

Desempeño hidráulico y capacidad de filtración de residuos urbanos de un módulo de hormigón drenante para ingresos a desagües pluviales urbanos.

Hydraulic performance and filtration capacity of urban waste of a pervious concrete modulus for inputs of sewer systems.

Ignacio Corazza.

Grupo de Investigación en Métodos Numéricos en Ingeniería (GIMNI). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Santa Fe.

icorazza@frsf.utn.edu.ar

Resumen: En este trabajo se propone un modelo computacional discretizado en volúmenes finitos para hormigón permeable, a partir de datos de permeabilidad obtenidos de ensayos físicos sobre probetas y la velocidad de flujo producida por una tormenta de diseño, con el objetivo de ser utilizado como dispositivo de retención de residuos urbanos en los ingresos a alcantarillas. Se diseña la geometría del módulo en base a la infraestructura existente y las normas correspondientes, considerando el medio parcialmente saturado y un fluido incompresible.

Palabras claves: hormigón permeable, flujo multifase, volúmenes finitos, mecánica de fluidos.

Abstract: This work proposes the creation of a discretized computational model in finite volumes for pervious concrete, based on permeability data obtained from physical tests on specimens and the flow velocity produced by a design storm, with the aim of being used as a retention device for urban waste in sewer inlets. The geometry of the module is designed based on the existing infrastructure and the corresponding standards, considering the medium partially saturated and an incompressible fluid.

Keywords: pervious concrete, multiphase flow, finite volumes, fluid mechanic.

Introducción

El hormigón permeable presenta una estructura de poros bien definida, donde los mismos están interconectados, permitiendo el flujo de agua u otros líquidos a través de su estructura. Los agregados están cubiertos completamente por pasta de cemento y se encuentran adheridos unos a otros. La cantidad de mortero de cemento es, sin embargo, tan baja que los espacios entre los agregados no son llenados en su totalidad. El porcentaje efectivo de vacíos es de $18 \pm 2\%$. En las figuras 1 y 2 puede apreciarse la estructura del material en una resonancia magnética.

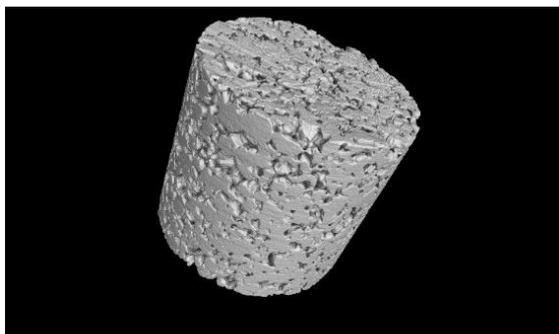


Figura 1: Estructura en 3D.

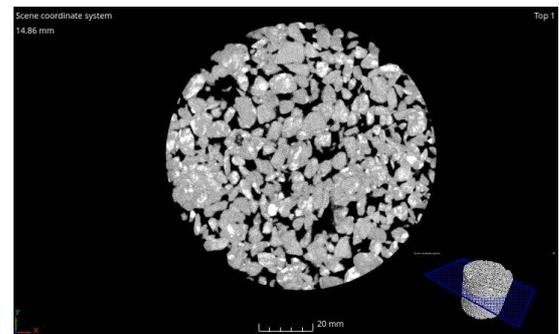


Figura 2: Corte de la probeta.

Debido al creciente uso del hormigón permeable en pavimentos drenantes, drenaje de grandes superficies, plazas, calles, etc. y que para su aplicación es de interés conocer su desempeño hidráulico, se busca generar modelos que permitan predecir el flujo que se produce en el interior de los componentes, en los casos en que la geometría presenta particularidades tales que impiden un análisis preciso con criterios sencillos.

Entre los principales objetivos del proyecto en el cual se enmarca este trabajo se cuenta el de obtener predicciones sobre el flujo de agua en hormigones permeables para análisis de verificación o diseño de componentes en obras civiles.

Metodología

La tormenta de diseño es caracterizada por valores de recurrencia, intensidad y duración, variables que son características para cada región. La recurrencia adoptada por la Secretaria de Asuntos Hídricos y Gestión de Riesgos de la Ciudad de Santa Fe para la verificación del sistema de desagüe pluvial es de 5 años. Se adopta la mayor intensidad de la lluvia para esta recurrencia, que es de 186,1 mm/h, entendiendo que si puede ser erogada la mayor intensidad, las menores también lo serán. Se adopta una duración de 5 min.

Según los datos brindados por el grupo de investigación de hormigones permeables del CECOVI (Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda) de la UTN Facultad Regional Santa Fe, para un hormigón permeable con una relación agua cemento de 0,35, agregado grueso (PG 3-9), 0% de agregado fino y un volumen de vacíos teórico del 20%, la permeabilidad es 1,31 cm/s.



Figura 3: Ubicación subcuenca analizada. (Área sombreada).

La precipitación cae sobre una determinada superficie, generando un caudal pico para la mayor intensidad. El modelo es adecuado según una subcuenca perteneciente a la zona centro de la Ciudad de Santa Fe, donde el factor de impermeabilización es del 100%, por lo tanto la totalidad de la precipitación se transforma en escurrimiento superficial. Considerando franjas de 1 m de largo y dado que el ancho total entre líneas de edificación es de 13 m, el caudal pico a erogar por metro lineal es de:

$$Q = i \cdot S \quad (1)$$

Dónde: Q es el caudal en $\frac{m^3}{s}$, i la intensidad en $\frac{m}{s}$ y S la superficie.

$$Q = 5,1694 \cdot 10^{-5} \frac{m}{s} \cdot 13[m] \cdot 1[m] = 6,72 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Dado que la estructura de captación actual en la peatonal de Santa Fe tiene 20 cm de ancho, se toma dicha medida, a fin de realizar la menor intervención posible, disminuyendo costos y tiempos de obra. Se plantea una sección de tipo trapecio isósceles, con un ancho de 28 cm en la cara superior y una altura de 20 cm, representada en la Fig. 4, esto con el fin de que pueda ser fácilmente colocado sin necesidad de estructuras de soporte, sustentándose con las paredes presentes a sus lados. La longitud del módulo se establece en 0,5 m, considerando los valores límites para el levantamiento manual de cargas según la Resolución. SRT 295/03, del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad

Social, la cual indica que sin ayudas mecánicas se debe proceder de forma tal que el peso distribuido no pase los 25 kgf/persona. Ya que el peso específico es de $Pe = 1,917 \frac{g}{cm^3}$, se adoptan 50 cm. Asimismo, la capacidad de descarga del módulo es dada por la permeabilidad y la superficie de descarga del mismo. Siendo p la permeabilidad en $\frac{m}{s}$ y dado que $p = 1,31 \frac{cm}{s} = 0,0131 \frac{m}{s}$.

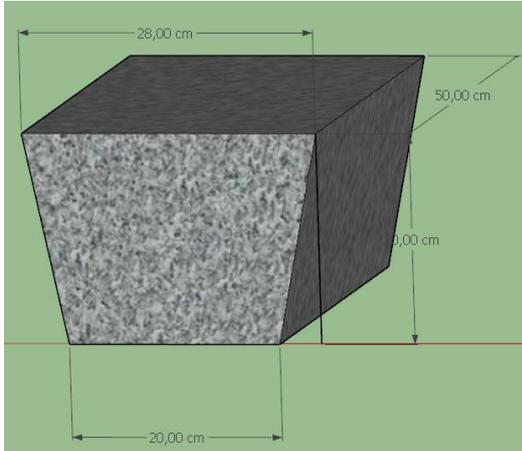


Figura 4: Dimensiones del módulo.

$$Q = p \cdot S \quad (2);$$

$$Q = 0,0131 \frac{m}{s} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 2,62 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Comparando ambos valores puede apreciarse que la capacidad de descarga del módulo diseñado con una permeabilidad de 0,0131 m/s y una superficie de evacuación libre de 20 cm es superior al caudal producido por la máxima intensidad de la tormenta de diseño.

Modelo numérico

La ecuación que gobierna el modelo matemático planteado es la ecuación de Richards:

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right) = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \cos \alpha \right) \right] - S \quad (2)$$

Donde h es la matriz potencial del agua en el suelo, θ es la humedad volumétrica del agua, t es el tiempo, x es la coordenada espacial, S es el grado de saturación y α es el ángulo entre la dirección del flujo y el eje vertical.

El procedimiento de creación del modelo numérico comienza con la generación de la geometría y la malla en Salome (Salome, 2021), el cual permite discretizar el dominio y definir las caras sobre las que se asignan las condiciones de borde. Se opta por una discretización en hexaedros y a partir de la geometría, se procura que los elementos posean cierta uniformidad, para evitar que el flujo se vea alterado por perturbaciones debidas a elementos distorsionados. Luego esta malla se exporta para que el problema sea calculado en OpenFOAM, utilizando el módulo porousMultiphaseFoam.

Las condiciones de borde en altura de presión son $h = 0$ en la parte superior e inferior del módulo, ya que tiene la capacidad de erogar el caudal pico, no existe acumulación de agua que genere una altura de presión. Utheta es calculado a partir de la velocidad del flujo, que se obtiene de dividir el caudal total producido por la tormenta de diseño en el área considerada por el área de descarga del módulo, es igual a $3,36 \times 10^{-4} \frac{m}{s}$, correspondientes a una intensidad de precipitación de $186,1 \frac{mm}{h}$ y a una calzada de 13 m.

Por último se adoptan los parámetros Van Genuchten, por medio de los cuales se analiza el modulo en su condición inicial no saturada, buscando el punto de equilibrio. Siendo el contenido de agua del suelo saturado $\theta_s = 0,25$, el contenido de agua residual del suelo $\theta_r = 0,025$, la longitud capilar inversa

$\alpha = 0,145$ y el parámetro de distribución del tamaño de poros $n = 2,68$. Siendo estos parámetros similares a los empleados en Costa, I. et al. (2020).

La conductividad hidráulica medida en los ensayos es de $1,31 \cdot 10^{-2} \frac{m}{s}$. En este caso el software requiere la permeabilidad intrínseca k , que se obtiene de la siguiente forma:

$$K = \frac{\rho \cdot k \cdot g}{\mu} \quad (2) \rightarrow k = \frac{K \cdot \mu}{g \cdot \rho} \quad k = \frac{1,31 \cdot 10^{-2} \frac{m}{s} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}}{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}} = 1,34 \cdot 10^{-9} m^2$$

Donde k es la permeabilidad ($1,31 \cdot 10^{-2} \frac{m}{s}$), ρ la densidad del fluido ($1000 \frac{kg}{m^3}$), μ la viscosidad dinámica del fluido ($1 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}$), K la permeabilidad intrínseca (m^2) y g la gravedad ($9,81 \frac{m}{s^2}$).

En las caras laterales de apoyo se establece un flujo nulo y en la cara inferior una presión nula, permitiendo el flujo libre de agua hacia el desagüe. En ambas caras transversales se aplica la condición "empty", ya que no existe flujo horizontal en el modelo diseñado.

Resultados

En el modelo computacional se pudieron corroborar los cálculos realizados y observar el comportamiento del fluido. En la figura 5 se representan las líneas de corriente para el caso analizado, junto con los colores correspondientes a la escala de velocidades. Se aprecia la verificación de las condiciones de borde en velocidades sobre los contornos, así como también el recorrido del fluido. En la figura 6 puede apreciarse la presión generada por el flujo de agua en las paredes con flujo nulo del módulo.

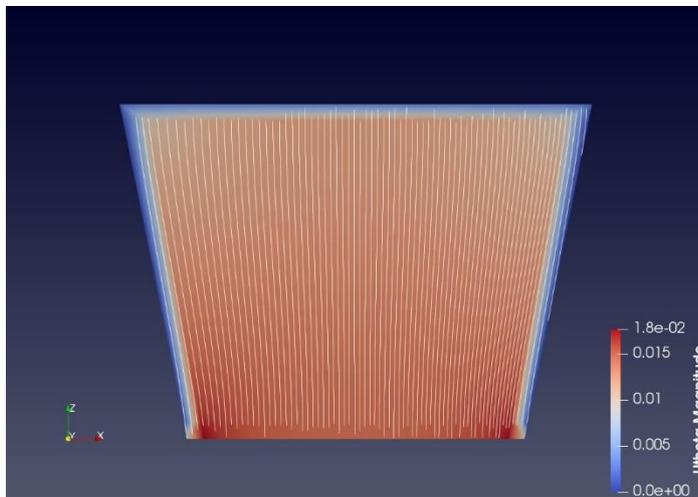


Figura N°5: Líneas de corriente y magnitud de la velocidad.

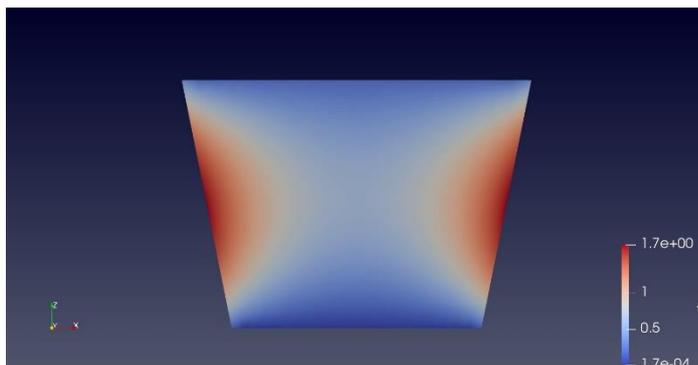


Figura N°6: Diagrama de presiones.

Conclusión

Se generó un modelo numérico de hormigón permeable sujeto al flujo bidimensional en un medio permeable saturado, empleando coeficientes obtenidos de ensayos experimentales. A partir de los resultados obtenidos pudo observarse que el material posee la permeabilidad suficiente para erogar la tormenta de diseño con el área disponible. Asimismo a partir de la tomografía computada se obtiene que el tamaño máximo de poros es de 1,6 mm, por lo que el modulo podría retener todos los objetos que superen este valor.

Los valores indican la gran capacidad de infiltración que poseen los hormigones permeables, lo cual permite su utilización en componentes de drenaje urbano, como los planteados u otros elementos de mayor complejidad geométrica que también pueden ser estudiados mediante esta metodología, siendo una herramienta plausible para el diseño.

El empleo de herramientas numéricas de este tipo permitirá continuar la investigación con el análisis mecánico del módulo y la posibilidad de considerar otros factores colmatación de los poros, capacidad de retención de líquidos, el comportamiento en la filtración de otros fluidos, etc.

Referencias:

Aguirre, D., Fogliatti F.E., Miraglio M. E. (2021). Uso del hormigón drenante como alternativa a los sistemas de regulación pluvial convencionales. JIT 2021 - Jornadas Jóvenes Investigadores Tecnológicos. AJEA, (13).

Garat, M. E., Palacio, A. J., Larenze, G. R., & Sota, J. D. (2019). Desempeño Hidrológico y Propiedades Físico Mecánicas de Hormigones Porosos elaborados con áridos de la Provincia de Entre Ríos. *Revista Tecnología Y Ciencia*, 36, 81–104. <https://doi.org/10.33414/rtyc.36.81-104.2019>

Horgue, P., Franc J., Guibert R., and Debenest G. An extension of the open source porousMultiphaseFoam toolbox dedicated to groundwater flows solving the Richards' equation. arXiv preprint ar- Xiv:1510.01364, 2015.

OpenFOAM (2021), The OpenFOAM foundation, <https://openfoam.org/>.

Salome (2021), Salome – The open source integration platform for numerical simulation, <https://www.salome-platform.org/>

Costa, I. et al. (2020). "Sensitivity of hydrodynamic parameters in the simulation of water transfer processes in a permeable pavement". *RBRH*, 25, e47.

Hatanaka, S., Kamalova, Z. y Harada, M. (2019). "Construction of a nonlinear permeability model of pervious concrete and drainage simulation of heavy rain in a residential area", *Results in Materials*, 3, 100033.

Memorandum Nº 010/ 2017. Provincia de Santa Fe. Ministerio de Infraestructura y Transporte.