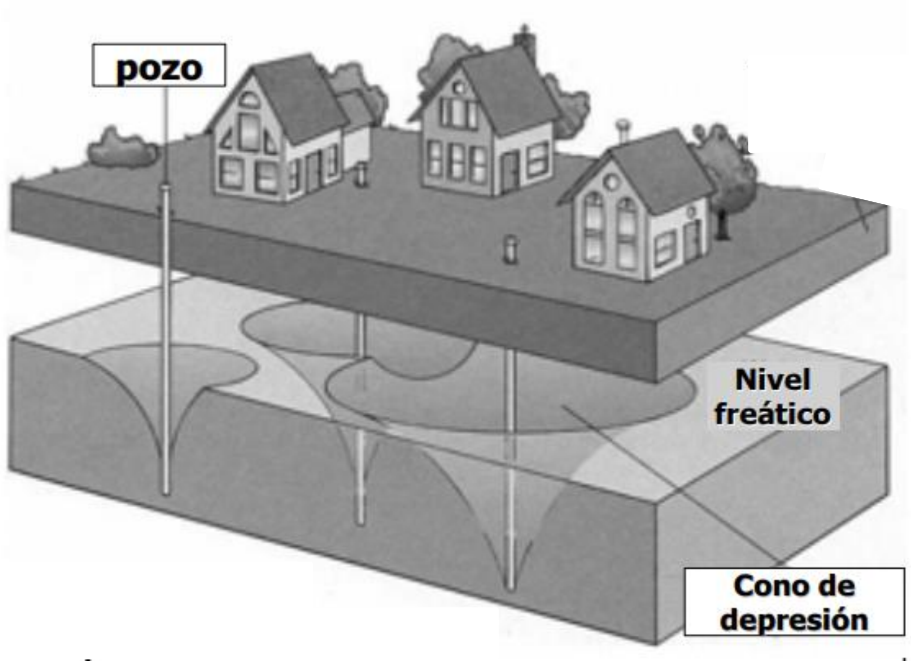
Diseño Hidrológico

Superposición de efectos 1: campos de bombeo y ensayos de recuperación



Edición 2024

Manuel Giménez

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)

Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

mgimenez@fing.edu.uy

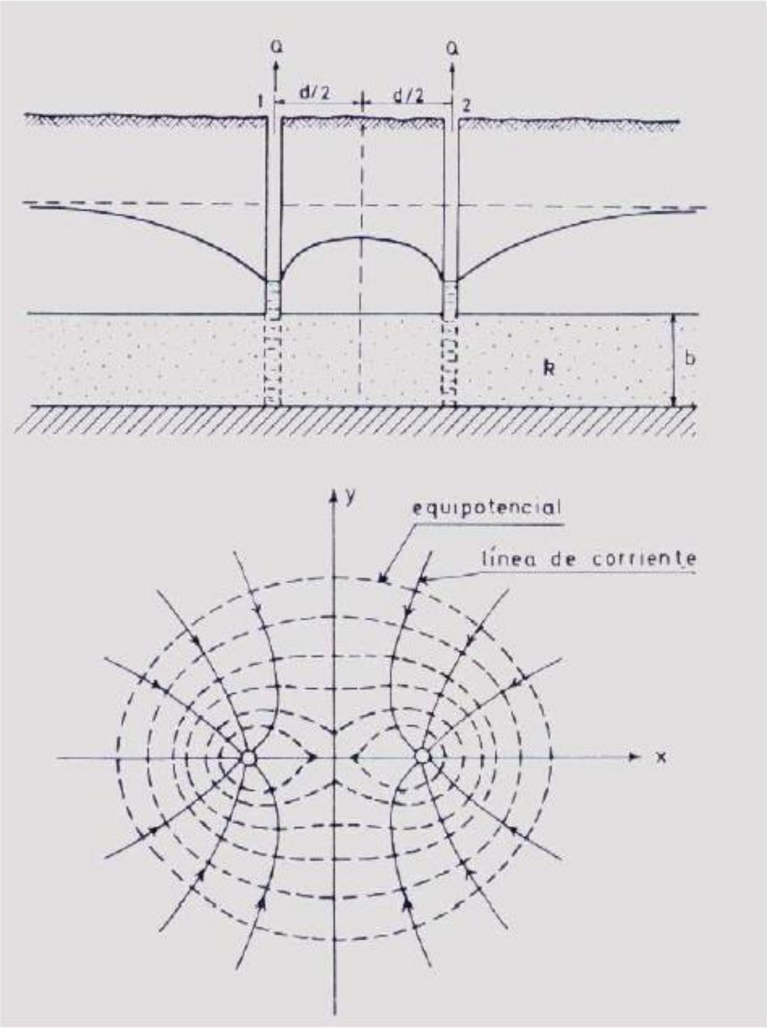
SUPERPOSICIÓN 1: CAMPOS DE BOMBEO Y ENSAYOS DE RECUPERACIÓN

Objetivos

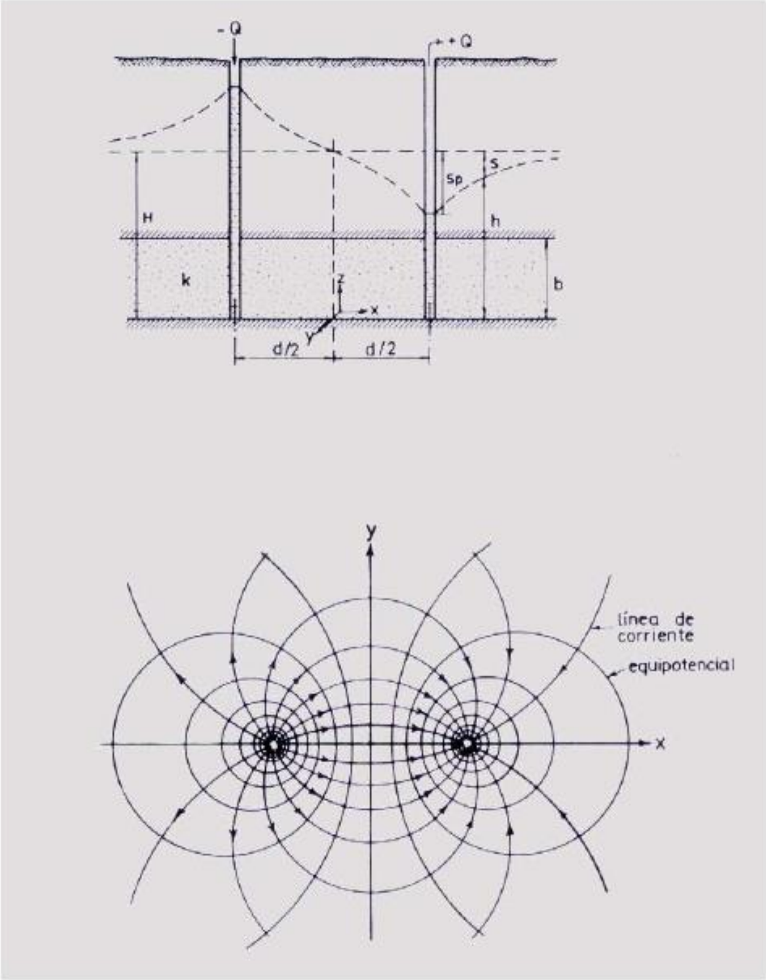
- Aplicar la ley de superposición de efectos en la hidráulica de captaciones.
- Conocer las aplicaciones más comunes de la ley de superposición en hidráulica de captaciones.
- Comprender la resolución de problemas que impliquen múltiples bombeos simultáneos.
- Comprender los principios básicos para diseñar un campo de bombeo.
- Determinar la transmisividad de un acuífero a partir de ensayos de recuperación.

Efecto del bombeo e inyección en dos pozos

Par de pozos de bombeo de igual caudal, y red de flujo que originan



Pozo de bombeo y pozo de recarga de igual caudal, y red de flujo que originan

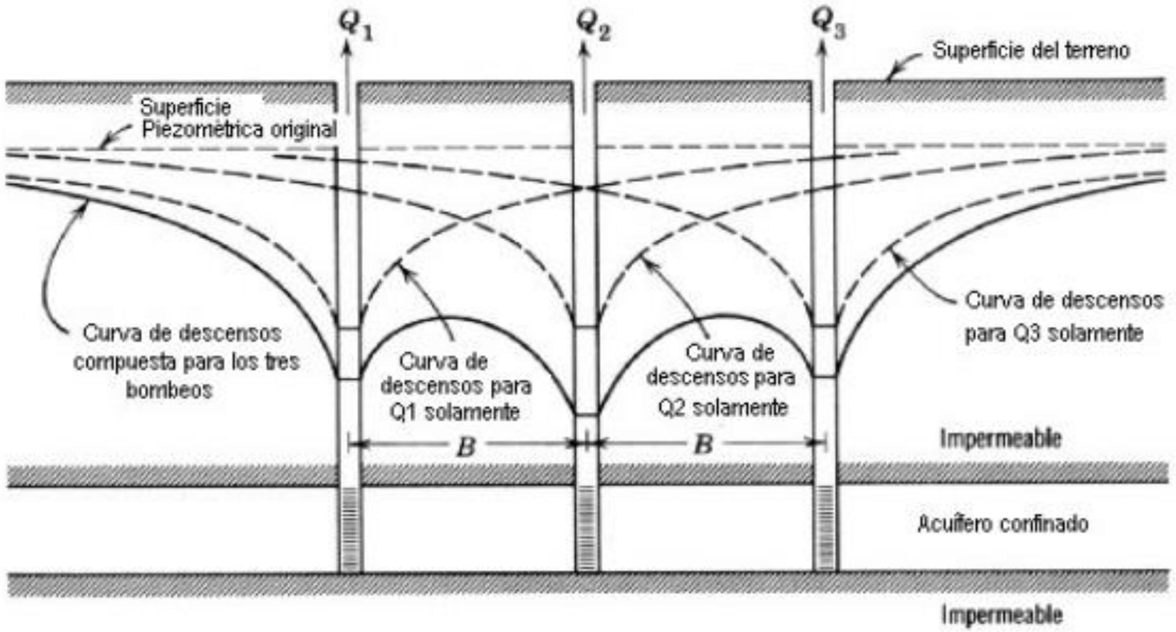


Superposición de efectos

- La ecuación de continuidad (de la cual son solución las ecuaciones de flujo) es diferencial lineal de segundo orden.

- Una combinación lineal de soluciones también es solución

"El **principio de superposición** es una herramienta matemática que permite descomponer un problema lineal en dos o más subproblemas más sencillos, de tal manera que el problema original se obtiene como "suma" de estos subproblemas más sencillos"



Conos de descenso individuales y compuestos para tres pozos en línea.

Superposición de efectos

- Si el acuífero es **confinado o semiconfinado** y estamos en un campo de bombeo, el descenso en un punto es la suma de los descensos provocados por cada uno de los pozos.

$$s = \sum_{i=1}^{n} Q_i \,.\, Z(r_i, t_i)$$

Q_i=caudal bombeado por el pozo i

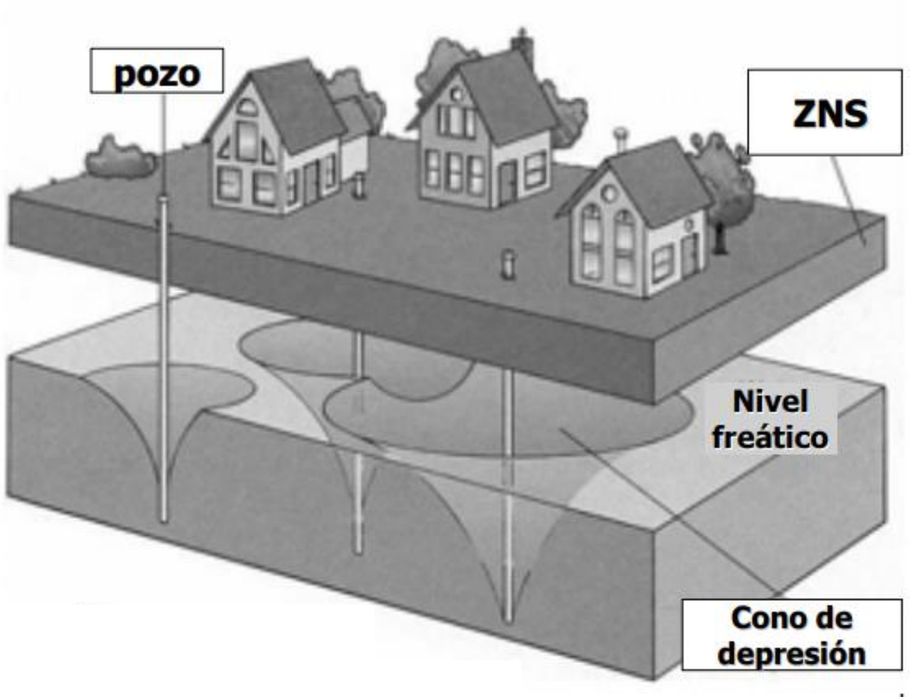
Z= función de descenso

- Si el acuífero es **libre** y los descensos son importantes respecto al espesor saturado, el descenso en un punto se debería determinar a partir de la siguiente fórmula:

$$Ho^2 - H^2 = \sum_{i=1}^{n} Q_i \,.\, Z(r_i, t_i)$$

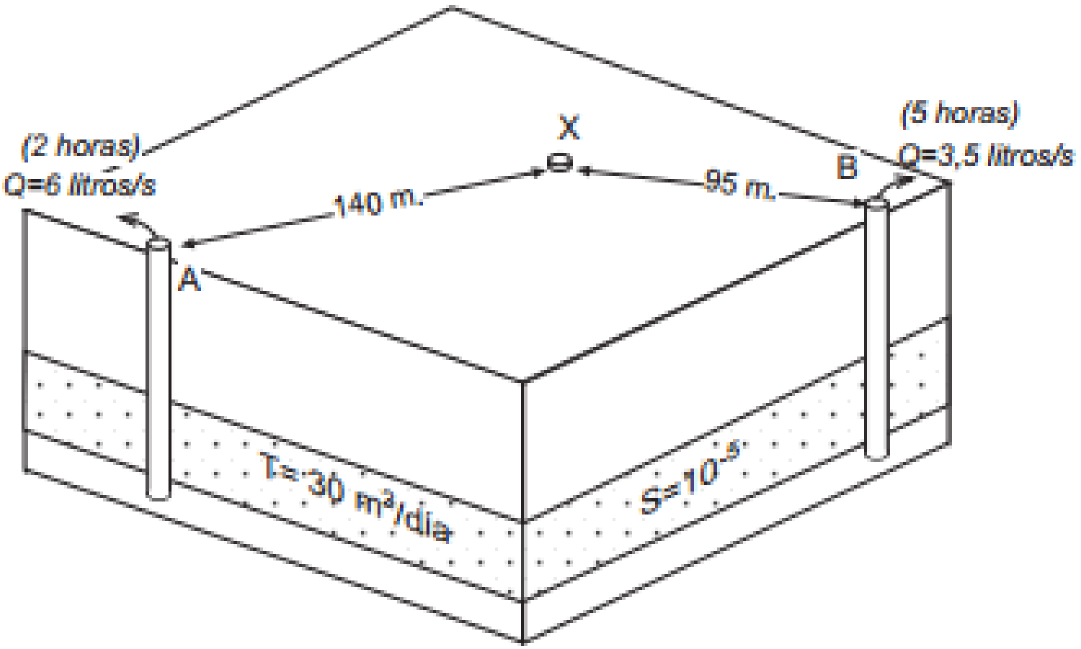
Aplicaciones de la ley de superposición en hidrología subterránea:

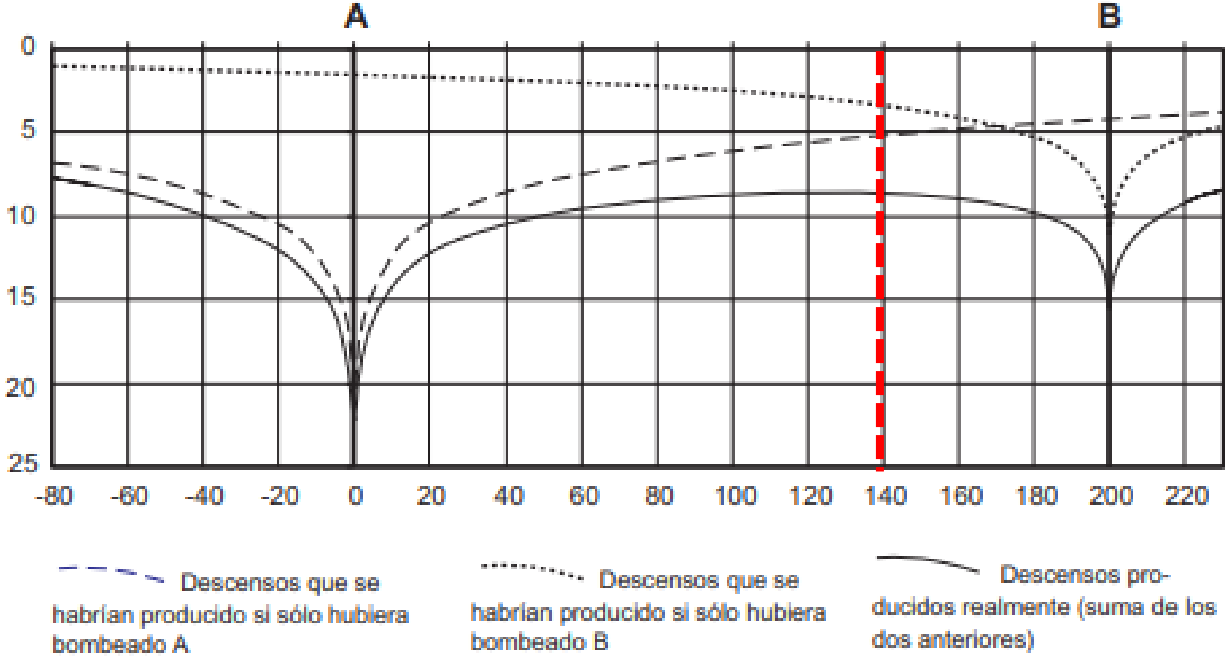
1. Cálculo de descensos en un campo de bombeo. A la inversa también se puede aplicar.
2. Diferencial de extracción.
3. Recuperación de niveles.
4. Teoría de las imágenes.



Cálculo de descensos por suma de bombeos

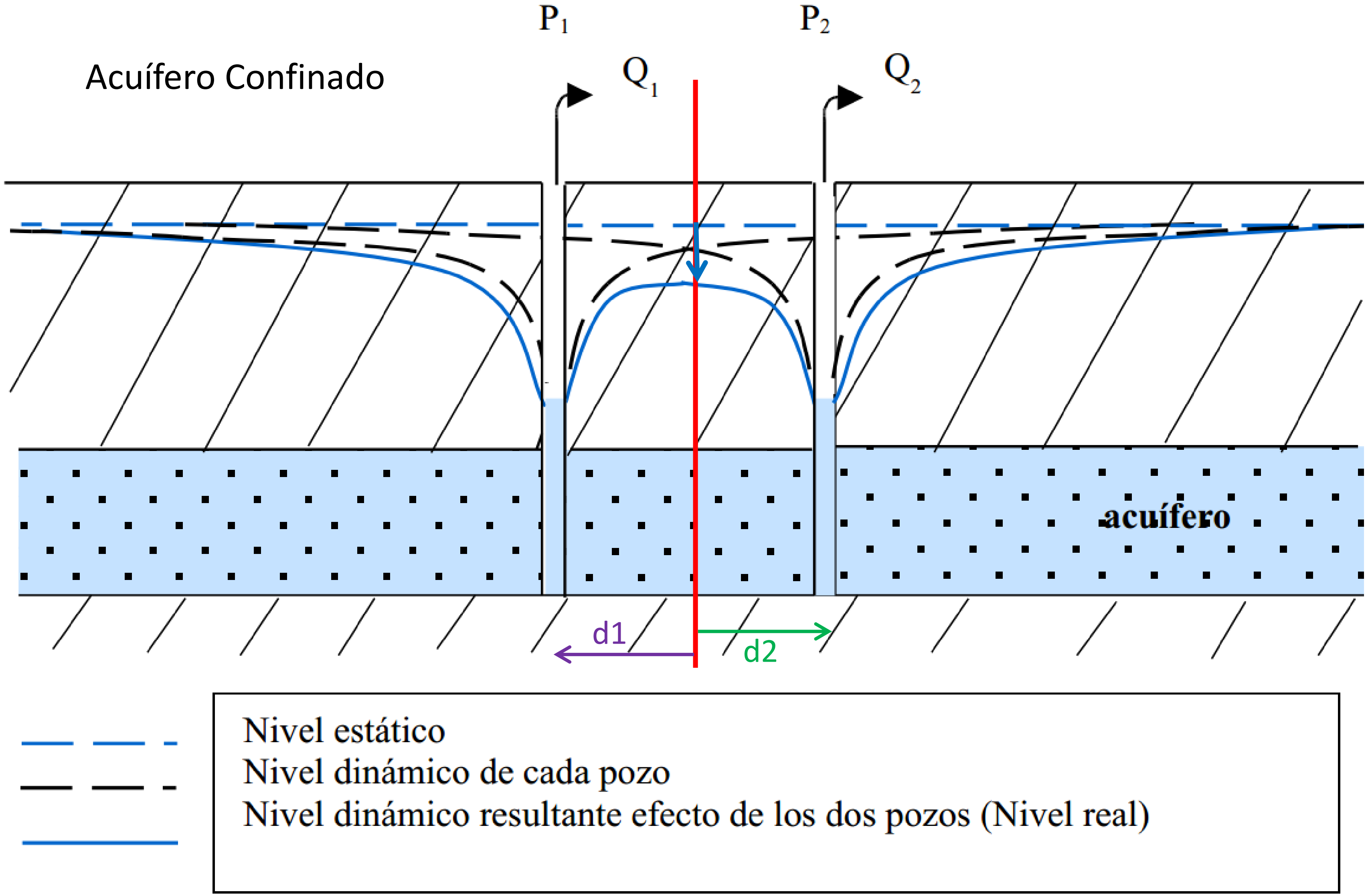
El efecto producido en la superficie freática o piezométrica por dos o más pozos que bombean (o inyectan) es el mismo que la suma de todos los efectos que habrían producido cada uno de los pozos individualmente, como si los otros no existieran.





$$s_x = s_{x(A)} + s_{x(B)}$$

Cálculo de descensos por suma de bombeos



Régimen estacionario:

$$s_{(Q,d)} = s_{(Q1,d1)} + s_{(Q2,d2)}$$

$$s_{(Q,t)} = \frac{Q_1}{2\pi T}\ln\frac{R}{d_1} + \frac{Q_2}{2\pi T}\ln\frac{R}{d_2}$$

Régimen transitorio:

$$s_{(Q,t,d)} = s_{(Q1,t,d1)} + s_{(Q2,t,d2)}$$

$$s_{(Q,t)} = \frac{Q_1}{4\pi T}\ln\frac{2{,}25Tt}{d_1^{\,2}S} + \frac{Q_2}{4\pi T}\ln\frac{2{,}25Tt}{d_2^{\,2}S}$$

Diseño de un campo de bombeo

Necesito extraer un caudal $Q_T > Q_i$ en una superficie de terreno limitada →

¿cuántos pozos con Q_i necesito para satisfacer mi demanda?

¿cuál es el descenso máximo que produciré en el acuífero?

¿de qué parámetros depende el descenso máximo del campo de bombeo?

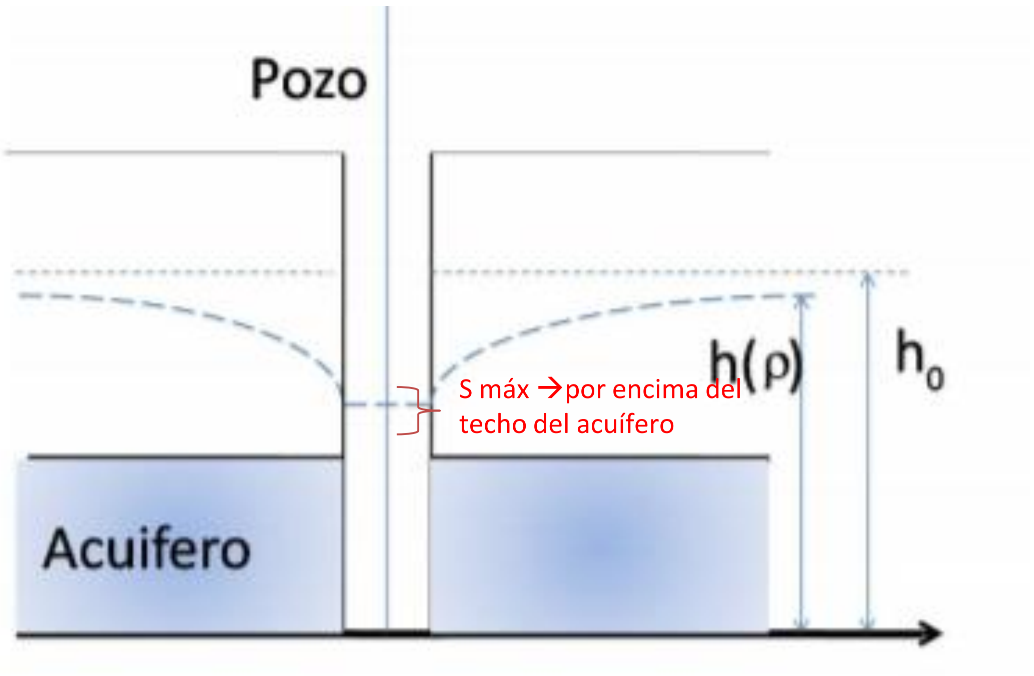
¿dónde se dará ese descenso máximo?

¿tengo alguna limitante de descensos máximos que deba considerar?

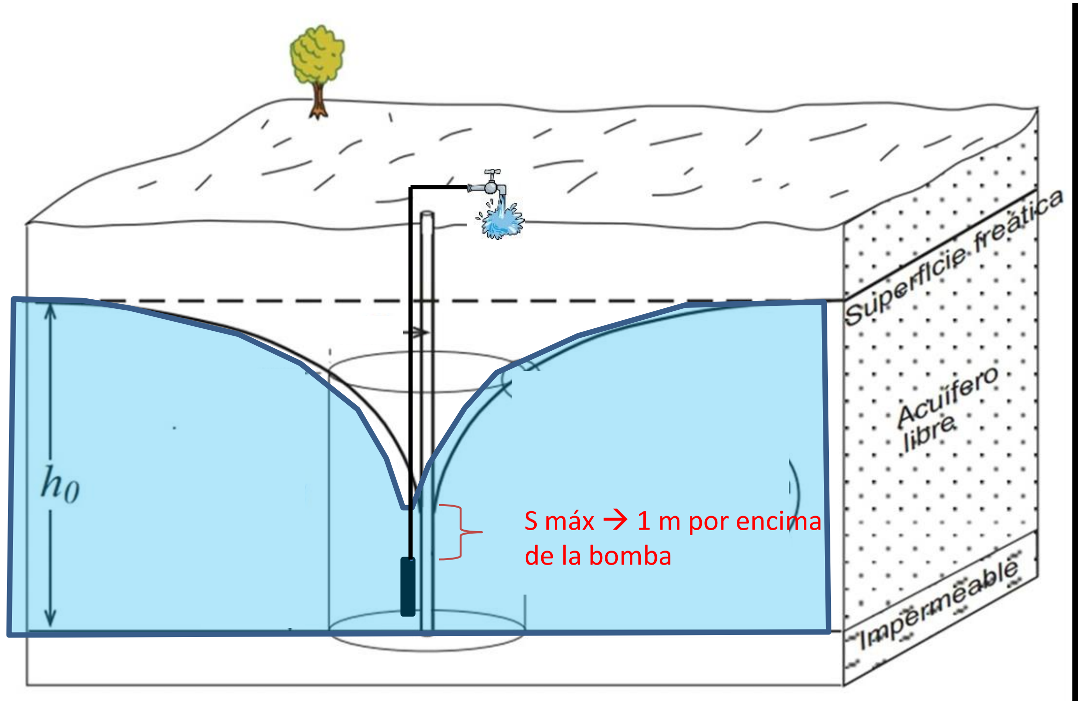
¿los Qi en cada pozo pueden ser diferentes? ¿qué efectos conllevaría?

Criterios para descensos máximos

Acuífero Confinado



Acuífero Libre

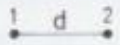
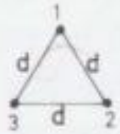
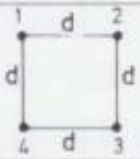
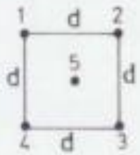


SUPERPOSICIÓN DE EFECTOS

Para calcular los caudales de cada pozo, conocidos los descensos en los pozos, se plantean las ecuaciones anteriores obteniéndose un sistema de "n" ecuaciones con "n" incógnitas.

$\sum$

Se tienen los caudales a iguales descensos para pozos con algunas distribuciones geométricas regulares.

DISPOSICION	CAUDALES
	$Q_1 = Q_2 = 2\pi T.s_p.\left[\ln \frac{R^2}{d\, r_p}\right]^{-1}$
	$Q_1 = Q_2 = Q_3 = 2\pi T.s_p.\left[\ln \frac{R^3}{r_p\, d^2}\right]^{-1}$
	$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 2\pi T.s_p.\left[\ln \frac{R^4}{r_p\, d^3 \sqrt{2}}\right]^{-1}$
	$Q_1 = Q_3 = 2\pi T.s_p.\ln \frac{d}{r_p}\left[2 \ln \frac{R}{d}.\ln \frac{d}{r_p} + \ln \frac{d}{2 r_p}.\ln \frac{R}{r_p}\right]^{-1}$ $Q_2 = 2\pi T.s_p.\ln \frac{d}{2 r_p}\left[2 \ln \frac{R}{d}.\ln \frac{d}{r_p} + \ln \frac{d}{2 r_p}.\ln \frac{R}{r_p}\right]^{-1}$
	$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 2\pi T.s_p.\ln \frac{d}{r_p\sqrt{2}}\left[4 \ln \frac{R\sqrt{2}}{d}.\ln \frac{d}{r_p\sqrt{2}} + \ln \frac{R}{r_p}.\ln \frac{d}{4 r_p\sqrt{2}}\right]^{-1}$ $Q_5 = 2\pi T.s_p.\ln \frac{d}{4 r_p\sqrt{2}}\left[4 \ln \frac{R\sqrt{2}}{d}.\ln \frac{d}{r_p\sqrt{2}} + \ln \frac{R}{r_p}\ln \frac{d}{4 r_p\sqrt{2}}\right]^{-1}$
 n pozos	$Q = Q_i = 2\pi T.s_p.\left[\ln \frac{R^n}{r^{n-1} r_p} - \sum_{i=1}^{n-1} \ln\, 2.\mathrm{sen}\, \frac{\pi i}{n}\right]^{-1}$

Criterios para dimensionado de campo de bombeo

- Se buscará optimizar las distancias de los pozos de bombeo entre sí para que las interferencias sean lo menor posible.

Criterios para dimensionado de campo de bombeo

- Se buscará optimizar las distancias de los pozos de bombeo entre sí para que las interferencias sean lo menor posible.
- Si el arreglo de pozos es simétrico, se minimizan los cálculos.

Criterios para dimensionado de campo de bombeo

- Se buscará optimizar las distancias de los pozos de bombeo entre sí para que las interferencias sean lo menor posible.
- Si el arreglo de pozos es simétrico, se minimizan los cálculos.
- Los mayores descensos se darán en los pozos y generalmente en el pozo del cual se extraiga el mayor caudal.

Criterios para dimensionado de campo de bombeo

- Se buscará optimizar las distancias de los pozos de bombeo entre sí para que las interferencias sean lo menor posible.
- Si el arreglo de pozos es simétrico, se minimizan los cálculos.
- Los mayores descensos se darán en los pozos y generalmente en el pozo del cual se extraiga el mayor caudal.
- Los campos de bombeo suelen diseñarse para tiempos de bombeo extensos, donde suele llegarse al régimen estacionario.

Criterios para dimensionado de campo de bombeo

- Se buscará optimizar las distancias de los pozos de bombeo entre sí para que las interferencias sean lo menor posible.
- Si el arreglo de pozos es simétrico, se minimizan los cálculos.
- Los mayores descensos se darán en los pozos y generalmente en el pozo del cual se extraiga el mayor caudal.
- Los campos de bombeo suelen diseñarse para tiempos de bombeo extensos, donde suele llegarse al régimen estacionario.
- Se deben tener en cuenta los descensos máximos admisibles en el acuífero para limitar los caudales de extracción o para mejorar el arreglo geométrico del campo de bombeo.

Ejercicio de examen

Se realiza un ensayo de bombeo a caudal constante de Q= 150 l/s, en un pozo de 10” de diámetro. Se miden los descensos en un piezómetro situado a 100 m de distancia. Los resultados de las mediciones se reflejan en la siguiente tabla:

t (min)	5	10	15	20	25	50	100	200	300	400	600
s(m)	12.2	17.9	22.1	25	27.1	32	39.85	47.2	51	54.8	57.2

a) Sabiendo que el acuífero es de origen sedimentario y en la zona los niveles piezométricos se encuentran por encima del techo del acuífero. Calcular los parámetros hidrogeológicos del acuífero. (7 pts)

b) Diseñar un campo de bombeo eficiente de 3 pozos (incluido el pozo ya existente) para explotar un caudal de 400 l/s. Realizar un croquis del campo y especificar descensos máximos en el campo de bombeo. Se dispone de 4 hectáreas de campo donde se puede perforar. Suponga un radio de influencia aproximado para cada perforación de 500 m y que el caudal máximo que extraerán 2 de los 3 pozos es el del ensayo de bombeo de la parte a). (13 pts)

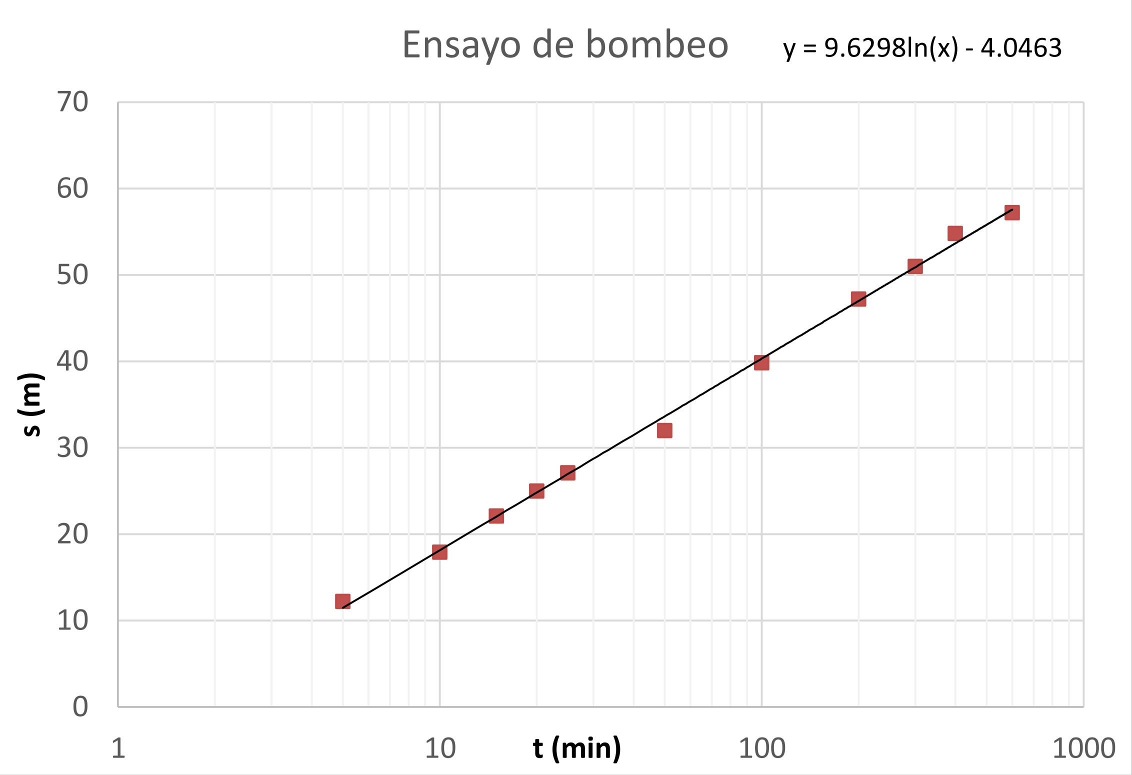
Ejercicio de examen

a) Calcular T y S:

Datos: $\textit{Ensayo de bombeo} \;\; s(t)$

$Q = 150\ \frac{l}{s} = 9{,}0\ \frac{m^3}{min}$

$r = 100\ m$



$$s = \frac{Q}{4\pi T} ln(t) + \frac{Q}{4\pi T} ln\left(\frac{2{,}25T}{r^2 S}\right)$$

$$s = m.\ln(t) + n$$

$$m.\cancel{\ln(t)} = \frac{Q}{4\pi T}\cancel{\ln(t)} \Rightarrow m = \frac{Q}{4\pi T} \Rightarrow T = \frac{Q}{4\pi m}$$

$$T = \frac{9{,}0\ \frac{m^3}{min}}{4.\pi.9{,}63} = 0{,}074\frac{m^2}{min} = \boxed{107\ \frac{m^2}{día}}$$

Igualando los términos indep. de las ecuaciones tenemos que:

$$n = \frac{Q}{4\pi T}\ln\frac{2{,}25\ T}{r^2 S} \Rightarrow S = \frac{2{,}25\ T}{r^2.e^{\frac{4\pi T n}{Q}}} \Rightarrow \boxed{S = 2{,}5x10^{-5}}$$

Ejercicio de examen

b) Diseñar un campo de bombeo de 3 pozos:

Para generar el campo de bombeo hay varias opciones. Geométricamente el diseño buscará maximizar la distancia de los pozos entre sí para que las interferencias sean lo menor posible.

Como el campo de bombeo estará constituido por 3 pozos, la opción más intuitiva para disminuir las posibles interferencias del bombeo parece ser: colocar los pozos en los vértices de la zona delimitada (200 m x 200 m) y considerar que los dos que estén más alejados entre sí, sean los que extraigan el caudal máximo admitido.

Como el caudal necesario es de 1440 m3/h y se supone que dos pozos de la zona pueden brindar un caudal máximo de 540 m3/h aproximadamente, entonces el tercero deberá bombear un caudal de 360 m3/h.

Como concepto general, el punto más comprometido del campo de bombeo será en el pozo donde se extraiga el mayor caudal y donde se minimicen las distancias hacia los otros pozos que bombeen en simultáneo.

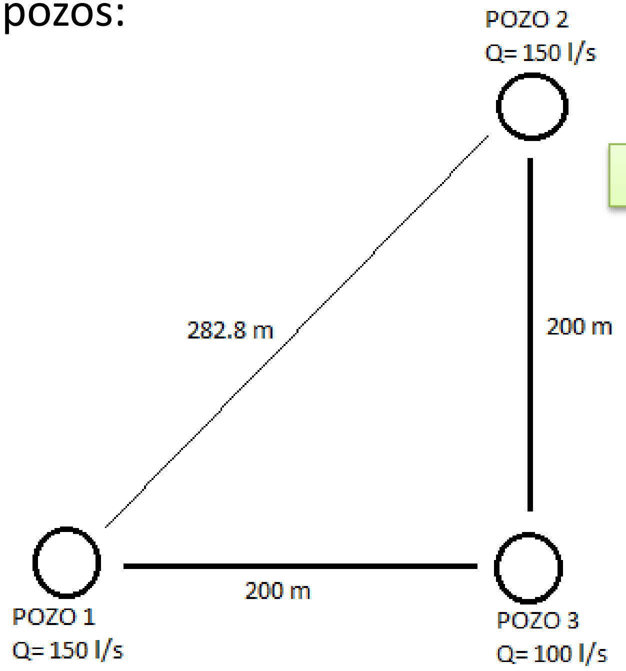
Como los caudales de extracción en dos de los tres pozos serán iguales y mayores al caudal que se extraerá del pozo restante, basta con calcular el descenso que se alcanzará en régimen estacionario en uno de los pozos que bombea 540 m3/h (caudal máximo posible por pozo).

El descenso se calculará a partir del método de superposición, sumando el efecto de los descensos generados por el mismo pozo y por los restantes en el punto más comprometido.

Ejercicio de examen

b) Diseñar un campo de bombeo de 3 pozos:

Según la zona disponible para realizar las perforaciones, se utiliza el siguiente arreglo de pozos:



Se supone que el régimen de bombeo es tal que los descensos ya se estabilizaron. Por lo que se utiliza la fórmula de Thiem:

$$s = \frac{Q.\ln\left(\frac{R}{r}\right)}{2\pi T}$$

Para el siguiente arreglo de pozos, utilizando la ley de superposición para acuífero cautivo se calcula el descenso máximo en el POZO 1 o en POZO 2

$$s_{POZO\ 1} = s_{POZO\ 2} > s_{POZO\ 3}$$

$$s_{POZO\ 1} = s_{1-1} + s_{1-2} + s_{1-3}$$

El cálculo de los descensos en el POZO 1 se realiza utilizando la expresión de Thiem y la ley de superposición:

$$s_{1-1} = \frac{Q_1.\ln\left(\frac{R}{r_1}\right)}{2\pi T} = 159{,}4\ m$$

$$s_{1-2} = \frac{Q_2.\ln\left(\frac{R}{d_{2-1}}\right)}{2\pi T} = 11{,}0\ m$$

$$s_{1-3} = \frac{Q_3.\ln\left(\frac{R}{d_{3-1}}\right)}{2\pi T} = 11{,}8\ m$$

Descenso máximo en el campo de bombeo:

$$s_{POZO\ 1} = 159{,}4 + 11{,}0 + 11{,}8 = 182{,}8\ m$$

Diferencial de extracción

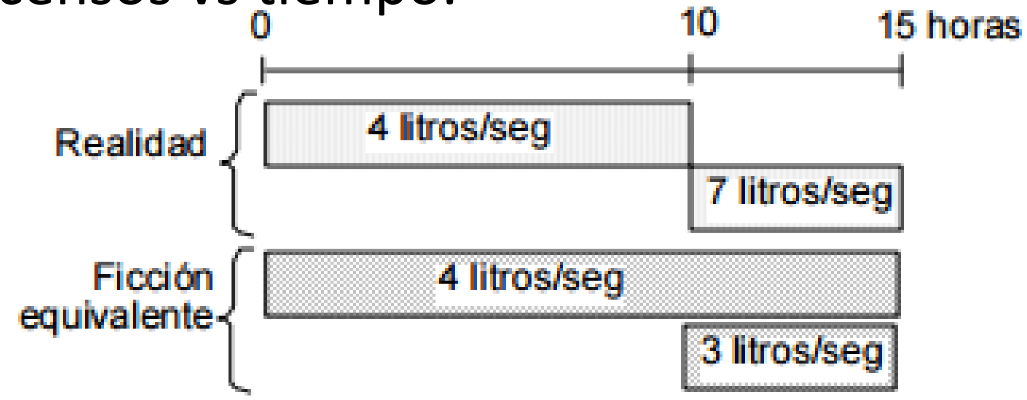
El principio de superposición nos permite calcular descensos cuando el caudal es variable:

PROBLEMA REAL: se quieren conocer los descensos en el tiempo producidos por una bomba que extrae durante 10 horas 4 l/s y que en las siguientes 5 horas aumenta su caudal de extracción a 7 l/s.

PROBLEMA EQUIVALENTE: se simula el problema real con una bomba que extrae 4 l/s durante las 15 horas y otra que extrae durante 5 horas un caudal de 3 l/s. Se suman los descensos en el intervalo temporal en el que se solapan los bombeos y se obtiene una curva continua de descensos vs tiempo.

$$s_{(Q,t)} = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2{,}25Tt}{r^2 S}$$

$$s_{(Q,t)} = s_{(Q1,t)} + s_{(Q2,t)}$$



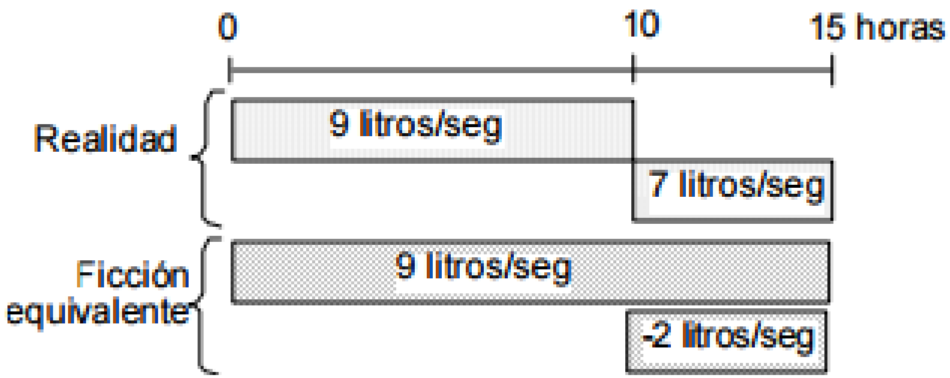
Diferencial de extracción

También es sencillo simular una disminución de caudal:

PROBLEMA REAL: se quieren conocer los descensos en el tiempo producidos por una bomba que extrae durante 10 horas 9 l/s y que en las siguientes 5 horas disminuye su caudal de extracción a 7 l/s.

PROBLEMA EQUIVALENTE: se simula el problema real con una bomba que extrae 9 l/s durante las 15 horas y otra que comienza a inyectar a partir de las 10 horas un caudal de 2 l/s. Se suman los descensos en el intervalo temporal en el que se solapan los efectos y se obtiene una curva continua de descensos vs tiempo. Notar que una inyección de agua implica un caudal negativo (-2 l/s).

$$s_{(Q,t)} = s_{(Q1,t)} - s_{(Q2,t)}$$

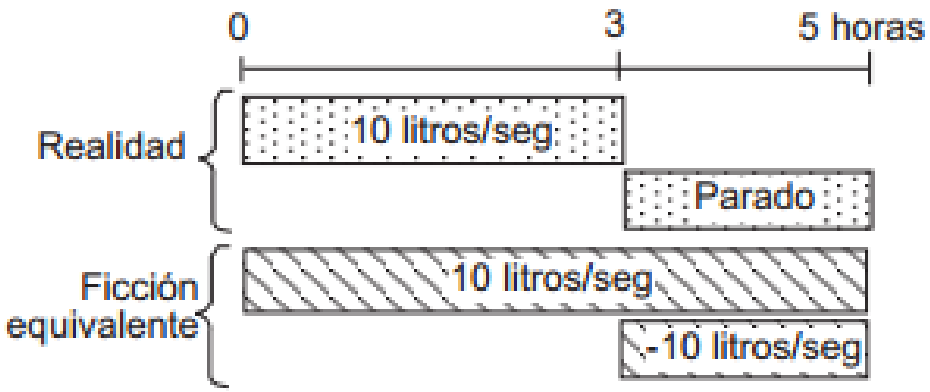


Recuperación de niveles

En un ensayo de bombeo cuando se para la bomba y deja de extraerse agua del acuífero, los niveles piezométricos empiezan a subir y a recuperar los niveles anteriores. La observación e interpretación de esta recuperación de niveles en función del tiempo, tanto en el mismo pozo de bombeo como en otros puntos del acuífero, constituye el **ensayo de recuperación**.

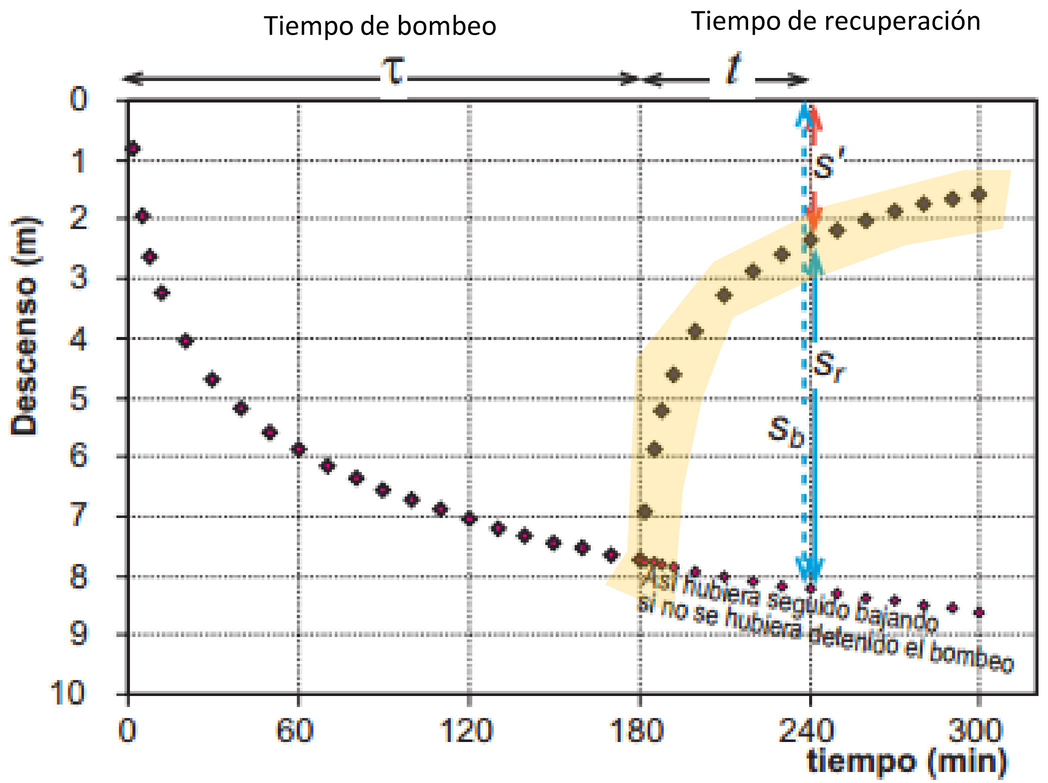
PROBLEMA REAL: supongamos que el pozo estuvo bombeando 10 l/s durante 3 horas, después se detuvo, y ha estado 2 horas parado. Se desea conocer el descenso después de esas 2 horas de descanso.

PROBLEMA EQUIVALENTE: basta suponer que el bombeo no se interrumpió, sino que a esa misma hora comenzó a inyectarse el mismo caudal que se está extrayendo. Es obvio que extraer 10 l/s y simultáneamente inyectar 10 l/s sería lo mismo que no extraer nada.



Recuperación de niveles

Bombeo a caudal constante **Q** durante un tiempo **τ** y detención $\cong$ Continuar el bombeo, agregando un pozo similar que recargue el mismo caudal **Q**, en el mismo sitio



Por superposición de efectos, para un tiempo **t** luego de la detención, para acuífero confinado, semiconfinado o libre con descensos pequeños, el descenso residual es:

$$H_0 - H = s' = Q \cdot Z(r, \tau + t) - Q \cdot Z(r, t)$$

y para acuíferos libres :

$$H_0^2 - H^2 = Q \cdot Z'(r, \tau + t) - Q \cdot Z'(r, t)$$

siendo $\mathbf{H_0}$ el nivel piezométrico antes de iniciarse el bombeo.

$$s' = s_b - s_r$$

Recuperación de niveles

Aproximación de Jacob

$$s_b = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2{,}25T(\tau + t)}{r^2 S}$$

$$s_r = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2{,}25\,Tt}{r^2 S}$$

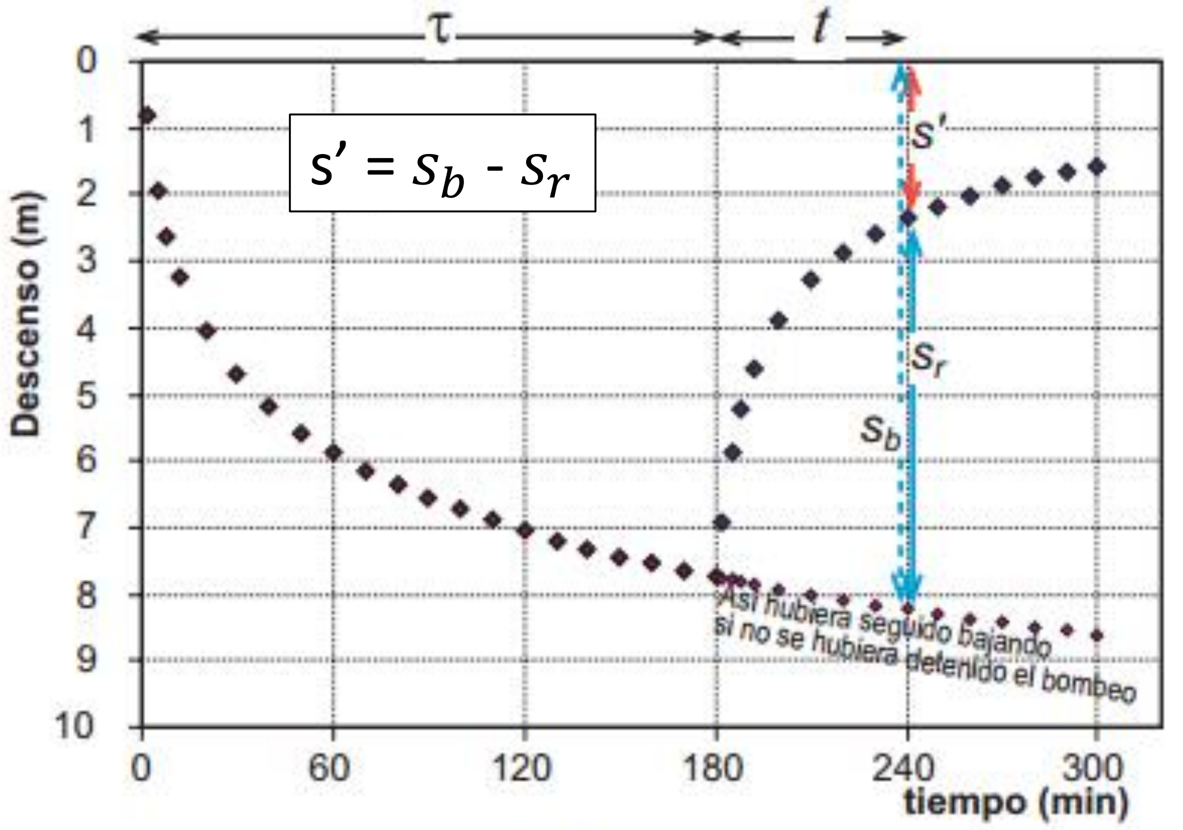
s’ = s_b - s_r

$$s' = \frac{Q}{4\pi T}\left[\ln\left(\frac{2{,}25T(\tau + t)}{r^2 S}\right) - \ln\left(\frac{2{,}25T(t)}{r^2 S}\right)\right]$$

$$s' = \frac{Q}{4\pi T}\left[\ln \frac{\left(\frac{2{,}25T(\tau + t)}{r^2 S}\right)}{\left(\frac{2{,}25T(t)}{r^2 S}\right)}\right] = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{\tau + t}{t}\right)$$

$$\boxed{s' = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{\tau + t}{t}\right)}$$

Ecuación para ensayos de recuperación de niveles



S_b= descenso si no se hubiera detenido el bombeo)

S_r= ascenso debido a la recuperación o a la supuesta inyección de un caudal idéntico al bombeado

S'= descenso residual, lo observado realmente = S_b - S_r

Ejercicio de recuperación

En una quinta de cítricos se requiere conocer los parámetros del acuífero donde se encuentra una perforación que extrae agua para riego.

Se recibió del propietario una prueba realizada anteriormente, consistente en un bombeo durante 72 horas a un caudal de 1800 litros por minuto, tras lo cual se detuvo el mismo y se midió la recuperación con los siguientes resultados:

Tiempo (min)	Profundidad (m)	Tiempo (min)	Profundidad (m)
1	12	40	7.7
3	10.7	60	7.4
5	10.1	80	6.9
7	9.7	100	6.6
10	9.3	150	6.2
15	8.8	200	5.9
20	8.5	300	5.4

Durante el relevamiento de datos, se ubicó sólo una perforación más en las cercanías, en desuso, a 2 km. La afectación por el bombeo fue reportada en el informe recibido, dando cuenta de un pequeño efecto, estimado en 0,5 cm, estable al momento de iniciarse la recuperación de niveles.

a) Calcular T
b) Estimar S
c) Establecer el diámetro probable de la bomba sumergible, el entubado y la perforación.
d) Determinar el descenso en el pozo al final del bombeo.

a) Cálculo de T a partir de un ensayo de recuperación:

Datos: $\tau = 72\ hs = 4320\ min$

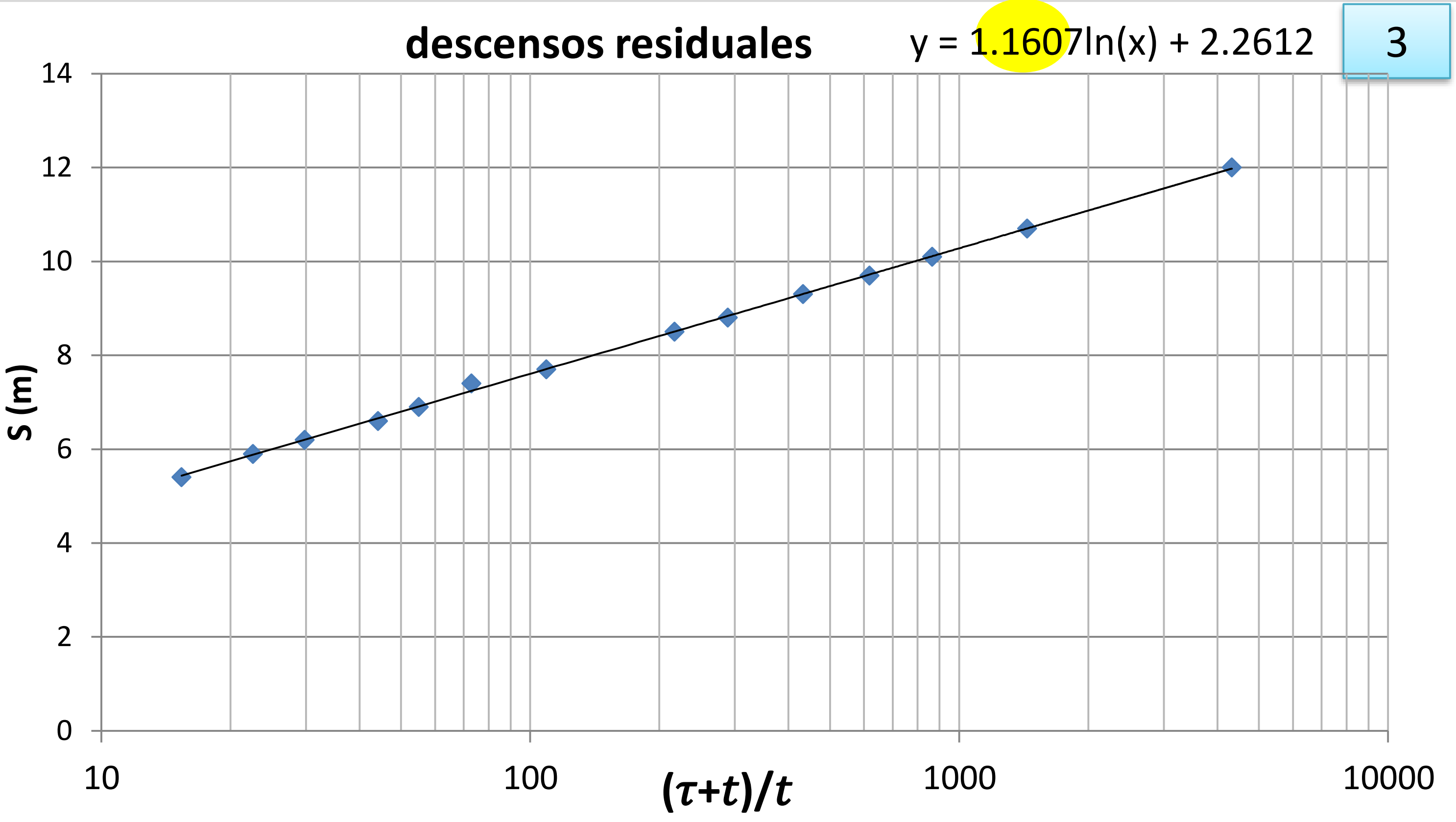
$$Q = 1800\ \frac{l}{min} = 1{,}8\ \frac{m^3}{min}$$

1

t (min)	s (m)	T+t/t
1	12	4321
3	10.7	1441
5	10.1	865
7	9.7	618
10	9.3	433
15	8.8	289
20	8.5	217
40	7.7	109
60	7.4	73
80	6.9	55
100	6.6	44.2
150	6.2	29.8
200	5.9	22.6
300	5.4	15.4

2

3



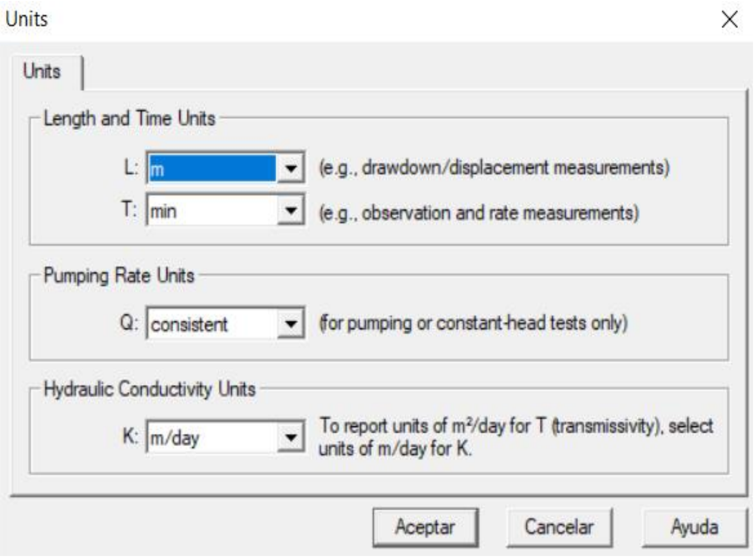
4

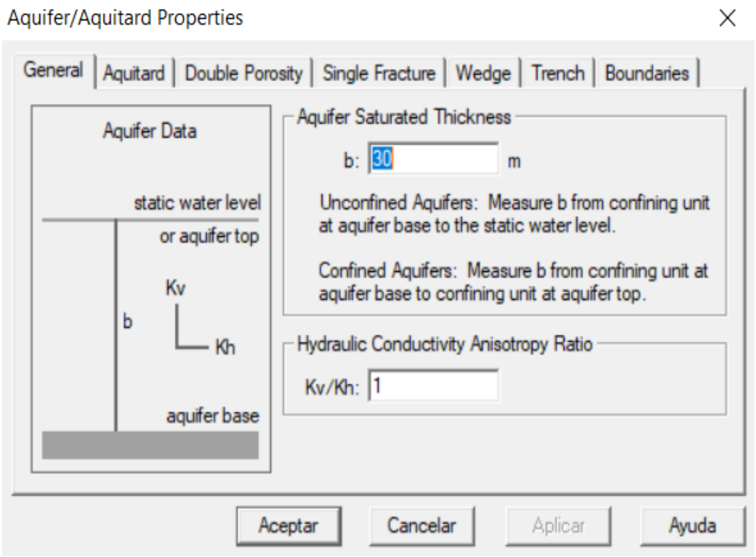
$$\boxed{s' = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{\tau + t}{t}\right)}$$

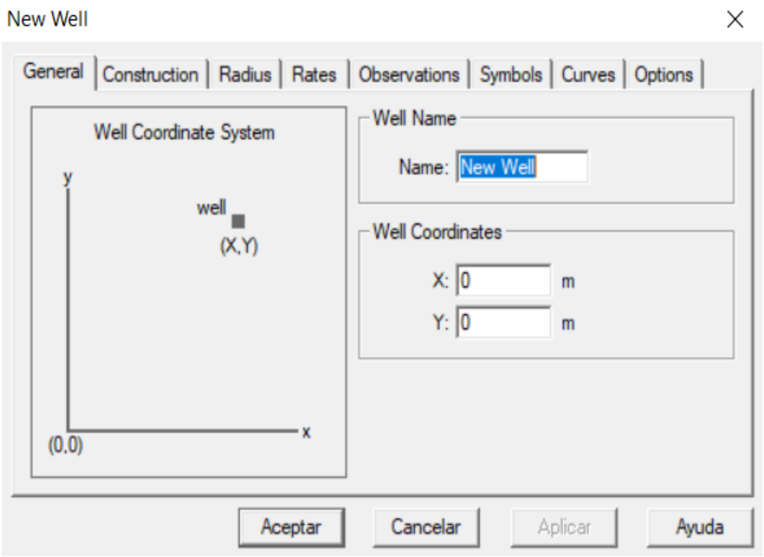
$$m. \cancel{\ln\left(\frac{\tau + t}{t}\right)} = \frac{Q}{4\pi T} \cancel{\ln\left(\frac{\tau + t}{t}\right)} \Rightarrow m = \frac{Q}{4\pi T} \Rightarrow T = \frac{Q}{4\pi m}$$

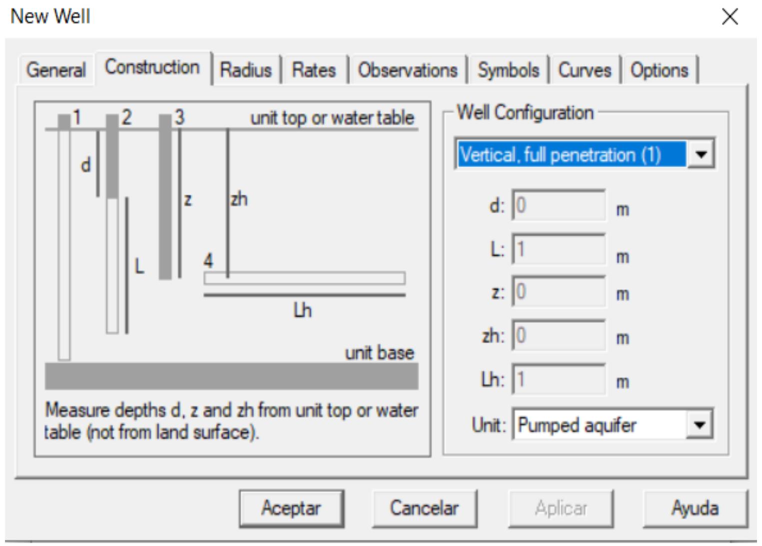
$$T = \frac{1{,}8\ \frac{m^3}{min}}{4.\pi.1.16} = 0{,}123\ \frac{m^2}{min} = 177\ \frac{m^2}{día}$$

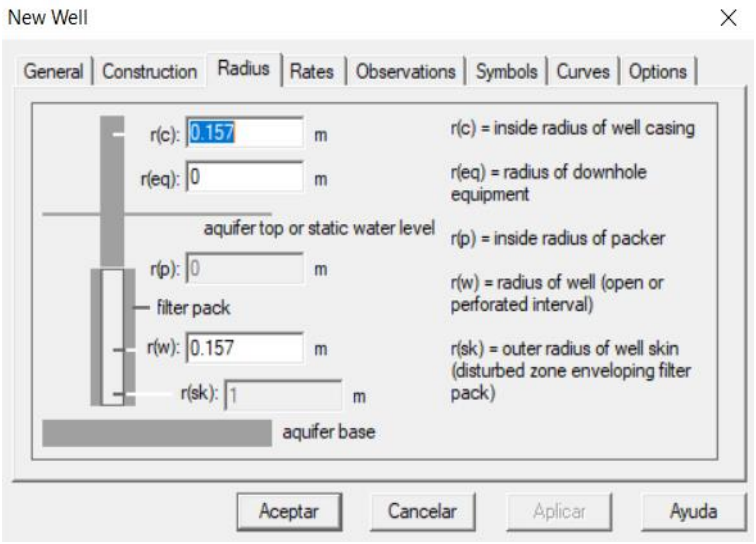
AQTESOLV

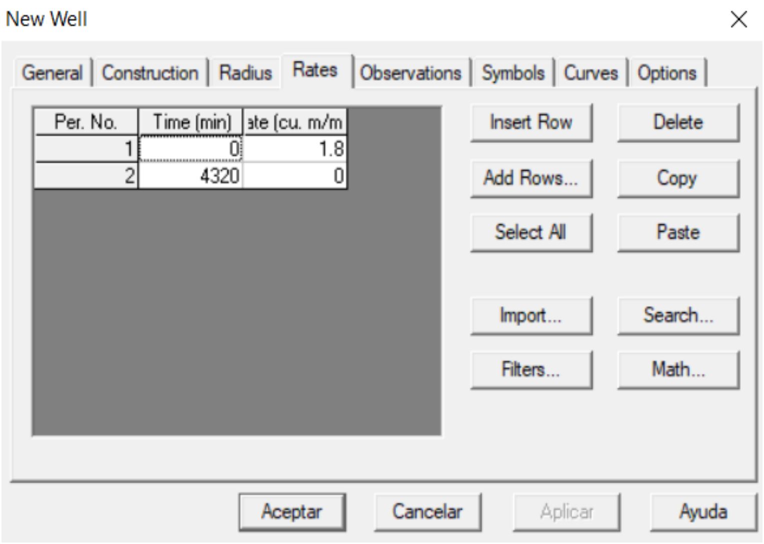

Units
Units
Length and Time Units
L: m (e.g., drawdown/displacement measurements)
T: min (e.g., observation and rate measurements)
Pumping Rate Units
Q: consistent (for pumping or constant-head tests only)
Hydraulic Conductivity Units
K: m/day To report units of m²/day for T (transmissivity), select units of m/day for K.
Aceptar
Cancelar
Ayuda


Aquifer/Aquitard Properties
General | Aquitard | Double Porosity | Single Fracture | Wedge | Trench | Boundaries
Aquifer Data
static water level
or aquifer top
Kv
b
Kh
aquifer base
Aquifer Saturated Thickness
b: 30 m
Unconfined Aquifers: Measure b from confining unit at aquifer base to the static water level.
Confined Aquifers: Measure b from confining unit at aquifer base to confining unit at aquifer top.
Hydraulic Conductivity Anisotropy Ratio
Kv/Kh: 1
Aceptar
Cancelar
Aplicar
Ayuda

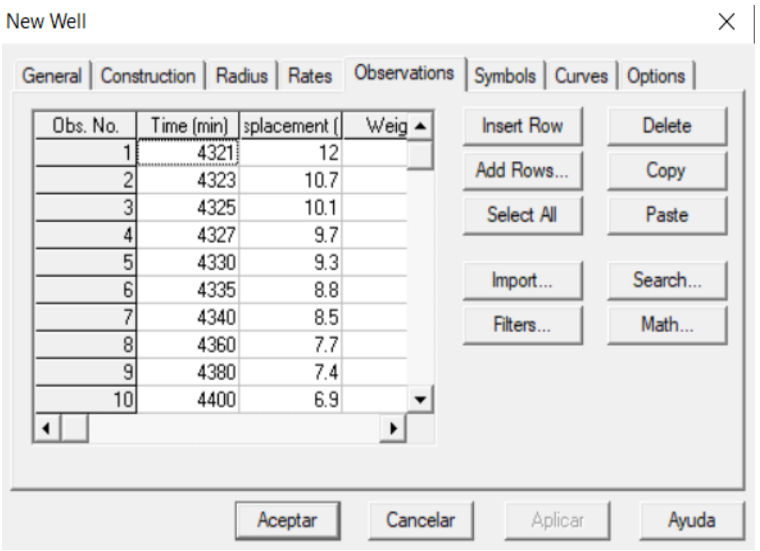

New Well
General | Construction | Radius | Rates | Observations | Symbols | Curves | Options
Well Coordinate System
y
well
(X,Y)
(0,0)
x
Well Name
Name: New Well
Well Coordinates
X: 0 m
Y: 0 m
Aceptar
Cancelar
Aplicar
Ayuda


New Well
General | Construction | Radius | Rates | Observations | Symbols | Curves | Options
1 2 3 unit top or water table
d
z
zh
L
4
Lh
unit base
Measure depths d, z and zh from unit top or water table (not from land surface).
Well Configuration
Vertical, full penetration (1)
d: 0 m
L: 1 m
z: 0 m
zh: 0 m
Lh: 1 m
Unit: Pumped aquifer
Aceptar
Cancelar
Aplicar
Ayuda

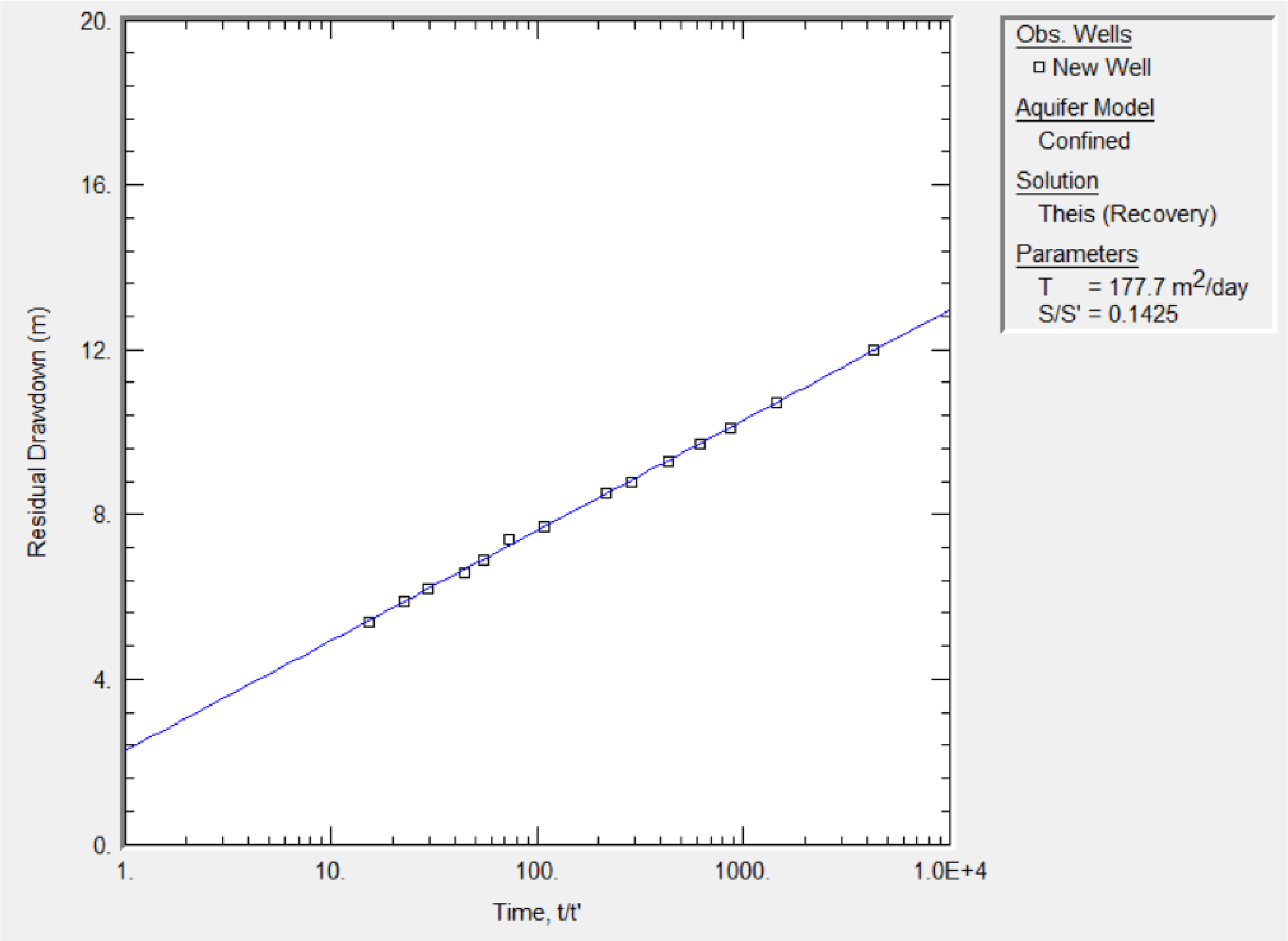

New Well
General | Construction | Radius | Rates | Observations | Symbols | Curves | Options
r(c): 0.157 m
r(eq): 0 m
aquifer top or static water level
r(p): 0 m
filter pack
r(w): 0.157 m
r(sk): 1 m
aquifer base
r(c) = inside radius of well casing
r(eq) = radius of downhole equipment
r(p) = inside radius of packer
r(w) = radius of well (open or perforated interval)
r(sk) = outer radius of well skin (disturbed zone enveloping filter pack)
Aceptar
Cancelar
Aplicar
Ayuda


New Well
General | Construction | Radius | Rates | Observations | Symbols | Curves | Options
Per. No. | Time (min) | ate (cu. m/m
1 | 0 | 1.8
2 | 4320 | 0
Insert Row
Delete
Add Rows...
Copy
Select All
Paste
Import...
Search...
Filters...
Math...
Aceptar
Cancelar
Aplicar
Ayuda

AQTESOLV



Obs. No.	Time (min)	splacement (	Weig
1	4321	12	
2	4323	10.7	
3	4325	10.1	
4	4327	9.7	
5	4330	9.3	
6	4335	8.8	
7	4340	8.5	
8	4360	7.7	
9	4380	7.4	
10	4400	6.9	



Resolución de partes b), c) y d)

b) Estimar S:

Datos: $T = 0{,}123\ \frac{m^2}{min}$

$Q = 1{,}8\ \frac{m^3}{min}$

$r = 2000\ m$

$s_r = 0{,}5\ cm = 0{,}005\ m$

$\text{t} = 72\ hs = 4320\ min$

$$s_r = \frac{Q}{4\pi T}\ln\frac{2{,}25\,Tt}{r^2 S} \Rightarrow S = \frac{2{,}25\,T.t}{r^2.e^{\frac{4\pi Ts}{Q}}} \Rightarrow \boxed{S = 3x10^{-4}}$$

c) Establecer el diámetro de bomba, entubado y perforación:

Datos: $Q = 1{,}8\ \frac{m^3}{min} = 108000\ l/h$

3" Monofásica--------- hasta 6000 l/h
4" Monofásica--------- hasta 10000 l/h
4" Trifásica------------ hasta 25000 l/h
6" Trifásica----------- hasta 80000 l/h
8" Trifásica----------- hasta 300000 l/h

La bomba deberá ser de 8'' de diámetro

REGLA: dejamos 1'' libre para definir el entubado y otra la perforación

El entubado tendrá 10'' de diámetro y la **perforación 12'' de diámetro**

Resolución de partes b), c) y d)

d) Determinar s (descenso) al final del bombeo:

Datos: $T = 0,123\,\frac{m^2}{min}$

$Q = 1,8\,\frac{m^3}{min}$

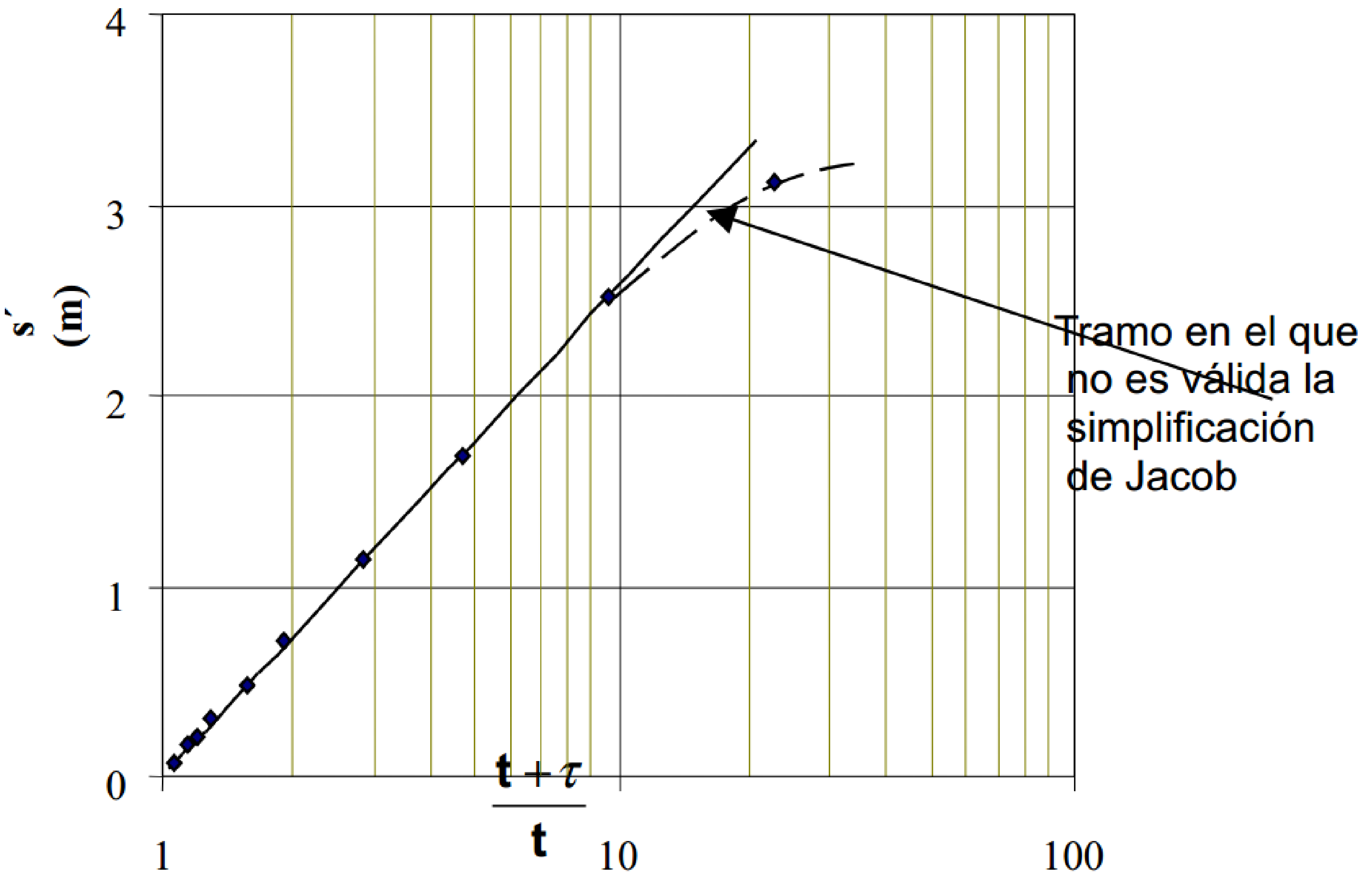
$r = 6'' = 0.1524\ cm$

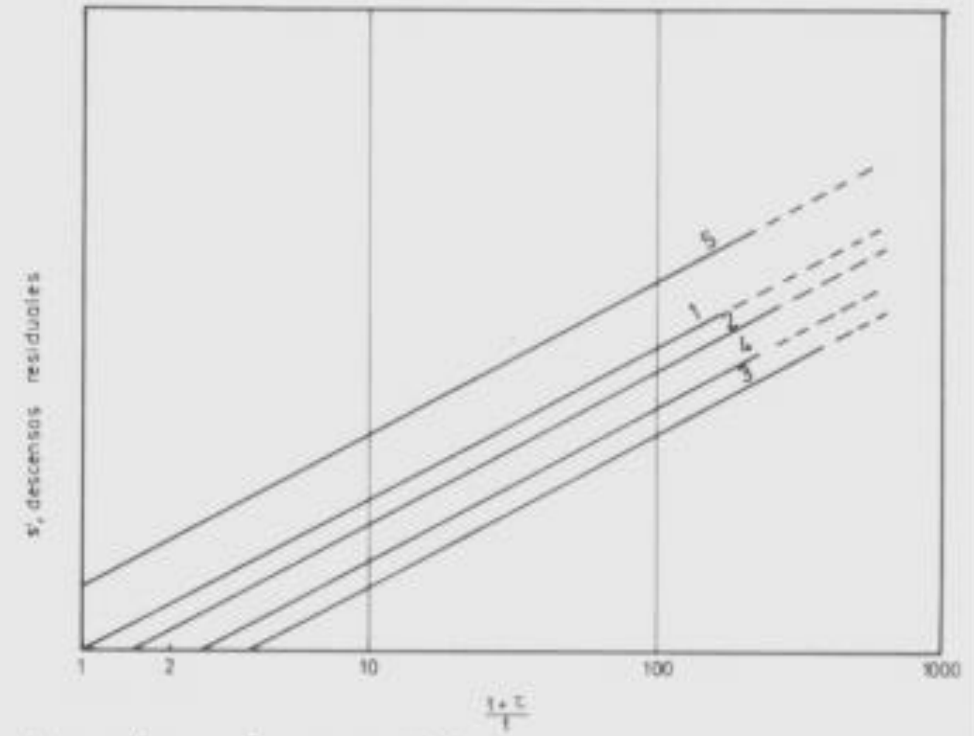
$t = 72\ hs = 4320\ min$

$S = 3x10^{-4}$

$$s_r = \frac{Q}{4\pi T}\ln\frac{2,25\,Tt}{r^2 S} \Rightarrow \boxed{s = 22,09\ m}$$

Recuperación de niveles - análisis gráfico





Anomalías en la recuperación:

1. *Recuperación en acuífero cautivo o en acuífero libre no recargado y con descensos pequeños.*
2. *Efecto de una posible disminución del coeficiente de almacenamiento.*
3. *Efecto de una recarga (acuífero semiconfinado, drenaje diferido o efecto de un río próximo).*
4. *Efecto de un ascenso del nivel de referencia.*
5. *Efecto de vaciado del acuífero o efecto de un descenso del nivel de referencia.*

¡Muchas Gracias por su atención!

¿Preguntas?