

# Pavimentos Porosos de Hormigón: Una Opción para Mitigar los Efectos de las Aguas Lluvias

Los pavimentos porosos son un tipo especial de pavimento, que permiten la infiltración del agua a través de su superficie y el almacenamiento temporal de esta en la subbase, para su posterior disposición o infiltración en el terreno. Son utilizados principalmente en estacionamientos y calles de bajo tránsito, con el objeto de disminuir el escurrimiento superficial proveniente de las aguas lluvia y la incidencia de estas aguas abajo.

En nuestro país, la tecnología de los pavimentos porosos de hormigón se está investigando en el marco del proyecto FONDEF: "Sistemas estandarizados de drenaje de aguas lluvia para urbanizaciones y viviendas", en el que participan los departamentos de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, y de Ingeniería y Gestión de la Construcción de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con el apoyo de Cementos Melón, a través de los ingenieros Pedro Pinto y José Manuel Castillo.

En la Figura 1, se pueden distinguir los diferentes estratos que componen un pavimento de hormigón poroso.

De abajo hacia arriba: una subrasante formada por el suelo existente inalterado, un filtro geotextil, filtro granular o membrana impermeable sobre la subrasante, una subbase de material granular grueso, sobre ésta un filtro granular o base (opcional) y en la superficie la capa de hormigón poroso.

En la Figura 2 se puede apreciar un pavimento construido con hormigón poroso.

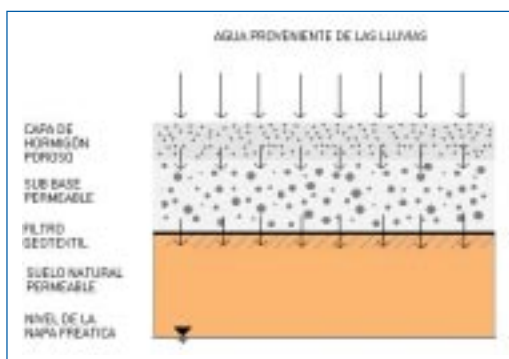


Figura 1: Estructura pavimento de hormigón poroso.



Figura 2: Ejemplo pavimento de hormigón poroso (Florida, Estados Unidos).

La principal ventaja que presentan los pavimentos porosos, es que reducen el flujo superficial proveniente de lluvias torrenciales mediante la infiltración, al evitar que la zona pavimentada sea totalmente impermeable. Además,

pueden remover elementos contaminantes del agua, tales como metales, aceites, grasas y sólidos suspendidos, al filtrarlos a través de las capas de arena y grava, ubicadas bajo la carpeta de rodado.

El uso de estos pavimentos, está contraindicado en zonas o terrenos con suelos impermeables, regiones climáticas con permanentes ciclos hielo-deshielo, regiones áridas o con un alto grado de erosión eólica, zonas de alto tráfico, o donde exista alta posibilidad de colmatación (EPA, 1999).

## Aspectos de Diseño de Pavimentos Porosos de Hormigón

Como los pavimentos porosos están pensados para ser utilizados en urbanizaciones, el diseño estructural y los espesores mínimos deben atenerse a las normas vigentes.

No obstante, por las características especiales de estos pavimentos, se hace necesario además, describir y analizar la situación de desarrollo en que se encuentran otros dos aspectos, que resultan fundamentales para un adecuado funcionamiento: el diseño de la mezcla y el diseño hidráulico.



• **Diseño de la mezcla de hormigón poroso**

La resistencia y permeabilidad obtenidas con un pavimento poroso están determinadas por la mezcla que se va a utilizar. Las variables que afectan el comportamiento del hormigón poroso son: granulometría, dosis de cemento, razón agua/cemento y contenido de vacíos.

La granulometría utilizada resulta fundamental en las propiedades que tendrá el hormigón poroso. Se debe utilizar árido chancado con ausencia casi total de finos, pues impermeabilizarían la mezcla; tener un tamaño de agregado bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos (del orden del 40%) y un tamaño máximo de árido de 10 mm, para permitir una adecuada terminación superficial.

Una mayor dosis de cemento generará un hormigón más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el hormigón, perdiendo este su capacidad de infiltración. Es recomendable usar una dosis que fluctúe entre los 350 kg/m<sup>3</sup> y los 400 kg/m<sup>3</sup>, según requisitos de resistencia y permeabilidad (GCPA, 1999).

La dosis de agua utilizada tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Una cantidad insuficiente de agua resultará una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento desde la superficie del agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial. Actualmente, existe consenso sobre el hecho que la razón agua/cemento es en realidad una covariable, determinada por la cantidad y tipo de cemento y por la granulometría empleada. Se suele utilizar como criterio para determinar este valor, el

encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo metálico (FCPA, 1990). Generalmente, este valor está en el rango de 0,3 a 0,36.

Con un elevado contenido de vacíos, aumenta la permeabilidad y disminuye la resistencia. Este porcentaje de vacíos está determinado por la energía de compactación entregada, junto con las variables ya mencionadas. Para que una mezcla sea considerada porosa, debe tener como mínimo un 15% de huecos. Se recomienda además que este contenido no supere el 25% por la poca estabilidad de la mezcla.

• **Diseño hidráulico**

Para determinar el espesor de diseño considerando las necesidades hidráulicas, es necesario analizar cuatro factores: la selección de una lluvia de diseño, considerando un período de retorno de 5 años si aguas abajo existe una red de drenaje bien desarrollada, ó 10 años si esta no existe; la tasa de infiltración del terreno, tomando el promedio de valores obtenidos en diferentes lugares representativos; el volumen de afluente acumulado, proporcional a la intensidad de la lluvia, su duración, el área aportante y el coeficiente de escurrimiento de esta superficie y el volumen infiltrado en el terreno natural, proporcional al área del pavimento poroso, a la tasa de infiltración de la subrasante y al tiempo transcurrido.

El volumen de almacenamiento necesario se calcula entonces, como la máxima diferencia en el tiempo entre el volumen afluente y el volumen infiltrado. Si la tasa de infiltración del terreno es siempre mayor que la intensidad de la lluvia, incluso que la de menor duración, entonces no se requiere un volumen de acumulación en la subbase. Bastará, para los requisitos hidráulicos, con la superficie

de contacto entre el hormigón y la subrasante. Si la tasa de infiltración del terreno es mayor que la intensidad de la lluvia, el espesor necesario de la subbase quedará determinado en función de la porosidad del material de la subbase, considerada generalmente como 0.3 para efectos de diseño (MINVU, 1996).

**Construcción de Pavimentos Porosos de Hormigón**

A la hora de construir estos pavimentos, además de los cuidados propios de cualquier proceso, deben considerarse con especial atención otros elementos.

El pavimento permeable debe tener un perfil relativamente plano. Si se aplica sobre una pendiente pronunciada, las aguas lluvias absorbidas por la capa de hormigón poroso comenzarán a escurrir en la subbase, generando subpresiones que pueden dañar las losas. Si las pendientes requeridas son mayores al 1%, se deben construir barreras impermeables perpendiculares al escurrimiento de las aguas (MINVU, 1996).

Al contener esta mezcla muy poca agua, se debe humedecer la subbase antes de aplicar el hormigón. En caso contrario, la subbase seca acelerará el tiempo disponible para colocación, compactación y fraguado del pavimento poroso en terreno.

El ancho aconsejado de aplicación fluctúa entre 3 y 5 metros, al igual que los pavimentos tradicionales de hormigón. Las guías laterales son similares a las convencionales, diferenciándose por la inclusión de un listón de madera adherido sobre éstas para establecer un sobre espesor de compactación. Una vez que el hormigón ha sido esparcido y nivelado, estos listones son removidos a modo de poder compactar la mezcla con un rodillo del ancho total de la losa. Los

listones empleados pueden llegar a ser de 3/4 pulgada, dependiendo de la consistencia de la mezcla y el espesor del pavimento (FCPA, 1990).

El sistema de vibrado empleado es del tipo "strike off", o de impacto superficial. Se recomienda en la mayoría de los casos usar un vibrador mecánico en el modo más lento posible. Si en caso contrario, se implementan frecuencias de vibrado altas, lo más probable es que el hormigón se sobre compacte, alterando así la estructura de huecos y por ende la permeabilidad. Inmediatamente después del vibrado de impacto, se debe utilizar un rodillo pesado de fierro, del ancho total de la losa, para compactar la mezcla a la altura de las guías. Dependiendo de la consistencia de la mezcla y de la temperatura ambiente, puede necesitarse más de una pasada del rodillo, el que debe generar una presión de 4 a 7 t/m<sup>2</sup>, y que, además, debe ser limpiado y aceitado antes de cada pasada. La experiencia muestra que las juntas longitudinales son más susceptibles a desconche. Una compactación adicional en esta zona es necesaria para evitar la aparición de estas fallas.

El paso del rodillo debe terminarse no más allá de 20 minutos después de la vibración de impactos. Debido a la textura abierta de la mezcla, la pérdida de humedad se produce a gran velocidad y el inicio del fraguado es muy rápido. Un rodillado tardío va en desmedro de la terminación de la superficie. Si el hormigón ha fraguado, el rodillo no compactará al nivel deseado. Además, un rodillado tardío produce agrietamiento superficial del mortero e incrementa la posibilidad de aparición futura de fallas, como desconches o grietas mayores. Usualmente no es necesario realizar operaciones de terminación después de la compactación, no siendo

recomendables operaciones como pulimiento, pues puede obstruir o sellar los poros de la superficie disminuyendo su permeabilidad. No obstante, debe corregirse cualquier defecto superficial inmediatamente en forma manual.

Las juntas requeridas en los pavimentos porosos difieren a las convencionales, debido a que el pavimento poroso tiene menos de un tercio de la retracción de un hormigón común. El espaciamiento de las juntas transversales es de aproximadamente 15 a 20 metros. En este caso, los equipos convencionales no son aplicables, debiendo utilizarse un rodillo especial con una hoja filosa. La experiencia ha mostrado que las juntas de dilatación térmica no son necesarias en estos pavimentos (Paine, 1992).

El curado es uno de los elementos fundamentales para obtener un pavimento con las condiciones deseadas. Este proceso requiere una mayor atención y cuidado que el que se tiene en los pavimentos de hormigón convencionales, debido a la gran superficie de contacto del hormigón con el ambiente. Un incorrecto proceso de curado en los primeros 7 días puede reducir la durabilidad de la superficie en un 60%. El método de curado más común, es cubrir la superficie y los costados con una membrana de polietileno. El proceso de curado debe comenzar inmediatamente después de compactar y producir las juntas transversales.

### Conservación de la Permeabilidad en Pavimentos Porosos

Uno de los inconvenientes que se pueden presentar en los pavimentos porosos es que necesitan un

mantenimiento desde la construcción que evite la llegada de sedimentos a la superficie, pues éstos pueden obstruir sus poros.

Para evaluar la capacidad de infiltración de un pavimento poroso, el método normalmente utilizado en la mayor parte de los países del mundo, es el de medir su permeabilidad mediante la utilización de permeámetros. Uno de los más utilizados y normalizado en varios países, es el permeámetro LCS (Figura 3), que mide el tiempo que tarda en descender el nivel de agua entre dos marcas, evacuando el agua a través de un pequeño orificio. A pesar de que el permeámetro LCS permite obtener resultados adecuados de permeabilidad para comparar distintos estados de la drenabilidad de un pavimento, no es muy representativo de la forma real en que se presentan las lluvias. Además la experiencia ha mostrado que sus mediciones no son muy sensibles al estado del pavimento después de una limpieza, pudiendo los efectos parecer muy pequeños, nulos e incluso negativos; por ello se hizo necesario desarrollar sistemas de medición complementarios. Uno de estos dispositivos se denomina permeámetro de Zarauz (Figura 3) que, a diferencia del LCS deja caer el agua al pavimento desde una cierta altura, filtrándose libremente sobre este, lo cual representa de mejor forma la realidad.



Figura 3: Permeámetro LCS (derecha) y permeámetro Zarauz (izquierda).

Con este método se toman dos tipos de medidas: tiempo total de la desaparición del agua de la superficie y máxima distancia recorrida por el agua antes de su penetración.

Para realizar las operaciones de limpieza, varios son los modelos de máquinas que se utilizan, centrándose la mayor parte en máquinas autopropulsadas con un equipo de lavado-succión trasero con agua, de alta potencia y anchura de 2,5 metros (Figura 4a y Figura 4b).

El agua es, en un gran porcentaje, recuperada y filtrada para continuar siendo utilizada en el proceso.

La presión de trabajo, la velocidad de circulación de la máquina y el número de pasadas adecuan la intensidad de la limpieza a la necesidad de limpieza del pavimento.

Valores experimentales muestran que en algunos casos la pérdida de permeabilidad que se puede producir en el primer año es recuperable en un 50% y que, manteniendo la frecuencia anual, las pérdidas del segundo año se pueden recuperar en un 70%.

En relación a la periodicidad con que debe realizarse la limpieza, parece razonable hacerlo una vez al año y después de las lluvias prolongadas, que hayan podido ablandar al máximo la suciedad depositada y así alcanzar los mejores resultados con el menor esfuerzo.

De forma general, finales de invierno o principios de primavera suelen ser las épocas más recomendables.

En todo caso, la evolución de la permeabilidad debe marcar la pauta.

## Máquina autopropulsada de limpieza con sistema presión-aspiración



Figura 4a.

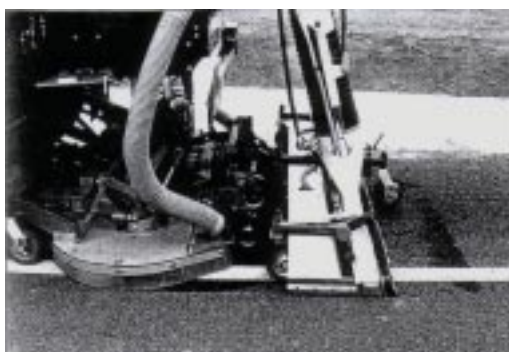


Figura 4b.

## Conclusiones

Para utilizar pavimentos porosos de hormigón como solución para problemas de aguas lluvias, debemos enfocar nuestros esfuerzos en tres aspectos fundamentales: un correcto dimensionamiento de la estructura para satisfacer requerimientos estructurales e hidráulicos y que incluya un adecuado diseño de la mezcla, un correcto proceso constructivo, un buen plan de mantención que evite la colmatación y que comience desde el momento de la construcción.

Para el dimensionamiento es necesario conocer la capacidad de infiltración del terreno y el período de retorno del diseño, para determinar los volúmenes de agua máximos con los que se va a trabajar.

Durante la construcción, se debe cuidar que el proceso sea continuo y

organizado, características que deben cumplirse al construir cualquier pavimento, pero que en este caso se ven resaltados aún más por la alta velocidad de fraguado de este tipo de mezclas.

Si queremos conservar adecuadamente la permeabilidad de los pavimentos y realizar un seguimiento correcto, debemos diseñarlos con contenidos de huecos elevados, pavimentar los accesos inmediatos de vehículos y las zonas aledañas, pavimentar una vez que hayan finalizado las obras de urbanización y cuando no queden movimientos de tierras que realizar y limpiar los pavimentos periódicamente con máquinas adecuadas, debiendo iniciarse ésta a más tardar al año de la construcción.

Al aplicar esta nueva tecnología en Chile, podremos adquirir experiencia y adaptar los procesos y recomendaciones a las características de nuestros materiales.

## Referencias

- EPA, (1999), Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement, EPA 832-F-99-023 Washington, D.C., Estados Unidos.
- FCPA, Florida Concrete and Products Association (1990), Construction of Portland Cement Pervious Pavement, Florida, Estados Unidos.
- GCPA, Georgia Concrete and Products Association (1999), Recommended Specifications for Portland Cement Pervious Pavement, Georgia, Estados Unidos.
- MINVU (1996), Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos, guía de diseño, Chile.
- Paine J, (1992). Portland cement pervious pavement construction. Concrete Construction Journal. Estados Unidos.