

Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua / *A pervious concrete design for water recovery*

Carlos J. C. Cruz-Palafox¹, Anayeli Segovia-López¹, María-del-Refugio González-Sandoval^{2*}, Liliana G. Lizárraga-Mendiola², Francisco Javier Olguín-Coca², Yamile Rangel-Martínez²

1 Programa Educativo de Ingeniería Civil, Área Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / *Civil Engineering Program, Academic Area of Engineering*, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

2 Grupo de Investigación Diseño y Construcción Sostenibles, Área Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / *Sustainable Design and Construction Research Group, Academic Area of Engineering*, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

* cuquisgssast@yahoo.com.mx, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo km. 4.5, Col Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo. C.P. 42184, México

RESUMEN

La búsqueda constante de nuevos métodos de construcción que reduzcan el impacto en nuestro medio ambiente, hace que cada vez sean más utilizados los materiales de tipo ecológico. Entre los desarrollos de la construcción sustentable se encuentran los pavimentos de concreto permeable. La principal virtud del concreto permeable es el adecuado manejo del agua de lluvia, que se infiltra a través de este concreto favoreciendo la recarga de acuíferos y previniendo la inundación de las áreas donde se implementa. En la presente investigación, se diseñó un concreto permeable para su utilización en estaciones de lavado de autos, de manera que el agua pueda recuperarse para su tratamiento y reutilización o bien, descarga en los sistemas de alcantarillado con una menor carga de contaminantes. En el proceso se utilizaron como aditivos al mismo cemento, así como ceniza volante y arena de sílice. Los resultados mostraron el concreto sin agregado fino y humo de sílice como aditivo al 15% desarrolla a los 21 días de edad las propiedades de resistencia necesarias para esta aplicación.

PALABRAS CLAVE: Construcción sustentable, concreto permeable, cenizas volantes, humo de sílice

ABSTRACT

The constant search for new construction methods with a reduced impact on the environment makes the use of ecological materials increasingly recurrent. Pervious or porous concrete pavements are part of the sustainable or green construction developments. The main use of these concretes is the rainwater management; rainwater infiltrates through the concrete favoring the aquifers recharge and preventing flooding. In the present job, a permeable concrete was designed for use in carwash stations with the aim of recovering water for treatment and reuse or disposal in sewage systems. Cement, fly ash and silica fume were used as additives in the tests. Results showed that concrete made without fine aggregate and a 15% of silica fume developed the greatest resistance at 21 days of age, making concrete appropriate for this application.

KEYWORDS: Sustainable construction, permeable concrete, fly ash, silica fume

INTRODUCCIÓN

La búsqueda constante de nuevos métodos de construcción que reduzcan el impacto sobre nuestro medio ambiente, hace que cada vez sean más utilizados los materiales de tipo ecológico. La denominada construcción ecológica o construcción verde ha tomado gran importancia en México, ya que busca que los procesos de construcción sean responsables con el ambiente y ocupen recursos de manera eficiente durante todo el tiempo de vida de una construcción.

Entre los desarrollos de construcción sustentable se encuentran los pavimentos de concreto permeable. La principal virtud del concreto permeable es el adecuado manejo del agua de lluvia, cualidad reconocida positivamente por organismos internacionales como la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA) (Aire, 2011). En general, se emplean los mismos materiales que en el concreto convencional; es decir, materiales cementantes, agregados grueso, aditivo y agua. Sin embargo, el agregado fino está limitado a pequeñas cantidades o se elimina de la composición de la mezcla. Si bien, al añadir agregado fino se incrementa la resistencia puede reducir el contenido de vacíos y por lo tanto la permeabilidad del concreto, principal característica de estos concretos.

La primera aplicación registrada de concretos porosos se hizo en el Reino Unido donde en 1852, se construyeron dos casas utilizando grava gruesa y cemento. Después de los desarrollos anteriores no se volvió a mencionar el concreto poroso durante 70 años. Se sostiene que fue introducido nuevamente en el Reino Unido en 1923, proveniente de Holanda, donde se construyeron 50 casas de dos pisos en Edimburgo, seguidas unos pocos años después por 800 o más en Liverpool, Manchester, Londres y Willesden. En todas se utilizaron agregados de Klinker. En las primeras etapas del desarrollo del concreto poroso, su aplicación se limitó a casas de dos pisos, pero en la década de los cincuentas se amplió a viviendas de cinco pisos, (Aguado De Cea, 1988).

También hacia 1945-1950 comenzaron los primeros experimentos del concreto poroso como capa de rodadura en la construcción de vías terrestres, aunque el concepto de construir una capa de rodadura con material poroso contradice los principios de rigidez y homogeneidad que condiciona a los concretos convencionales. Sin embargo, en los años setentas se reavivó el interés en este tipo de pavimentos, con el objetivo de brindar mayor seguridad al usuario y permitir una fluidez de tránsito en todas las condiciones meteorológicas. De esta misma época datan los antecedentes de uso como “reservorios de retención” de agua para solucionar los problemas inherentes al rápido crecimiento de las pavimentaciones suburbanas y la deficiencia del alcantarillado existente.

Los primeros ejemplos de concretos porosos empleados en capa de rodadura de los que se tienen noticias tuvieron lugar en 1974 en Japón, país cuyas características (80% de la superficie es ondulada y montañosa, y cuenta con una precipitación media anual de 1500 mm) han obligado a adoptar medidas para reducir en lo posible la escorrentía de las zonas urbanas. En consecuencia, en las aceras, estacionamientos, plazas, etc., así como en ocasiones en vías de tráfico reducido, se utilizan pavimentos porosos que permiten la infiltración de la lluvia en el terreno.

En Japón, la utilización del concreto poroso ha obedecido fundamentalmente a consideraciones de drenaje. Para ese entonces, no se vislumbraban las ventajas acústicas de los pavimentos poroso, hecho que se descubrió de manera fortuita. El contexto socio-político de la década de los ochenta, muy atento al cuidado del medio ambiente y al mejoramiento de la calidad de vida en el hábitat urbano fue un receptivo hacia esta ventaja, por lo que la construcción de este tipo de pavimento fue exigida por distintas entidades comunales en Francia. En Europa se ha planteado con vistas a una optimización del conjunto de características superficiales de los pavimentos, es decir, intentando conseguir las siguientes soluciones al mismo tiempo:

- Obtener buenas características drenantes, que a su vez se traducen en una conducción más segura (ausencia de superficies deslizantes, de proyecciones, de reflejos, etc.).
- Una mayor y correcta regularidad superficial.
- Reducción de los niveles sonoros del tráfico.
- Elevada resistencia mecánica, similar a la de los concretos convencionales. Aunque todas ellas son importantes, las dos primeras tienen más peso en el caso de tráfico que circule a elevadas velocidades en carreteras, mientras que la tercera puede ser el objeto primordial en una vía urbana. Las autopistas urbanas constituyen un caso híbrido, reuniendo las exigencias de los dos casos anteriores, (Rosell, 1986).

En la actualidad se lleva a cabo numerosos estudios de laboratorio y se ejecutan tramos experimentales para poner a punto distintos aspectos tecnológicos, (Jofre, C; 1993). En Colombia este tema es relativamente nuevo, apenas se han realizado pocos estudios y ensayos, como la caracterización de los concretos porosos, realizada por Calderón (1995); y polímeros en un concreto poroso, realizado por Reyes (2002). En México, la empresa Concreto Ecológico de México, S.A. de C.V. (2014) ha comercializado un “Sistema para la recuperación y aprovechamiento del agua pluvial por medios de pisos y pavimentos porosos” basado en concreto permeable desarrollado por el ingeniero mexicano Jaime Grau Genesis. El material, similar al concreto hidráulico común, se fabrica sin materiales finos como la arena, la cual es sustituida por el aditivo HIDROCRETO® el cual reacciona con el cemento, potencializándolo y provocando un rápido aumento de su resistencia durante los primeros minutos del fraguado.

En el caso de la presente investigación, se buscó diseñar un concreto permeable que permita tener la misma resistencia que el hidráulico para su utilización en autolavados, de manera que el agua pueda recuperarse para su tratamiento y reutilización o bien descarga en los sistemas de alcantarillado con una menor carga de contaminantes. En el proceso se utilizaron como aditivos al mismo cemento, así como ceniza volante y arena de sílice para comparar las propiedades resultantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuando el concreto permeable se utiliza como material en pavimentos, es necesario asegurarse de que satisface los requisitos mínimos del diseño. La resistencia a la flexión, a la compresión y la permeabilidad del concreto permeable son, los parámetros principales para determinar la calidad del mismo, por lo cual fueron las variables de respuesta utilizadas en esta experimentación.

Para la formulación del concreto permeable, se consideraron los siguientes materiales

- a) Cemento Portland
- b) Agregado grueso de 50.8 mm (2 pulgadas)
- c) Aditivos: cemento, humo de sílice y cenizas volantes (*fly ash*)
- d) Agua

Las proporciones de la formulación se basaron en los resultados obtenidos por López-Fernández y Paz-Casas (2014) y cada prueba se realizó por duplicado.

Elaboración de especímenes para prueba de resistencia a la compresión

La elaboración de los especímenes sometidos a la prueba de resistencia se realizó conforme a la norma ASTM C31, la cual contempla los procedimientos necesarios para preparar y curar probetas cilíndricas de concreto compactadas mediante varillado y que además contengan mezclas con agregado grueso de 50.8 mm (2 pulgadas) como tamaño máximo. Los especímenes deben ser cilindros de concreto vaciado y fraguado en posición vertical, de altura igual a dos veces el diámetro, siendo el espécimen estándar de 150x300 mm (6x12 pulgadas). Los moldes se llenan en tres capas de igual volumen. En la última capa se agrega la cantidad de concreto suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación. El faltante de concreto se completa con una porción de mezcla. Cada capa se debe compactar con 25 penetraciones de la varilla, distribuyéndolas uniformemente en forma de espiral y terminando en el centro (Figuras 1 y 2).

Después de elaboradas las probetas se transportan al lugar de almacenamiento donde deberán permanecer sin ser perturbados durante el periodo de curado inicial. Estas pruebas se llevaron a cabo en los laboratorios de Ingeniería Civil del Área Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Las probetas se retiraron de los moldes entre las 18 y 24 horas después de moldeadas. Hecho esto se marcaron en la cara circular de la probeta las anotaciones de la tarjeta de identificación del molde y se procedió al curado.

Prueba de permeabilidad

Para determinar la capacidad de la permeabilidad para el flujo laminar de agua a través de de muestras de concreto permeable se realizó lo siguiente:

- a) Se llena una probeta con agua.
- b) Se colocan los especímenes de concreto en un área libre para poder ver que el agua se filtra.
- c) Se vacía el agua a velocidad constante sobre una mezcla, midiendo con cronómetro el tiempo en que se filtra el agua al 100%.

Prueba de compresión simple

Se determinaron las características de capacidad de carga de las mezclas a 14 días al aplicar una carga axial de acuerdo con la norma ASTM C-39. Esta prueba tiene la ventaja de ser fácil realización y de exigir equipo relativamente sencillo.

1. Se colocaron sobre la plataforma de una prensa para que quede bien cabeceado.
2. Se aplicó la carga.

3. Se anotaron las cargas últimas o de falla, es decir la presión a la que se rompe el cilindro.



Figura 1. Compactado de cilindros



Figura 2. Cilindros llenos

Prueba de resistencia a la flexión

La determinación del módulo de ruptura se ensayó en los especímenes a 7 días. Las muestras se dosificaron con los mismos insumos que para a la fabricación de probetas en moldes rectangulares de 15x15x30cm (6x6x12 pulgadas), se llenaron en una capa y se compactaron con 25 golpes de la varilla punta de bala por viga y se enrasaron con varilla punta de bala.

RESULTADOS

Prueba de resistencia a la compresión

La prueba de la resistencia a la compresión comúnmente se conoce como tronado de cilindros. Este procedimiento se llevó a cabo en un laboratorio externo certificado. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Resultados de la prueba de resistencia la compresión de los cilindros

Muestra	Característica Principal	Tiempo de curado (d)	Resistencia (Kg/cm ²)
1	30% de cemento	7	41.56
2	15% de cemento	7	31.89
3	Cenizas volantes, 5%	7	35.43
4	Humo de sílice, 5%	7	40.60
5	30% de cemento	14	49.36
6	15% de cemento	14	35.59
7	Cenizas volantes, 10%	14	37.15
8	Humo de sílice, 10%	14	43.67
9	30% de cemento	21	55.39
10	15% de cemento	21	43.66
11	Cenizas volantes, 15%	21	39.21
12	Humo de sílice, 15%	21	47.02

Como se puede ver en la Tabla 1, se realizaron las pruebas de resistencia con 7, 14 y 21 días de curado, con el fin de comprobar que la resistencia cambia dependiendo la edad. Se pudo ver que los cilindros experimentados a 7 días presentaron menor resistencia a comparación de los de 14 y 21 días. Se observa que el cilindro elaborado sin aditivos, con 15% de cemento, presenta la resistencia más baja de los 12 cilindros mientras que el cilindro No. 9 con doble dosis de cemento, fue el más resistente de todos; probado a la edad de 21 días. Le siguen en resistencia el número 5, de la misma formulación y 14 días de curado y el elaborado con 15% de humo de sílice a 21 días. En general, los cilindros en los que se utilizó humo de sílice tienen mayor resistencia que los elaborados con cenizas volantes.

Prueba de permeabilidad

Los resultados de esta prueba se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de permeabilidad

	15% de cemento	30% cemento	15% de cenizas volantes	15% de humo de sílice
Cantidad de agua agregada (mL)	1000	1000	1000	1000
Tiempo (s)	50	110	66	67
Flujo (mL/s)	20	9.1	15.2	14.9

En la primera columna se muestra el resultado de la muestra utilizada como blanco, es decir, sin aditivos ni agregado fino (14.84 % de cemento, 75.52% de agregado grueso y

9.64% de agua). Se observó que se mantiene una buena permeabilidad, el agua logró pasar la losa en un tiempo de 50 segundos. Agregando una porción extra de cemento, se pudo observar que le restó casi toda la permeabilidad, ya que el cemento sustituyó parcialmente al agregado fino, siendo así la prueba menos permeable de las cuatro.

El aditivo de cenizas volantes presentó una permeabilidad mediana, puesto que una de las propiedades que brinda al concreto es la de impermeabilizar otorgándole así mismo un incremento en la resistencia, ya que se logran sellar gran parte de los poros. El humo de sílice reaccionó de manera similar al aditivo de cenizas volantes en cuanto a permeabilidad.

Resistencia a la flexión

Al igual que para la prueba de permeabilidad, se determinó la resistencia a la flexión para las muestras de 21 días de edad, puesto que es la edad a la que ya alcanzaron madurez en cuanto a resistencia y las mismas dosificaciones. Los resultados se reportan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resistencia de las vigas a la flexión

Espécimen	Composición	Edad (d)	Resistencia (Kg/cm²)
Viga 1	30% de cemento	21	4.74
Viga 2	15% de Cemento	21	4.23
Viga 3	Cenizas volantes, 15%	21	4.52
Viga 4	Humo de Sílice, 15%	21	5.14

Se puede observar en la tabla anterior que la muestra de humo de sílice resistió la mayor carga, presentando un módulo de rotura alto.

A partir de las tres pruebas realizadas, se evidenció que la utilización de humo de sílice en proporción de 15% y 21 días de edad, proporciona al concreto permeable las mejores cualidades para su utilización en pavimento.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados anteriores puede concluirse que el humo de sílice es un aditivo adecuado, en comparación con las cenizas volantes, para la elaboración de pavimento con concreto permeable en estaciones de lavado de autos. Con las dosificaciones utilizadas, se demostró que a medida que se aumenta la concentración de humo de sílice aumenta la resistencia del concreto. En estudios posteriores será necesario valorar su proporción óptima y los costos de su aplicación en comparación con los concretos permeables comerciales.

REFERENCIAS

Aguado de Cea, A. 1988. Aproximación al concreto poroso. Generalitat de Catalunya. **Revista Carreteras 21**.

Aire, C. 2011. **Concreto permeable: alternativas sustentables**. *Construcción y tecnología en concreto* (en línea). Fecha de consulta: [20 de junio de 2014]. Dirección electrónica: <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>

Calderón, J.M. 1995. Caracterización de los concretos porosos. Trabajo de Grado. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

Jofre, C. 1993. Concretos Porosos. Instituto Español IECA . **Revista Cemento – Concreto 722**.

López-Fernández, A.E., Paz-Casas, D.F. 2014. Diseño y caracterización mecánica del concreto permeable empleando diferentes aditivos. **Tesis profesional**. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ingeniería. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

Rosell, J. J. 1986. La práctica del concreto poroso. Generalitat de Catalunya. Revista Carreteras num. 52. Enero – Febrero 1986.