

# UNA PROPUESTA PARA LA INCORPORACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA MATRIZ – FISURA EN MODELOS DE DOBLE POROSIDAD

Pablo Romanazzi (1) y Eduardo Cassiraga (2)

(1) UIDET Hidrología, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, calle 47 N° 200 La Plata, Argentina, tel. +54-221-4275223 y (2) Grupo de Hidrogeología, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, C/. Camino de Vera s/n, Valencia, España, tel. +34-963879613

[promanazzi@ing.unlp.edu.ar](mailto:promanazzi@ing.unlp.edu.ar) , [efc@dihma.upv.es](mailto:efc@dihma.upv.es)

## Introducción y objetivos

La función de transferencia del flujo entre la matriz porosa y la fisura en acuíferos de doble porosidad ha sido presentada hace más de medio siglo atrás (Barenblatt, 1960; Warren y Root, 1963) como el atributo más destacable a incorporar en este tipo complejo de medio subterráneo saturado. Entre las diversas propuestas que le sucedieron a la expresión analítica original, se reconocen dos grandes ramas: una formulación determinística (Zimmerman et al., 1993; Gerke y Van Genuchten, 1991) y, más reciente, una estocástica (Zhang, 2002). Todas ellas hacen depender la transferencia de flujo en forma proporcional a la diferencia de presiones en la región de contacto matriz – fisura. El objetivo del presente trabajo fue lograr implementar una discretización de la función de transferencia a nivel de un modelo en elementos finitos para luego poder combinarlo con una simulación estocástica de la familia de fisuras (Cassiraga y Gómez Hernández, 2001) - no desarrollado aquí- y, de esa forma, construir una modelación no continua del medio permeable. Se pretende así poner en evidencia la discontinuidad del medio saturado con doble porosidad y comprobar cómo influye esta componente, por ejemplo, en la interpretación de ensayos de bombeo en este tipo de acuíferos. Los modelos conceptuales que emergen de estas primeras consideraciones del complejo matriz-fractura pueden sintetizarse a partir de la consideración del siguiente esquema funcional:

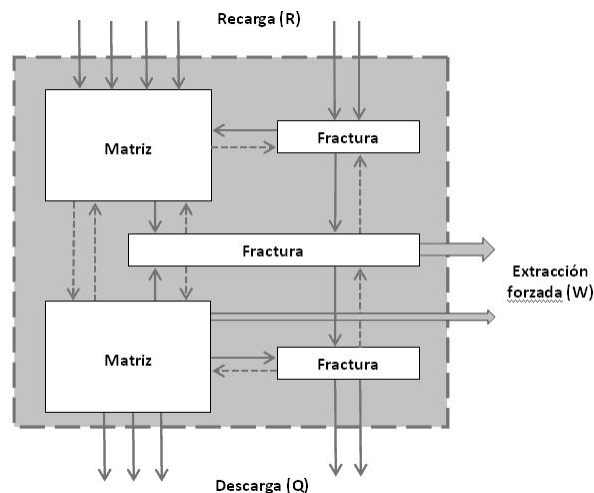


Figura 1.- Representación del sistema acuífero naturalmente fracturado

Existe posibilidad de recarga (natural o artificial) o descarga (libre o forzada por bombeo) del sistema tanto hacia/desde la componente matricial como directamente hacia/desde las unidades de fractura. Son las denominadas condiciones de borde externas (son las líneas de flujos que atraviesan los límites más externos al sistema representado en la Figura 1), para las cuales con la determinación de un flujo neto resultante ( $Q + W - R$ ) se pueden experimentar dos estados de evolución temporal posibles (estacionario o transitorio) de los niveles de energía piezométrica. Entre las condiciones de borde internas, se destaca la interconectividad de las unidades de fractura, lo que puede dar lugar a una red propia de flujo. Los bloques de matriz también pueden considerarse conectados directamente entre sí pero con enlaces más débiles. Ejemplo de esto último son las formaciones yuxtapuestas horizontalmente con diferente permeabilidad y que terminan aislando (confinando) a las capas inferiores. La intensidad de la transferencia de flujo entre estos bloques o capas queda así supeditada a la presión relativa entre ellos. Por último y no menos importante, la Figura 1 muestra la existencia de intercambio bidireccional de masa fluida entre los componentes principales (matriz y fractura) del sistema.

## Materiales y métodos

A nivel metodológico se avanzó primero con la revisión crítica de las distintas expresiones recopiladas en la bibliografía antecedente y con la compilación de casos sencillos en los cuales se ha conseguido una integración del sistema de ecuaciones del flujo. A la luz de dicho análisis se realizó la incorporación de la función de transferencia en modelos en elementos finitos con un método de discretización que deja agrupados los coeficientes que pertenecen a la ecuación de continuidad, a la ecuación dinámica y a la función mencionada en aquellos elementos donde aplica la interfase matriz – fisura. El flujo entre dos medios con tan

disímil constitución (un medio poroso matricial laminar en contraste con una red macro-porosa de flujo preferencial turbulento) debe incluir la discontinuidad espacial como una condición de borde interna y evaluar el caudal a través de la interfase con una función de transferencia específica. Diferentes propuestas han sido dadas para la expresión analítica de esta función de transferencia, denominada de aquí en más con la sigla FTMF (Función de Transferencia Matriz - Fractura), la mayoría de ellas basadas en una dependencia directa del gradiente de presiones en la frontera de la discontinuidad. Para llevar adelante este paso es necesario recurrir primero a una identificación georeferenciada de dichos límites internos y, en cada uno de sus elementos donde se evalúa el flujo, proceder luego a aplicar la FTMF con la diferencia actual de presiones en ambas caras de la frontera. La estrategia seguida por diferentes autores para computar la diferencia de presiones responde al grado de aproximación elegido para llevar adelante la discretización de las componentes de este sistema heterogéneo. Típicamente se ha considerado que la presión matricial es un escalar representativo de todo el bloque poroso aislado (o delimitado) por la red de fisuras, mientras que ésta última es la encargada de expresar los gradientes que movilizan o modulan la intensidad del flujo por unidad de área. En cuanto al modelo matemático, se ha preferido trabajar con la base que ofrece el modelo GW3 desarrollado por Jonatan D. Istok (1989). Este modelo utiliza un esquema de discretización en elementos finitos para resolver el sistema de ecuaciones que corresponden al flujo transitorio en medios permeables completamente saturados. El programa principal y sus subrutinas en lenguaje Fortran fueron modificados para poder incorporar la FTMF ya citada.

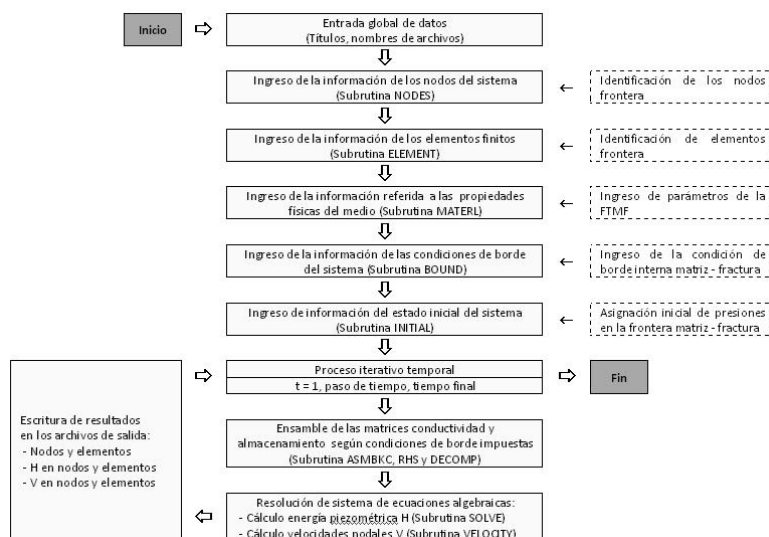


Figura 2.- Diagrama de flujo de la adaptación del programa GW3.

## Ensayos y Conclusiones

Se presentan resultados para casos sencillos (sintéticos) de reproducción de ensayos de bombeo en acuíferos confinados (matriz porosa en damero 2D y una fisura diagonal, ídem con doble familia de fisuras y matriz 3D con dos planos de fisuras de diferente buzamiento). Se realiza para cada caso el cómputo de una permeabilidad dual equivalente y se discute la representatividad de este coeficiente. Por último, se señalan posibles caminos de investigación a futuro.

## Referencias

- Barenblatt, G.J., Zheltov, Iu, P. y Kochina, I.N. (1960). Basic concepts in the theory of seepage of homogeneous liquids in fissured rocks. PPM, Vol. 24(5): pp.852-864.
- Cassiraga, E. F. y Gómez-Hernández, J. J. (2001). Utilización de técnicas geoestadísticas para la generación de medios fracturados en 3D. Hidrogeología y Aguas Subterráneas, Ministerio de Ciencia y Tecnología – Instituto Geológico y Minero de España, tomo I, pp. 341-345.
- Gerke, H.H. y van Genuchten, M. T. (1993). Evaluation of a first-order water transfer term for variably saturated dual-porosity flow models. WRR, Vol. 19, No. 4, pp. 1225-1238.
- Istok, J. (1989). Groundwater modeling by the finite element method. American Geophysical Union (AGU), Water Resources monograph No. 13.
- Warren, J.E. y Root, P.J. (1963). The Behavior of Naturally Fractured Reservoirs. SPE, 426:pp.245-255.
- Zhang, D. (2002). Stochastic methods for flow porous media: coping with uncertainties. Academic Press.
- Zimmerman, R.W., Chen, G, Hadgu, T. y Bodvarsson, G.S. (1993). A numerical dual-porosity model with semianalytical treatment of fracture/matrix flow. WRR, Vol. 29, No. 7, pp 2127-2137.

## Palabras clave

Acuíferos con doble porosidad, permeabilidad dual.