PROYECTO DRAINKER: PAVIMENTO CERÁMICO PERMEABLE PARA SUDS

J. Mira [(1)], J. Corrales[(1)], L. Vilalta[(1)], E. De Miguel [(2)], E. Fernandez-Vivancos[(2)], I. Andrés-Doménech[(3)]

ITC-AICE, España

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

[(2)] Cátedra Cerámica de Valencia. Universitat Politècnica de València. Valencia. España.

[(3)] Instituto de Investigación de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA). Universitat Politècnica de València. Valencia. España.

RESUMEN

El continuo y rápido crecimiento de nuestras ciudades, que conlleva una progresiva impermeabilización del suelo, está alterando gravemente el ciclo hidrológico, generando un aumento de los volúmenes de escorrentía, con elevados caudales punta y tiempos de respuesta muy cortos, lo que puede comprometer el correcto funcionamiento de los sistemas de drenaje y saneamiento en nuestras ciudades. Esto sumado al aumento del riesgo de sequías y al riesgo de episodios de lluvias torrenciales ocasionadas por el cambio climático, hace necesario un nuevo enfoque para una gestión más eficiente y sostenible de la escorrentía urbana.

En este sentido, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), ofrecen soluciones para resolver los problemas actuales y futuros en materia de drenaje urbano. Existen múltiples tipologías de estos sistemas, todos ellos catalogados como soluciones basadas en la naturaleza, entre las que se encuentran las cubiertas vegetadas, las zanjas filtrantes, las cunetas verdes, los depósitos de detención o las superficies permeables, entre otras.

Es en esta última tipología donde se enmarca este proyecto cuyo objetivo principal es el desarrollo de un pavimento cerámico permeable con elevada capacidad drenante, obtenido a partir del ensamblado de las piezas cerámicas fabricadas bajo los criterios de economía circular, de tal modo que permita su ensamblado e instalación prácticamente en seco, teniendo en cuenta toda la vida útil del producto (mantenimiento, reparación, recuperación, reutilización o valorización). Los resultados que se obtengan se transferirán al conjunto de las empresas fabricantes de baldosas cerámicas para propiciar su fabricación y utilización en obra pública, así como en urbanizaciones exteriores de parcelas. Entre los objetivos secundarios del proyecto destacan la validación de los siguientes aspectos:

- Características técnicas de las piezas fabricadas. Estas piezas, de sección delgada y gran canto, deberán responder a los requerimientos exigidos en el espacio urbano y por ello presentarán unos valores de resistencia a la flexión, al impacto y a la abrasión y una baja absorción de agua acordes con estas demandas.
- Proceso de ensamblado de las piezas para la obtención del pavimento permeable.
- Comportamiento del pavimento permeable. Para ello se desarrollará un demostrador en un entorno exterior relevante, que se monitorizará para evaluar el comportamiento desde el punto de vista de la puesta en obra, durabilidad y permeabilidad superficial.

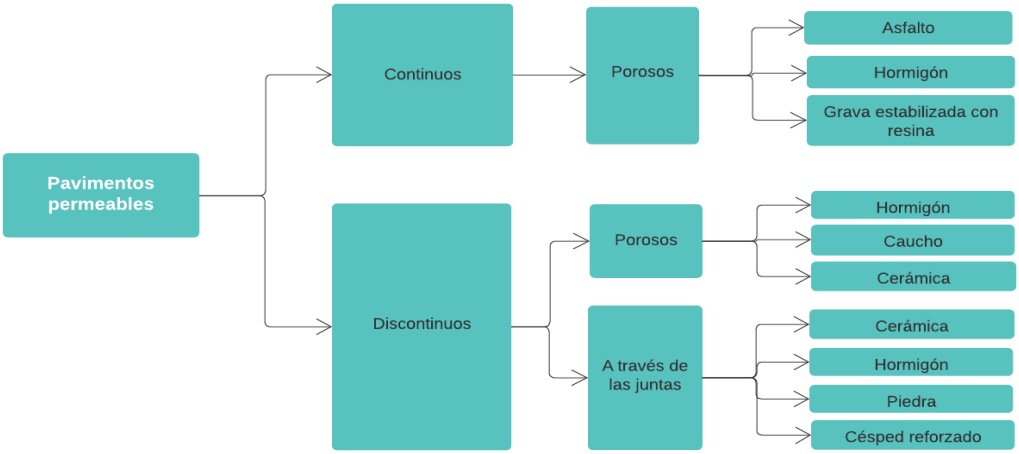
Esta comunicación presenta los resultados parciales, a fecha de septiembre de 2023, del proyecto DRAINKER, iniciado en noviembre de 2022 con una duración de 24 meses. Principalmente, se expondrán los aspectos referentes al diseño del pavimento, quedando los procesos empleados en el ensamblado de las piezas, los resultados de las pruebas de validación en laboratorio y el diseño y construcción del demostrador previstos para una comunicación posterior.

El **proyecto DRAINKER (INNVA1/2022/12)** está siendo financiado por **la Agencia Valenciana de Innovación (AVI)**.

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos permeables representan probablemente una de las técnicas SUDS más completas para resolver los problemas actuales y futuros en materia de drenaje urbano, puesto que permiten tanto el control de las escorrentías en origen, su laminación, así como el tratamiento de la calidad de las mismas, fundamentalmente por filtración. En la actualidad, existen diversas tipologías de pavimentación permeable, entre las cuales se enumeran las siguientes: adoquines permeables, mezcla asfáltica porosa, césped reforzado, grava estabilizada con resina y hormigón poroso, entre otros[1]. Estas tipologías pueden agruparse en dos grandes grupos, los pavimentos permeables continuos y los discontinuos, tal y como se muestra en el siguiente esquema:

[1] Woods Ballard, B. et al (2015). The SuDS Manual (C753F). CIRIA. ISBN: 978-0-86017-759-3. Disponible: https://www.ciria.org/Memberships/The_SuDs_Manual_C753_Chapters.aspx



Los pavimentos permeables continuos permiten el drenaje del agua gracias al empleo de materiales porosos (hormigones o asfaltos). En el caso de los pavimentos permeables discontinuos, el drenaje se puede obtener mediante el empleo de materiales porosos o a través de las juntas entre piezas. En las zonas peatonales de los entornos urbanos, así como en las urbanizaciones interiores de parcela, se están empleando con mayor frecuencia los pavimentos permeables discontinuos, que suelen estar formados por adoquines o losas que se instalan en seco. Entre los materiales existentes en el mercado, destacan los adoquines de hormigón permeable pudiéndose encontrar en menor medida otros materiales cerámicos, pétreos o de caucho.

En relación con los adoquines de hormigón, se pueden encontrar adoquines de hormigón poroso, así como adoquines de hormigón permeables a través de las juntas. Aunque a nivel prestacional estos productos ofrecen un buen comportamiento a flexión, sus principales limitaciones son la durabilidad y la capacidad drenante. En este sentido, es importante destacar que la permeabilidad inicial mínima recomendada para un pavimento permeable es de 2.500 mm/h[11], valor que es alcanzado en pocos productos.

En relación con los materiales cerámicos, los productos comerciales que se pueden encontrar en el mercado, con una presencia muy inferior a los productos de hormigón permeable, son los adoquines permeables a través de las juntas y otros pavimentos porosos fabricados a partir de residuos. En el caso de los adoquines cerámicos permeables se han encontrado fabricantes a nivel internacional, mientras que a nivel nacional únicamente se han encontrado el producto Flexbrick[2], que entre diversas aplicaciones podría emplearse como pavimento drenante en espacios verdes o cubiertas de edificios. Esta tipología de productos, aunque ofrezca mejores prestaciones mecánicas y de durabilidad que los pavimentos de hormigón, tienen muy limitada su permeabilidad, siendo una característica no declarada por los fabricantes en sus fichas técnicas.

El origen del pavimento que se propone es el proyecto europeo LIFE CERSUDS (LIFE15 CCA/ES/000091) caracterizado por el empleo de baldosas cerámicas de bajo valor comercial (en stock), que tras un proceso de corte se ensamblan de canto mediante el empleo de adhesivo cementoso posicionado en bandas para la obtención de un módulo cerámico permeable a través de sus múltiples juntas. El pavimento de este proyecto, que fue coordinado por el Instituto de Tecnología Cerámica, ofrece valores iniciales de permeabilidad muy elevados, superiores a 15.000 mm/h pero tiene una serie de limitaciones o barreras desde el punto de vista dimensional y de resistencia.

[2] https://www.flexbrick.es/

NORMATIVA

A nivel normativo, las legislaciones europea y nacional promueven la transición hacia un entorno urbano sostenible y más eficiente, a través de legislación en materia de medio ambiente y ejemplos específicos tales como la Estrategia de Protección del Suelo de 2006, la Estrategia de Infraestructura Verde de 2013 y su trasposición a nivel nacional, la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de 2015 y el Pacto Verde Europeo de 2019.

Recientemente se han producido cambios en el marco normativo a escala nacional, regional y municipal que impulsan el uso de SUDS, entre los que destacan:

- La publicación en 2015 de la revisión del Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana (PATRICOVA).
- La publicación del Real Decreto 638/2016 por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- La Resolución 997/IX de las Corts Valencianes de 2017 que insta a incorporar medidas de prevención relacionadas con el uso de SUDS en el diseño de la infraestructura verde de planes de ordenación del territorio.
- La publicación reciente de normativa municipal que incorpora aspectos relativos a los SUDS en ciudades tales como Madrid (Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua, 2006), Barcelona (Plan Director de Aguas Pluviales), Valencia (Ordenanza de Saneamiento, 2015 y la Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, 2021) o Castellón (Guía de sistemas de drenaje sostenible, 2020).
- La publicación, en agosto de 2023, del Real Decreto 665/2023 por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico y que vuelve a insistir en el uso de SUDS.

Por todo ello, el pavimento cerámico permeable propuesto viene a cubrir una necesidad para adaptar nuestras ciudades al cambio climático mediante el incremento de la permeabilidad de sus suelos con un producto con una permeabilidad superior a los productos presentes en el mercado.

OBJETIVOS DEL PROYECTO DRAINKER

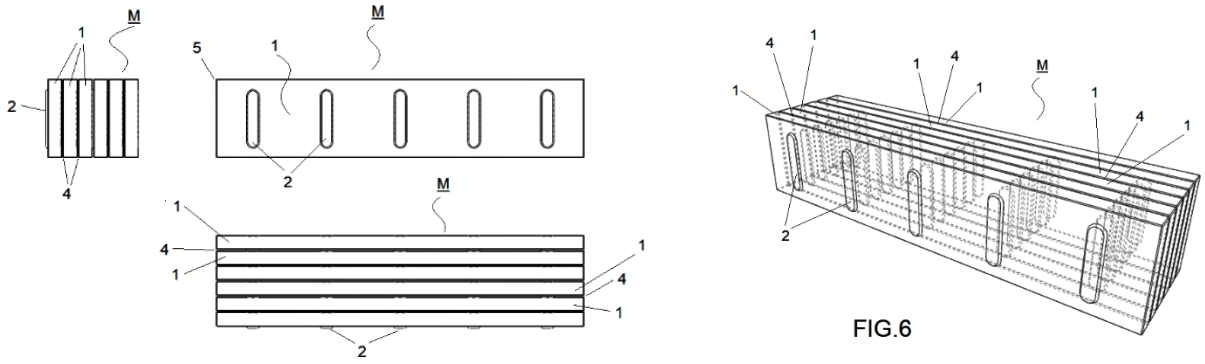
El objetivo principal del proyecto consiste en la validación de un pavimento cerámico permeable, protegido por el Modelo de utilidad U202230202, destinado a la construcción de SUDS y otros usos exteriores que permita mitigar los efectos del sellado del suelo en nuestras ciudades. Esta validación permitirá transferir adecuadamente a los fabricantes de baldosas cerámicas el nuevo desarrollo de pavimento con objeto de impulsar su fabricación a nivel comercial por parte de una o varias empresas.

Por lo tanto, se pretende desarrollar un pavimento cerámico permeable con elevada capacidad drenante, obtenido a partir del ensamblado de las piezas cerámicas fabricadas bajo los criterios de economía circular, de tal modo que permita su ensamblado e instalación prácticamente en seco, teniendo en cuenta toda la vida útil del producto (mantenimiento, reparación, recuperación, reutilización o valorización). Los resultados que se vayan obteniendo durante el desarrollo serán difundidos entre el conjunto de las empresas fabricantes de baldosas cerámicas para propiciar su fabricación y utilización en obra pública, así como en urbanizaciones exteriores de parcelas. Entre los objetivos secundarios destacan:

- Validación de las características técnicas de las piezas fabricadas. Estas piezas, de sección delgada y gran canto, deberán responder a los requerimientos exigidos en el espacio urbano y por ello presentarán unos valores de resistencia a la flexión, al impacto y a la abrasión y una baja absorción de agua acordes con estas demandas.
- Validación del proceso de ensamblado de las piezas para la obtención del pavimento permeable.
- Validación del comportamiento del pavimento permeable. Para ello se desarrollará un demostrador en un entorno exterior relevante, que se monitorizará para evaluar el comportamiento desde el punto de vista de la puesta en obra, durabilidad y permeabilidad superficial.

DISEÑO DE LAS CINTAS Y MÓDULOS

La invención descrita en el modelo de utilidad U202230202 consiste en un módulo formado a partir de la unión de una pluralidad de piezas cerámicas con relieves en sus caras frontal y posterior, donde estos relieves permiten el ensamblado y garantizan la separación entre diferentes piezas, quedando las piezas dispuestas de forma paralela generándose un módulo, y donde esta separación entre piezas dota al módulo de la capacidad drenante. Este módulo se posiciona sobre un suelo, el cual puede comprender a su vez elementos drenantes, posicionándose el módulo de forma que las piezas queden verticalmente, es decir, que se posicione sobre sus cantos.



Concepto básico del pavimento propuesto

Partiendo de esta idea se definieron los requerimientos necesarios para este tipo de pavimentos que seguidamente se exponen:

Prestacionales

Característica	Valor	Norma
Permeabilidad óptima en laboratorio	> 20.000 mm/h	NLT-327/00[3]
Permeabilidad óptima instalada	> 5.000 mm/h	NLT-327/00
Resistencia deslizamiento	Clase 3	UNE-EN 16165:2022[4] (Anexo C y Anexo nacional)
Carga de rotura transversal (T4)	80 N/mm	UNE-EN 1344:2015[5]
Resistencia al impacto	Defectos que no comprometan el pavimento	Anexo 6 del Cahier 3778:2017
Resistencia al hielo/deshielo	FP100 Cumple	UNE-EN 1344:2015 y UNE-EN ISO 10545-12[6]
Resistencia a la abrasión	A3	UNE-EN 1344:2015
Tolerancia dimensional	R1	UNE-EN 1344:2015
Toxicidad	No debe afectar al medio ambiente	Directiva 67/548/CEE de sustancias peligrosas. Reglamento (CE) No. 1272/2008

Técnicos y/o relativos a la instalación

Característica deseada	Objetivo
Variedad de formatos	Reducir el número de mermas y/u operaciones durante el proceso de colocación en determinados tipos de aparejos gracias a los ½ formatos. Poder adaptarse a las modulaciones de otros pavimentos urbanos preexistentes.
Variedad de aparejos	Mayor libertad al prescriptor a la hora de proponer diferentes disposiciones del pavimento.

Ambientales

Característica deseada	Objetivo
Producto con bajos impactos ambientales	Con la mínima cantidad de material necesario definir un módulo de pavimento permeable que cumpla las especificaciones técnicas requeridas. Utilización de una composición cerámica con los menores impactos ambientales, asociados principalmente a la etapa de fabricación (cocción).
Producto diseñado bajo criterios de circularidad	Facilitar la sustitución del material en caso de roturas durante su vida útil. Facilitar el desmontaje y reutilización del pavimento en el caso de que sea necesaria una desinstalación antes de que finalice la vida útil del pavimento. Facilitar la separación de residuos al final de la vida útil del producto.

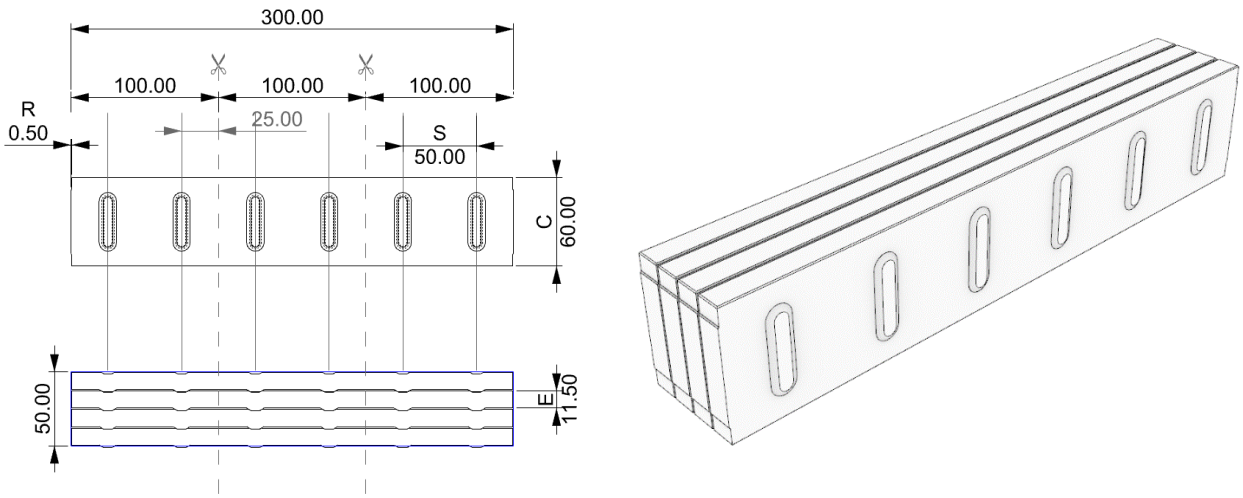
[3] NLT-327/00 Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS.
[4] UNE-EN 16165:2022 para proteger a los peatones de superficies deslizantes.
[5] UNE-EN 1344:2015. Adoquines de arcilla cocida. Especificaciones y métodos de ensayo.
[6] UNE-EN ISO 10545-12: 1997 "Baldosas Cerámicas - Parte 12: Determinación de la resistencia a la helada.

Geométricos

A través de un proceso cíclico se ha definido la geometría óptima de la pieza para el cumplimiento de los requerimientos exigidos al uso previsto. Durante este proceso, se han considerado variables como el formato y el espesor de las piezas, así como la geometría y numero de relieves ubicados en la cara frontal, posterior y pisable de las piezas.

- Largo x Ancho (L x A): múltiplo de 10 (sistema decimal) para adaptarse a las medidas más habituales de anchos de aceras, pasos, normativa accesibilidad, etc. Se plantea inicialmente la creación de una pieza de un módulo y otra de medio módulo (400 y 200 mm respectivamente). Esto facilitaría la instalación con determinados tipos de aparejos, resolviendo arranques y cierres.

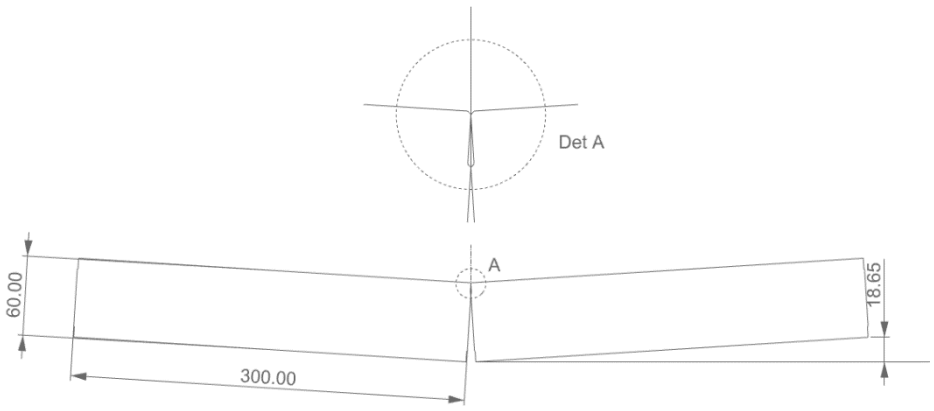
  Uno de los mayores condicionantes a la hora de plantear la geometría de las piezas ha sido las limitaciones dadas por su proceso de fabricación. Este proceso, basado en el prensado de las piezas, se realiza a través de un molde que se ha diseñado y fabricado ex profeso para este proyecto. La principal limitación viene dada por el tamaño de la prensa de prueba de la que dispone el fabricante para la producción de los prototipos de las piezas cerámicas. La longitud máxima de la pieza admitida por esta prensa está alrededor de los 300 mm, lo que ha hecho descartar cualquier otra opción de mayor dimensión. Otra limitación ha venido dada por el coste económico de la fabricación del molde lo que ha impedido la realización de un segundo para la fabricación de piezas de medio módulo. Todo esto ha llevado al desarrollo un único módulo de 300 mm de largo y 50 mm de ancho.



Cotas generales y vista en perspectiva del módulo

- Canto (C): se buscará reducirlo al máximo, pero su dimensión total dependerá de la longitud final de la pieza. La dimensión del canto del módulo se ha definido en relación con la longitud de éste teniendo en cuenta la resistencia al impacto del módulo. Para dimensionarlo se ha tomado como referencia el comportamiento del demostrador del proyecto precedente Life Cersuds, considerándose un canto de 60 mm a priori suficiente.

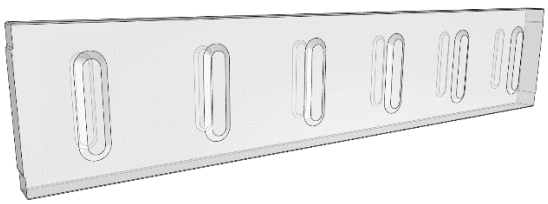
- Número de cintas: se plantea un número par de cintas para conformar el módulo cerámico permeable y se definen, a priori, un total de 4 unidades por módulo para dotarlo de unas proporciones modulares.
- Separación entre cintas: con todos los anteriores parámetros definidos y teniendo en cuenta las características del posible material de rejuntado a utilizar y los requerimientos de permeabilidad exigidos al módulo cerámico, se establece una junta entre cintas de 1 mm de espesor.
- Espesor cintas (E): se propone aumentar el espesor de las cintas para dotarles de mayor entidad estética y, además, para poder permitir un mejor tratamiento de la superficie superior con el objetivo de conseguir propiedades antideslizantes. Con el ancho del módulo y el número de cintas definidos, su espesor se establece en 11,5 mm.
- Separación entre relieves (S): para permitir el corte en obra de medias piezas y tercios de piezas se han distribuido de manera uniforme a lo largo del lateral de las cintas un total de seis relieves y hendiduras.
- Rebajes laterales (R): para garantizar la correcta separación entre módulos por su lado más corto y poder mantener una junta similar tanto en el perímetro del módulo como entre piezas, se plantea la realización de un rebaje en la sección lateral. Este rebaje evitará también la aparición de determinadas patologías relacionadas con asientos de los módulos una vez instalados. Se considera relevante que el diseño de las piezas evite que los cantos laterales de los módulos puedan entrar en contacto para evitar desconchados y roturas de las piezas. Es necesario que exista un mínimo de saliente lateral/separador lateral entre módulos para garantizar un buen funcionamiento cuando se coloque a hueso/testa con otros módulos u otros elementos urbanos.
- Biselado de los bordes: en el mismo sentido, los biselados en los cantos contribuirán a evitar el contacto entre los bordes de las piezas y en el caso de producirse la arista será menos aguda y, por lo tanto, con menor posibilidad de descantillado. La siguiente imagen muestra que los rebajes y los biselados pueden evitar estas colisiones con asientos inferiores a 18 mm en una distancia de 300 mm, asientos muy improbables ya que constituirían una patología grave.



Asiento necesario para que las piezas entren en contacto

Relieves de las piezas

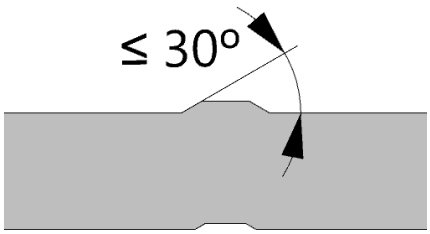
Para garantizar el correcto encaje entre las diferentes cintas que conforman el módulo se han planteado una serie de relieves en ambas caras de la cinta. En una primera aproximación están formados, por una cara, por un conjunto de seis "pivotes" a modo de relieve; y por la otra cara, seis "huecos" a modo de bajorrelieves diseñados de tal modo que permiten un encaje perfecto entre piezas. Como punto de partida se proponen seis "tiras" verticales con los bordes redondeados.



Relieves para el posicionamiento de las piezas

Por otra parte, para el diseño de los relieves (pivotes y huecos) característicos de las cintas se han tenido en cuenta los siguientes condicionantes:

- Ángulo de *pivotes* y *huecos:* siguiendo las recomendaciones de la empresa moldista, la geometría más adecuada para lograr el encaje entre la parte delantera y trasera de las cintas, y, por lo tanto, entre los módulos, es mediante ángulos de 30º.

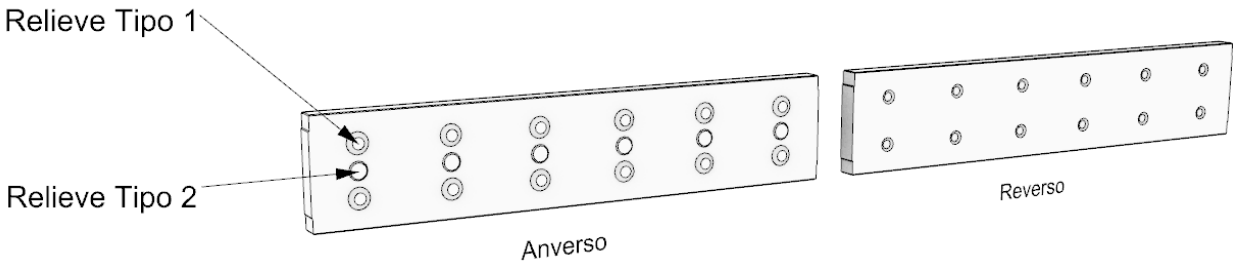


Inclinación de los relieves

- *Pivote* no mayor de 1,6 mm para evitar problemas durante el proceso de prensado.
- Espacio libre entre *pivote* y *hueco:* para permitir un buen ajuste entre piezas ser recomienda prever un espacio para evitar el contacto entre las superficies del fondo del *hueco* y la parte superior del *pivote*. Con esto el ensamblado se producirá por contacto entre los laterales del pivote y del hueco.

Ubicación del adhesivo

En principio la zona elegida para la aplicación del adhesivo fue la parte superior de los pivotes por dos motivos: permite mantener un espesor constante del adhesivo y dado que entre pivote y hueco queda un espacio libre, éste permitiría alojar el adhesivo manteniéndolo "encapsulado". Sin embargo, las primeras pruebas de ensamblado han permitido constatar que la presencia de adhesivo impide que el pivote y el hueco puedan encajar adecuadamente en el caso de que haya un mal posicionamiento del adhesivo o de que la cantidad depositada sea mayor que el espacio libre. Es por ello que se está planteando modificar los relieves de tal forma que exista un Tipo 1 que permita posicionar las piezas y mantener la separación deseada de 1 mm y otra Tipo 2 de relieve que permita recibir el adhesivo manteniendo el espesor del mismo de forma controlada.

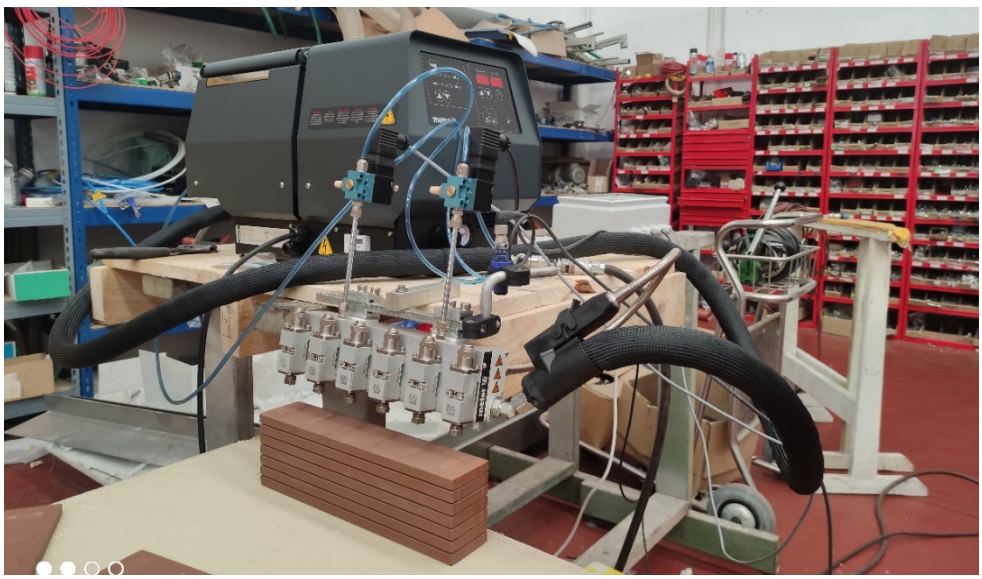


Modificación de los relieves de posicionamiento

PROCESO DE ENSAMBLADO DE LAS PIEZAS

Actualmente se está trabajando con una máquina especializada en aplicación de adhesivos hotmelt con 6 boquillas que permite aplicar el adhesivo de forma automática. Las pruebas realizadas con esta máquina junto con las pruebas de laboratorio permitirán la elección del adhesivo más adecuado cuyos principales requerimientos son:

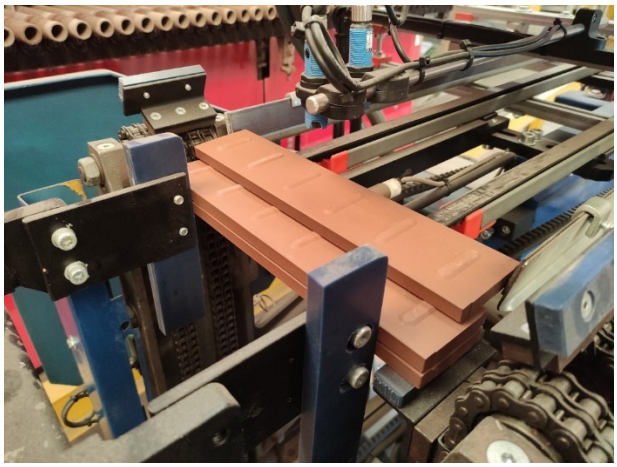
- Inocuidad para el medio ambiente una vez aplicado y curado.
- Que la máquina no requiera un elevado mantenimiento y limpieza.
- Resistencia rápida inicial para poder manipular la pieza una vez aplicado el adhesivo.
- Capacidad para resistir la radiación solar sin despegarse
- Resistencia a la tracción una vez curado superior o igual a 3 MPa.
- Resistencia al contacto con la humedad o inmersión en agua.
- Resistencia a la helada.



Máquina para la aplicación de adhesivo

Paralelamente se está montando un dispositivo apilador que permitirá, una vez aplicado el adhesivo sobre las cintas, apilar las piezas correctamente para llevarlas al acopio y embalaje.

Moldes en prensa



Apilador

CONCLUSIONES

Se han presentado los resultados parciales, a fecha de septiembre de 2023, del proyecto DRAINKER, iniciado en noviembre de 2022 con una duración de 24 meses. En concreto, se ha definido la geometría inicial de las piezas cerámicas para un módulo de pavimento urbano permeable cerámico con las siguientes características:

- Dimensiones de largo y ancho moduladas para permitir la realización de diferentes aparejos.
- Canto suficiente para proporcionar la resistencia mecánica requerida.
- Permeabilidad NLT-327 en laboratorio superior a 30.000 mm/h.
- Presencia de relieves y oquedades para permitir el correcto ensamblado automático de las cintas mediante apiladora.