

## Resumen

Con el aumento de la urbanización en las ciudades ocurre una gradual impermeabilización del suelo, lo que disminuye de forma considerable el volumen de agua infiltrada al mismo, aumentando el caudal de escurrimiento superficial y el riesgo de inundaciones en los sectores más bajos de las ciudades. En los últimos años se ha desarrollado el estudio del hormigón poroso y su aplicación en pavimentos permeables como alternativa para reducir el escurrimiento superficial, ya que permite la infiltración del agua a través de su superficie para su posterior eliminación en el suelo. En virtud a los beneficios que presenta el uso de este material, el presente trabajo analiza dosificaciones de hormigón poroso elaboradas utilizando materiales de construcción disponibles en la zona de Encarnación y a su vez, determina si las características de resistencia y permeabilidad se encuentran dentro de los requerimientos establecidos por la ACI 522-R10. Fueron analizadas un total de 16 dosificaciones y se realizaron ensayos de compresión simple y de permeabilidad en 96 cuerpos de prueba. Fueron obtenidos hormigones con resistencias bajas a moderadas (3,5 a 9,5 MPa) y con altos índices de permeabilidad (200 a 2.000 L/min/m<sup>2</sup>), todos dentro de los valores establecidos por la norma mencionada.

**Palabras claves:** hormigón poroso, dosificaciones, resistencia, permeabilidad.

## Abstract

With the increasing urbanization of cities occurs gradual soil sealing, which reduces considerably the volume of infiltrated water in the soil, increasing the flow of surface runoff and the risk of flooding in the lower sectors of the cities. In recent years there has been a development in the study of pervious concrete and its application in permeable paving as an alternative to reduce the surface runoff, since it allows the infiltrated water through the surface for the final disposal in the soil. Under the benefits inherent in the use of this material, this investigation analyses the dosages of pervious concrete made with local materials available in Encarnación City and in turn, determines whether the characteristics of strength and permeability are within the requirements established by the ACI 522-R10. A total of 16 dosages were analyzed and compression strength and permeability tests were made in 96 specimens. The obtained result was a concrete of low to moderate strength (3,5 a 9,5 MPa) and high permeability (200 a 2.000 L/min/m<sup>2</sup>), all within the values set by the standard mentioned above.

**Keywords:** pervious concrete, dosages, strength, permeability.

<sup>1</sup>Profesor Investigador de la Universidad Nacional de Itapúa, Paraguay  
mail: ing.guschavez@gmail.com  
Recibido: 10/10/13 Aceptado: 29/10/13

## Introducción

Con el aumento de la urbanización, ocurre una gradual impermeabilización del suelo, debido a la construcción de edificios con calzadas impermeables, ligados por calles y rutas

pavimentadas. El crecimiento urbano y la demanda por vías de tráfico asfaltadas y planas llevan a la ocupación de una gran parte de la superficie de las ciudades con materiales impermeables, como el

concreto asfáltico y el hormigón de cemento Portland.

El uso indiscriminado de estas estructuras en áreas urbanas, disminuye notoriamente la capacidad de recarga natural de agua en los terrenos, e incrementa de forma considerable el volumen y el caudal de escurrimiento superficial, aumentando el riesgo de provocar inundaciones en los sectores más bajos de las ciudades.

Según Tennis et al. (2004), los pavimentos de hormigón poroso son estructuras de hormigón, fabricados con granulometrías sin finos, y que son en sí mismas permeables, escurriendo el agua a través de vacíos interconectados que generalmente alcanzan valores entre el 15-25%, lo que permite el paso de 120 a 230 litros de agua a través de cada metro cuadrado, con una tasa de flujo típica de 3,4 mm/s (200 L/m<sup>2</sup>/min) o más. Esto podría ofrecer una mejor solución para la problemática actual de inundación urbana que afecta a las ciudades, que ocasionan pérdidas de vidas humanas por causa de los raudales, cuantiosos daños materiales, calles y avenidas colapsadas, interrupción de las actividades laborales y sociales habituales, preocupación y miedo generalizados.

Dadas estas ventajas, se verifica que el interés por los pavimentos permeables en general, y por el hormigón poroso, en particular, se está diseminando fuera de USA, donde se han registrado los avances más importantes y normalizaciones del material (Mulligan, 2005). De acuerdo a Polastre y Santos (2006), ya existen registros de experiencias recientes en varios países, como Brasil (Holtz, 2011), Japón y Chile (Castro, 2004), donde se estudiaron métodos de diseño de mezclas y se realizaron análisis de dosificaciones de hormigón poroso.

En atención a los beneficios que presenta el uso de este material, el trabajo tiene como objetivo analizar dosificaciones de hormigón poroso elaboradas utilizando materiales de construcción disponibles en la zona de Encarnación y determinar si las características de resistencia y permeabilidad que presentan se encuentren dentro de los requerimientos establecidos por la recomendación 522R-10 "Report on Pervious Concrete" publicada por la American Concrete Institute (ACI, 2010).

## Materiales y Métodos

### Materiales

Para el desenvolvimiento de esta investigación fueron utilizados materiales de construcción típicamente utilizados en la ciudad de Encarnación.

### Cemento

Como aglomerante fue utilizado Cemento Portland Compuesto Tipo II (CPII - Z32), producido por la Industria Nacional del Cemento (INC).

### Agregado grueso

Como agregado grueso, fracción que representa el mayor volumen del hormigón poroso, fue utilizada piedra triturada de origen basáltico. En este caso las dosificaciones fueron realizadas con piedra triturada IV con  $d_{max} = 19$  mm, proveniente de la cantera de San Juan del Paraná.

### Variables experimentales y dosificaciones

Considerando que el hormigón poroso es un material nuevo y poco conocido en la zona, se decidió trabajar con dos variables básicas y necesarias para orientar las dosificaciones del hormigón: la relación agua/cemento (a/c) y el tenor de agregados (m). Para definición de la faja inicial de investigación de esas variables se tomó como referencia la recomendación ACI 522R-06. La misma menciona que la faja de relación agua/cemento (a/c) apropiada para la generación de hormigones porosos varía entre 0,26 y 0,45. Se decidió que la faja investigada estaría entre estos valores y fueron establecidos cuatro niveles que serían adoptados para la variable relación a/c: nivel mínimo (0,30); nivel máximo (0,38) y dos intermedios (0,32 y 0,35).

Para la variable cantidad de agregados (m), se decidió el estudio con 4 niveles ( $m=4$ ,  $m=5$ ,  $m=7$  y  $m=9$ ), equivalentes a consumos de cementos menores. Se buscaba así, intentar evaluar si existiera una combinación que fuese económica, resistente y suficientemente permeable. Combinando las dos variables de estudio (m y a/c), en sus varios niveles, fueron generados 16 dosificaciones (Cuadro 1), todos compatibles con las informaciones contenidas en el Apéndice 6 (Pervious Concrete Mixture Proportioning) de la recomendación 211.3R-02 de la ACI, Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete.

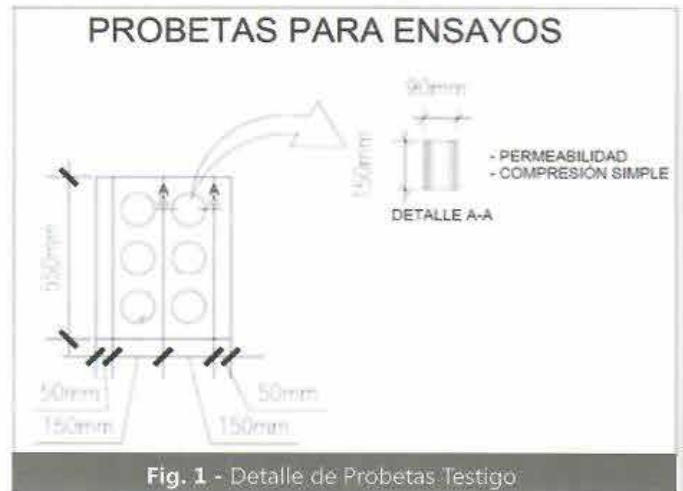
Cuadro 1 - Dosificaciones de hormigón poroso estudiadas		
Dosificación	Relación	
	1:m	Relación a/c
I-A	1:4	0,30
I-B		0,32
I-C		0,35
I-D		0,38
II-A	1:5	0,30
II-B		0,32
II-C		0,35
II-D		0,38
III-A	1:7	0,30
III-B		0,32
III-C		0,35
III-D		0,38
IV-A	1:9	0,30
IV-B		0,32
IV-C		0,35
IV-D		0,38

### Preparación de probetas

De acuerdo con la experiencia internacional (ACI, 2010), las mezclas de hormigón poroso deben ser compactadas con un rodillo pesado de ancho mayor que el de la losa a hormigonar. Por esta razón se diseñó un rodillo de 150 mm de diámetro, 500 mm de ancho y 25 kg de peso, que proporciona presiones similares (0,08 MPa) a las utilizadas en el terreno. Utilizando moldes metálicos, se confeccionaron probetas de 150 mm de espesor, 400 mm de ancho y 550 mm de largo, las que por su tamaño se denominaron losetas, compactadas con el rodillo fabricado.

Las losetas fueron desmoldadas después de 72 horas

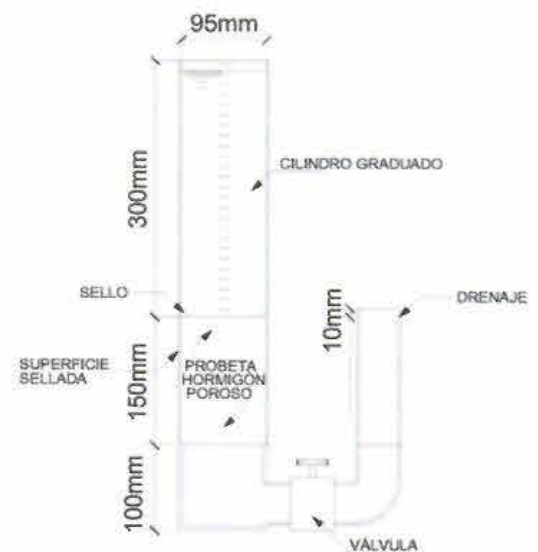
y cubiertas con plástico durante 21 días. Luego, fueron extraídas 6 probetas testigo de 90 mm de diámetro y 150 mm de altura de cada loseta (**Fig. 1**). Para disminuir posibles efectos de las paredes de los moldes, las probetas fueron extraídas de la sección central.



### Ensayos desarrollados

Dos diferentes ensayos fueron desarrollados sobre las probetas extraídas: resistencia a la compresión (3 probetas) y ensayo de índice permeabilidad (3 probetas).

Para la realización del ensayo de índice de permeabilidad, se utilizó un método basado en una propuesta originalmente presentada en el trabajo de Neithalath et al. (2003), que se basa en un concepto equivalente al de un permeámetro de carga variable (falling head).



Como se muestra en la **Fig. 2**, el método de ensayo concebido envuelve la colocación de una muestra de hormigón poroso, de 150 mm de altura, dentro del permeámetro y se controla el tiempo (t) que la altura del agua demora para percolar por el sistema, entre el punto 290 mm (h1) y 70 mm (h2) del cilindro graduado.

Este procedimiento debe ser repetido tres veces, siendo el tiempo medio  $t_{med}$  usado como valor del tiempo t para el cálculo del valor del coeficiente de permeabilidad (k) determinado a partir de la ley de Darcy:

$$k = \frac{A_1 l}{A_2 t} \log \left( \frac{h_2}{h_1} \right)$$

Como el hormigón poroso es un hormigón muy permeable, existe la necesidad de verificar la resistencia mecánica de este material para determinar su utilización. Por lo tanto, se realizaron ensayos de resistencia a compresión simple, técnica tradicional empleada en el control tecnológico del hormigón.

Los ensayos fueron realizados sobre las probetas testigo a los 28 días después del hormigonado de las losetas. Para ello se utilizó una prensa electrohidráulica con una capacidad de 150 toneladas métricas. Todos los cuerpos de prueba fueron encabezados con mortero, con el fin de uniformizar las superficies superior e inferior de las probetas.

Para la realización del ensayo a compresión, se tomó como base las directrices establecidas en Norma UNE 83-304-84 "Ensayos de hormigón: Rotura por compresión".

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Resistencia a compresión

En la Fig. 3 se muestra la evolución de la resistencia a compresión para cada una de las dosificaciones, en función a la variación de m y a/c.

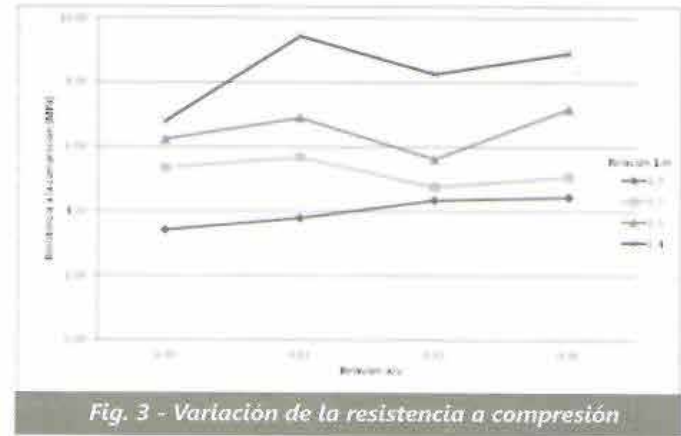


Fig. 3 - Variación de la resistencia a compresión

Así también en la Fig. 3 se observa que las dosificaciones con mayor relación a/c desarrollaron mayores valores de resistencia, contrario de lo que se esperaría en el hormigón convencional. Ello ocurre por el hecho de que, con una mayor relación a/c, la mezcla gana trabajabilidad y la pasta consigue lubricar mejor la mezcla, permitiendo un mejor acomodamiento de los agregados que quedan mejor envueltos por la pasta.

Los valores más altos de resistencia a compresión se obtuvieron con las dosificaciones con menor cantidad de agregados y mayor contenido de pasta de cemento (1:4), no obstante las resistencias medias no superaron el valor de 10 MPa (3,5 a 9,5 MPa). A pesar de ello, todos los valores obtenidos se encuentran dentro de la faja mencionada por la ACI (2010) de resistencia de hormigones porosos, que varía entre 2,8 y 28 MPa.

#### 3.2 Permeabilidad

En la Fig. 4 se muestra la evolución de la permeabilidad para cada una de las dosificaciones, en función a la variación de m y a/c.

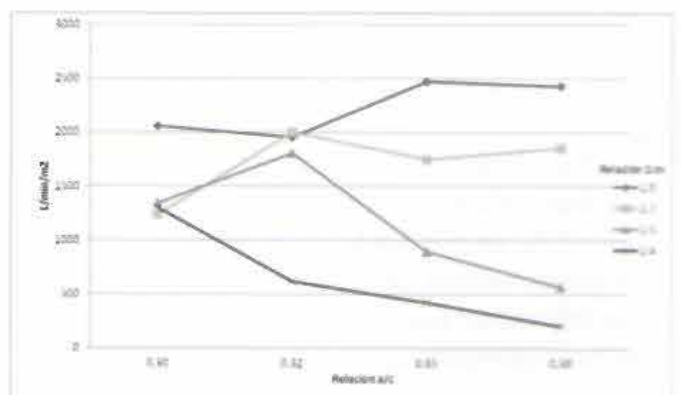


Fig. 4 - Variación del índice de permeabilidad

Al contrario de lo observado en la resistencia a compresión, la permeabilidad tiende a disminuir al aumentar la relación a/c, ello ocurre debido a un mayor bloqueo de la red de poros por la penetración de la pasta de cemento a través de los agregados.

Se observaron mayores valores del coeficiente de permeabilidad para las dosificaciones con mayor cantidad de agregados y menor contenido de pasta de cemento; las dosificaciones con 1:7 y 1:9 presentaron los valores más altos de flujo, superando inclusive los 2.000 L/min/m<sup>2</sup>.

Para todas las dosificaciones se observan valores muy satisfactorios con respecto al flujo de agua, ya que el valor de referencia usado para representar la permeabilidad de un hormigón poroso está en el orden de 200 L/min/m<sup>2</sup> (ACI, 2010).

## Conclusiones

Con base al análisis de los resultados de los ensayos se pueden presentar las siguientes conclusiones derivadas del programa experimental expuesto en el siguiente trabajo.

- Las tasas de infiltración de todas las dosificaciones de hormigón poroso fabricadas fueron elevadas y superiores al valor de referencia de 200 L/min/m<sup>2</sup> estipulada por la ACI (2010), se alcanzaron inclusive valores de 2.000 L/min/m<sup>2</sup>.
- Para la faja de dosificaciones de estudio, las resistencias a compresión aumentan con el aumento de la relación a/c, con la disminución de la cantidad de agregados y con el aumento del contenido de pasta de cemento; aunque las resistencias obtenidas no superan el valor de 10 MPa, todos los valores obtenidos se encuentran dentro de la faja de 2,8 a 28 MPa mencionada por la ACI (2010).
- Para obtener resistencias superiores a los 9 MPa, se debe utilizar la dosificación con m=4 y una relación a/c=0,32, ya que fue la dosificación que presentó los mayores valores de resistencia a compresión y tasas de infiltración superiores a la media establecida para el hormigón poroso.

- Naturalmente estas conclusiones precisan ser confirmadas y ampliadas en estudios complementarios e independientes. Sobre todo son necesarios estudios para mejorar la resistencia a compresión.

## Bibliografía

- American Concrete Institute (2002). ACI 211.3R-02 "Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete". USA, 26 pp.
- American Concrete Institute (2008). ACI 522.1-08 "Specification for Pervious Concrete Pavement". USA, 7 pp.
- American Concrete Institute (2010). ACI 522R-10 "Report on Pervious Concrete". USA, 38 pp.
- American Society for Testing and Materials (2005). ASTM C136-05 "Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de Agregados Finos y Gruesos". USA, 5 pp.
- Castro, J. (2004). Diseño de mezcla y construcción de pavimentos de hormigón poroso en Chile, Tesis de Magíster, Pontificia Universidad Católica de Chile, 188 pp.
- Holtz, F. (2011). Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental. Dissertação de Mestre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 139 pp.
- Instituto Español de Normalización (1984). UNE 83-304-84 "Ensayos de hormigón: Rotura por compresión". España, 4 pp.
- Mulligan, A.N. (2005). Attainable Compressive Strength of Pervious Concrete Paving Systems, University Orlando, Florida, 145 pp.
- National Ready Mixed Concrete Association (2010). Pervious Concrete. Disponible en: [www.perviouspavement.org](http://www.perviouspavement.org)
- Neithalath, N., Weiss, W. J., Olek, J. (2003). Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials. Final Report, The Institute for Safe, Quiet and Durable Highways, 179 pp.
- Polastre, B., Santos, L.D. (2006). Concreto Permeável. Disponible en: <http://www.usp.br>
- Tennis, P., Leming, M., Akers, D. (2004). Pervious Concrete Pavements, Portland Cement Association, Maryland, USA, 36 pp.