

# UNIVERSIDAD DE SONORA

## División de Ciencias Exactas y Naturales

### Departamento de Geología

#### MATERIA HIDROGEOLOGIA

#### MANUAL PARA LA INTERPRETACION DE LOS ENSAYOS DE BOMBEO

MATERIAL DE M.C. ALFREDO OCHOA GRANILLO

### PARTE III

## 2.4 REALIZACION DE LA PRUEBA. OBSERVACIONES DE CAMPO

En general, las pruebas de pozo se ejecutan a caudal constante o con abatimiento escalonado.

Las pruebas a caudal constante deben hacerse con 2 caudales diferentes por lo menos, que estén entre sí en una relación mínima de 2 a 3. Las pruebas con abatimiento escalonado deben hacerse con 3 caudales diferentes por lo menos, con relaciones entre 2 caudales sucesivos de 2 a 3 ó 1 a 2. En todos los casos, el caudal mayor utilizado, será ligeramente superior al que se propone para la explotación.

En cualquier caso resulta necesario en toda prueba tener determinada información sobre las características de los pozos y los records de la variación de los niveles y del caudal extraído. Todo esto constituye lo que se conoce como observaciones del campo.

Los records que se necesitan para el análisis y las tolerancias que se consideran generalmente aceptables en las mediciones [\(1\)](#), son las siguientes:

1. Caudal del pozo de control:  $\pm 10\%$
2. Profundidad hasta el agua en los pozos, por debajo del punto de referencia:  $\pm 3\text{mm}$
3. Distancia del pozo de control a cada pozo de observación:  $\pm 0,5\%$
4. Descripción de los puntos de referencia
5. Elevación de los puntos de referencia:  $\pm 3\text{mm}$
6. Distancia vertical entre los puntos de referencia y la superficie del terreno:  $\pm 30\text{mm}$

7. Profundidad total de los pozos:  $\pm 1\%$
8. Profundidad y longitud de los intervalos con rejillas en todos los pozos:  $\pm 1\%$
9. Diámetro, tipo de camisa, tipo de rejilla, método de construcción de todos los pozos.
10. Localización de todos los pozos en planta en relación con algún levantamiento topográfico o por coordenadas de latitud y longitud (la precisión dependerá de lo que necesitemos en cada caso), pero sobre todo debe estar bien clara la posición de los pozos de observación respecto a los de control.

La litología y las características de construcción de los pozos de observación y el de control se obtendrán, según el caso, entrevistando al responsable del lugar o al que los perforó o de los records litológicos y de las características constructivas que deben prepararse cuando el pozo haya sido construido específicamente para la prueba.

### Observación de los niveles del agua

Las fórmulas de flujo hacia los pozos se basan, generalmente, en el cambio de la carga,  $h$ , o en el cambio de abatimiento  $S$ . Es muy importante recordar que los cambios de profundidad hasta el agua, observados durante la prueba pueden incluir componentes debidas a otras variables, como son, por ejemplo, las variaciones de la presión atmosférica, el efecto de las mareas y una posible recarga del acuífero. Por otra parte, el flujo natural en la mayoría de los acuíferos es generalmente diferente de día a día, por consiguiente se hace necesario observar las profundidades hasta el agua durante un tiempo anterior a la prueba, para determinar la tendencia del nivel del agua y usarla al calcular los abatimientos (Fig. 2.1).



**Fig.2.1**

**Hidrograma de un pozo de observación indicando el abatimiento sobre la base de la tendencia del nivel del agua subterránea cuando no existe extracción.**

La observación de los abatimientos con precisión sólo puede lograrse con una buena predicción de la tendencia del nivel del agua o si los efectos de abatimiento de la prueba son grandes en relación con otros efectos.

El período de observación anterior al comienzo de la prueba (anterior a  $t=0$ ), deberá ser, como regla general, al menos del doble del tiempo que dure la prueba de bombeo.

En las zonas de prueba correspondientes a acuíferos artesianos debe llevarse un récord continuo de la presión atmosférica (con sensibilidad de 3mm de mercurio) durante los períodos de prueba y de identificación de la tendencia del nivel anterior a la prueba. Este récord permitirá realizar los ajustes pertinentes.

A partir de las mediciones del nivel del agua antes de comenzar la prueba, de igual modo que se identifican los efectos de la presión atmosférica, podrán identificarse otras perturbaciones del nivel del agua tales como las que producen la operación de pozos cercanos, la recarga del acuífero y las sobrecargas producidas por trenes o fenómenos sísmicos.

Durante la prueba, la profundidad hasta el agua en cada pozo, debe medirse con frecuencia suficiente para que podamos contar con un buen número de observaciones en cada ciclo logarítmico (alrededor de 8 a 10, por ejemplo). Esto puede lograrse, por ejemplo, si ejecutamos mediciones del nivel en los tiempos  $t=1, 1 \frac{1}{2}, 2, 3, 4, 5, 6, 8$  y 10 min y en todos los múltiplos de 10 de esos tiempos en los ciclos siguientes.

Durante las 2 h ó 3 h primeras a partir de que se inicia la prueba es preferible que haya un observador en cada uno de los pozos de observación y en el de control. Después de los 300 minutos las mediciones se harán con espacios de tiempo de 100 minutos o más entre sí; en ese caso, podrá utilizarse un solo observador para tomar toda la información, ya que le resultará relativamente fácil trasladarse a los distintos lugares en un tiempo relativamente corto; eso sí, las mediciones deberá hacerlas siempre siguiendo una misma secuencia.

Aunque no es totalmente imprescindible medir todos los pozos simultáneamente, sí es conveniente conseguir una separación uniforme de los abatimientos en la escala logarítmica del tiempo. El tiempo anotado para cada observación debe ser el real. Todos los cronómetros utilizados deben sincronizarse antes de iniciar las pruebas y deben tomarse las precauciones necesarias para que cada observador sea notificado en el instante en que comenzó la prueba.

Como ya hemos visto anteriormente, en el pozo de bombeo es necesario tener en cuenta las pérdidas que pueden ocurrir aparte de la correspondiente a la resistencia del acuífero, por eso es imprescindible tener toda la información relativa a las características de construcción de dicho pozo.

Durante la realización de la prueba deben anotarse todos los detalles que permitan posteriormente identificar cualquier aberración en las observaciones de los niveles. Cuando se quiera utilizar el método de recuperación, deberá medirse el nivel del agua a partir de que cese el bombeo, haciendo también 8 a 10 mediciones por ciclo logarítmico.

## **Medición del caudal**

El caudal obtenido en el pozo principal se mide normalmente haciendo pasar el flujo por una restricción, para la cual se conoce la curva de calibración. En los manuales de hidráulica hay abundancia de descripciones y calibraciones de este tipo de dispositivos. En caso de no poder contarse con dispositivos semejantes, puede utilizarse un recipiente previamente tarado en el que se medirá el tiempo de llenado del mismo.

En las pruebas a caudal constante es importante medirlo periódicamente y ajustarlo en caso necesario. La frecuencia de medición y ajuste del caudal durante una prueba depende de la bomba, el pozo, el acuífero y las características de la energía disponible. No obstante, es recomendable que durante la primera hora de bombeo el caudal se mida por lo menos 3 veces, y se ajuste en caso necesario, ya que en ese espacio de tiempo es cuando más rápidamente crece el abatimiento y por consiguiente la carga de bombeo.

A partir de la primera hora de bombeo, deberá medirse y ajustarse con intervalos de 100 minutos a 200 minutos coincidiendo con alguno de los momentos en que se realicen observaciones del nivel. En todos los casos se tendrán los cuidados necesarios para mantener el caudal dentro del rango deseado, y no debe permitirse que varíe por encima de -- 10%, ya que mayores variaciones producirían aberraciones en los abatimientos que son muy difíciles de tratar en el momento en que vayan a analizarse los datos tomados durante la prueba.

Debe tomarse nota de cualquier cosa que pueda resultar de interés posteriormente, cuando los datos de la prueba vayan a ser analizados. Cuando la prueba requiera cambios en el caudal, como en las pruebas con abatimiento escalonado, la descarga de la bomba debe poder regularse por una válvula de cuña para ajustarse rápida y fácilmente a los distintos caudales programados.

### **3. ECUACIONES BASICAS PARA EL ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE BOMBEO**

#### **3.1 INTRODUCCION. IMAGEN GENERAL DEL FLUJO RADIAL HACIA UN POZO**

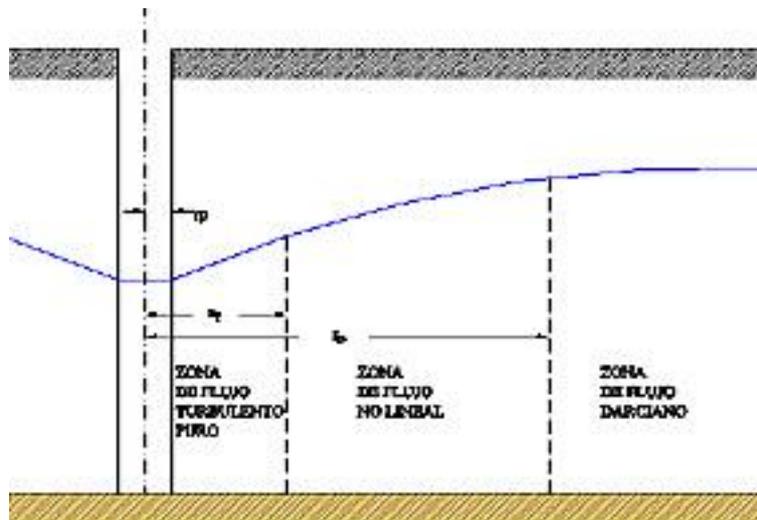
Según el agua se mueve desde el radio de influencia hacia el centro de un pozo, aumentará el gradiente para poder aumentar la velocidad en proporción a la disminución del área cilíndrica a través de la cual fluye el agua. Este aumento de velocidad implica un aumento del número de Reynolds según se esté más cerca del pozo, lo que da lugar a la posibilidad de que aún cuando el régimen en las zonas más alejadas sea darciano, cambie a no lineal (se desvíe de la ley de Darcy) en una región más o menos cercana al pozo. Esto estará en función del caudal extraído y de las características hidrogeológicas del acuífero.

Es lógico que de existir desviaciones de la ley de Darcy, éstas se hagan más evidentes en el propio pozo o en la zona de acuífero inmediata a él.

Sin embargo, en general ha sido costumbre atribuir las desviaciones de la ley de Darcy observadas en los pozos a pérdidas de carga producidas por el paso del agua a través de su estructura (empaquete de gravas, rejilla y camisa), considerándose que en el acuífero propiamente dicho, sólo ocurre flujo lineal o darciano.

Este punto de vista no es válido como criterio general ya que se ha comprobado que en la práctica, tanto en acuíferos de alta como baja conductividad hidráulica, en zonas más o menos alejadas del pozo de bombeo, se producen desviaciones importantes de la ley de Darcy y se presenta el flujo no lineal (6,10). O sea que el análisis del flujo hacia los pozos deberá hacerse siempre partiendo del enfoque no lineal.

Lo anterior implica que pueden aparecer alrededor del pozo de bombeo los distintos regímenes de circulación del agua subterránea (desde el darciano al turbulento puro), pero, ¿cómo determinar en forma sencilla las zonas en que ocurren los diferentes tipos de flujo y los límites que las separan? De acuerdo con lo propuesto por Pérez-Franco (8), si se tiene en cuenta que para un caudal determinado,  $Q$ , la velocidad aumenta según disminuye el área de flujo hacia el centro del pozo, la imagen más completa del flujo alrededor del mismo, debería concebirse como formada por un máximo de tres zonas, tal como aparece en la figura 3.1, que van de flujo turbulento puro en la zona más cercana al pozo, hasta flujo darciano en la zona más alejada, pasando por una intermedia de flujo no lineal. De acuerdo con las características del acuífero y el caudal extraído, en algunos casos existirá una sola zona: la lineal o darciana; en otros, dos zonas: la lineal y la no lineal, y en otros las tres zonas.



**Fig.3.1**  
**Zonas de flujo alrededor de un pozo**

El límite entre las zonas de flujo no lineal y lineal, está definido por el llamado radio de Darcy,  $r_D$ , que se expresa como (8):

$$r_D = \frac{Q}{0,1\pi m} \cdot \frac{K_D}{K_T^2} = \frac{Q}{0,1\pi} \cdot \frac{T_D}{T_T^2} \quad (3.1)$$

El límite entre las zonas de flujo no lineal y turbulento puro, está definido por el llamado radio turbulento,  $r_T$ , que se expresa como (8):

$$r_T = \frac{Q}{38\pi m} \cdot \frac{K_D}{K_T^2} = \frac{Q}{38\pi} \cdot \frac{T_D}{T_T^2} \quad (3.2)$$

Por comparación entre las ecuaciones 3.1 y 3.2 resulta:

$$r_D = 380 r_T \quad (3.3)$$

Comparando los valores de  $r_D$  y  $r_T$  con el del radio del pozo,  $r_P$ , puede definirse fácilmente el número y tipos de zonas existentes y la imagen completa del flujo alrededor del pozo para el caudal correspondiente. De ese modo:

Si  $r_D > r_P$  y  $r_T > r_P$  existirán las tres zonas de flujo

Independientemente del número de zonas de flujo que puedan distinguirse alrededor del pozo, basta que  $r_D$  sea mayor que  $r_P$  para que haya que aplicar necesariamente el enfoque no lineal para analizar el flujo hacia el pozo. Por otra parte, si se utiliza el enfoque no lineal y el flujo es darciano en todo el campo, el propio proceso de cálculo lo indicará sin dar origen a ninguna dificultad en el análisis. Es por eso que se recomienda utilizar siempre el enfoque no lineal.

También se acostumbra hablar de métodos de equilibrio y métodos de no equilibrio (flujo impermanente). Realmente, si se hace un ensayo de bombeo, no cuesta ningún trabajo anotar las informaciones pertinentes que ocurren a través del tiempo y aprovechar las inmensas ventajas que se derivan de usar los métodos que se basan en flujo impermanente. Es por eso, que las ecuaciones que se presentan para analizar los distintos tipos de acuíferos solamente serán para flujo impermanente, que de hecho contienen en sí como casos particulares los que corresponden a flujo permanente (condiciones de equilibrio).

La duración de los ensayos para la mayoría de los propósitos no tiene que pasar de 8 a 10 horas y sólo deben prolongarse cuando se haga necesario discriminar la existencia de fronteras geológicas que limitan el acuífero, ya sean éstas positivas o negativas.

En todos los casos el abatimiento estará formado por una componente lineal o darciana y una componente turbulenta (3, 10).