

CAPITULO VI. ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS DEL POZO

Consideraciones generales sobre las pérdidas de carga

Métodos de estimación sobre las pérdidas de carga

CAPITULO VI

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS DEL POZO

Consideraciones generales sobre las pérdidas de carga

El descenso total producido en un pozo por efecto de un bombeo es debido a diferentes causas, unas vienen definidas por los parámetros específicos del acuífero bombeado, y otras tienen su origen en la calidad de construcción de dicho pozo. La suma de los descensos originados por ambas causas se denomina «descenso total».

d_1 = descenso total observado.

d_2 = descenso en exterior del entubado.

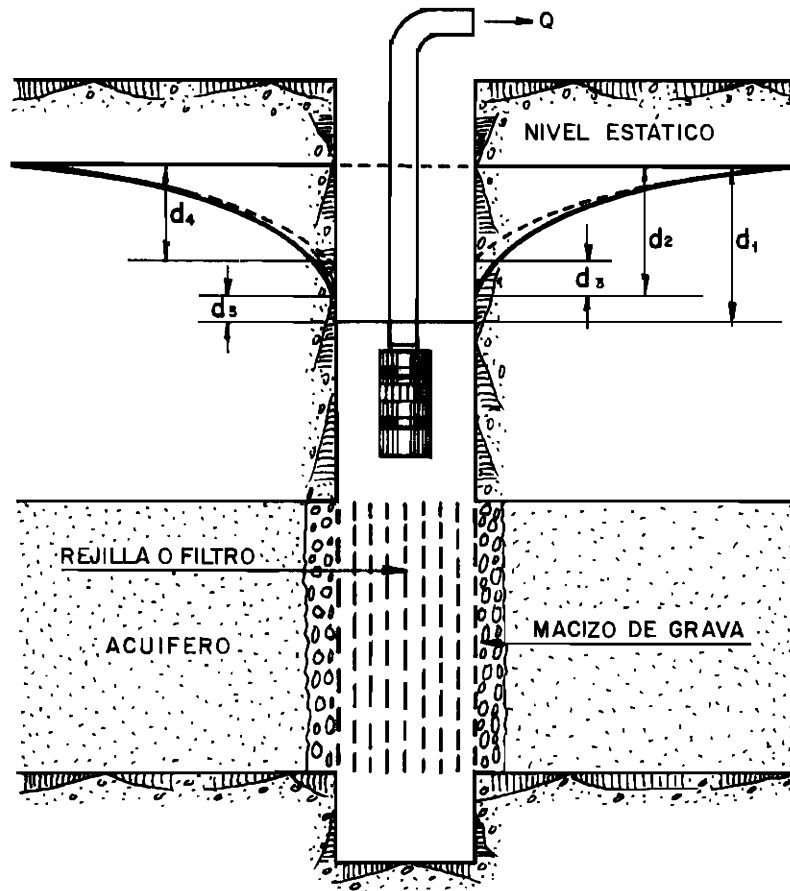
d_3 = descenso en el empaque de gravas y por régimen turbulento en las proximidades del pozo.

d_4 = descenso teórico.

d_5 = descenso al atravesar el entubado del pozo (filtro).

Las pérdidas de carga en el acuífero pueden ser de dos tipos:

- En primer lugar, deben considerarse las que se producen en zonas más alejadas del pozo, donde la velocidad de circulación del agua hacia el mismo es lenta, siendo el régimen laminar y cumpliéndose la ley de Darcy. En este caso, el descenso es proporcional al caudal, como se ha visto en las relaciones de descensos teóricos expresados en los capítulos II y III de este texto.
- En segundo lugar están las que se producen en las inmediaciones del



- d_1 = Descenso observado
- d_2 = Descenso en exterior del entubado
- d_3 = Descenso en el empaque de gravas y por régimen turbulento en las proximidades del pozo
- d_4 = Descenso teórico
- d_5 = Descenso al atravesar el entubado del pozo (filtro)

Fig. 16.—Descensos producidos por efecto de un bombeo.

pozo, donde la velocidad del agua entre los poros del acuífero aumenta como consecuencia de un estrechamiento de las líneas del flujo radial hacia dicho pozo. En este caso, el régimen no es laminar, no se cumple la ley de Darcy, y el descenso producido en este tramo del acuífero es proporcional a una cierta potencia del caudal.

Las pérdidas de carga en el pozo pueden asimismo atender a otros tres tipos de razones:

- Las debidas al razonamiento del agua al atravesar el macizo de grava filtrante.
- Las que se originan como consecuencia del rozamiento del agua a su paso por las ranuras de los filtros o las practicadas en la tubería de revestimiento.
- Las que se producen en el interior del pozo por circulación del agua hasta la aspiración de la bomba, o las que pueden ocasionarse en dicha aspiración por no disponer del suficiente espacio anular libre. Tanto unas como otras suelen ser poco importante o despreciables, por lo que no serán tenidas en cuenta en lo sucesivo. En este sentido es recomendable que la aspiración de la bomba tenga un espacio anular libre, entre bomba y entubado, no inferior a tres pulgadas.

Las pérdidas en el entorno del acuífero próximo al pozo pueden reducirse mediante un proceso de desarrollo adecuado.

Las pérdidas en el propio pozo, tanto las debidas al empaque de grava como a los filtros, se aminoran con un buen diseño de estos elementos. Se aconseja que la velocidad del agua al atravesar los filtros no supere los 3 cm/segundo.

Al conjunto formado por las pérdidas en el entorno del acuífero próximo al pozo y a la totalidad de las pérdidas en el mismo pozo es lo que se ha denominado, de un modo general, como «pérdidas de carga».

En la figura 16 se reflejan de un modo gráfico los descensos correspondientes a las diferentes causas.

El descenso total originado por un bombeo puede expresarse por la fórmula:

$$d = AQ + BQ^n \text{ (Rorabaugh)} \quad [1]$$

El término AQ representa el descenso teórico, y BQⁿ las pérdidas de carga debidas a los demás factores.

El coeficiente A se obtiene de la fórmula de Jacob

$$A = 0,183 \frac{1}{T} \lg \frac{2,25 Tt}{r^2 S} \quad [2]$$

B es el coeficiente de pérdidas en el pozo y en su entorno, que no depende del tiempo de bombeo.

En el gráfico 47 se observa claramente que las pérdidas aumentan con el caudal de bombeo, debido a que el valor de n suele estar comprendido entre 1 y 3,5 (Jacob considera $n = 2$).

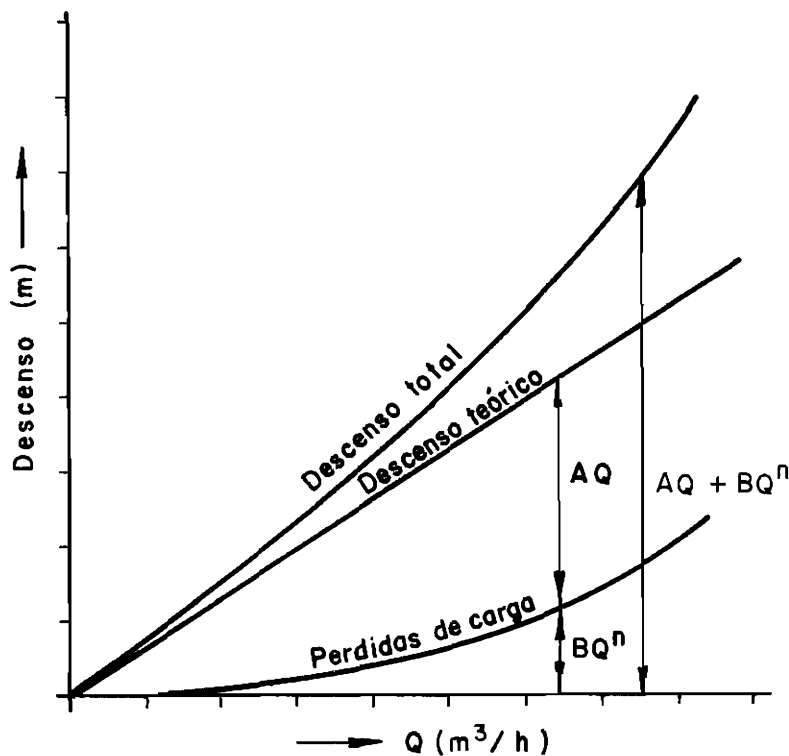


Gráfico 47.—Variación del descenso en función del caudal.

La forma generalizada de los descensos en el pozo, en función del caudal corresponde a una curva parabólica de segundo grado de la forma $y = ax^2 + bx$, cuando $n = 2$.

Como ya se ha indicado, los descensos en el acuífero son consustanciales con sus propias características (T y S) y, en función de las mismas, estos descensos serán más o menos importantes.

Las pérdidas debidas a la construcción del pozo pueden reducirse proyectando y ejecutando los sondeos con las técnicas más apropiadas al tipo de formación acuífera. Es frecuente que en acuíferos de las mismas características se encuentren pozos con muy distintos rendimientos, según el método de perforación utilizado y el sistema de acondicionamiento empleado.

Los pliegos de condiciones de los proyectos para la ejecución de un sondeo suelen detallar cada una de las operaciones a realizar. A pesar del cumplimiento puntual de las especificaciones recogidas en los mencionados pliegos, un gran número de sondeos tienen un bajo rendimiento específico por ser inadecuados los procedimientos utilizados en su construcción y acabado, lo que provoca importantes pérdidas de carga. Sin embargo, tal vez no exista demasiada inquietud por parte de los técnicos dedicados al campo de la hidrogeología en programar y realizar ensayos encaminados a cuantificar las pérdidas de carga, analizando las causas concretas que las producen para tratar de paliar, en lo posible, errores sistemáticos en la construcción de los diversos tipos de captaciones.

Son los sondeos perforados en materiales detriticos de grano fino los menos eficaces, es decir, los que mayores pérdidas de carga presentan. Esto es debido a que a las dificultades de su especial equipamiento hay que añadir, en ocasiones, el mal diseño de los filtros o un inadecuado desarrollo en el momento preciso.

Los sondeos perforados en terrenos consolidados cuyo acondicionamiento se reduce a la colocación de una tubería ranurada, no suelen tener pérdidas de consideración, siempre que el ranurado se realice de acuerdo con el caudal previsto.

Desde el punto de vista económico, el problema que se presenta ante pozos deficientemente construidos con importantes pérdidas de carga, es que la altura de elevación para obtener un determinado caudal, es muy superior a la que sería necesaria si el pozo tuviera un alto grado de eficacia. Este hecho supone un gasto adicional de energía que puede hacer antieconómica la explotación del sondeo.

Analizando el problema desde una perspectiva técnica, ocurre que algunos fracasos en captaciones de aguas subterráneas se achacan a las malas características del acuífero, descartando erróneamente, la posibilidad de nuevas captaciones con éxito, cuando en realidad dichos fracasos se deben a la mala construcción del pozo.

Como ya se ha indicado, la escasa atención que suele prestarse a este tema hace que las técnicas utilizadas para valorar las pérdidas de carga no hayan evolucionado del modo deseable, existiendo discrepancias sobre su campo de aplicación así como en los métodos de análisis y resultados obtenidos.

Se trata en estos capítulos de exponer los procedimientos convencionales y la metodología práctica para la ejecución de bombeos con esta determinada finalidad.

Métodos de estimación de las pérdidas de carga

Para hacer una valoración estimativa de las pérdidas de carga de un sondeo, son varios los procedimientos a utilizar en función de las disponibilidades particulares de cada caso.

Como ya se ha indicado en el apartado anterior se consideran «pérdidas de carga» todos aquellos descensos que se producen durante el bombeo, y que pueden considerarse parásitos por no ser necesarios para movilizar el flujo de agua del acuífero hacia el pozo.

Cuando se dispone de un piezómetro de observación que suministre datos fiables para el cálculo del coeficiente de almacenamiento, se puede calcular el descenso teórico a partir de los parámetros del acuífero (T y S), para un tiempo de bombeo y caudal conocidos por los procedimientos usuales. Restando al descenso total medido en el pozo, el teórico calculado, se obtienen las pérdidas de carga.

$$\text{Descenso total} = \text{Descenso teórico} + \text{Pérdidas de carga}$$

Ejemplo:

Estimar las pérdidas producidas en un sondeo de 400 mm de \varnothing , sabiendo que el descenso medido al cabo de cinco días fue de 5,86 m y que el caudal de bombeo se mantuvo constante en 3.456 m³/día.

El bombeo se ha realizado en régimen variable y las constantes del acuífero son:

$$T = 50 \text{ m}^2/\text{h} = 1.200 \text{ m}^2/\text{día.}$$

$$S = 5 \cdot 10^{-3}$$

Aplicando Jacob se tiene:

$$d_{\text{teórico}} = 0,183 \frac{Q}{T} \lg \frac{2,25 Tt}{r^2 S}$$

$$d_t = 0,183 \frac{3.456 \text{ m}^3/\text{día}}{1.200 \text{ m}^2/\text{día}} \lg \frac{2,25 \times 1.200 \times 5 \text{ días}}{0,04 \text{ m} \times 5 \cdot 10^{-3}} = 4,13 \text{ m}$$

Descenso producido por pérdidas de carga = 5,86 m – 4,13 m = 1,73 m.

Como se observará, el método permite calcular las pérdidas para un determinado caudal, pero el dato no es extrapolable para distintos caudales debido a que dichas pérdidas aumentan con la potencia enésima de Q, y no se conoce el valor de n.

Cuando son varios los puntos de observación pueden estimarse las pérdidas en el pozo mediante el procedimiento gráfico que es posible deducir del análisis de los perfiles de descensos.

Para ello se tomarán los valores de los descensos, a un mismo tiempo, en el pozo y en cada uno de los piezómetros, así como las distancias entre éstos y dicho pozo de bombeo.

Mediante una representación descenso-lg distancias se obtendrá una recta con una cierta pendiente, que se proyectará hasta alcanzar el radio del pozo de bombeo. El punto de corte corresponde al descenso teórico. La

diferencia entre el descenso medido y el obtenido por este procedimiento, son las pérdidas de carga en el pozo.

Para la aplicación del método no es necesario el control sistemático de la evolución de niveles. Tampoco es necesario la estabilización de los mismos, lo que limita ventajosamente el tiempo de duración del ensayo.

Por este método, además de conocer las pérdidas de carga puede calcularse el valor de la transmisividad, el radio de influencia e incluso el coeficiente de almacenamiento, como se expone en el apartado de análisis de perfiles de descensos del capítulo III.

Para la mejor comprensión de lo expuesto, se cita el siguiente ejemplo:

Tres piezómetros distantes del punto de bombeo 5, 20 y 100 m presentan unos descensos a un tiempo dado de 3,7, 2,6 y 1,4 m, respectivamente.

El caudal ha sido de 36 m³/hora (864 m³/día) y el descenso medido en el pozo de bombeo de 7,25 m.

Calcular: Transmisividad, radio de influencia y pérdidas de carga, sabiendo que el radio del pozo es de 0,25 m.

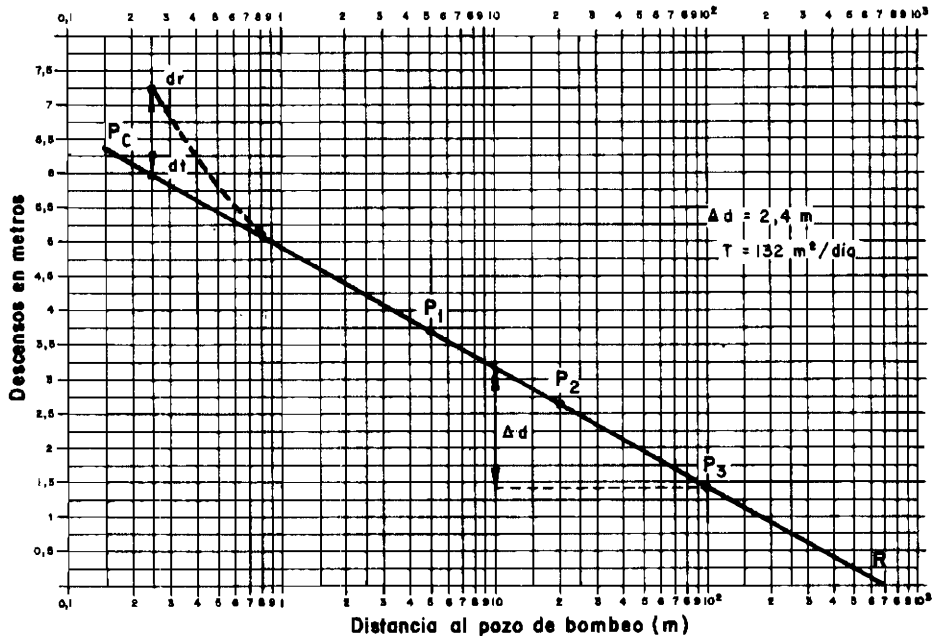


Gráfico 48.—Cálculo de transmisividad, radio de influencia y pérdidas de carga.

En el gráfico 48 se han representado, en el eje de abscisas, las distancias con escala logarítmica, y en el eje de ordenadas los descensos según escala aritmética.

Conocido el valor de la pendiente de la recta $\Delta d = 2,4$ m, y sustituyendo su valor en la ecuación:

$$\Delta d = 0,366 \frac{Q}{T}, \text{ se obtiene:}$$

$$T = 132 \text{ m}^2/\text{día}$$

El radio de influencia, en ese momento, viene dado por el punto de corte de la recta con el eje de abscisas, donde el descenso es nulo; $R = 700$ m.

El descenso teórico corresponde al descenso obtenido para una distancia de 0,25 m (radio del pozo), y su valor es de 6 m.

Las pérdidas de carga podrán obtenerse por diferencia entre el descenso real medido y el teórico calculado: $7,25 \text{ m} - 6 \text{ m} = 1,25 \text{ m}$.

Como en el caso anterior, el descenso por pérdidas de carga (BQ^n) calculado es válido para el caudal ensayado, no siendo posible determinar los descensos correspondientes para otros regímenes de bombeo por desconocerse el valor de los coeficientes B y n .

Otro procedimiento para la estimación de las pérdidas de carga en el pozo, consiste en el cálculo del radio equivalente del mismo.

El radio equivalente o radio efectivo de un pozo r_e es la distancia entre el eje del pozo y el punto donde comienza a formarse el cono de descensos, como consecuencia de un bombeo a caudal Q .

Cuando el $r_e > r_p$, puede suponerse que las pérdidas de carga en el pozo son pequeñas. Contrariamente, si $r_e < r_p$, dichas pérdidas pueden ser considerables (fig. 17).

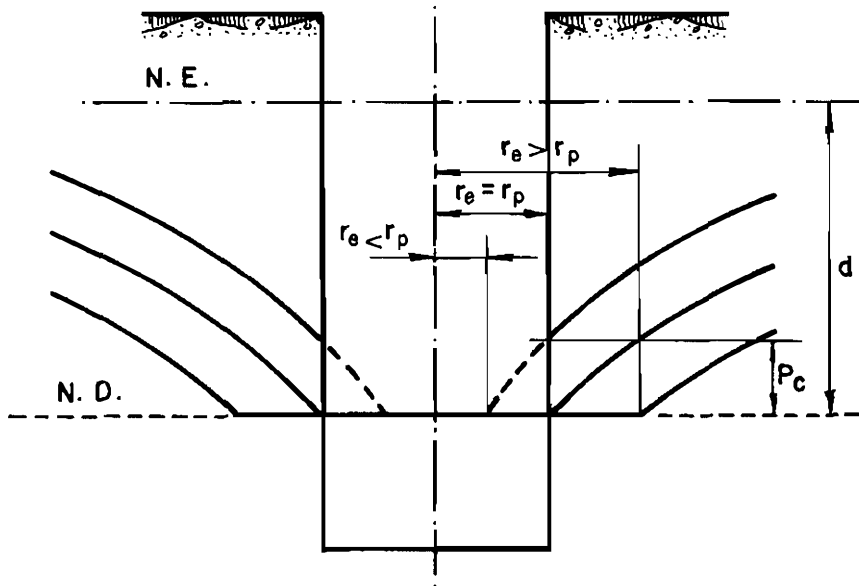


Fig. 17.—Representación del radio equivalente r_e .

El valor del radio equivalente se obtiene a partir de la ecuación del descenso, sustituyendo el radio del pozo por el de su radio equivalente (r_e):

$$d = 0,183 \frac{Q}{T} \lg \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r_e^2 \cdot S}$$

que expresa el descenso teórico:

$$d = AQ, \text{ siendo:}$$

$$A = \frac{0,183}{T} \lg \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r_e^2 \cdot S}$$

Es evidente que para el cálculo de r_e , además de conocer los parámetros del acuífero T y S, así como el caudal Q y el tiempo de bombeo t , será necesario conocer el valor del coeficiente A. Dicho valor se obtendrá por los procedimientos gráficos de tanteo a partir de bombeos escalonados, como se expone en el capítulo VII.

Medido el descenso total creado en un pozo como consecuencia de un bombeo, pueden estimarse las pérdidas de carga restando al mencionado descenso, el teórico deducido a partir de la ecuación [1].

El siguiente ejemplo puede ser útil para comprender con facilidad lo anteriormente expuesto.

Calcular el radio equivalente y las pérdidas de carga de un pozo de 0,20 m de radio de entubación, sabiendo que:

$$\begin{array}{l} T = 100 \text{ m}^2/\text{día}, \quad S = 3,3 \cdot 10^{-4}, \\ t = 1 \text{ día} \quad \quad \quad y \quad Q = 1,296 \text{ m}^3/\text{día} \end{array}$$

Mediante un bombeo escalonado, se ha obtenido: $A = 0,013 \text{ día/m}^2$. El descenso total registrado fue de 18,8 m.

La ecuación [1] puede expresarse de la siguiente forma:

$$A = \frac{0,183}{T} \lg \frac{2,25 \cdot T \cdot t \cdot 1/S}{r_e^2}$$

$$A = \frac{0,183}{T} \lg \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{S} - \frac{0,183}{T} \lg r_e^2$$

Sustituyendo valores, se tiene:

$$0,013 = \frac{0,183}{100} \lg \frac{2,25 \times 100 \times 1}{0,00033} - \frac{0,183}{100} \lg r_e^2$$

$$0,013 = 0,00183 \times 5,83 - 0,00183 \cdot \lg r_e^2 ;$$

$$\lg r_e^2 = - \frac{0,002}{0,00183} = -1,1$$

$$r_e^2 = 0,08 \quad ; \quad r_e = 0,28 \text{ m}$$

El descenso teórico sería:

$$d = AQ = 0,013 \times 1.296 = 17,1 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga:

$$BQ^n = 18,8 - 17,1 = 1,7 \text{ m}$$

Este procedimiento se comenta a título informativo, pero no debe ser utilizado para valorar el grado de eficiencia de la obra de captación. Téngase presente que los valores de A, obtenidos por procedimientos gráficos de tanteo, no son rigurosamente exactos y, por tanto, para pequeñas variaciones de este coeficiente, se obtendrán valores muy dispares del r_e que pueden conducir a erróneas valoraciones.