



Movimiento crítico del comportamiento de los adoquines

Diseño de ensayo para determinar el comportamiento de pavimentos de adoquín bajo cargas de tráfico

■ José Francisco Alarcón y José Gervasio Rodríguez, Prefabricados de Hormigones Montalbán y Rodríguez S.A., Avenida Agustín Fuentes s/n, 30565, Las Torres de Cotillas, Murcia, España.
Carlos Rodríguez y Miriam Hernández, Departamento de Materiales de la Construcción, Centro Tecnológico de la Construcción, Polg, Oeste, 30820, Alcantarilla, Murcia, España.

En las últimas décadas, los pavimentos de adoquín han experimentado un renacimiento en las áreas urbanas. Sin embargo, a veces se exponen a fuerzas demasiadas altas que no pueden soportar, provocando desplazamientos. El resultado de una inadecuada construcción y de las elevadas cargas de tráfico desencadena daños permanentes y costosos. Para poder evaluar las variables intervinientes en la deformación de los mismos, se hace necesario diseñar ensayos que muestren su comportamiento bajo cargas simuladas de tráfico. En el presente artículo se presentan nuevos ensayos diseñados exclusivamente para tal fin, permitiendo la comparativa de distintos tipos de adoquín. De este modo, en función de los resultados obtenidos con los mismos, se pueden variar las características del diseño de los adoquines hasta conseguir las prestaciones deseadas.

En una construcción, bajo el supuesto de haber realizado una correcta ejecución tanto de la cama de la pavimentación como del paño de adoquines, los daños del conjunto surgen como consecuencia de las fuerzas horizontales del tráfico (ej.: los frenazos de los vehículos pesados) conduciendo a la destrucción de la superficie adoquinada.

Por este motivo, la industria del hormigón está tratando de mejorar el rendimiento de los sistemas de adoquín, con el objetivo de reducir al mínimo su desplazamiento, mediante la modificación de sus características. Estas variaciones están destinadas a garantizar una mayor capacidad de soportar cargas y resistencia a la deformación. Consecuentemente, se hace necesario el diseño de ensayos que permitan comparar diferentes sistemas bajo cargas de tráfico.

En cuanto a estudios anteriores, se destaca que la Universidad de Dresde (Alemania) [1] llevó a cabo una investigación experimental sobre las variables que influyen en el comportamiento de la deformación de las construcciones de pavimentos adoquinados, en una prueba a gran escala, simulando cargas cíclicas combinadas (horizontal y vertical) para estudiar los efectos del material de las juntas, el ancho o grado de llenado

de las mismas, la forma del adoquín y sus patrones de colocación.

Por otro lado, el Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB, Francia) [2] determinó el comportamiento bajo cargas horizontales de diferentes sistemas de adoquín. En estos dos estudios, la forma de determinar la estabilidad frente a cargas de tráfico fue distinta, posiblemente debido a la inexistencia de estudios previos ni normativa de referencia. El objetivo de nuestro trabajo, ha sido diseñar un método de ensayo que permita determinar el comportamiento de pavimentos de adoquín frente a cargas similares a las provocadas por tráfico.

Diseño de los ensayos

El paso de vehículos sobre los adoquines genera unos esfuerzos de vuelco, que son más desfavorables para las secciones con menor inercia. Además, cuando los vehículos efectúan giros, generan unos esfuerzos tangenciales que también han de ser tenidos en cuenta.

A partir del conocimiento previo del Centro Tecnológico de la Construcción de la Región de Murcia (CTCON) sobre ensayos de firmes, se ha diseñado un ensayo de laboratorio para determinar la estabilidad de pavimentos de adoquín frente a las cargas de tráfico a largo plazo.

Para lograr el objetivo previsto, en primer lugar, se simuló el paso de tráfico sobre los pavimentos de adoquín según la norma UNE EN 12697-22 "Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: Ensayo de rodadura".

Esta normativa describe los métodos de ensayo a seguir para determinar la susceptibilidad de los materiales bituminosos a deformarse cuando están sometidos a carga, siendo dicho ensayo aplicable a mezclas con tamaño máximo del árido menor o igual a 32 mm, tanto a probetas preparadas en laboratorio



■ Carlos Rodríguez, Doctor en Ingeniería de los materiales, el agua y el terreno por la Universidad de Alicante. Ingeniero de Edificación por la Universidad Politécnica de Cartagena. Sus campos actuales de investigación se centran en cementos, hormigones, y construcción sostenible. Responsable Área de Materiales CTCON. crodriguez@ctcon-rm.com



■ Miriam Hernández, graduada en Ingeniería Civil (doble especialidad: Construcciones Civiles e Hidrología) por la Universidad Politécnica de Cartagena. Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de San Antonio de Murcia. Sus campos de investigación actuales se centran en construcción sostenible y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDs). Técnico de proyectos del Departamento de Materiales de Construcción en el Centro Tecnológico de la Construcción de la Región de Murcia (CTCON).

mirhernandez@ctcon-rm.com



■ José Alarcón, Director General de P.H. Montalbán y Rodríguez, S.A. Finalizó sus estudios de Ingeniero Técnico Industrial en el año 1998 en la Universidad Politécnica de Cartagena (Murcia). Master en Prevención de Riesgos Laborales (año 2000).



■ José Gervasio, Jefe del departamento técnico y de calidad de P.H. Montalbán y Rodríguez, S.A. Finalizó sus estudios de Ingeniero Civil en el año 2011 en la Universidad Católica San Antonio de Murcia.



como a probetas extraídas de un pavimento. La susceptibilidad de los materiales bituminosos a deformarse se evalúa por la rodера formada por pasadas repetidas, a temperatura constante, de una rueda neumática maciza sometida a carga de 700 N. [3]

Este ensayo se ha adaptado para su empleo en adoquines. Para adecuarlo a nuestro objetivo, los adoquines se colocaron en el molde de ensayo sobre un lecho de árido de granulometría 2/6 mm. Este lecho de árido es la base de apoyo de los adoquines que da homogeneidad a la superficie con el propósito de absorber las desigualdades debidas a la sensibilidad de fabricación.

Una vez embebidos los adoquines, se rellenaron las juntas con arena y se compactaron mediante un martillo de goma. Este material de relleno tiene la finalidad de transferir las cargas entre los mismos.



Figura 1: Primer ensayo UNE EN 12697-22

- Sistemas de fabricación semi- o totalmente automáticos para la fabricación de productos de hormigón con desmoldeo en seco o húmedo
- Moldes para desmoldeo en seco o húmedo para la industria del hormigón



Figura 2: Pruebas con el primer ensayo

Con el ensayo, se determinó la deformación del pavimento con el paso de un número de vehículos; en particular, el tiempo del ensayo fue de 5 horas, lo que correspondió a 15.600 vehículos. Asimismo, se efectuaron pruebas en las dos direcciones posibles tanto con árido de relleno en las juntas como sin él.

Además del anterior, se diseñó otro ensayo para la finalidad prevista. Para determinar la capacidad de resistir esfuerzos horizontales de diversos sistemas de pavimentación, se diseñó un banco de ensayo de 1,5 x 2 m., en el que se colocó un paño de adoquines ejecutado de forma similar a una obra real.

La sección tipo del área pavimentada la constituyó una base de árido de granulometría 2/6 mm de 5 cm de espesor y arena de relleno para las juntas de granulometría 0/2 mm. El intervalo de separación entre adoquines fue de 1,5 - 3 mm. [4]

Mediante una junta de arena compactada, se coaccionaron todas las caras, dejando una junta de 6 cm en la cara que soportaba el esfuerzo horizontal con el objetivo de permitir cierto desplazamiento del conjunto cuando altas cargas fue-



Figura 3: Nuevo ensayo

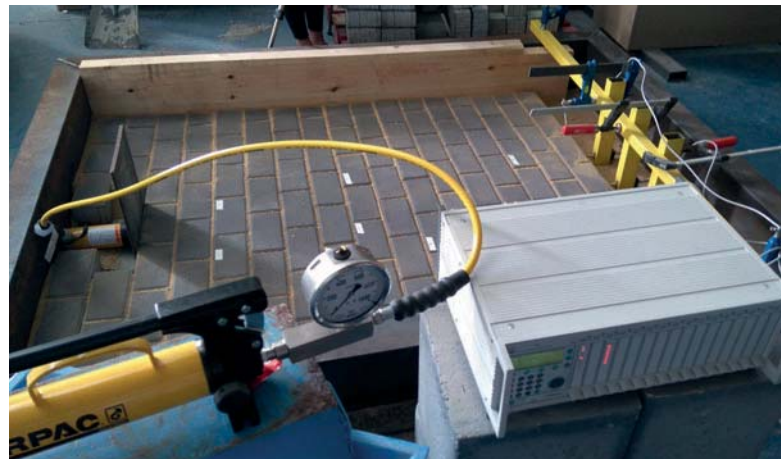


Figura 5: Equipo necesario

ran aplicadas. Con estas condiciones se estimó que se puede determinar la resistencia frente a esfuerzos horizontales de diferentes diseños.

Una vez definidos los ensayos de evaluación, se realizaron las pruebas oportunas para estudiar el comportamiento físico de diferentes pavimentos de adoquín de hormigón frente a tráfico.

Resultados

Con el ensayo de rodadura acondicionado a adoquines, se estudió la forma de colocación y ensayo de varios tipos de adoquín. La superficie adoquinada tras 5 horas se mantuvo estable para todas las pruebas realizadas en ambas direcciones, por lo que los adoquines no mostraron deformaciones considerables, incluso con ausencia de arena en el relleno de las juntas.

Un dato reseñable es el hecho de que el paso de vehículos que no producen esfuerzos horizontales por frenado o giro, no produce movimientos de los adoquines, independientemente del material de relleno y del sistema empleado.



Figura 4: Segundo ensayo diseñado

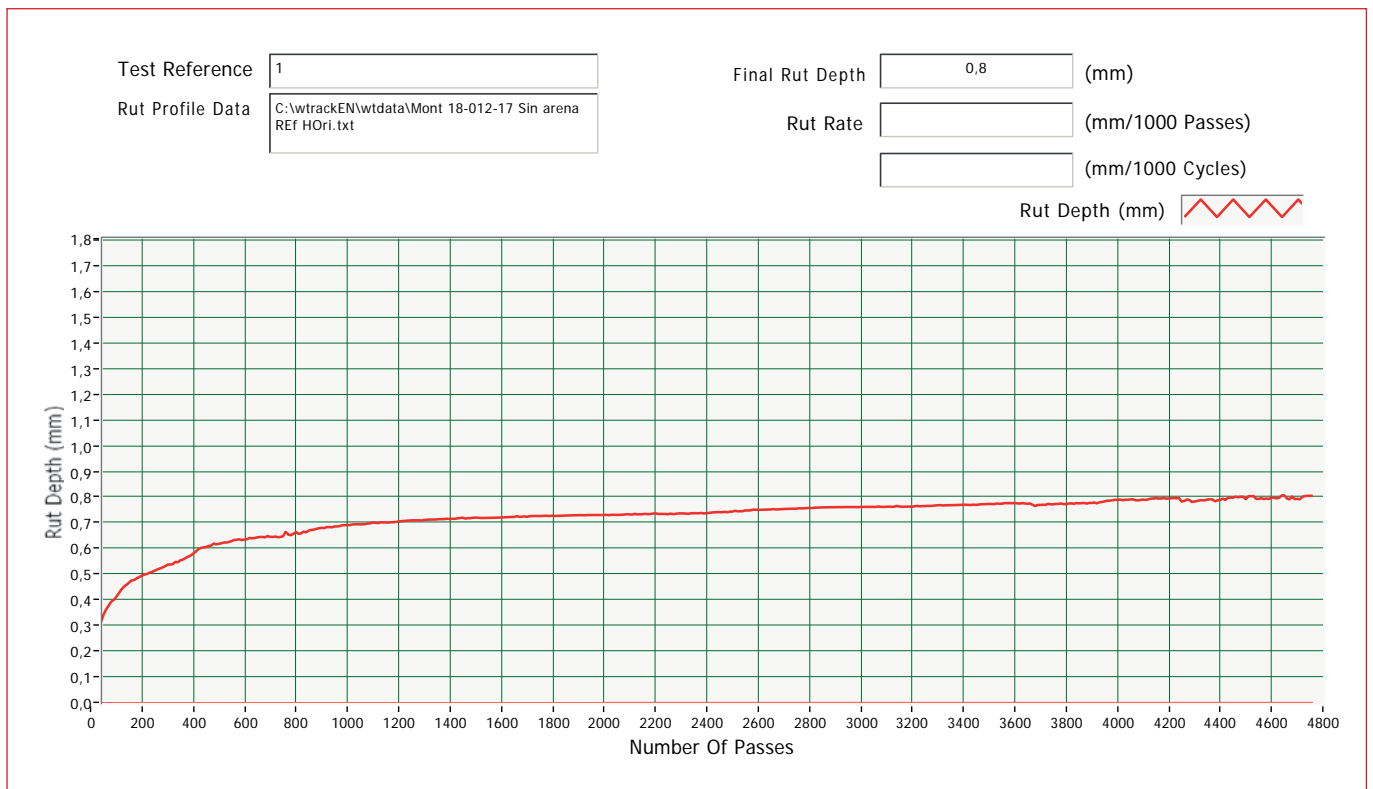


Figura 6: Resultados ensayos rodadura UNE EN 12697-22

INTERNATIONAL CONCRETE CONFERENCE & EXHIBITION

ICCX



CENTRAL EUROPE 2020

Feb 12-14, 2020 | Warsaw, Poland



Platinum Sponsor



Gold Sponsor



Silver Sponsor



Supporter



Organisation



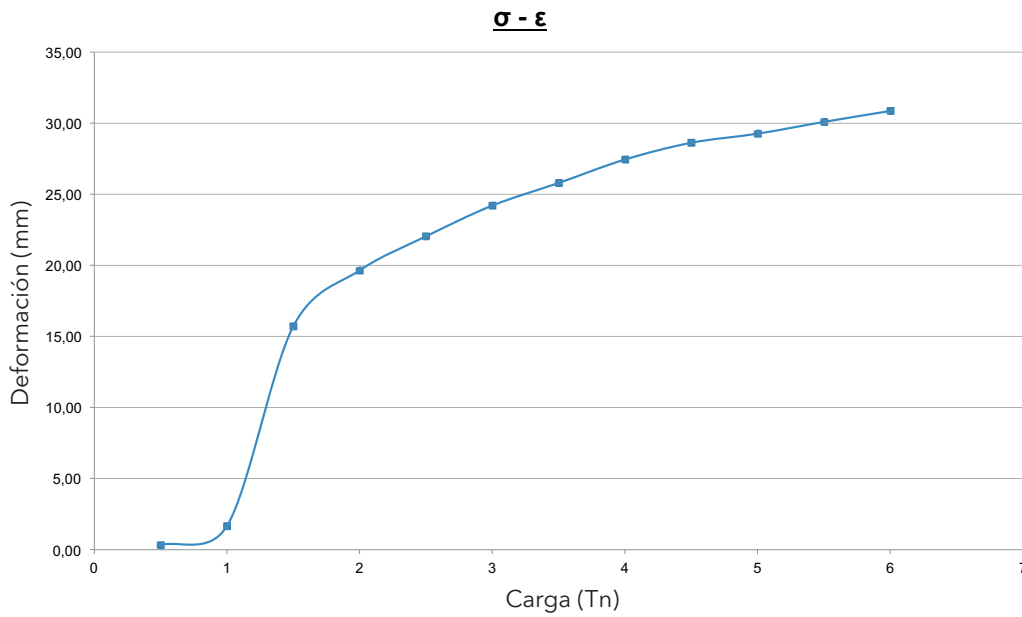


Figura 7: Toma de lecturas

Estos resultados ponen de manifiesto que las cargas simuladas son únicamente verticales al no producirse movimientos apreciables de los adoquines bajo tráfico ligero, no existiendo cargas tangenciales que son las deseadas.

Por otro lado, en relación al segundo ensayo diseñado, ya instalado el medio de trabajo, se aplicó un aumento de carga progresiva hasta 6 Tn para la toma de lecturas carga - deformación. La deformación se midió tanto con galgas extensiométricas como con visión artificial.

Los resultados de la toma de lecturas permiten determinar la carga concreta a la que se produce el movimiento crítico de todo el sistema.

Asimismo, mediante fotogrametría se compararon las pruebas realizadas frente a esfuerzos horizontales para comprobar si se producían deformaciones por compresión de las juntas.

Los resultados de esta técnica de análisis de imágenes verificaron que el movimiento crítico del comportamiento de los adoquines se produce por la movilización de todo el conjunto y no por una deformación de las juntas.

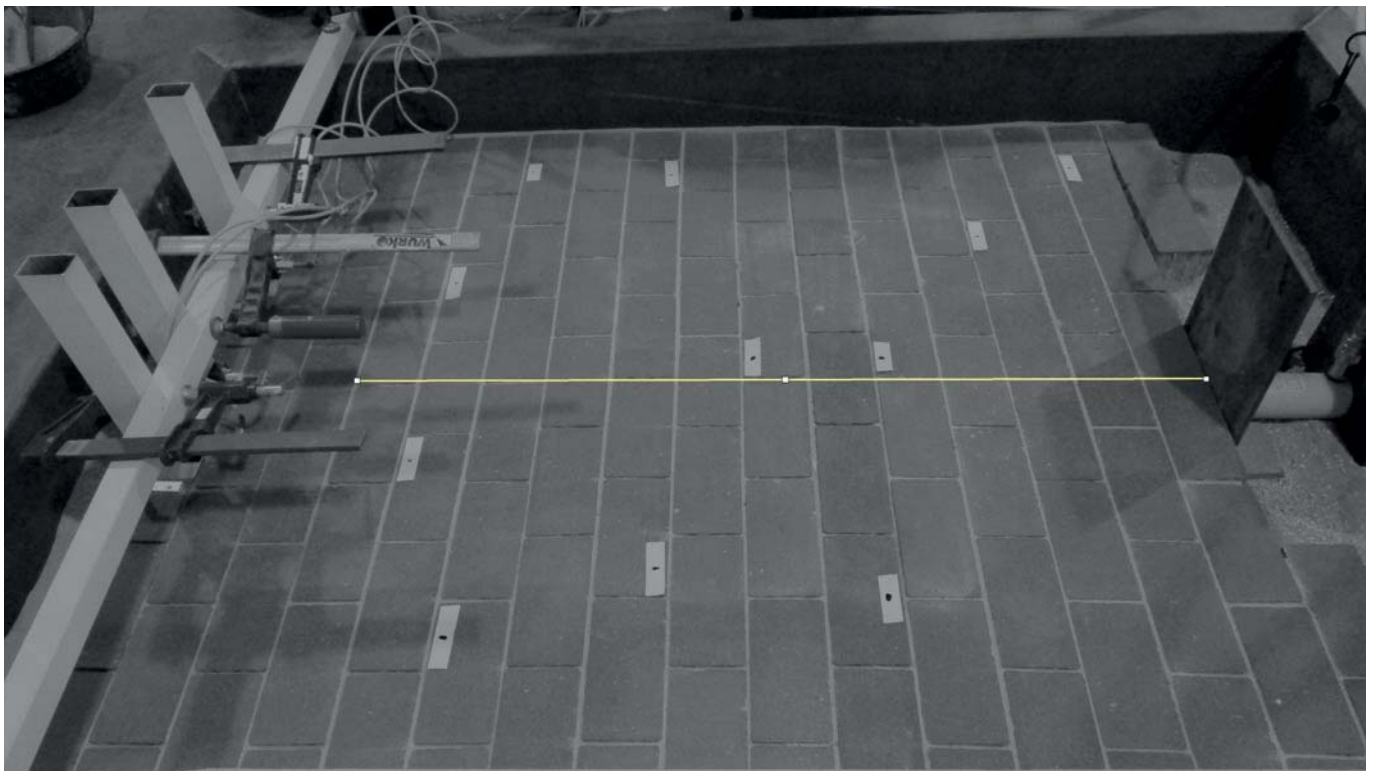


Figura 8: Fotogrametría



PRODUCTOS Y LOSAS DE HORMIGÓN

Por lo tanto, el ensayo diseñado puede ser un punto de partida determinante a la hora de comparar el comportamiento de los pavimentos adoquinados y, por consiguiente, puede ser empleado para el diseño de nuevos sistemas de adoquines que presenten propiedades superiores a los encontrados en la actualidad en el mercado.

En este sentido, la empresa Prefabricados de Hormigones Montalbán y Rodríguez S.A. ha desarrollado un nuevo diseño de adoquines para mejorar el comportamiento de las superficies adoquinadas frente a cargas de tráfico utilizando el método de ensayo descrito.

Agradecimientos

Los autores de este estudio agradecen al Instituto de Fomento de la Región de Murcia la cofinanciación del proyecto 2016.08.ID+I.0009 en el Programa de Ayudas dirigidas a empresas destinadas a fomentar la Investigación y Desarrollo. En este estudio han participado Prefabricados de Hormigón Montalbán y Rodríguez, S.A. y el Centro Tecnológico de la Construcción de la Región de Murcia (CTCON). En este contexto, también nos gustaría agradecer a los compañeros de CTCON por su desinteresada colaboración. ■

Bibliografía

- [1] D. Ascher y col., 2007. Verformungsverhalten von Betonpflasterbefestigungen unter vertikaler und horizontaler dynamischer Lasteintragung (Deformation behaviour of concrete block pavements under vertical and horizontal dynamic load). Technische Universität Dresden
- [2] Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB), 2014. Essais mécaniques sur structures pavées. Disponible a fecha 15/02/2019 en: <http://www.heinrich-bock.com/files/keops-rapports-essais-cerib.pdf>
- [3] UNE EN 12697-22 „Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: Ensayo de rodadura“.
- [4] Manual Técnico para la correcta colocación de los Euroadoquines. MTCE-04, 2014. Asociación Española para la Investigación y Desarrollo del adoquín de hormigón.

MÁS INFORMACIÓN



Centro Tecnológico de la Construcción de la Región de Murcia
Polg. Ind. Oeste, Avda. de las Américas, Parc. 16/4B Mod. 2
30820 Alcantarilla, Murcia, España

T +34 968 355270

F +34 968 355271

www.ctcon-rm.com



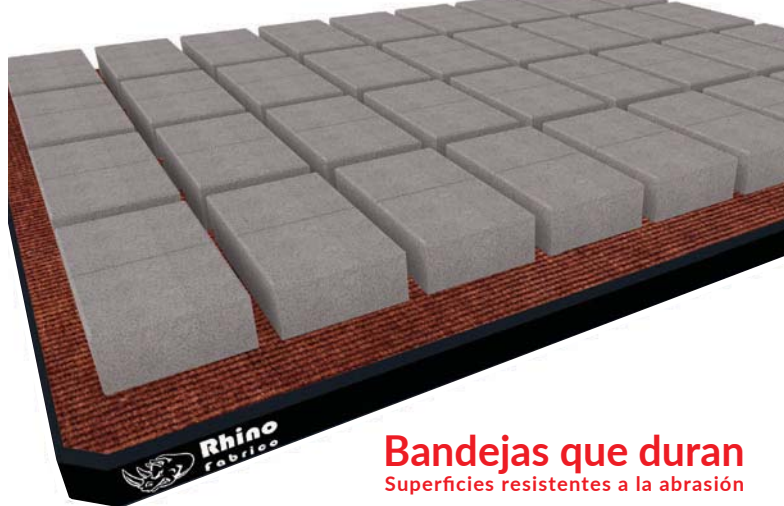
Prefabricados de Hormigones Montalbán y Rodríguez S.A.

Avenida Agustín Fuentes s/n

30565 Las Torres de Cotillas, Murcia, España

T+34 968 626733

www.montalbanyrodriguez.com



Bandejas que duran

Superficies resistentes a la abrasión

Bandejas de producción compuestas, de madera dura

Bandejas de larga duración. Productos de hormigón perfectos.

Resistencia a la abrasión

Superficies superiores e inferiores resistentes a la abrasión. *Mejora la vida útil de la bandeja.*

Bandejas de alta densidad

La alta densidad de las bandejas garantiza una *Transmisión Eficiente de las Vibraciones.*

Vibraciones homogéneas

Reforzado con malla de acero. Garantiza una *Distribución Uniforme de las Vibraciones.*

Todos los tamaños

Anchuras de hasta 1550 mm y espesores de hasta 70 mm. *Todos los tamaños ofrecidos.*

Impermeables

Las bandejas son impermeables, incluso dañadas. *Bandejas adaptadas al curado de vapor.*

Superficies perfectamente planas

Superficies planas y precisas. *Adoquines y bloques de hormigón perfectos gracias a la ausencia de juntas.*

Quick Delivery

Fabricadas en modernas máquinas. *Entrega rápida garantizada*



RHINO
COMPOSITE
PALLETS

German Plant Experience Pty. Ltd.

311; 227 Collins Street, Melbourne

VIC 3000, Australia

+614 2193 1745

akash@compositepallet.com