

CI 51J AGUAS SUBTERRANEas - SEMESTRE OTOÑO 2009
EJERCICIOS PROPUESTOS

Junio de 2009

Pregunta #1 C2 2003 - 01

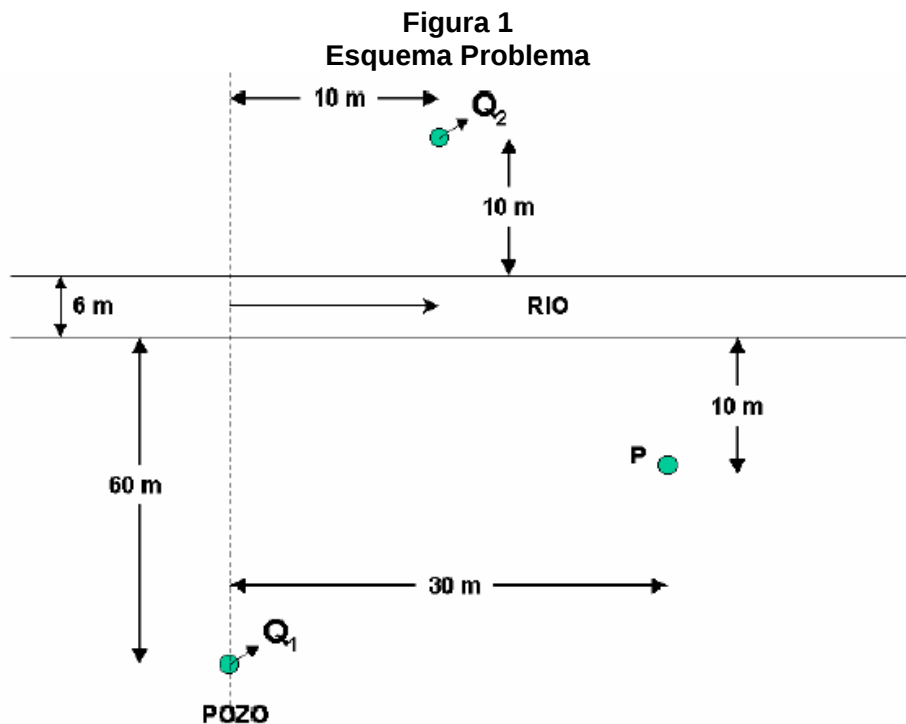
A ambos lados de un río se construyen dos pozos de bombeo que penetran completamente una napa confinada, la que se encuentra conectada directamente al río. Desde cada pozo se extrae un caudal de 15 l/s, suspendiéndose el bombeo al cabo de 2 horas de iniciado. El nivel piezométrico inicial es horizontal e igual a 60 m.

La depresión del nivel piezométrico observada en el punto P, al cabo de 1 hora de bombeo es igual a 0.80 m, mientras que la máxima depresión observada en ese mismo punto es igual a 2.06 m. Al cabo de 30 minutos de iniciado el bombeo el pozo de observación no muestra ninguna señal de descenso o ascenso del nivel.

A partir de la información anterior se les pide:

- Determinar el tiempo exacto en el cual el efecto del bombeo desaparece completamente en el pozo de observación ubicado en el punto P.
- Determinar las propiedades hidrogeológicas del sistema acuífero.
- Esquematizar la forma en que se modifica el nivel piezométrico a través del tiempo.

Identifique puntos clave. Comente sus resultados.



Pregunta #2 C2 2003 - 01

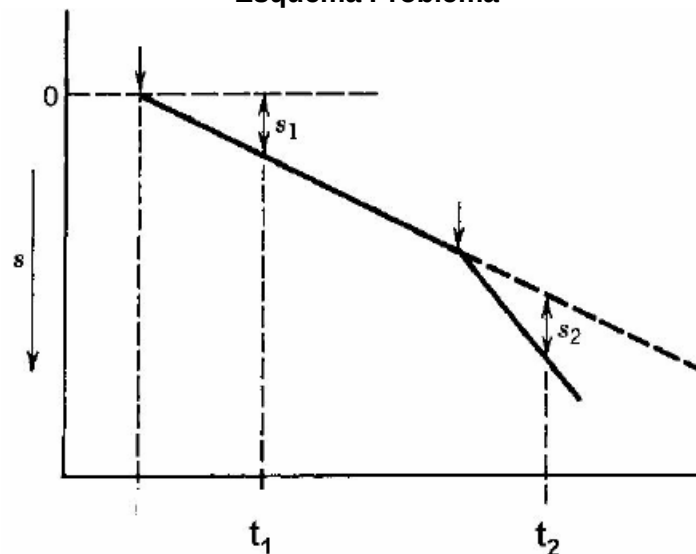
El diagrama que se muestra a continuación describe los resultados de una prueba de bombeo sobre un pozo de observación. Los datos en la escala temporal se presentan en escala logarítmica. La información que se entrega es la siguiente:

- Transmisividad: 930 m²/día
- Almacenamiento: 0.0001
- Distancia entre el pozo de bombeo y el de observación es de 300 m.
- Tiempo en el cual se mide el descenso s_1 es de 0.1 día (ver Figura).
- Tiempo en el cual se mide el descenso s_2 es de 10 días (ver Figura).
- El descenso s_2 es el doble del descenso s_1 .
- El descenso s_2 es de 1.5 m.

A partir de la información anterior:

- Determine la distancia, desde el pozo de observación, a la cual se encuentra un pozo imagen que es causante de este efecto.
- ¿Cuál es el caudal de bombeo utilizado en esta prueba?

Figura 2
Esquema Problema



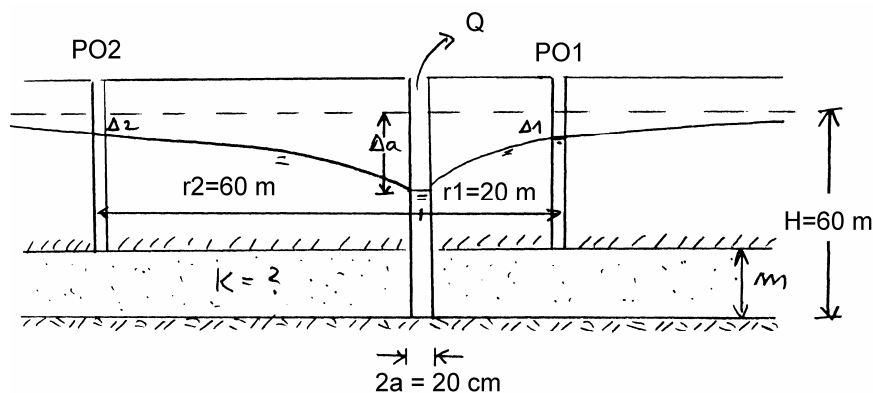
Problema #4

Se tiene un sistema acuífero confinado de espesor $m=6.5$ m, al cual se le desea determinar su permeabilidad K . Para ello se dispone de un pozo de bombeo y dos pozos de observación, según se indica en la figura. Si el caudal de extracción es $Q = 20$ l/s = constante y se realizan las siguientes mediciones:

- | | | |
|------|--------------------|--------------------|
| i) | $\Delta_a=42$ m | $\Delta_1=16.80$ m |
| ii) | $\Delta_a=42$ m | $\Delta_2=11.13$ m |
| iii) | $\Delta_1=16.05$ m | $\Delta_2=10.68$ m |

- Calcule la permeabilidad del acuífero que resulta de cada par de mediciones.
- Si la ley de Darcy se cumple para $Re \leq 1$, sabiendo que el acuífero es de gravilla de $d = 5$ mm y la viscosidad cinemática del agua vale $\nu = 1.02 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, calcule la distancia mínima r del pozo para la cual es válida dicha ley en el sistema de estudio.
- De acuerdo al resultado anterior, indique cuál es la permeabilidad calculada en a) que mejor representa al acuífero. Fundamente su respuesta.
- Evalúe el error cometido en el cálculo de las otras dos permeabilidades ¿Es importante?. Discuta.

Figura 3
Patrón de Bombeo



Problema #5

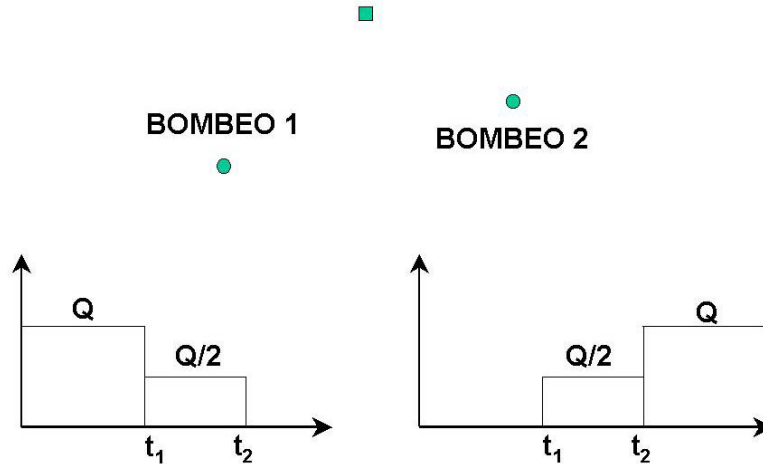
Se desea determinar el descenso del nivel piezométrico en un pozo de observación ubicado en la posición indicada en la Figura 4. El acuífero se puede considerar de características confinadas, con una conductividad hidráulica de 4 m/día, un espesor confinado de 30 m, y un coeficiente de almacenamiento igual a 0.0005. La regla de operación de dos pozos de bombeo localizados en la zona de estudio se esquematiza en la Figura 1 (t_1 y t_2 iguales a 240 y 420 minutos, respectivamente). Ambos pozos de bombeo tiene una diámetro similar e igual a 40 cm, y su caudal de bombeo máximo es igual a 100 l/s.

La ubicación de los pozos de bombeo y de observación se indica en la Tabla 1.

Tabla 1

Tipo de Pozo	x (m)	y (m)
Bombeo, 1	100	100
Bombeo, 2	170	110
Observación, B	130	140

Figura 4
Patrón de Bombeo y Ubicación Pozos de Bombeo
OBSERVACION



Suponiendo que la aproximación de Jacob es válida para determinar el descenso de nivel piezométrico en el pozo de observación, se pide lo siguiente:

- Esquematice el descenso de nivel piezométrico en el pozo de observación
- Determine puntos característicos para el diagrama identificado en el punto anterior.

Problema #6

Se desea determinar el descenso del nivel piezométrico en los dos pozos de bombeo ubicados en la posición indicada en la Figura 5. El acuífero se puede considerar de características confinadas, con una conductividad hidráulica de 5×10^{-5} m/s, un espesor confinado de 20 m, y un coeficiente de almacenamiento igual a 0.0005. Los diámetros de los pozos de bombeo A y B son 40 cm y 50 cm, respectivamente. Considere que el radio de influencia para ambos pozos es de 1500 m.

Considere que el pozo de bombeo A comienza a operar en $t=0$, mientras que el pozo de bombeo B lo hace 100 minutos más tarde. Los caudales de bombeo de los pozos A y B son iguales a 50 l/s y 80 l/s, respectivamente.

Determine los descensos de nivel piezométrico en las posiciones de los pozos de bombeo, A y B, en los tiempos 200 minutos y 400 minutos a partir del inicio del bombeo en el pozo A.

Compare las depresiones que se obtiene al utilizar la solución completa de Theis y la solución aproximada de Jacob. Comente las diferencias. Esquematice la variación temporal de las depresiones observadas en ambos pozos.

Un pozo de bombeo, localizado en la posición 1 (ver Figura 6), se ha operado en forma continua durante cerca de un año extrayendo un caudal de 100 l/s. La medición sistemática de los niveles freáticos en un pozo de observación, ubicado en la posición 0, muestra que el sistema acuífero alcanzó un equilibrio al final del segundo mes de operación, luego de lo cual el nivel freático se estabilizó a 1.5 m con respecto al nivel freático inicial. La margen izquierda del río se encuentra paralela al eje y, en la posición $x=550$ m.

Previo al inicio del bombeo el nivel freático del sistema acuífero se encontraba a 10 m de profundidad. La profundidad de perforación del pozo de bombeo es de 70 m (medida desde la superficie del terreno). La información geológica correspondiente a esta zona no es muy completa por lo cual existe incertidumbre acerca de la posición del basamento rocoso sobre el cual se apoya este acuífero de características no confinadas. A este respecto, existen dos hipótesis diferentes acerca de la conceptualización del sistema acuífero:

Hipótesis A: Basamento rocoso se encuentra ubicado a 70 m de profundidad, es decir coincidente con la profundidad del pozo, con lo cual se puede considerar que las líneas de flujo hacia el pozo son radiales y las equipotenciales son cilíndricas.

Hipótesis B: Basamento rocoso se encuentra situado a más de 300 m de profundidad, con lo cual el pozo captaría principalmente desde el fondo. De acuerdo a lo anterior, las líneas de flujo serían radiales y las equipotenciales esféricas.

- CI51J HIDRÁULICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SU APROVECHAMIENTO
SEMESTRE OTOÑO 2009
CARLOS ESPINOZA C.
UNIVERSIDAD DE CHILE

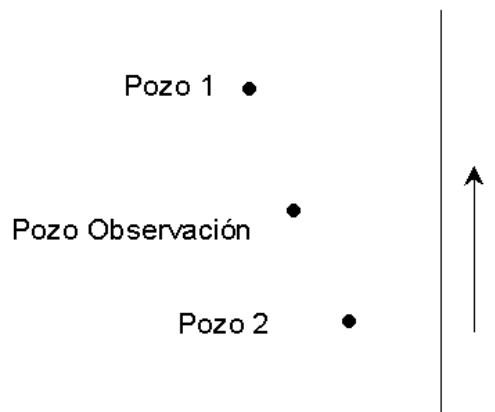
- b) Si un segundo pozo, localizado en la posición 2, será construido y operado en este sistema acuífero, determine el descenso del nivel freático que se observaría en el pozo de observación una vez que el sistema alcance una situación de equilibrio.
- c) Si Ud. es la autoridad administrativa que debe otorgar la aprobación al funcionamiento del segundo pozo, ¿A cuál de las dos hipótesis de trabajo le asignaría mayor valor?, ¿Porqué?, ¿Cuál sería su elección si Ud. representara a la empresa que desea operar el pozo? Discuta su respuesta.

La información básica para este problema se indica en la Tabla 2.

Tabla 2
Información Básica de Pozo de Bombeo Existente, Proyectado y de Observación

Pozo o Río	Caudal (l/s)	x (m)	y (m)	r_w (m)
1	100	400	290	0.30
2	150	480	170	0.25
OBSERVACION		450	220	0.10
RIO		550		

Figura 6
Esquema de Sistema en Estudio (Planta)



Problema #8

En un sistema acuífero libre se perforó un pozo de bombeo que lo atraviesa completamente y desde el cual se extrae un caudal Q , en condiciones permanentes (ver Figura 7). A nivel de terreno se realizan actividades de regadío lo que produce una infiltración neta sobre el sistema acuífero. La base de este acuífero libre se encuentra apoyada sobre un basamento impermeable. Considere que el radio del pozo es igual a r_w . Estudios estratigráficos muestran que este acuífero está compuesto por dos estratos horizontales de permeabilidades muy distintas.

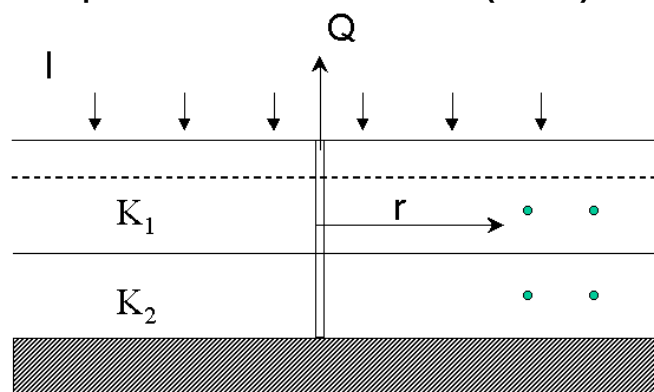
- a) Utilizando un volumen de control adecuado a las características del flujo de agua subterránea derive una ecuación diferencial que describa la variación de nivel freático a través de la zona de estudio. Justifique todos los supuestos que estime conveniente incorporar.

- b) Determine una expresión para la variación del nivel freático con respecto a la dirección radial. Considere que el nivel original del agua en el acuífero es H_0 , y que la depresión del nivel freático en el pozo de bombeo ocasionada por un caudal Q es igual a Δ . Indique todos los supuestos que incorpora en su análisis.
- c) Suponiendo que la tasa de infiltración sobre la zona de riego es constante e igual a I , determine la o las posiciones en las cuales se ubiquen divisorias de aguas. Discuta su resultado.
- d) Esquematice la variación del nivel freático a lo largo de la dirección radial. Esquematice la variación de la velocidad del agua subterránea en cada estrato acuífero.
- e) Si se tienen cuatro partículas de contaminante situadas a 40 m y 90 m desde el pozo de bombeo, una de ellas en la posición intermedia del estrato inferior y la otra en una posición intermedia del estrato superior, identifique la dirección hacia la cual se moverá cada una de ellas. ¿Cuál alcanzará el pozo de bombeo en primer lugar? Justifique sus resultados.

Tabla 3
Información Básica

Parámetro	Valor	Unidad
Permeabilidad, K_1	5×10^{-6}	m/s
K_2	5×10^{-5}	m/s
Coeficiente de Almacenamiento, S	0.001	
Porosidad, n	0.4	
Tasa de riego, I	1.3×10^{-5}	m/s
Caudal de bombeo, Q	200	l/s
Radio del pozo, r_w	20	cm
Nivel freático inicial, H_0	60	m

Figura 7
Esquema de Sistema en Estudio (Planta)



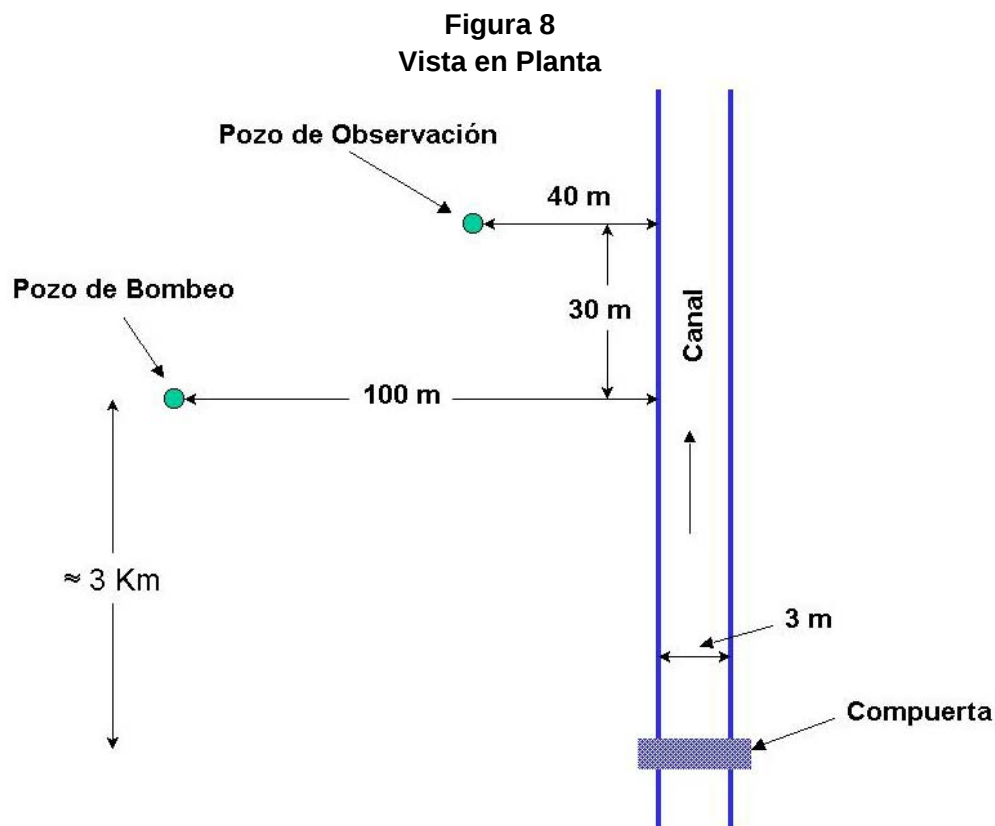
• Partículas

Problema #9

Un pozo de bombeo se encuentra localizado en un valle, el que es atravesado por un canal de riego sin revestir que durante la época de verano se encuentra normalmente con agua y conectado directamente a la napa. Tres kilómetros aguas arriba de la ubicación del pozo de bombeo se encuentra una compuerta que permite desviar toda el agua del canal hacia un valle aledaño. Las pruebas de bombeo realizadas en este pozo indican que el acuífero principal es libre con un valor de transmisibilidad igual a $600 \text{ m}^2/\text{día}$ y un coeficiente de almacenamiento igual al 1%. El radio del pozo es igual a 20 cm y su radio de influencia es de 400 m. El espesor saturado de este sistema acuífero se estima igual a 60 m y no existe flujo natural antes del inicio del bombeo.

Luego de 48 horas detenido, el pozo de bombeo comienza a operar en forma continua a partir de las 10:00 horas, extrayendo un caudal de 25 l/s. El canal de riego ha estado operando en forma ininterrumpida durante las tres semanas anteriores. A las 13:00 horas se produce un cierre brusco de la compuerta en el canal de riego, por lo que es posible suponer que en forma instantánea el canal se secaría completamente (en la realidad este proceso es más lento).

Determine (calcule), en forma aproximada, el descenso del nivel freático en un pozo de observación situado aguas abajo del pozo de bombeo (ver Figura 8), en los siguientes tiempos desde el inicio del bombeo: 2 horas y 6 horas. En forma complementaria esquematice el descenso del nivel freático en el pozo de observación, indicando puntos característicos. Justifique claramente todos los supuestos e hipótesis que realice para desarrollar este problema.



Problema #10

En un recinto de una planta de abastecimiento de agua potable existen dos pozos de bombeo (P1 y P2) que penetran completamente una napa confinada de 40 m de espesor. Un pozo de observación (P0) fue utilizado para verificar el efecto del bombeo desde ambos pozos simultáneamente.

La prueba de bombeo se inició a las 8:00 AM del Día 1 con el bombeo simultáneo desde los pozos P1 y P2. El pozo P1 se mantuvo bombeando durante 160 minutos un caudal de bombeo de 100 l/s, luego de lo cual se detuvo. Por su parte, el pozo de bombeo P2 funcionó durante 96 horas de manera ininterrumpida con un caudal de 50 l/s. Previo al inicio del bombeo el acuífero estaba sin afectación y con su nivel piezométrico horizontal.

Por un requerimiento de la DGA (Dirección General de Agua), durante la operación del pozo P2 se transportó el agua hacia un pozo P3 y fue reinyectada directamente al acuífero. No existe un registro de la ubicación de dicho pozo, pero considere que el tiempo de conducción del agua hacia el pozo de inyección es despreciable. Durante toda la operación del pozo P2 se reinyectó el agua en el pozo P3. El Pozo P3 se encuentra alineado con los pozos P1 y P0, según se muestra en las coordenadas indicadas en la Tabla 4.

El registro de la prueba de bombeo en el pozo de observación P0 se presenta en la Figura 9, indicándose en la Tabla 5 los puntos de mayor interés.

Determinar, utilizando sólo los registros de la prueba de bombeo la siguiente información:

- La conductividad hidráulica de la napa en m/día y su coeficiente de almacenamiento.
- La ubicación aproximada del pozo P3 (distancia desde el pozo P0?).
- Si sólo se bombeara el pozo P1 un caudal de 80 l/s durante un período de 24 horas, cuál sería el máximo descenso del nivel de agua en los pozos P2, P0 y P3? Considere que inicialmente el nivel de agua en el acuífero está horizontal, y a 10 m de profundidad.

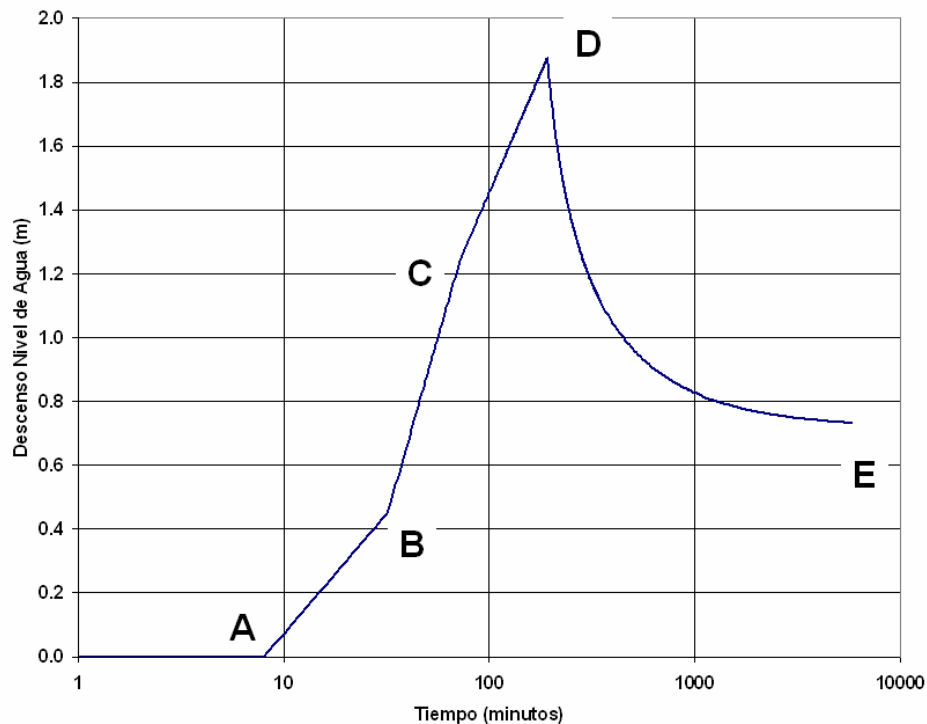
Tabla 4
Ubicación Pozos de Bombeo, Observación e Inyección

POZO	X (m)	Y (m)
P1	0	100
P2	100	150
P3	¿?	100
P0	100	100

Tabla 5
Información de Descenso del Nivel Piezométrico Medida en Pozo de Observación

PUNTO	Tiempo (minutos)	Depresión Nivel Piezométrico (m)
A	8	0.00
B	32	0.45
C	72	1.24
D	192	1.88
E	5760	0.73

Figura 9
Descensos en Pozo de Observación P0



Problema #11

Un pozo de bombeo recién construido ha sido ensayado mediante una prueba de caudal variable y otra de caudal constante para determinar las pérdidas de carga del mismo y las propiedades hidrogeológicas del acuífero. El radio del pozo de bombeo es de 20 cm y su radio de influencia es 400 m.

Para la prueba de caudal variable sólo se cuenta con la medición del descenso en el pozo de bombeo una vez que se estabilizó el descenso con cada caudal de extracción. Para el caso de la prueba de bombeo de caudal constante se dispone del registro en un pozo de observación ubicado a 250 m.

En la Tabla 6 se indican los resultados de la prueba de caudal variable, mientras que en la Tabla 7 se presentan los resultados de la prueba de caudal constante en el pozo de observación.

Tabla 6
Resultados Prueba de Caudal Variable

Caudal, Q (l/s)	Descenso, s (m)
20	4.4
40	13.6
60	24.8
80	38.6

Tabla 7
Resultados Prueba de Caudal Constante (Q = 75 l/s)

Tiempo (minutos)	Descenso (m)	Tiempo (minutos)	Descenso (m)	Tiempo (minutos)	Descenso (m)
3.5	0.11	12.4	0.64	100	2.15
5.0	0.24	16.5	0.82	200	2.58
6.2	0.32	20.0	0.92	320	3.00
8.0	0.40	30	1.21	380	3.12
9.2	0.46	60	1.74	500	3.36

A partir de la anterior se pide:

- Determinar la condición del pozo de bombeo según lo que se indica en la Figura 10 y en la Tabla 6.
- Determinar la Transmisibilidad del acuífero de acuerdo con la prueba de caudal variable.
- Determinar las propiedades hidrogeológicas del acuífero utilizando el método de Jacob-Tiempo. Considere un caudal de bombeo de 75 l/s.

Figura 10
Pérdidas de Carga en Pozo de Bombeo

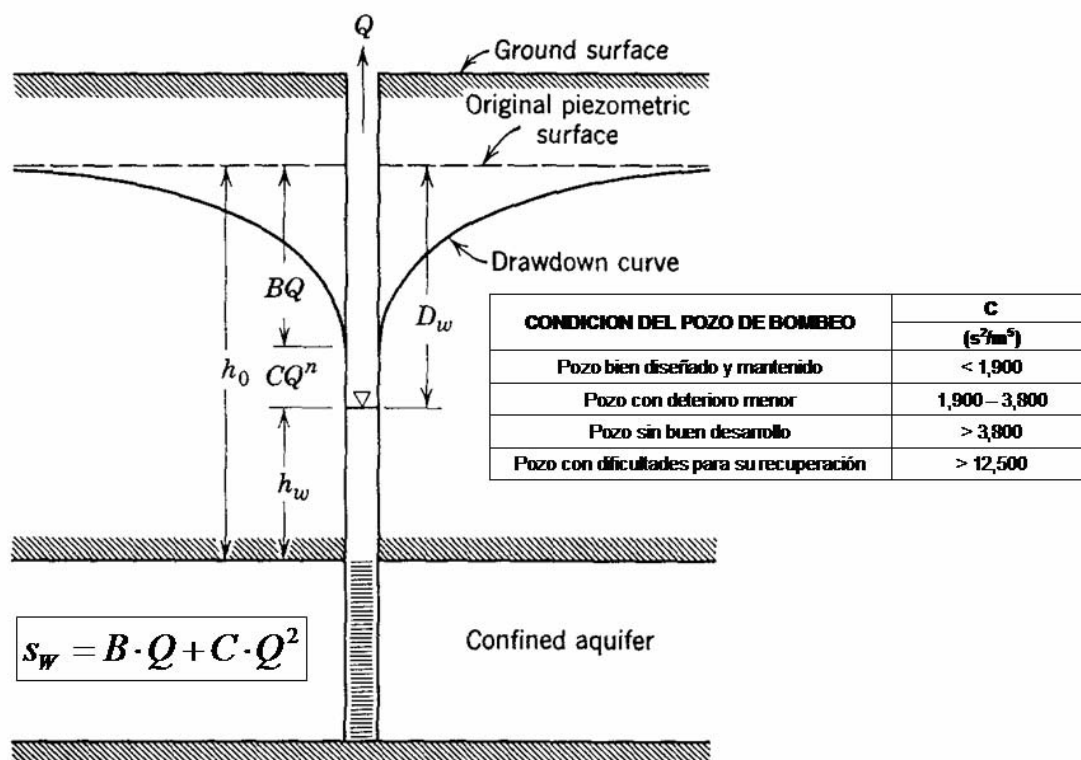


Tabla 7
Condición del Pozo de Bombeo

CONDICION DEL POZO DE BOMBEO	C
	(s ² /m ⁵)
Pozo bien diseñado y mantenido	< 1,900
Pozo con deterioro menor	1,900 – 3,800
Pozo sin buen desarrollo	> 3,800
Pozo con dificultades para su recuperación	> 12,500

EXPRESIONES RELEVANTES PARA EL ANALISIS

Escurrecimiento Radial hacia un Pozo de Bombeo en un Acuífero Confinado

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot K \cdot b \cdot (H - h_w)}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$

Escurrecimiento Radial hacia un Pozo de Bombeo en un Acuífero No Confinado

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot (H^2 - h_w^2)}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$

Escurrecimiento Esférico hacia una Captación Puntual

$$Q = \frac{4 \cdot \pi \cdot K \cdot (H - h_w)}{\frac{1}{r_w} - \frac{1}{R}}$$

Escurrecimiento Semiesférico hacia una Captación Puntual

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot K \cdot (H - h_w)}{\frac{1}{r_w} - \frac{1}{R}}$$

Solución de Theis

$$\Delta(r, t) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot W(u) \quad u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$$

Aproximación de Jacob

$$\Delta(r, t) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{2.24 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S}\right)$$

Aproximación de Jacobi

$$\Delta' = \Delta - \frac{\Delta^2}{2 \cdot H}$$