

EFFECTO DE LA POROSIDAD Y ESPESOR DE PASTA EN EL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN DRENANTE

EFFECT OF POROSITY AND PAST THICKNESS ON THE PERFORMANCE OF PERVIOUS CONCRETE

Diego Aguirre¹, Fernando Fogliatti¹ y Maximiliano Miraglio¹

¹Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI) – UTN
Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe, Argentina.

daguirre@frsf.utn.edu.ar; ffogliatti@frsf.utn.edu.ar; mmiraglio@frsf.utn.edu.ar

Resumen

El hormigón drenante presenta un amplio uso en la actualidad, debido a su propiedad de permitir la filtración de agua a través de su estructura de poros y por su adecuada resistencia mecánica. La comprensión de sus propiedades permite diseñar mezclas con un mejor desempeño, por ello, en este artículo se desarrolla un análisis del espesor de la pasta circundante al agregado grueso y se evalúa su correlación con las propiedades mecánicas, porosidad y permeabilidad. Se estudia la distribución de tamaño de los poros internos y se realiza una comparación entre la porosidad medida de forma convencional y por medio de análisis de imágenes. Se verifican métodos elaborados por otros autores para la determinación del espesor de pasta y se desarrollan nuevos procedimientos para el análisis más preciso de la porosidad.

Palabras clave: Hormigón drenante, espesor de pasta, porosidad, análisis de imágenes

Abstract

Pervious concrete is widely used today, because it allows water to seep through its pore structure and its proper mechanical strength. The understanding of its properties allows the design of mixtures with better performance, therefore, in this article an analysis of the thickness of the paste surrounding the coarse aggregate is developed and its correlation with mechanical properties, porosity and permeability is evaluated. The size distribution of internal pores is studied and a comparison between the porosity measured conventionally and by image analysis is made. Methods developed by other authors for the determination of paste thickness are verified and new procedures are developed for a more precise porosity analysis.

Keywords: Pervious concrete, past thickness, porosity, image analysis

Introducción

El hormigón drenante consiste en una mezcla de cemento, agua, agregado grueso de tamaño uniforme y en la incorporación opcional de una mínima cantidad de agregado fino y aditivos químicos. De esta manera se consigue un material que tiene la característica de presentar vacíos interconectados que alcanzan valores entre el 15 a 35%, permitiendo que el agua percole a través de su masa manteniendo cierta resistencia mecánica de 3,5 a 28 MPa (ACI Committee 522, 2010).

Estas propiedades han permitido desarrollar diferentes aplicaciones que contribuyen para controlar el caudal de escurrimiento superficial y la recarga de reservorios agua en ciudades en

continua expansión, a través de la construcción de pavimentos permeables que utilizan este material reduciendo el área impermeabilizada (Castro, 2011).

Además, se encuentran otros usos, como la construcción de reservorios pluviales que permiten regular los caudales de vertidos (Aguirre et al., 2022; Miraglio et al., 2021), solados permeables modulares, aceras, terrazas invertidas, barreras acústicas, etc.

Esto exige que se determinen los parámetros que influyen en las propiedades finales del hormigón drenante para lograr mejores métodos de dosificación. Las dimensiones de los poros, el volumen de pasta, la relación agua/cemento y la forma, textura y distribución de los agregados, son algunos de los parámetros que dictan las características del material.

En el hormigón drenante se observa una capa de pasta que rodea a los agregados, formando meniscos que unen los agregados adyacentes confiriéndole al conjunto resistencia mecánica y generando poros. Como estos poros pueden o no estar interconectados se ha definido una “porosidad efectiva” la cual describe la proporción total de vacíos por la cual el agua puede circular a través de ellos (Torres et al., 2015: 851).

En este artículo se determina mediante el análisis de secciones de hormigones drenantes el espesor de la capa de pasta, los tamaños y la distribución de la porosidad “efectiva” y “no efectiva”, a fin de establecer una relación entre las propiedades físicas y mecánicas de diferentes muestras con las propiedades resultantes.

Desarrollo

Materiales y dosificación de la mezcla

Para el análisis se elaboraron cuatro dosificaciones de hormigón drenante empleando piedra partida granítica 3-9mm con TMN=9,5 mm (según IRAM 1505), arena de río con TMN=1,18 mm y MF=1,41 (según IRAM 1505), cemento portland compuesto CPC-40 (según IRAM 50000) y agua potable de red, que cumple con los requisitos del reglamento CIRSOC 201 y la norma IRAM 1601.

En una de las dosificaciones se utilizó un aditivo químico, el cual consiste en un reductor de agua de alto rango basado en una solución acuosa de sulfonato de naftaleno modificado con una densidad de 1,180 a 1,210 g/cm³ y residuos sólidos de 34,58 g/100 g.

En la Tabla 1 se detallan las dosificaciones empleadas, que se diseñaron siguiendo el método propuesto en “ACI-522R-10 - Specification for Pervious Concrete Pavement” elaborado por la American Concrete Institute (ACI)

Ensayos y determinaciones

De cada una de las mezclas dosificadas se elaboraron 5 probetas cilíndricas de 10 cm x 20 cm compactadas con una energía de 396 kJ/m³. Se determinó la resistencia a compresión a 7 y 28 días (IRAM 1546) para la cual se emplearon placas de elastómero no adheridas (IRAM 1709).

El contenido de vacíos y la densidad seca se determinaron con el método de la balanza hidrostática.

Para la determinación de la permeabilidad se utilizó el método propuesto por Neithalath et al. (2003) basado en un permeámetro con una carga variable de 29 cm.

Dosificación	Volumen de pasta (%)	Porcentaje de finos (%)	Relación Agua/Cemento (A/C)	Cemento (kg/m ³)	Agua (kg/m ³)	Agregado Grueso (PG 3-9) (kg/m ³)	Agregado Fino (kg/m ³)	Aditivo químico (kg/m ³)
A	15	0	0,35	220	77	1587	0	0
B	20	16	0,35	283	99	1414	226	0
C	25	16	0,35	354	124	1296	207	0
D	25	16	0,25	415	104	1296	207	1,87

Tabla 1: Dosificaciones de las mezclas

La medición del espesor de la pasta se puede realizar con el uso de software o a través de mediciones manuales. En este caso se utilizará una adaptación del método empleado por Torres et al. (2015: 852-854), para lo cual se corta una sección en las probetas correspondientes a cada dosificación, fotografiando cada corte alineando el eje de la cámara con el de la muestra y humedeciendo la probeta para lograr un mayor contraste entre la pasta y los agregados.

Las mediciones se realizaron mediante la inserción de las imágenes en el programa AutoCAD y trazando sobre ellas una grilla ortogonal con una separación de 1 cm que corresponde aproximadamente al TMN del agregado grueso.

Las mediciones se realizan sobre la grilla comenzando por la línea horizontal superior y trabajando de izquierda a derecha, desde el borde del agregado hasta el encuentro con un poro u otro agregado. Los resultados se vuelcan en una planilla como la que se muestra en la tabla 2

La longitud promedio de las mediciones de cada línea se muestran en la tabla 3.

Como el autor del método señala, la utilización de una grilla para realizar las mediciones se comete cierto error al no tomar la distancia real como se muestra en la figura 1. Por ello, propone utilizar un factor divisor de corrección $\beta=0,63$ suponiendo que todas las mediciones son menores a las reales.

La aplicación de este factor implica la mayoración de la totalidad de las mediciones, sin embargo, dado que en las mediciones realizadas se pudo comprobar que se cometían errores por exceso y defecto, se decide no aplicar esta corrección.

Para el estudio de la porosidad en la sección se detallan los poros en las fotografías de las secciones de hormigón con la ayuda de una tableta gráfica y se procesan mediante el programa ImageJ desarrollado por el National Institute of Health (E.E.U.U.), en donde se determina la porosidad total de la sección y la distribución de tamaño de los poros internos.

DOSIFICACIÓN E															
Línea de medición	N° de medición														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
H1	1,81	5,05	4,44	1,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H2	1,57	3,35	0,76	1,87	2,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H3	6,68	0,46	0,92	1,89	1,07	1,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H4	1,16	0,87	0,83	2,41	2,26	2,7	2,12	2,97	2,69	4,16	-	-	-	-	-
H5	2,56	3,27	0,26	5,92	1,98	2,13	2,51	-	-	-	-	-	-	-	-
H6	0,81	0,62	0,61	1,76	1,27	0,98	0,86	0,78	1,58	2,52	2,57	3,19	0,9	6,14	0,56
H7	6,31	3,04	1,86	5,45	2,61	6,46	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-
H8	1,25	0,38	1,13	4,94	0,33	0,6	5,59	2,62	5,72	-	-	-	-	-	-
H9	3	2,93	1,03	1,04	1,33	6,62	1,38	0,48	0,63	1,78	3,59	-	-	-	-
V1	3,19	0,66	2,31	1,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V2	2,22	0,5	3,6	0,98	0,34	2,22	3,79	1,24	0,67	0,15	-	-	-	-	-
V3	0,74	0,24	0,43	0,72	4,02	3,02	1,51	1,7	1,94	3,96	2,34	-	-	-	-
V4	1,51	2,58	3,13	1,29	1,92	0,53	1,96	0,68	1,46	0,83	1,8	2,04	2,03	-	-
V5	7,46	2,43	4,32	1,69	0,29	1,38	2,89	1,82	0,62	3,28	-	-	-	-	-
V6	1,67	1,31	4,66	0,91	3,87	6,19	4,04	2,24	6,73	-	-	-	-	-	-
V7	1,57	3,07	1,21	2,98	7,09	1,62	0,37	0,76	2,84	-	-	-	-	-	-
V8	4,64	1,87	0,95	2,17	1,41	1,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V9	2,28	1,43	0,28	6,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2: Ejemplo de mediciones del espesor de pasta no corregido



— Distancia real
— Distancia medida
— Malla

Figura 1: Error cometido al tomar las mediciones

Dosificación	Resistencia a compresión 7d (MPa)	Resistencia a compresión 28d (MPa)	Contenido de vacíos (%)	Permeabilidad (cm/s)	Espesor de pasta (mm)	Porosidad por sección (%)	Porosidad de ensayo (%)
A	2,4	3,5	41,0	1,14	1,20	44,4	41,0
B	7,1	9,5	23,3	0,73	1,52	37,8	23,3
C	17,3	19,8	17,6	0,44	2,20	27,4	17,6
D	17,8	19,2	19,2	0,48	2,28	26,5	19,2

Tabla 3: Resultados obtenidos

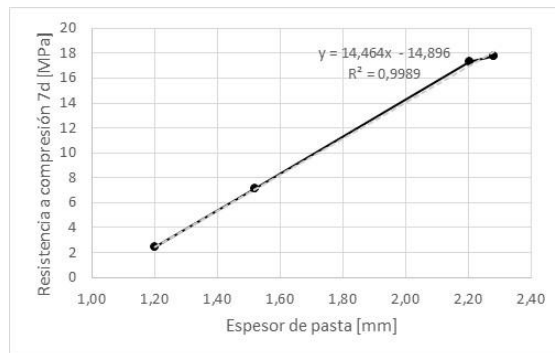


Figura 2: Resistencia a compresión 7d (MPa)

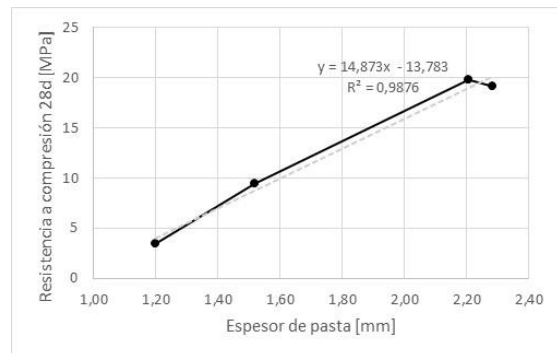


Figura 3: Resistencia a compresión 28d (MPa)

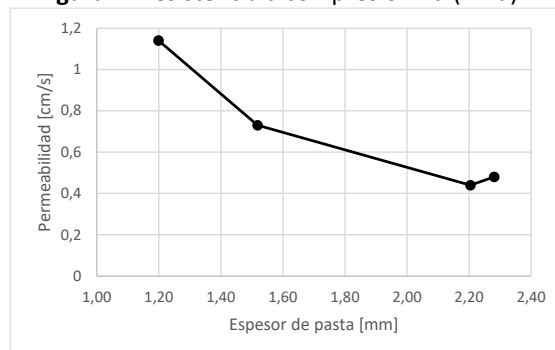


Figura 4: Permeabilidad (cm/s)

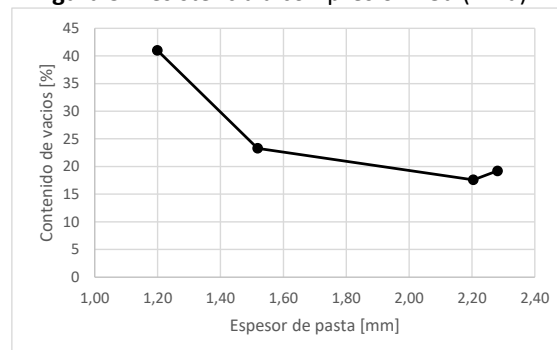


Figura 5: Contenido de vacíos (%)

Con el aumento del espesor de la pasta los resultados indican que la resistencia a compresión a 7 y 28 días se incrementa, ya que con el incremento de pasta se busca generar una mayor cantidad y tamaño de menisco de pasta entre los agregados.

La permeabilidad decrece con el aumento del espesor de pasta. Esto se debe a que al incrementarse el volumen de pasta se llena una mayor proporción de los espacios vacíos que deja el esqueleto granular y, en casos extremos, podrían colmatarse totalmente y quedar incomunicados algunos de ellos reduciendo la fracción permeable en el hormigón.

Un comportamiento similar presenta el contenido de vacíos en relación al espesor de pasta medido.



Figura 6: Sección transversal-dosificación A



Figura 7: Sección transversal-dosificación A



Figura 8: Sección transversal-dosificación B

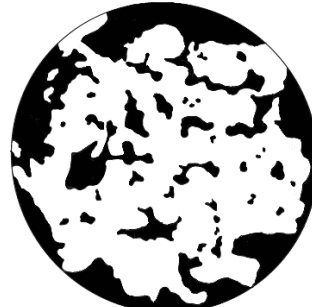


Figura 9: Sección transversal-dosificación B



Figura 10: Sección transversal-dosificación C



Figura 11: Sección transversal-dosificación C



Figura 12: Sección transversal-dosificación D

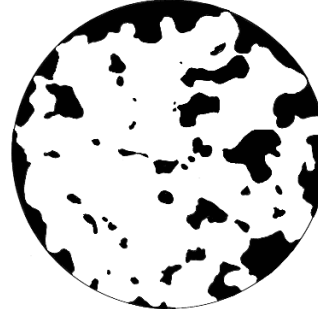


Figura 13: Sección transversal-dosificación D

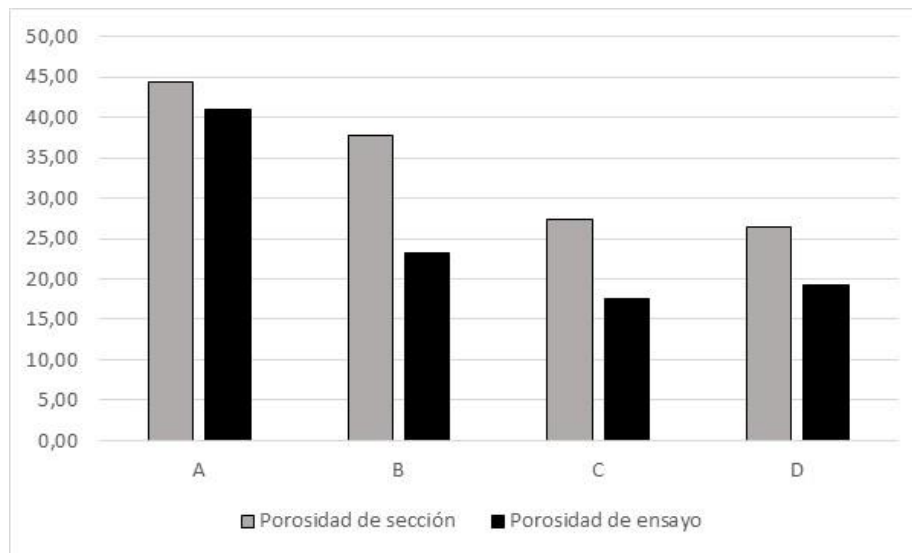


Figura 14: Comparativa entre la porosidad de ensayo y la de sección

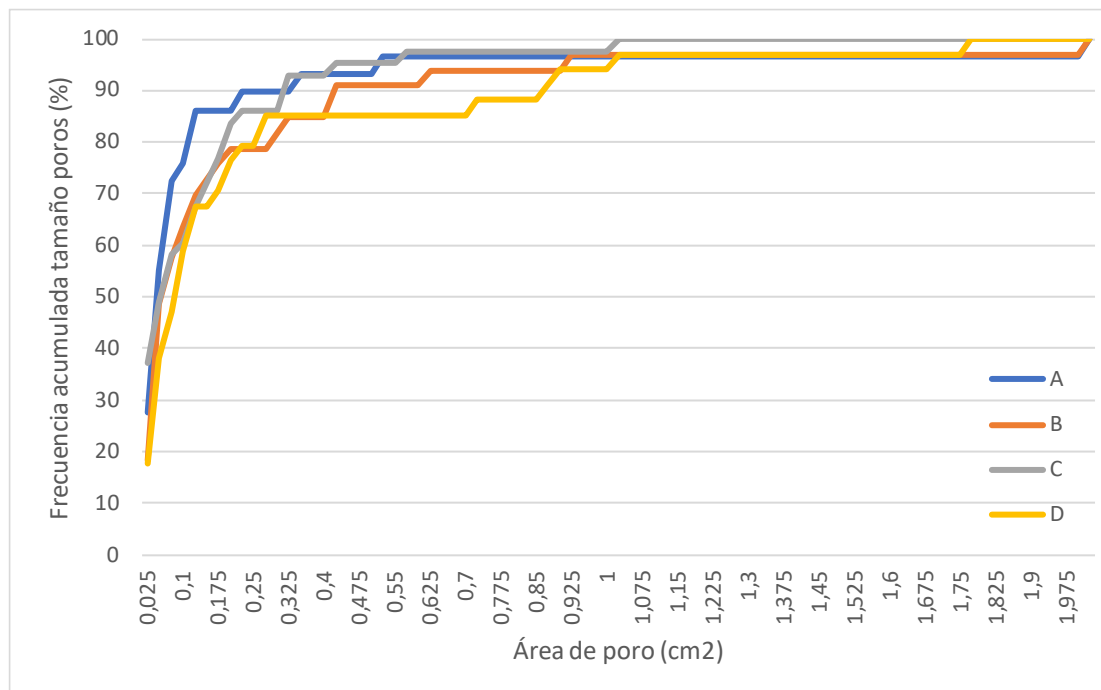


Figura 15: Distribución de poros

La porosidad medida en la sección resulta siempre mayor a aquella determinada por el método de la balanza hidrostática. Esta discrepancia se explica porque el estudio de la sección muestra los poros que se encuentran aislados, mientras que en el ensayo de la balanza hidrostática el agua no puede acceder a estos. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que en este estudio se evaluó una sección transversal aislada mientras que en la determinación por balanza hidrostática se efectúa el análisis del volumen total de la probeta incluyendo múltiples secciones transversales.

En la tabla 4 se muestran los tamaños característicos de poros correspondientes, en cada mezcla, a los percentiles 10, 30, 50, 90 y 100 %. Se puede observar que las diferencias en los tamaños de poros se encuentran en los percentiles 90 y 100 %, para los cuales se aprecia que el tamaño tiende a disminuir a medida que se incrementa el contenido de pasta. Para los tamaños de poros más pequeños, las diferencias entre las distintas dosificaciones no resultan significativas.

Dosificación	D10 [mm]	D30[mm]	D50[mm]	D90[mm]	D100[mm]
A	0,009	0,025	0,045	0,501	3,436
B	0,017	0,025	0,050	0,401	2,067
C	0,005	0,019	0,045	0,311	1,017
D	0,005	0,042	0,078	0,258	1,763

Tabla 4: Resultados obtenidos

Conclusiones

De la aplicación del método propuesto para la medición de pasta que rodea a los agregados y del análisis de la porosidad a partir de secciones se puede concluir:

-La permeabilidad y contenido de vacíos disminuyen con el aumento del espesor de la pasta. No se ha observado una dependencia con la distribución de tamaño de los poros, siendo por lo general menores a $0,075 \text{ cm}^2$

-El espesor de la pasta circundante tiene una directa correlación con la resistencia mecánica, a mayor espesor se incrementa la resistencia.

-Se ha comparado la porosidad medida con balanza hidrostática y a través de secciones transversales, observándose una mayor porosidad para este último método.

Para mejorar este estudio se ha considerado la posibilidad de recurrir a la realización de tomografías sobre las probetas de hormigones drenantes.

Referencias

ACI Committee 522 (2010)., "522R-10 Report on Pervious Concrete", *American Concrete Institute*, 1-36

Aguirre, D.D., Argento, R.S., y Carrasco, M.F. (2022) "Hormigones Drenantes como Retardadores de Excedentes Pluviales", *IX Congreso Internacional y 23ª Reunión Técnica de la AATH*, 511-519.

Castro Espinosa, M. L., (2011) "Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano", Tesis (Ingeniería civil), Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá Colombia.

Miraglio, M.E., Aguirre, D.D., Fogliatti, F. (2021) "Uso del hormigón drenante como alternativa a los sistemas de regulación pluvial convencionales", *JIT 2021: Jornadas de Jóvenes Investigadores Tecnológicos*, 243-247.

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, 49-66

Torres, A., Hu, J., Ramos, A. (2015). "The effect of the cementitious paste thickness on the performance of pervious concrete", *Construction and Building Materials*, 95, 850-859.