

# MÉTODO COMBINADO PARA EVALUAR PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS EN ACUÍFEROS CAUTIVOS CON DOBLE POROSIDAD

Pablo Romanazzi<sup>1</sup> y Eduardo Cassiraga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UIDET Hidrología, Dpto. de Hidráulica, Fac. de Ing., Universidad Nacional de La Plata, 47 Nro. 200, 1900 La Plata, Argentina.

<sup>2</sup>Dpto. de Ing. Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España.  
E-mail: promanazzi@ing.unlp.edu.ar, eduardo.cassiraga@gmail.com

## Introducción

Se presenta aquí un método para mejorar la evaluación de los parámetros hidrogeológicos de una formación acuífera confinada cuando se evidencia una clara influencia de la doble porosidad (matricial primaria y la otorgada por familias de fisuras) en la interpretación de los resultados de un ensayo de bombeo.

El mismo consiste en generar una serie de familias de fracturas (primer paso) con las herramientas de simulación estocástica que ofrece la Geoestadística, para luego proceder a la estimación de los parámetros hidrogeológicos del acuífero naturalmente fracturado con el modelo y la rutina de optimización de De Smedt (2011) para acuíferos confinados con doble porosidad.

Se ofrece así no sólo una herramienta práctica y sencilla para enriquecer el análisis de la interpretación de los datos experimentales obtenidos por medio de ensayos de bombeo, sino que avanza también en la posibilidad de obtener un aprovechamiento mejor del conocimiento de la estructura geológica del acuífero.

## Descripción del procedimiento y herramientas

La secuencia de las operaciones a seguir con la propuesta metodológica que se introduce en este trabajo tiene dos opciones que se promueven en relación directa con la información de partida disponible para estimar los parámetros hidrogeológicos desde un ensayo de bombeo.

En primer lugar, se recomienda acudir a información de campo preexistente para tomar conocimiento de las características del sistema de fracturas reinante en la zona bajo estudio. Los datos básicos por recabar serían los relacionados con la orientación (azimut / rumbo, dirección e inclinación del buzamiento y rake/giros en el plano de falla) del sistema de fracturas.

En segundo lugar, avanzar con la identificación del número de familias que integran el sistema de fracturas, en arreglo a disponer un modelo 1D, 2D o 3D de la representación estocástica. En general, en este punto puede afirmarse que las familias siempre están conjugadas de tal manera que se presentan en campo como sistemas ortogonales entre sí cuando las mismas son el resultado de plegamientos u otro tipo de fenómenos tectónicos.

En tercer lugar, lograr tener una idea aproximada de la proporción del sistema de fracturas con respecto al volumen total del acuífero. Esto puede inferirse a partir de testigos de perforación obrantes en los sitios de sondeo, en especial, si estos involucran a todo el espesor de la formación que se está investigando.

Una vez transitadas estas primeras actividades aparece entonces una primera opción para concretar el primer paso metodológico que consiste en la estimación del factor de forma  $\alpha$  [ $L^{-2}$ ] como el cuadrado de la relación entre la superficie total de las intercaras matriz-fisura vs. el volumen total del bloque de acuífero considerado (Lim y Aziz, 1995; Hassanzadeh et al., 2009; Lai y Pao, 2013). El factor  $\alpha$  es el parámetro fundamental que integra la función de transferencia matriz-fisura y que

explica la intensidad del flujo de intercambio entre ambas fases:

$$F_T(x,t) = \alpha K_i [h_f - h_m] \quad [1]$$

donde  $x$  y  $t$  son las variables independientes espacio y tiempo, respectivamente;  $F_T$  es la función de transferencia matriz-fractura [ $T^{-1}$ ] que representa al flujo entre ambas fases por unidad de volumen (Figura 1);  $h$  es la energía piezométrica [L], con los subíndices  $f$  (fractura) y  $m$  (matriz) indicando las componentes del sistema dual así planteado;  $K_i$  [ $LT^{-1}$ ] es la conductividad hidráulica intrínseca de la interfase matriz-fractura, en muchas ocasiones asimilada a la conductividad de la matriz ( $K_m$ ) por simplicidad.

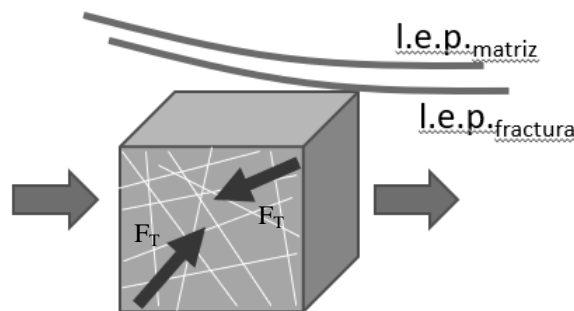


Figura 1.- Modelo de medio poroso dual.

Para poder computar el factor de forma es necesario generar primero un conjunto de  $n$ -familias de fracturas en un bloque y simular luego varias realizaciones manteniendo la orientación y la proporción con respecto al volumen total del mismo.

Para esto se pueden utilizar las herramientas ELLIPSIM y SISIM de la librería GSLib (Deutsch y Journel, 1998) con la ayuda del programa SGeMS (Remy et al., 2009) para el control y la visualización de los resultados.

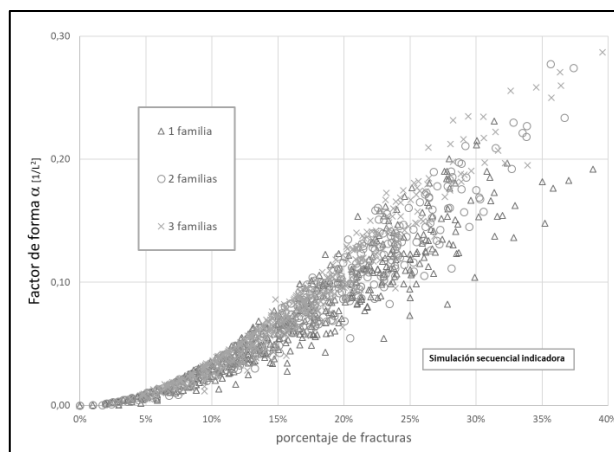


Figura 2.- Factor de forma vs. % de fisuras ortogonales.

Una vez que se cuenta con el ensamble de las realizaciones generadas por ejemplo con SISIM, se puede calcular el factor de

forma mediante una rutina (Romanazzi, 2017) que resuelva primero la tarea de combinar en un mismo bloque las distintas familias de fisuras y que luego compute la cantidad de intercaras matriz-fisura (Figura 2). El factor de forma así calculado cumple un rol fundamental a la hora de emplear la solución de De Smedt (2011) a efectos de mejorar la interpretación de los datos observados en un ensayo de bombeo.

En la Figura 3 se indican entonces los caminos posibles a seguir dependiendo de la disponibilidad de la información de partida:

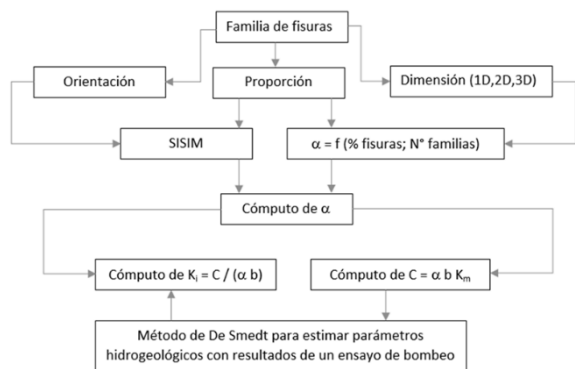


Figura 3.- Diagrama conceptual del método propuesto

Cuando sólo se conoce la dimensión del grupo de fisuras (desarrollos de familias en 1D, 2D o 3D) se puede recurrir a generar familias ortogonales entre sí como una primera aproximación a la estimación del factor de forma  $F_T$ . Aplicando SISIM para generar 100 realizaciones de cada caso se pudo ajustar una función de tipo potencial, cuyos coeficientes se consignan en la siguiente tabla (Romanazzi, 2017):

Tabla 1.- Coeficientes para la estimación del factor de forma.

Dimensión	A	B	$R^2$
[-]	$[L^{-2}]$	[-]	[-]
1D	1,28	1,64	0,9987
2D	1,46	1,66	0,9996
3D	1,83	1,74	0,9982

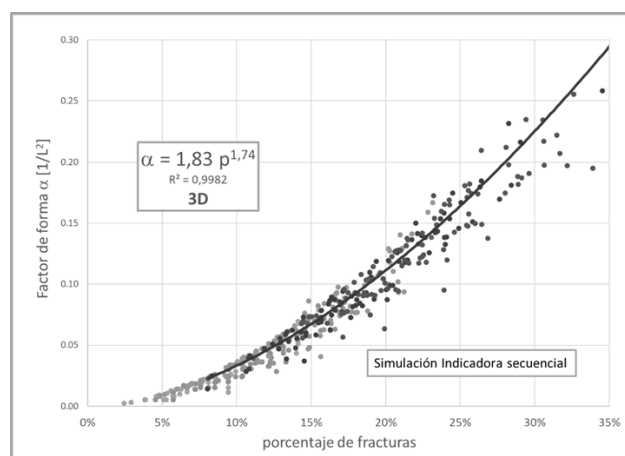


Figura 4.- Factor de forma vs. % de fisuras ortogonales en 3D.

## Resultados y conclusiones

El método representado en la Figura 3 fue contrastado para familias ortogonales para las tres dimensiones establecidas con el código ModFlow (Harbaugh, 2005) y la herramienta ModelMuse (Winston,2009), habiendo obtenido aproximaciones muy cercanas a las consignadas en la Tabla 1.

Se concluye entonces que la facilidad que otorga la aplicación de las expresiones analíticas desarrolladas es sumamente beneficiosa dado que es posible aplicarlas a casos mas complejos sabiendo que para orientaciones de familias de fisuras en coincidencia con los ejes coordenados, el resultado ha sido verificado por dos vías completamente distintas.

## Referencias

- De Smedt, F. (2011). "Analytical solution for constant-rate pumping test in fissured porous media with double-porosity". *Transport in Porous Media*, 88:479-489.
- Deutsch, C.V. y Journel, A. G. (1998). "GSLIB – Geostatistical software library and user's guide"; 2da. Edición, *Oxford University Press*.
- Remy, N., Boucher, A. y Wu, J., (2009). "Applied Geostatistics with SGeMS – A user's guide". *Cambridge University Press*.
- Hassanzadeh, H., Pooladi-Darvish, M. y Atabay, S. (2009). "Shape factor in the drawdown solution for well testing of dual-porosity systems". *Advances in Water Resources*, 32:1652–1663.
- Harbaugh, A. (2005). "ModFlow 2005, the U.S. Geological survey Modular Ground water model". USGS, 6-A16.
- Lai, K.S. y Pao, W.K.S. (2013). "Assessment of different matrix-fracture shape factor in double porosity medium". *Journal of Applied Sciences*, 13(2):308-314.
- Lim, K.T. y Aziz, K., (1995). "Matrix-fracture transfer shape factors for dual-porosity simulators". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 13:169-178.
- Romanazzi, P. (2017). "Modelación geoestadística de medios geológicos naturalmente fracturados". Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València. doi:10.4995/Thesis/10251/90580
- Winston, R. B. (2009). "ModeloMuse – A graphical user interface for ModFlow 2005 and PHAST". *Ground Water Book 6*, USGS.