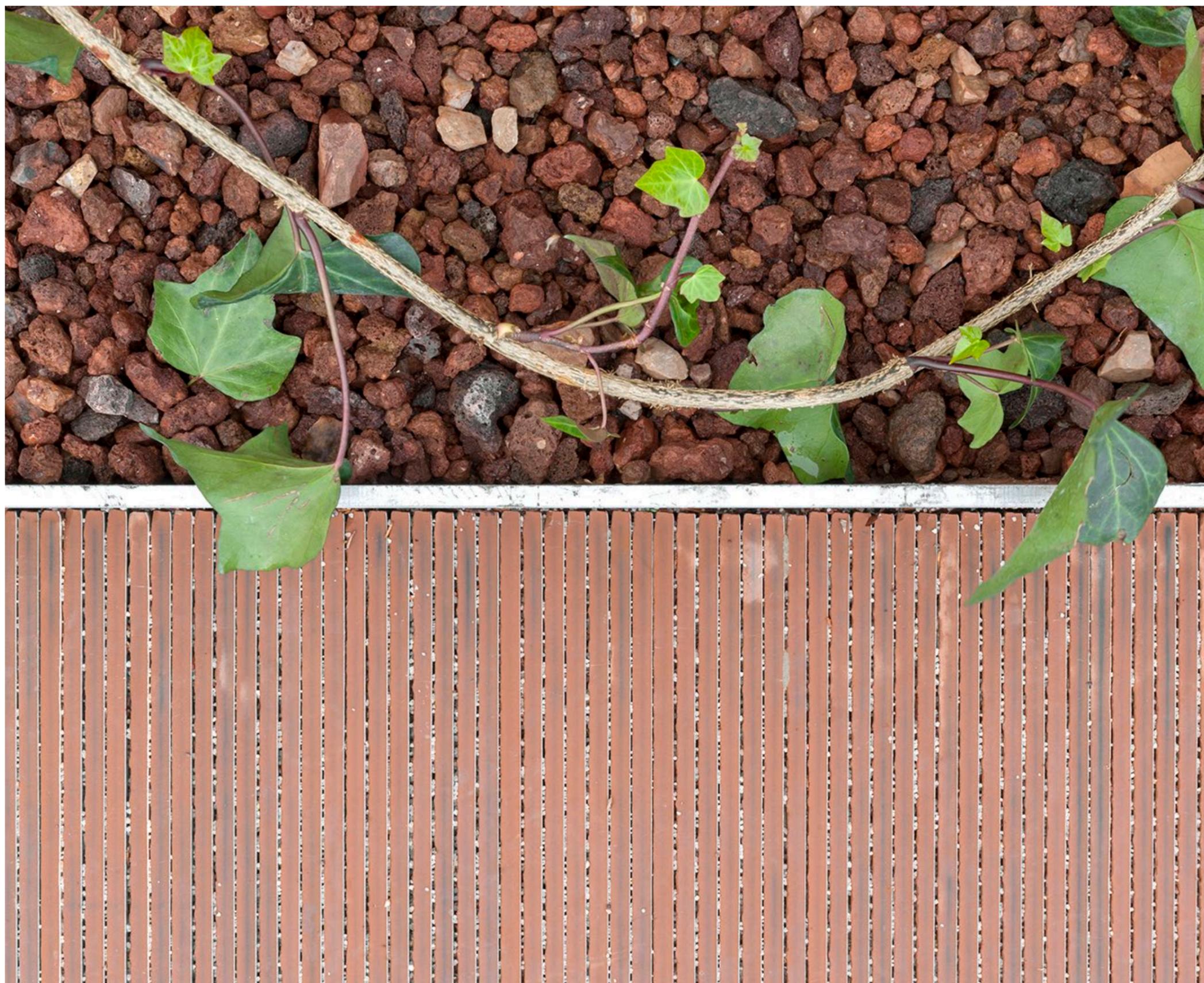


ADOQUÍN CERÁMICO PERMEABLE

Suprareciclaje de material cerámico de bajo valor comercial



Detalle de pavimentación con adoquín cerámico permeable.
Demostrador LIFE CerSuds, Benicàssim (© Milena Villalba).

ADOQUÍN CERÁMICO PERMEABLE

Suprareciclaje de material cerámico de bajo valor comercial

El producto que se presenta consiste en un adoquín cerámico permeable, fruto de la reutilización de baldosas de bajo valor comercial, como elemento de pavimentación drenante capaz de dar respuesta a las necesidades derivadas de la implementación en el espacio público de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). La iniciativa se lleva a cabo en el marco del programa de la Unión Europea LIFE15CCA/ES/000091, dentro de su objetivo específico dedicado a la adaptación al cambio climático, aportando una solución de urbanización sostenible que contribuye a resolver los problemas ambientales asociados al sellado del suelo en la ciudad.

Para su desarrollo se creó, entre el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC-AICE) y la Cátedra Cerámica Valencia UPV (CCV), un grupo de trabajo interdisciplinar que asumió como reto el desarrollo de una mirada transversal e integrada entre los tres temas específicos en los que se fundamenta el proyecto: la economía circular, la gestión sostenible del agua en la ciudad y la recualificación del espacio público.



Instituciones

Instituto de Tecnología Cerámica, ITC-AICE
Cátedra Cerámica Valencia UPV, CCV

Autores

Javier Mira y Jorge Corrales (ITC-AICE)
Eduardo De Miguel y Enrique Fernández.-Vivancos (CCV)

Ensayos de Validación

Adoración Muñoz y Rebeca Domínguez (ITC-AICE)

Análisis Ciclo de Vida

Irina Celades y Teresa Ros (ITC-AICE)

Producción

TRENCADIS de Sempre, S.L

ADOQUÍN CERÁMICO PERMEABLE

Suprareciclaje de material cerámico de bajo valor comercial

1.1. Problemáticas

La preocupación por el impulso de la economía circular se encuentra en el origen de este adoquín, un producto centrado en la reutilización y reciclado de los productos obsoletos y de los desechos de fabricación generados por el sector cerámico. Entendiendo como “stock de bajo valor” aquel de muy difícil comercialización, con venta a pérdidas o descatalogado, el estudio realizado en tres de los principales centros de producción europea: España, Italia y Portugal, cuantifica dicho stock en 12,32 millones de metros cuadrados, de los cuales 7,33 millones se encuentran almacenados en España.

El segundo argumento central para el desarrollo de este tipo de pavimento permeable sería la necesidad de implementar en el espacio público sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) adaptados al clima mediterráneo, que permitan la restitución del ciclo hidrológico natural previo a la impermeabilización producida por los procesos de urbanización (infiltración, filtración, almacenamiento, laminación, evapotranspiración).

1.2. Diseño del módulo cerámico

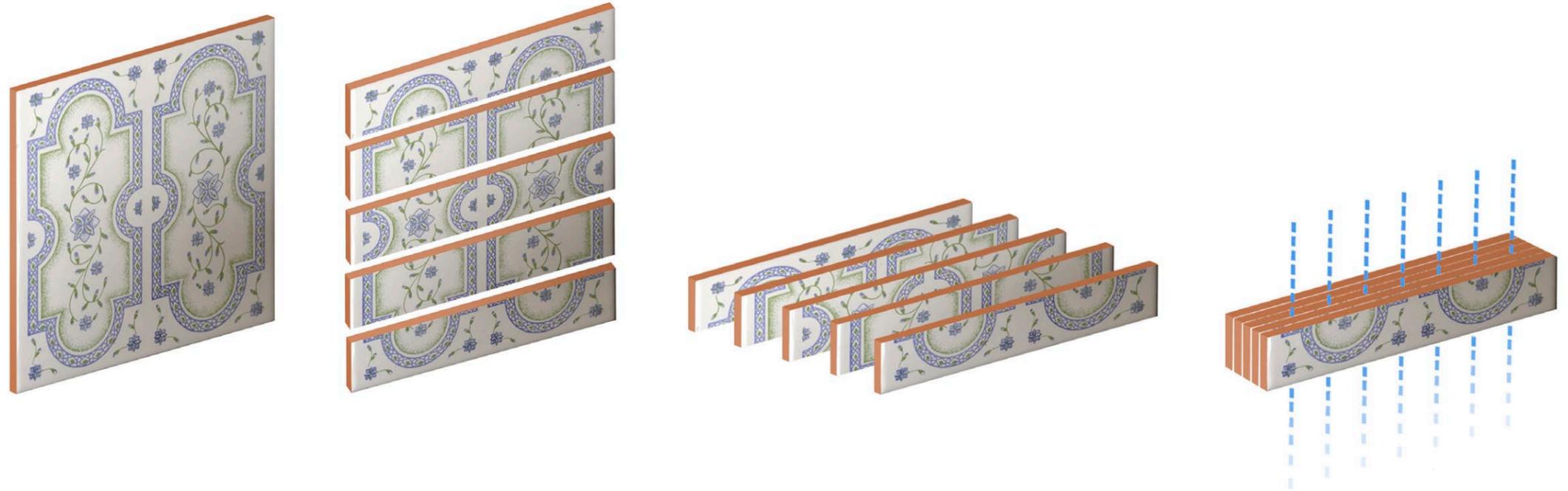
Con el objeto de definir completamente las características el módulo cerámico permeable que conformará el sistema de pavimentación, se siguió un proceso cíclico de diseño y ensayos de piezas para asegurar que el suelo responderá adecuadamente a las solicitudes previstas durante toda su vida útil (40 años) sin patologías. En lo que sigue, nos referiremos a los siguientes términos:

Baldosas cerámicas: Baldosa cerámica de bajo valor comercial procedente de las empresas.

Cintas: Cada una de las piezas obtenidas del corte de la baldosa.

Módulo: Conjunto de cintas ensambladas mediante adhesivo.

El adoquín se conforma a partir de la reutilización de baldosas de gres porcelánico de pasta roja de 330x330x8mm de bajo valor comercial, divididas en cintas de 75mm mediante corte por agua y encoladas mediante cemento cola tipo C2. Para la determinación de la altura óptima de los módulos se tuvieron en cuenta los valores obtenidos en los ensayos de carga de rotura transversal, cizalla y de impacto. Además, este último ensayo junto con el de helada ha definido el material idóneo para el módulo cerámico. Finalmente, el módulo quedó definido por 7 cintas ensambladas, con una dimensión total de 330x75x65 mm.



Esquema de fabricación del módulo cerámico: Baldosa, Cintas, Encolado y Adoquín.

ADOQUÍN CERÁMICO PERMEABLE

Suprareciclaje de material cerámico de bajo valor comercial

1.3. Ensayos

Dentro del proceso de diseño del módulo cerámico, se prestó especial atención a su permeabilidad y carga mínima de rotura transversal. Para ello se realizó un estudio pormenorizado del ensamblado de las diferentes cintas cerámicas que configuran los módulos, ya que el mismo adhesivo que las une incrementa la resistencia consiguiendo que el sistema trabaje como un solo módulo. Por otra parte, el empaquetado permitía una fácil manipulación y aumento del rendimiento en la colocación. Para la distribución de este adhesivo, se propusieron tres diferentes disposiciones, las cuales se sometieron a ensayos para conocer la carga de rotura y permeabilidad y poder elegir la más óptima.

1.3.1. Permeabilidad del módulo

La permeabilidad mínima de un pavimento drenante de estas características debería ser de 2.500 mm/h para poder gestionar el agua de lluvia precipitada sobre él. Por otro lado, además de la propia superficie permeable, se ha de dimensionar esta permeabilidad para que pueda gestionar in situ las zonas impermeables del ámbito urbano en el que se inscribe, por lo que dada la intensidad máxima de precipitación en el entorno mediterráneo, el valor de la permeabilidad recomendada asciende hasta los 5.000 mm/h. Obteniéndose para las familias 2 y 3 valores muy superiores.

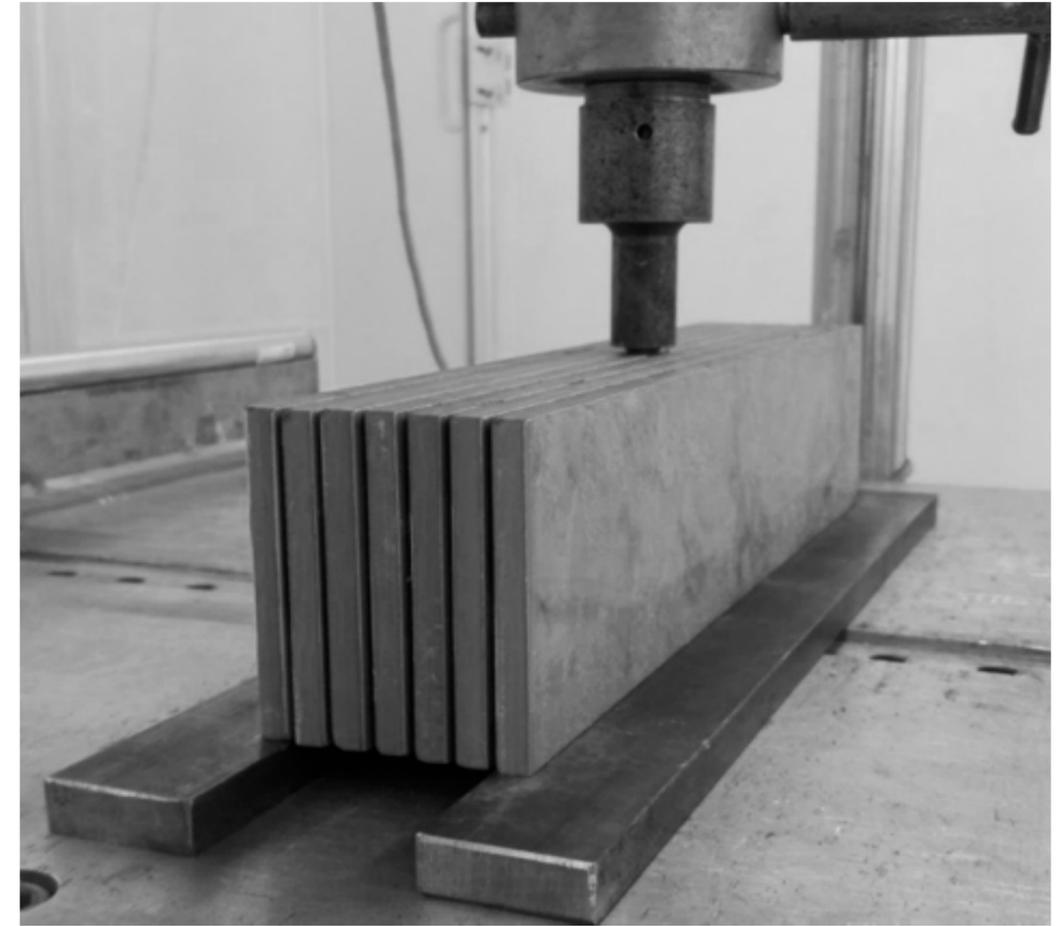
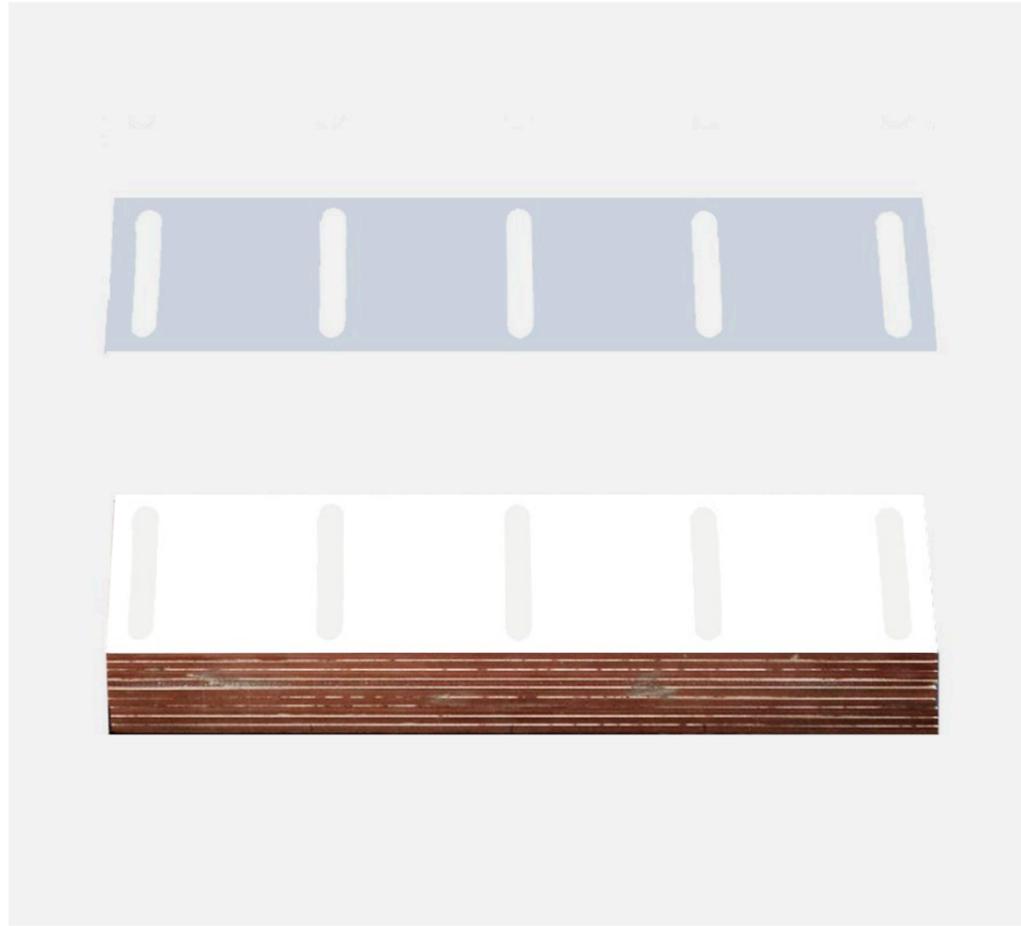
Distribución adhesivo	Family 1	Family 2	Family 3
Tiempo de Evacuación (s)	71,8	8,8	9,6
Permeabilidad K (cm/s x 10 ⁻²)	6,4	109,1	97,0
Permeabilidad K (cm/s)	0,064	1,091	0,97
Permeabilidad (mm/h)	2.304	39.276	34.920

1.3.2. Carga mínima de rotura transversal

La carga mínima de rotura para zona rodada T40 debía ser superior a 80N/mm según UNE-EN 1344.2015 (UNE, 2015). Por lo tanto, las tres familias se sometieron a ensayos de flexión. La familia 1 se descartó por su baja permeabilidad y la familia 2 es la que menos resistencia tenía, por lo que finalmente se seleccionó la familia 3.

Distribución adhesivo	Familia 1	Familia 2	Familia 3
Dimensiones Módulo (mm)	330 x 88 x 65		
Nº de Cintas	10		
Carga de Rotura (kg)	1639	1117	1597
Carga de Rotura (N)	16077	10961	15671
Carga de Rotura (N/mm)	182	124	178

En base a estos resultados obtenidos en los ensayos de carga de rotura y a los valores de permeabilidad, la **familia 3** fue la elegida para el encolado de las cintas del adoquín.



Esquema de encolado, prueba de carga y conformación del adoquín cerámico de la Familia 3.

ADOQUÍN CERÁMICO PERMEABLE

Suprareciclaje de material cerámico de bajo valor comercial

1.4. Fabricación

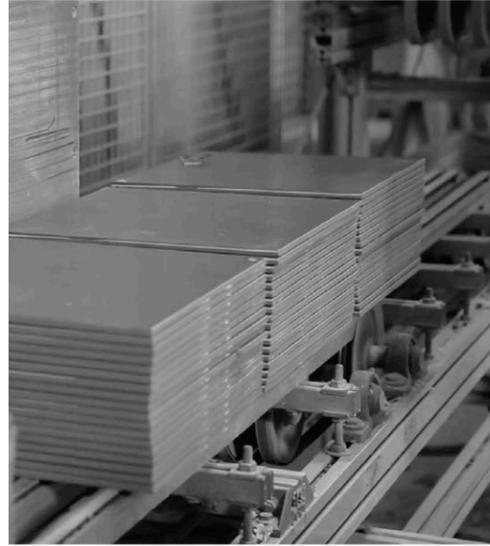
La fabricación de los módulos cerámicos consta de dos fases diferenciadas, en la primera se procede al corte de las baldosas cerámicas, mientras que en la segunda fase se realiza el ensamblado de las piezas cerámicas para obtener los módulos mediante un proceso productivo completamente manual replicable en cualquier parte del mundo, haciendo uso exclusivamente del material base, una mesa y una plantilla.

Para este proceso de producción se realizó una comparativa de los impactos ambientales del ciclo de vida: la marca ecológica asociada al pavimento en la categoría GWP (Global Warming Potential) fue de 17,9 kg CO₂ eq; por lo que respecto a un pavimento de adoquines de hormigón permeable (23,9 kg CO₂ eq) se obtenía una reducción del 25 %.

De esta manera la solución consigue dar salida a productos de difícil comercialización, genera empleo local y reduce las emisiones de CO₂ asociadas a la producción de los pavimentos urbanos. Se trata por tanto de un proceso de economía circular con beneficios ambientales, sociales y económicos.

Proceso de producción del adoquín cerámico permeable:

1. Recepción y desembalaje del material cerámico.
2. Corte de las baldosas mediante corte por disco de agua.
3. Soplado y secado de las cintas
4. Encolado
5. Fraguado de los módulos
- 6 . Paletizado de los adoquines cerámicos



ADOQUÍN CERÁMICO PERMEABLE

Suprareciclaje de material cerámico de bajo valor comercial

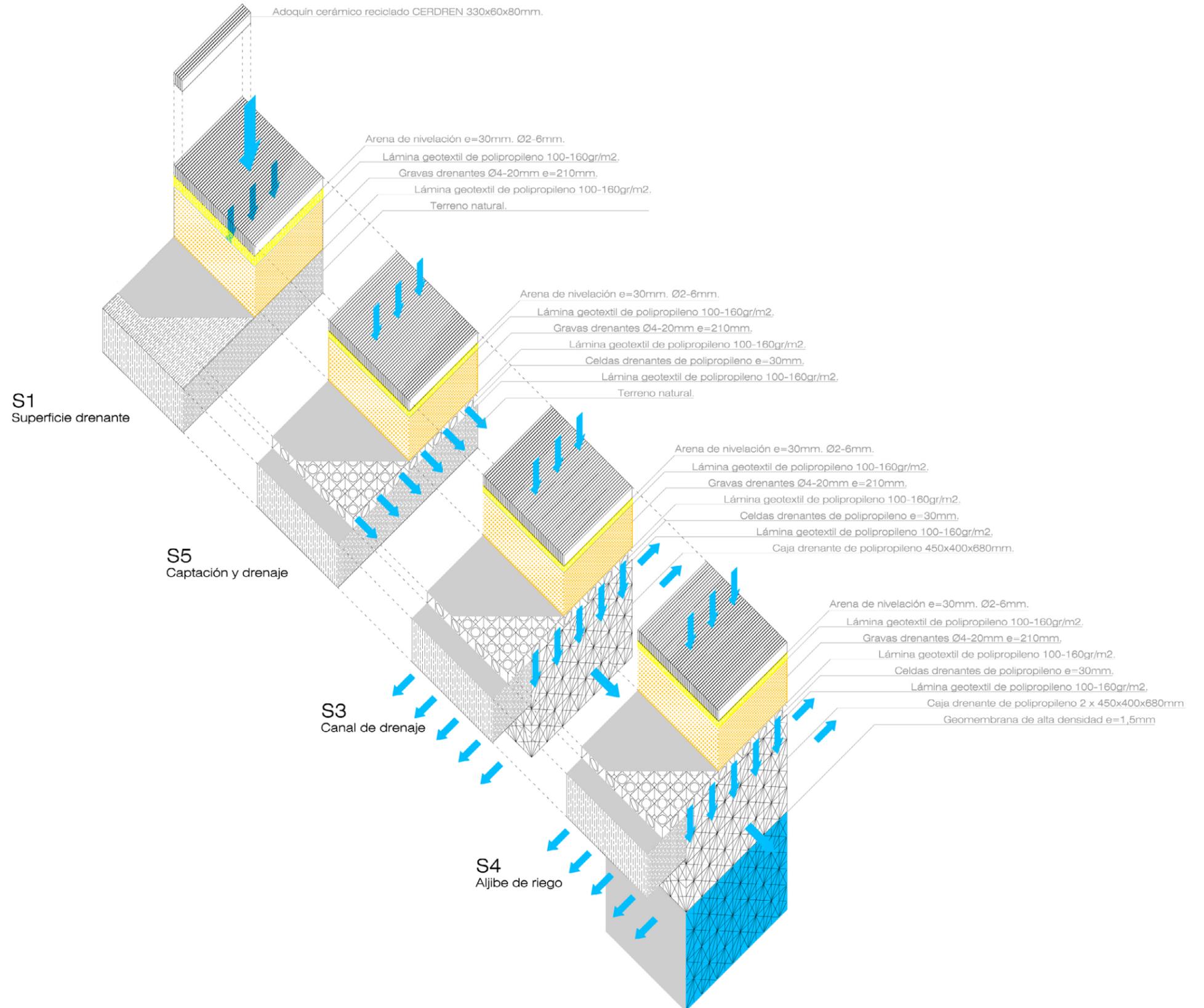
1.5. Sistema permeable de pavimentación cerámica

Tras un proceso multidisciplinar de diseño, prototipado y ensayo, en el que participaron el Instituto de Tecnología Cerámica, y la Cátedra Cerámica de Valencia, se acometió el diseño completo de este sistema de pavimentación urbana, a partir de la pieza base.

En esta segunda fase se abordó la relación entre la permeabilidad y la resistencia portante de la sección de firme propuesto para la urbanización, con el objeto de valorar el comportamiento del conjunto considerando la influencia de la capa de asiento, las subbases y la arena de recebado de los adoquines. Tras diversas pruebas se optó por disponer los adoquines en seco sobre una capa de arena de nivelación Ø2-6mm de 3cm de espesor, separada mediante un geotextil de una subbase de gravas drenantes Ø4-20mm de 21cm y un recebado con árido de sílice Ø1-2mm. Las pruebas de laboratorio realizadas para dicha sección dan una carga de rotura puntual en el punto más desfavorable de 4.600N y una permeabilidad 5.580mm/h, manteniéndose por tanto dentro de los valores recomendados para este tipo de pavimentos urbanos drenantes.

Por otro lado, a partir de la configuración básica, se procedió al estudio del comportamiento hidráulico de las secciones tipo, analizando sus posibilidades de infiltración, captación y almacenamiento del agua de lluvia en combinación con la disposición de celdas y cajas de polipropileno, dando lugar a un sistema de cuatro secciones aplicable a los requerimientos de los SUDS:

1. Superficie drenante
2. Captación y drenaje
3. Canal de drenaje
4. Aljibe de riego



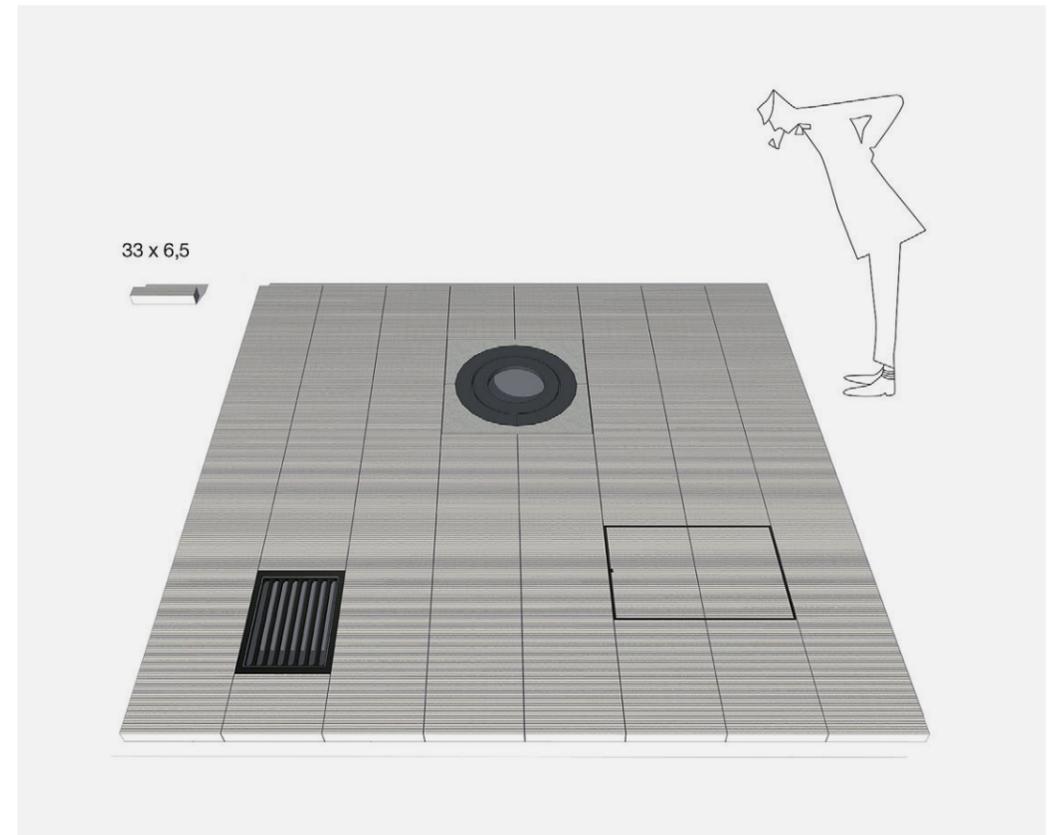
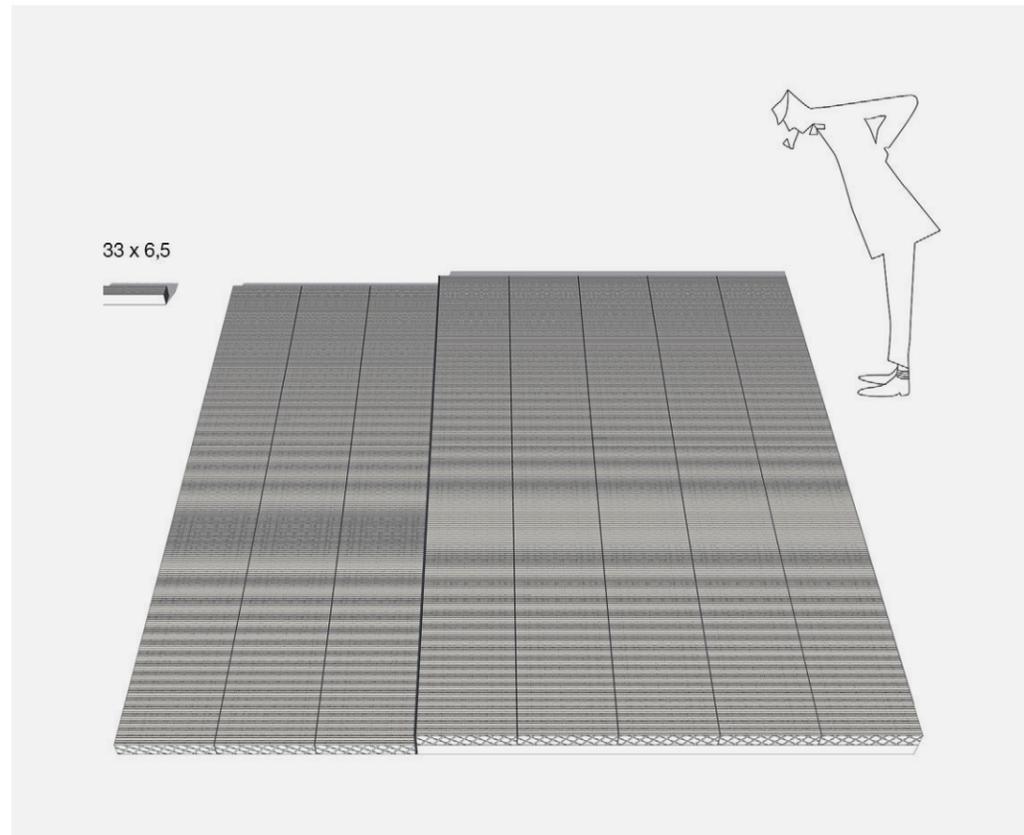
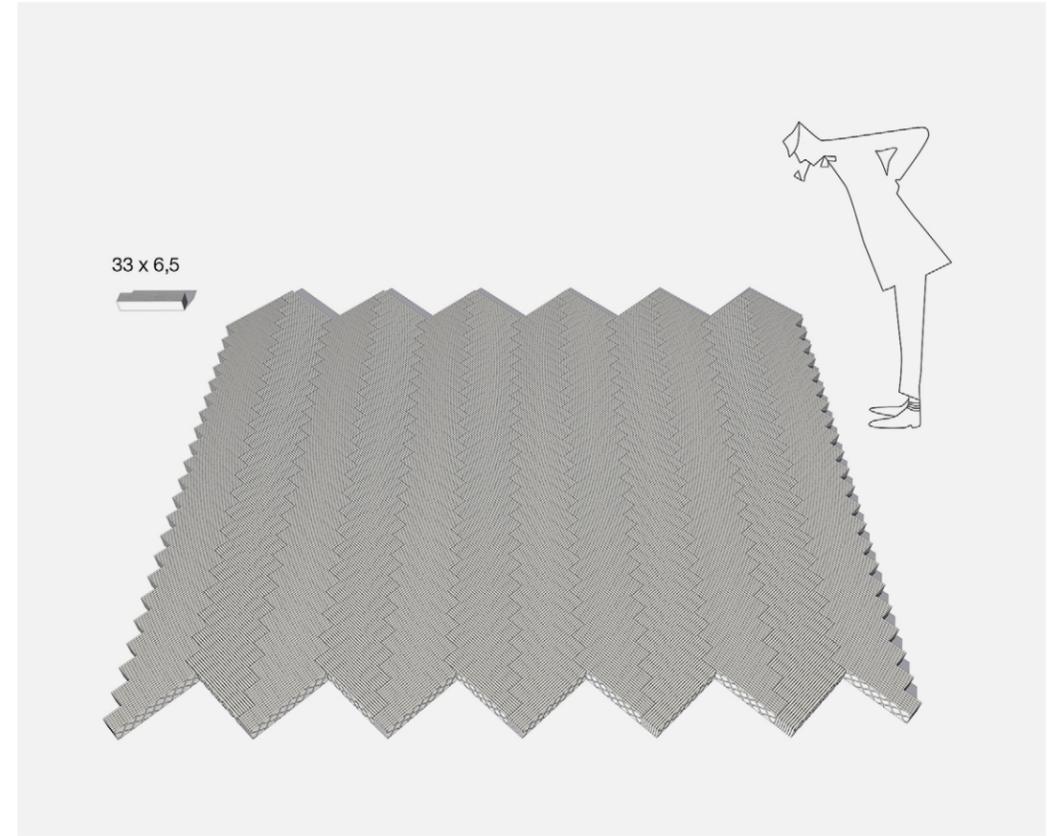
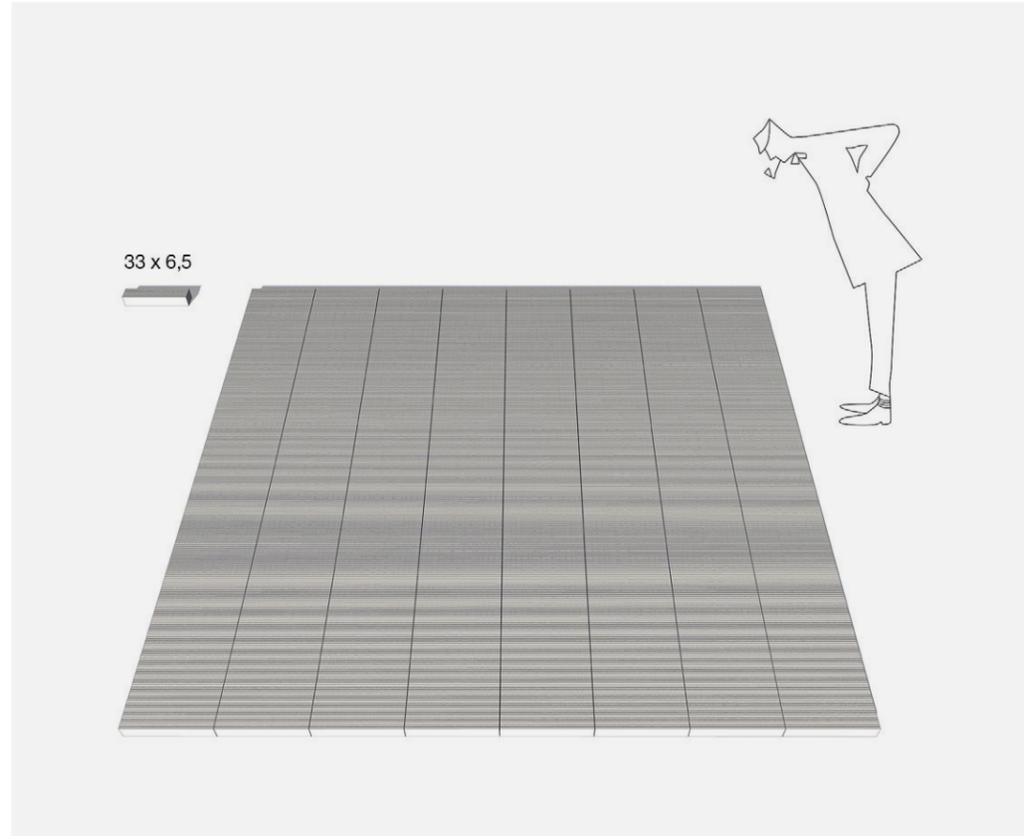
ADOQUÍN CERÁMICO PERMEABLE

Suprareciclaje de material cerámico de bajo valor comercial

1.6. Estudio de colocación

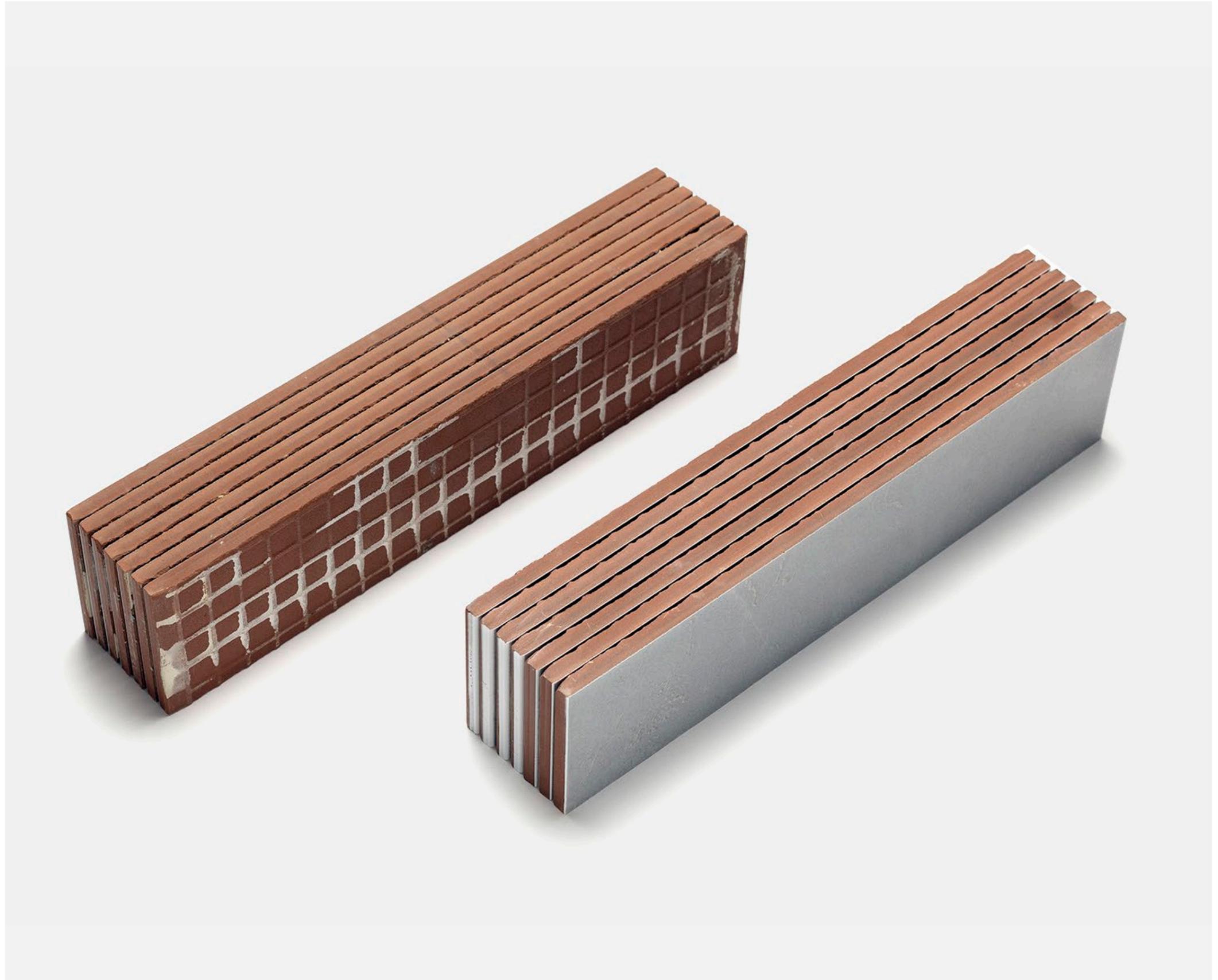
Con el fin de conseguir un sistema de pavimentación óptimo, durante el proceso de diseño se abordó el estudio de las cuestiones específicas a las que este adoquín tendría que dar respuesta en relación a su presencia en el espacio público. De esta manera se identificaron sus necesidades básicas como la de disponer elementos de confinamiento lateral para evitar desplazamientos y asentamientos; la de contar con juntas y aparejos que permitan resolver las diferencias dimensionales entre las piezas; la problemática de la resolución de encuentros con paramentos y demás elementos de urbanización como alcorques, mobiliario urbano o registros de instalaciones; su respuesta ante cambios de nivel y vados; o la formación de pavimentos hápticos. Al mismo tiempo, se realizó una prueba de calle de 25 metros cuadrados para poder analizar cuestiones relativas a su puesta obra como la facilidad de manipulación del adoquín en cuanto a dimensiones, peso y corte; rendimientos de colocación, así como distintos tipos de aparejo y su comportamiento frente a cargas dinámicas con distintas intensidades de tráfico.

Finalmente, el sistema fue puesto a prueba mediante la ejecución de un demostrador, llevado a cabo en la localidad de Benicàssim, que permitió valorar su capacidad de respuesta y su evolución en el tiempo sometido a las condiciones ambientales y de utilización de un entorno real.



ADOQUÍN CERÁMICO PERMEABLE

Suprareciclaje de material cerámico de bajo valor comercial



Prototipo de adoquín permeable fabricado con baldosas cerámicas reutilizadas de bajo valor comercial (© Milena Villalba).