

Bombeo de Ensayo en acuífero semiconfinado, con almacenamiento en el acuitardo

EJEMPLO RESUELTO

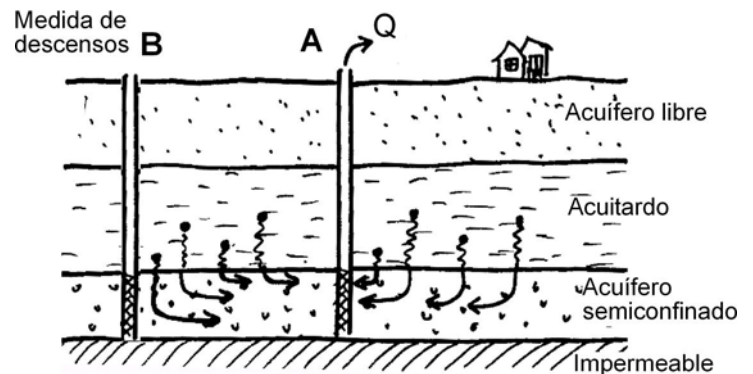
Introducción

Realizamos un bombeo de ensayo en un acuífero semiconfinado para medir sus parámetros hidráulicos.

Suponemos que el medio físico se ajusta al modelo teórico que se esquematiza en la figura: El acuífero recibe rezumes del agua contenida en el acuitardo que lo confina; no se considera el agua procedente de otro acuífero superior (En la figura: "Acuífero libre").

(Ver el tema "Acuíferos Semiconfinados")

Necesitamos dos sondeos abiertos en el mismo acuífero. En uno (A) bombeamos un caudal constante, en el otro (B) medimos los descensos para tiempos sucesivos.



t (min)	Desc (cm)
12,95	1,5
15,1	2
17,92	3
24,65	5
30	7
38	9
50	13
70	18
90	23
137	32
210	43
300	54
390	64

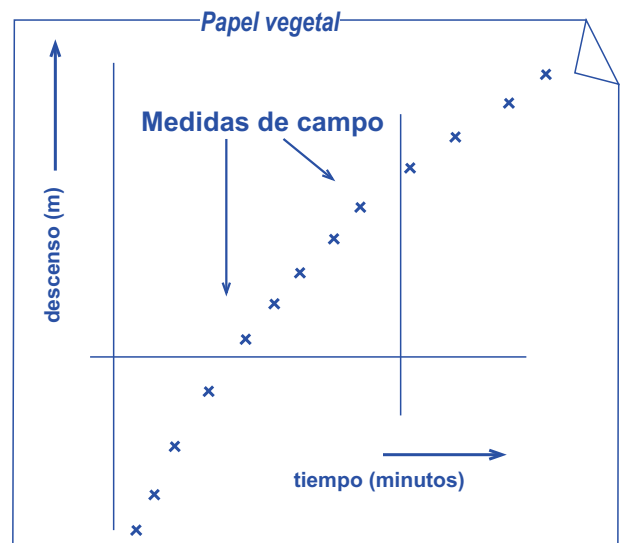
Ejemplo: datos

Veámoslo con un ejemplo numérico¹. Los datos de campo son los siguientes:

- **Caudal** constante de bombeo: **47 litros /seg**
- **Distancia (r)** entre el sondeo de bombeo A y el sondeo de observación B : **427 metros**
- Medidas de descensos (en metros) para diversos tiempos (minutos)
- **Espesor del acuitardo = 1,85 metros**

Solución

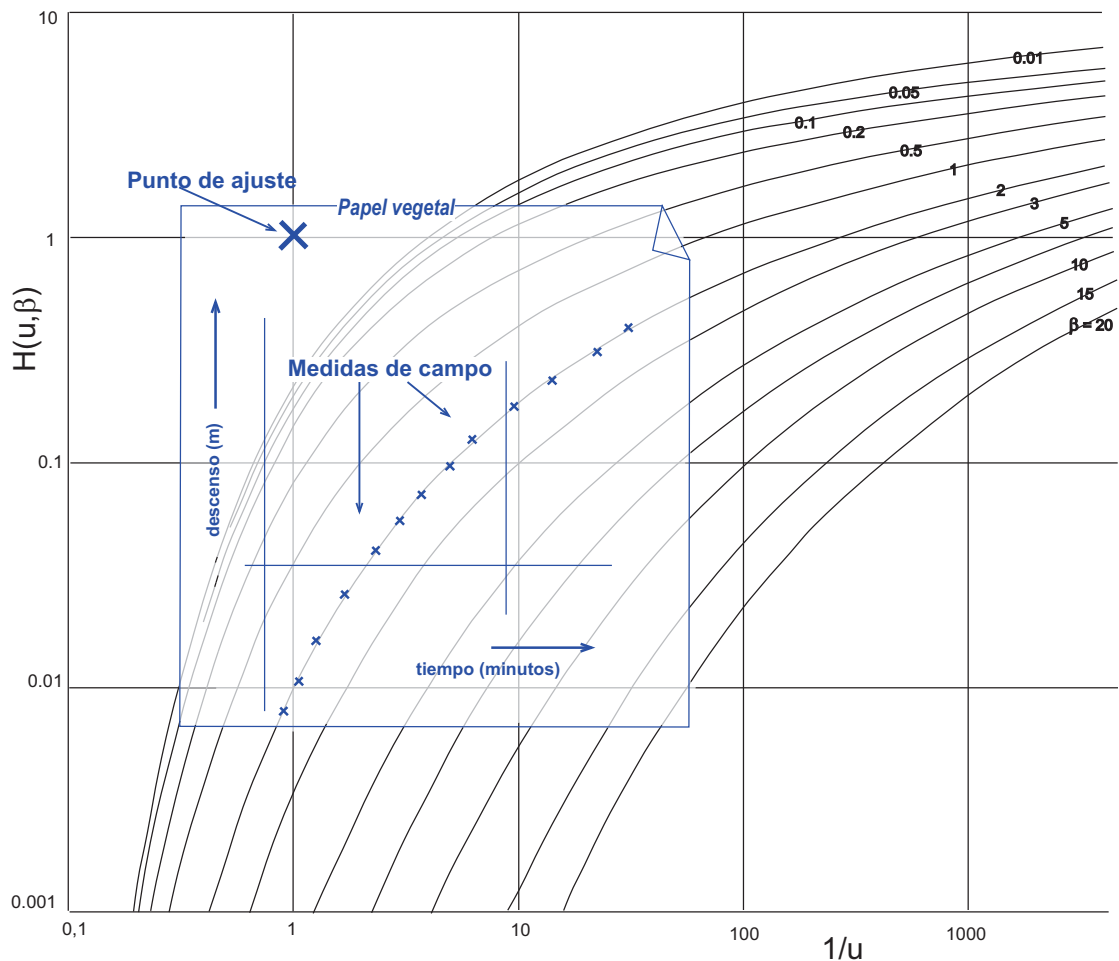
1. Representamos los datos de descensos - tiempos en un **papel doble logarítmico**: tiempos (en minutos) en el eje horizontal, descensos (en metros) en el eje vertical.
2. Calcamos esos datos sobre un papel vegetal, marcando también alguna línea vertical y horizontal para evitar rotar el papel en el paso siguiente.
3. Superponemos el papel vegetal sobre el gráfico patrón², buscando la coincidencia de



¹ Este parece ser un bombeo 'célebre': aparece en Lohman (1972) y es reproducido por Schwartz (2003). En estas publicaciones las unidades son americanas (galones, pies, etc.) y aquí las hemos convertido al Sistema Métrico, redondeando ligeramente en algunos datos. En el bombeo original figuran descensos desde 6 hasta 1485 minutos. Aquí hemos tomado solamente algunos de esos datos desde 13 hasta 390 minutos

² [Gráfico patrón](#) en la Sección *Prácticas de Hidrología Subterránea*, P142

las medidas de campo sobre una cualquiera de las líneas del gráfico patrón.



Podemos desplazar libremente el papel vegetal sobre el gráfico patrón, pero sin rotarlo. Como bien indica Kruseman (1990 , p.91) la superposición es posible en varias curvas próximas, lo que implicará inexactitud en la interpretación y resultados.

4. Conseguida la superposición, marcamos en el vegetal un **Punto de ajuste**, calcando un punto cualquiera del gráfico patrón:
 Como punto de ajuste, hemos elegido el punto de coordenadas: $H(u,\beta)=1$ $1/u=1$, pero valdría cualquier otro (un punto cualquiera del plano, no un punto de la curva).
 Anotamos en el vegetal esas coordenadas y el valor de la curva β sobre la que hemos superpuesto, en nuestro caso hemos elegido $\beta=2$

5. Volvemos a superponer el papel vegetal sobre el papel logarítmico en el que habíamos dibujado inicialmente los datos de campo, en la misma posición que cuando calcamos estos puntos. Leemos las coordenadas del **Punto de ajuste** en el gráfico de campo.
 Sobre el gráfico con los datos de campo leemos: tiempo = 14,5 minutos
 descenso = 1,80 metros

Por tanto, el **Punto de ajuste** tiene dobles coordenadas:
 en el gráfico de campo: tiempo = 14,5 min , descenso = 1,80 metros
 en el gráfico patrón: $1/u=1$, $H(u,\beta)=1$

6. **Cálculo de la Transmisividad.** Utilizamos la ordenada del **punto de ajuste** en ambos gráficos, es decir: en el gráfico patrón, $H(u,\beta)=1$, y en el gráfico de campo: descenso=

1,80 metros.

Sustituimos esta pareja de valores en la ecuación de Hantush (Ec. 3)³:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} H(u, \beta) \quad ; \quad 1,80 = \frac{47 \cdot 86,4}{4\pi T} \cdot 1$$

Despejamos T : $T = 180,7 \text{ m}^2/\text{día}$

Multiplicamos el caudal por 86,4 para pasar de litros/seg a m³/día

7. Cálculo del Coeficiente de Almacenamiento. Ahora utilizamos la abcisa del punto de ajuste en ambos gráficos: $1/u=1$, y *tiempo* = 14,5 minutos

Sustituimos esta pareja de valores en la expresión general de la variable u :

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad ; \quad 1 = \frac{427^2 S}{4 \cdot 180 \cdot 14,5 / 1440}$$

Despejamos S : $S = 3,98 \cdot 10^{-5}$

Dividimos por 1440 para convertir minutos en días

Atención, no confundirse: En el gráfico patrón leemos $1/u$ mientras que en esta fórmula se utiliza u . En este ejemplo, casualmente coinciden porque habíamos leído para el **punto de ajuste** $1/u=1$ y para este valor singular el inverso de 1 es 1.

8. Cálculo del producto $K' \cdot S'$ (del acuitardo).

En este punto del cálculo, en el caso del semiconfinado SIN almacenamiento en el acuitardo, calculábamos la K' (permeabilidad del acuitardo semiconfinante). Como aquí influye también el almacenamiento del acuitardo, podemos obtener ambos parámetros: permeabilidad y coeficiente de almacenamiento, aunque en forma de producto de ambos. Para esto hemos de utilizar el valor de la curva sobre la que hemos logrado la superposición. Como se aprecia en la figura anterior, hemos superpuesto sobre la curva $\beta=2$

Sustituyendo el valor de B (ver leyenda de la ec.1)² en la expresión de β (leyenda de la ec.3), y despejando $K' \cdot S'$ obtenemos⁴:

$$\left(\beta = \frac{r}{4B} \sqrt{\frac{S'}{S}} \quad ; \quad B = \sqrt{\frac{Tb'}{K'}} \right) \Rightarrow \quad K' S' = \frac{16\beta^2}{r^2} T b' S$$

$$K' S' = \frac{16 \cdot 2^2}{427^2} 180,7 \cdot 1,85 \cdot 3,98 \cdot 10^{-5} = 4,7 \cdot 10^{-6}$$

Recordemos: distancia de la medida de descensos al bombeo (r) = 427 m; espesor del acuitardo semiconfinante = 1,85 metros

El producto de la conductividad hidráulica K' por el coeficiente de almacenamiento S' de una formación no es ningún parámetro de la misma, pero en conjunto nos aportan una idea de la alimentación que el acuífero semiconfinado puede recibir del acuitardo semiconfinante.

³ Todas las referencias a números de ecuaciones se dirigen al tema *Acuíferos semiconfinados*

⁴ Con este mismo bombeo (ver nota nº 1), Lohman (1972) y Schwartz (2003) consiguen resultados diferentes entre sí y diferentes a los obtenidos aquí, pero todos similares. Aparte de que la superposición sobre un gráfico patrón siempre es subjetiva, aquí hemos utilizado solamente una parte de los datos del ejemplo original.

Bibliografía

- Lohman, S.W. (1972).- *Ground-Water Hydraulics*. US.G.S. Prof. Paper 708,70 pp (Trad. español: *Hidráulica subterránea*, Ed. Ariel, 1977, 178 pp.).
(<http://pubs.er.usgs.gov/usgspubs/pp/pp708> , en un documento .djvu está el texto y en otro los gráficos para interpretación)
- Kruseman, G.P. & N.A. Ridder. (1990).- *Analysys and Evaluation of Pumping Test Data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, 377 pp.
<http://www.alterra.wur.nl/NL/publicaties+Alterra/ILRI-publicaties/Hard+copies/>
- Schwartz, F. W. & H. Zhang (2003).- *Fundamentals of Groundwater*. Wiley, 592 pp.