CI51J

CI51J
HIDRAULICA DE AGUAS SUBTERRANEAS
Y SU APROVECHAMIENTO

TEMA 7
HIDRAULICA DE CAPTACIONES VERTICALES
EJEMPLOS DE PRUEBAS DE BOMBEO
OTOÑO 2005

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

CI51J

EJEMPLO 1
EJEMPLO 2
EJEMPLO 3
- THEIS
- JACOB – TIEMPO
- JACOB – TIEMPO/DISTANCIA^2
- PERDIDAS DE CARGA

EJEMPLO 4
EJEMPLO 5
EJEMPLO 6
EJEMPLO 7

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 1

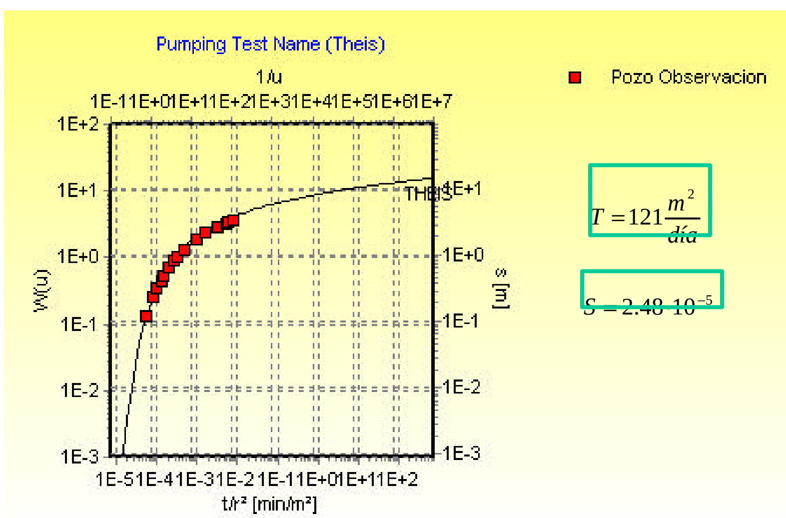
Q = 16 l/s = 0.96 m^3/min

r = 250 m

Tiempo (minutos)	Descenso (m)	Tiempo (minutos)	Descenso (m)
3.5	0.12	30	1.21
5.0	0.23	60	1.74
6.2	0.31	100	2.15
8.0	0.41	200	2.58
9.2	0.47	320	3.01
12.4	0.64	380	3.12
16.5	0.82	500	3.35
20.0	0.92		

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 1



CI51J

METODO DE JACOB (TIEMPO)

La pendiente de la recta corresponde al término que multiplica al logaritmo del tiempo:

$$s(r,t)=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Log\left(\frac{2.25\cdot T}{r^2\cdot S}\right)+\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Log(t)$$

$$m=\frac{\Delta s}{\Delta Log(t)}=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T} \longrightarrow \boxed{T=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot m}}$$

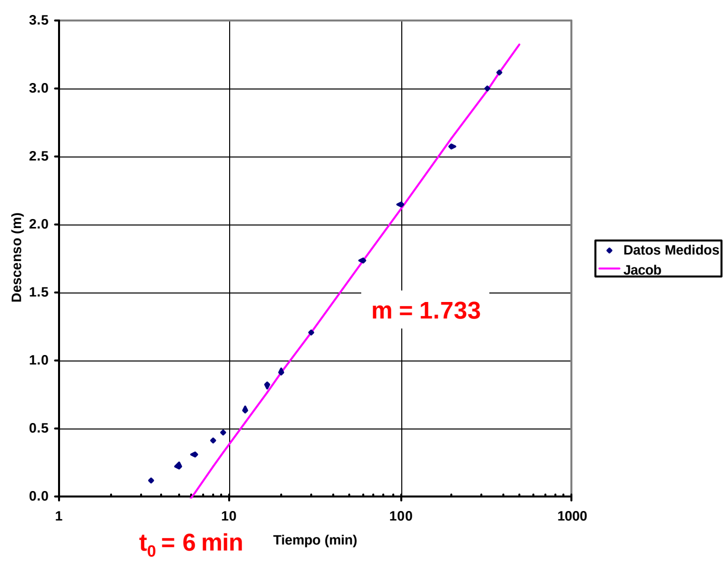
El intercepto, t_0, corresponde al punto (artificial) en el que se tiene un descenso nulo.

$$s(r,t)=\frac{Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Ln\left(\frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2\cdot S}\right)=0 \longrightarrow \frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2\cdot S}=1$$

$$\boxed{S=\frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2}}$$

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 1



CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 1

$$m = \frac{\Delta s}{\Delta Log(t)} = \frac{2.3 \cdot Q}{4 \cdot p \cdot T} \longrightarrow T = \frac{2.3 \cdot Q}{4 \cdot p \cdot m}$$

$$T = \frac{2.3 \cdot 0.96}{4 \cdot p \cdot 1.733} \frac{m^2}{min} = 0.101 \frac{m^2}{min} = 146 \frac{m^2}{día}$$

$$s(r,t) = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t_0}{r^2 \cdot S}\right) = 0 \longrightarrow \frac{2.25 \cdot T \cdot t_0}{r^2 \cdot S} = 1$$

$$S = \frac{2.25 \cdot T \cdot t_0}{r^2} = \frac{2.25 \cdot 0.101 \cdot 6}{250^2} = 2.2 \cdot 10^{-5}$$

CI51J

EJEMPLO 1

EJEMPLO 2

EJEMPLO 3

- **THEIS**
- **JACOB – TIEMPO**
- **JACOB – TIEMPO/DISTANCIA^2**
- **PERDIDAS DE CARGA**

EJEMPLO 4

EJEMPLO 5

EJEMPLO 6

EJEMPLO 7

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 2

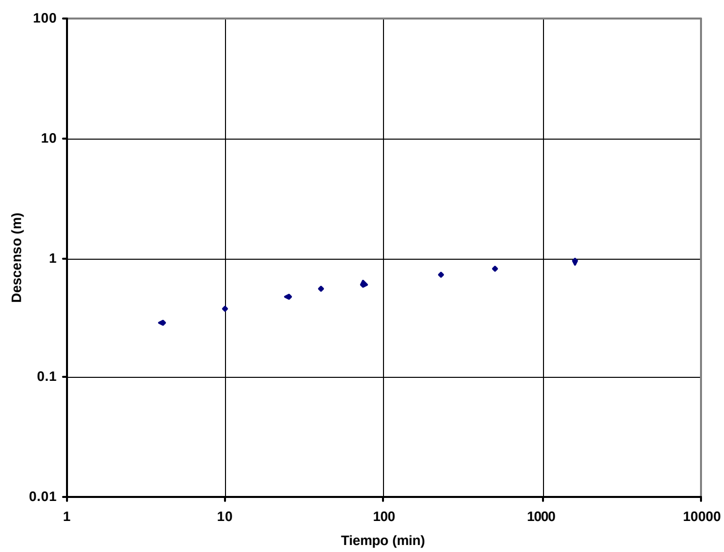
$Q = 5\ m^3/min$

$r = 5\ m$

Tiempo (minutos)	Descenso (m)	Tiempo (minutos)	Descenso (m)
4	0.29	75	0.61
10	0.38	230	0.73
25	0.48	500	0.82
40	0.55	1600	0.94

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 2



CI51J

METODO DE JACOB (TIEMPO)

La pendiente de la recta corresponde al término que multiplica al logaritmo del tiempo:

$$\boxed{s(r,t)=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Log\left(\frac{2.25\cdot T}{r^2\cdot S}\right)+\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Log(t)}$$

$$\boxed{m=\frac{\Delta s}{\Delta Log(t)}=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}} \longrightarrow \boxed{T=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot m}}$$

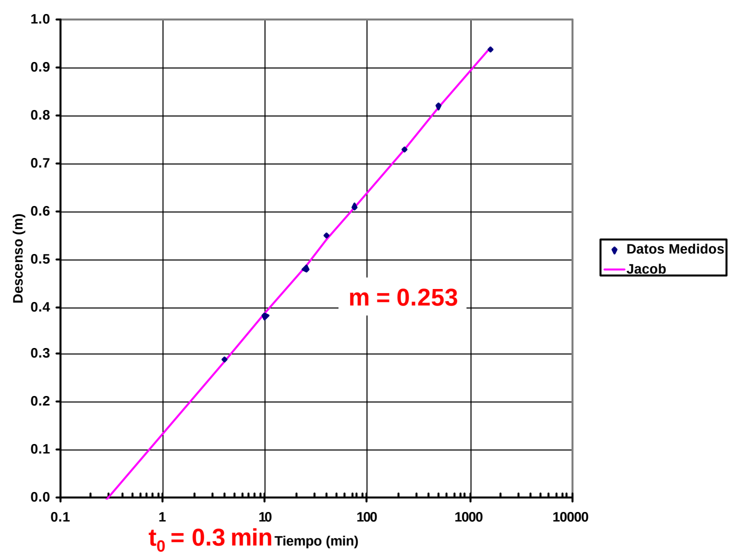
El intercepto, t_0, corresponde al punto (artificial) en el que se tiene un descenso nulo.

$$\boxed{s(r,t)=\frac{Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Ln\left(\frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2\cdot S}\right)=0} \longrightarrow \boxed{\frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2\cdot S}=1}$$

$$\boxed{S=\frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2}}$$

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 2



CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 2

$$m = \frac{\Delta s}{\Delta Log(t)} = \frac{2.3 \cdot Q}{4 \cdot p \cdot T} \longrightarrow T = \frac{2.3 \cdot Q}{4 \cdot p \cdot m}$$

$$T = \frac{2.3 \cdot 5}{4 \cdot p \cdot 0.253} \frac{m^2}{min} = 3.62 \frac{m^2}{min} = 5{,}209 \frac{m^2}{día}$$

$$s(r,t) = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t_0}{r^2 \cdot S}\right) = 0 \longrightarrow \frac{2.25 \cdot T \cdot t_0}{r^2 \cdot S} = 1$$

$$S = \frac{2.25 \cdot T \cdot t_0}{r^2} = \frac{2.25 \cdot 3.62 \cdot 0.3}{5^2} = 0.098$$

CI51J

EJEMPLO 1

EJEMPLO 2

EJEMPLO 3

- **THEIS**
- **JACOB – TIEMPO**
- **JACOB – TIEMPO/DISTANCIA^2**
- **PERDIDAS DE CARGA**

EJEMPLO 4

EJEMPLO 5

EJEMPLO 6

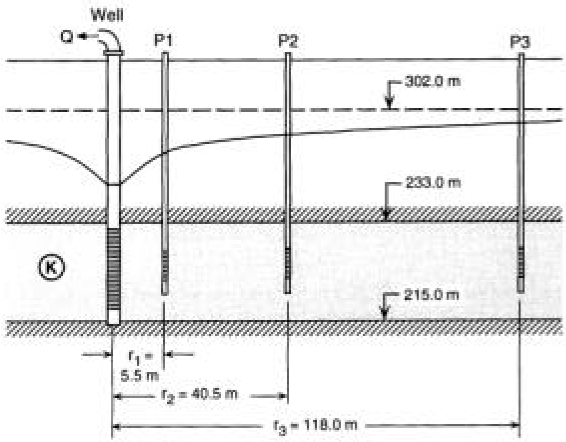
EJEMPLO 7

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

Q = 8 l/s = 0.48 m^3/min =691.2 m^3/día

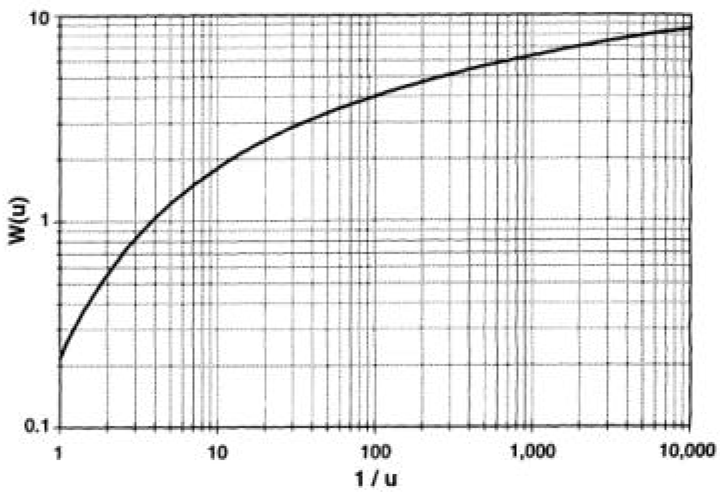
r_W = 350 mm



THEIS

CI51J

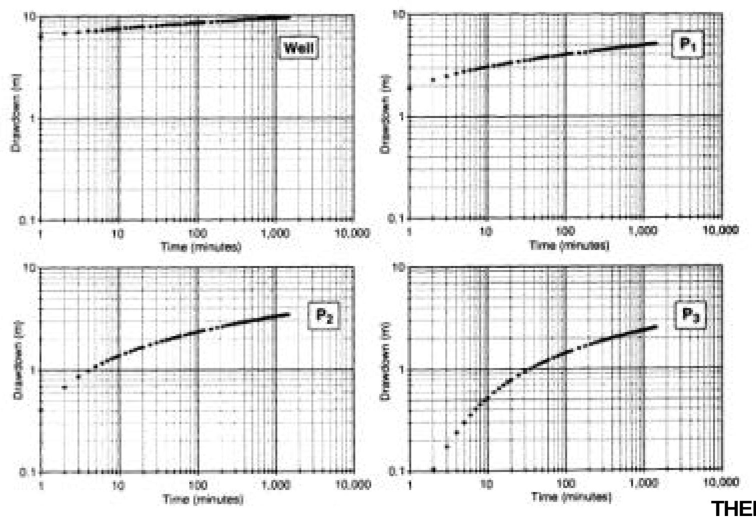
PRUEBA DE BOMBEO 3



THEIS

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3



THEIS

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

P1

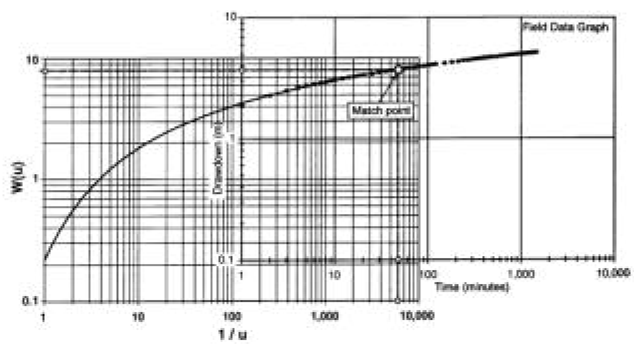
r = 5.5 m

$W(u) = W^* = 8.0$

$1/u = 1/u^* = 6000$

$s = s^* = 3.7\ m$

$t = t^* = 48\ min$
$= 2880\ seg$
$= 0.033\ día$



THEIS

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

P1

W(u) = W = 8.0*

1/u = 1/u = 6000*

s = s = 3.7 m*

t = t = 48 min = 0.033 día*

$$\boxed{T = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot s^*} \cdot W^* = \frac{691.2}{4 \cdot p \cdot 3.7} \cdot 8.0 \frac{m^2}{día} = 118.9 \frac{m^2}{día}}$$

$$\boxed{S = \frac{4 \cdot T \cdot u^* \cdot t^*}{r^2} = \frac{4 \cdot 118.9 \cdot 1/6000 \cdot 0.033}{5.5^2} = 8.74 \cdot 10^{-5}}$$

THEIS

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

P2

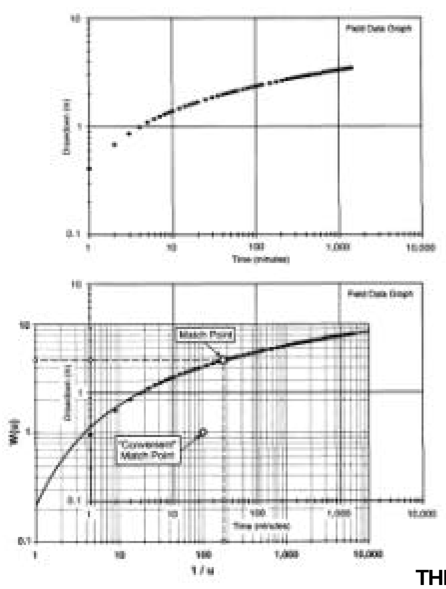
r = 40.5 m

W(u) = W = 4.75*

1/u = 1/u = 180*

s = s = 2.0 m*

t = t = 39 min*
= 2440 seg
= 0.028 día



THEIS

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

P2

W(u) = W = 4.75*

1/u = 1/u = 180*

s = s = 2.0 m*

t = t = 39 min = 0.028 día*

$$T = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot s^*} \cdot W^* = \frac{691.2}{4 \cdot p \cdot 2.0} \cdot 4.75 \frac{m^2}{día} = 130.6 \frac{m^2}{día}$$

$$S = \frac{4 \cdot T \cdot u^* \cdot t^*}{r^2} = \frac{4 \cdot 130.6 \cdot 1/180 \cdot 0.028}{40.5^2} = 4.79 \cdot 10^{-5}$$

THEIS

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

W(u) = W = 2.35*

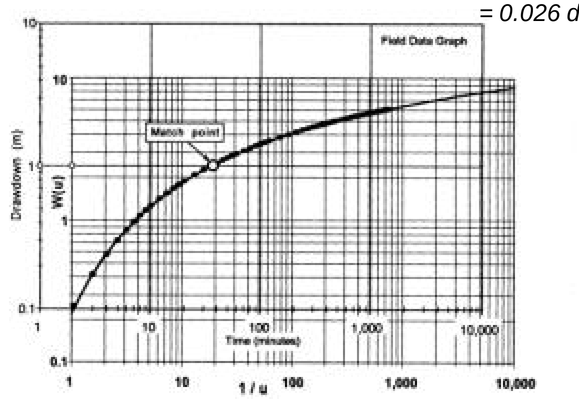
1/u = 1/u = 18.5*

P3

s = s = 1.0 m*

t = t = 37.5 min*
= 2250 seg
= 0.026 día

r = 118.0 m



THEIS

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

P3

W(u) = W = 2.35*

1/u = 1/u = 18.5*

s = s = 1.0 m*

t = t = 37.5 min = 0.026 día*

$$T = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot s^*} \cdot W^* = \frac{691.2}{4 \cdot p \cdot 1.0} \cdot 2.35 \frac{m^2}{día} = 129.3 \frac{m^2}{día}$$

$$S = \frac{4 \cdot T \cdot u^* \cdot t^*}{r^2} = \frac{4 \cdot 129.3 \cdot 1/18.5 \cdot 0.026}{118^2} = 5.22 \cdot 10^{-5}$$

THEIS

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

	P1	P2	P3
T (m^2/día)	118.9	130.6	129.3
S	8.74E-05	4.79E-05	5.22E-05

THEIS

CI51J

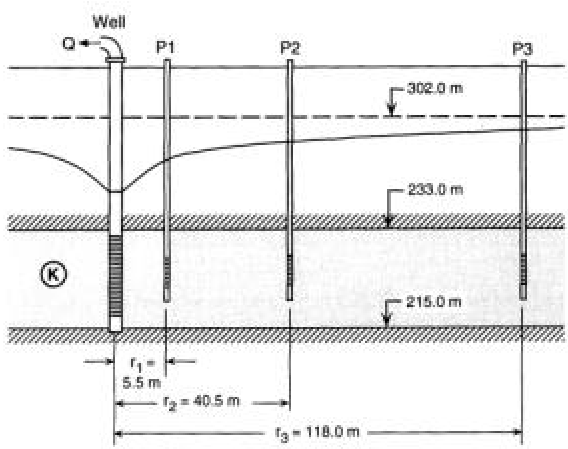
EJEMPLO 1
EJEMPLO 2
EJEMPLO 3
- THEIS
- **JACOB – TIEMPO**
- JACOB – TIEMPO/DISTANCIA^2
- PERDIDAS DE CARGA

EJEMPLO 4
EJEMPLO 5
EJEMPLO 6
EJEMPLO 7

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

$Q = 8$ l/s $= 0.48$ m^3/min $=691.2$ m^3/día
$r_W = 350$ mm



JACOB

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

Transmisibilidad:

$$\boxed{s(r,t)=\frac{Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Ln\left(\frac{2.25\cdot T\cdot t}{r^2\cdot S}\right)=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Log\left(\frac{2.25\cdot T\cdot t}{r^2\cdot S}\right)}$$

$$\boxed{s(r,t)=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Log\left(\frac{2.25\cdot T}{r^2\cdot S}\right)+\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Log(t)}$$

$$\boxed{s(r,t)=a+b\cdot Log(t)} \longrightarrow \boxed{b=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}} \longrightarrow \boxed{T=0.183\cdot\frac{Q}{\Delta s}}$$

Coeficiente de Almacenamiento:

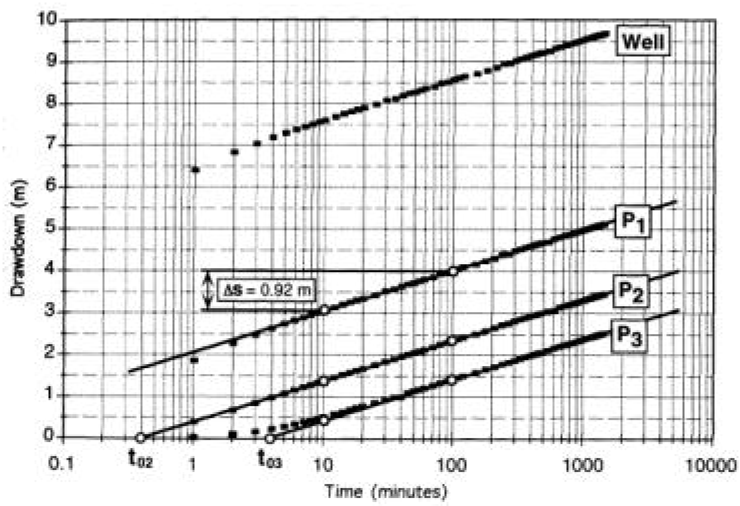
$$\boxed{s(r,t)=\frac{Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Ln\left(\frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2\cdot S}\right)=0} \longrightarrow \boxed{\frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2\cdot S}=1}$$

$$\boxed{S=\frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2}}$$

JACOB

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3



JACOB

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

Transmisibilidad: $\boxed{T = 0.183 \cdot \frac{Q}{\Delta s}}$

Coeficiente de Almacenamiento: $\boxed{S = \frac{2.25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}}$

	P1	P2	P3
Δs (m)	0.92	-	-
t0 (min)	-	0.4	3.9
t0 (día)	-	0.00027778	0.00270833
r (m)	-	40.5	118
T (m^2/día)	137.5	-	-
S	-	5.24E-05	6.02E-05

JACOB

CI51J

EJEMPLO 1
EJEMPLO 2
EJEMPLO 3
- THEIS
- JACOB – TIEMPO
- JACOB – TIEMPO/DISTANCIA^2
- PERDIDAS DE CARGA

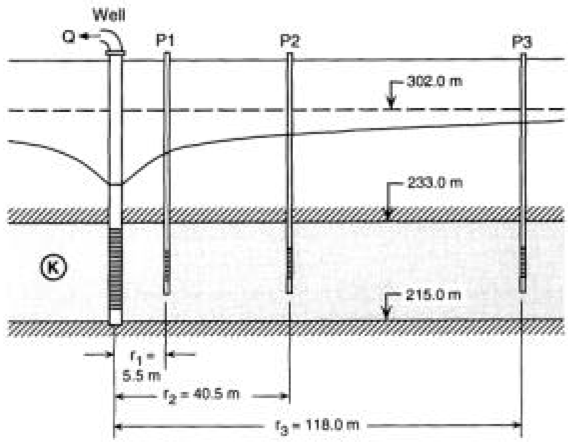
EJEMPLO 4
EJEMPLO 5
EJEMPLO 6
EJEMPLO 7

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

Q = 8 l/s = 0.48 m³/min =691.2 m³/día

r_W = 350 mm



JACOB 2

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3

Transmisibilidad:

$$s(r,t)=\frac{Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Ln\left(\frac{2.25\cdot T\cdot t}{r^2\cdot S}\right)=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Log\left(\frac{2.25\cdot T\cdot t}{r^2\cdot S}\right)$$

$$s(r,t)=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Log\left(\frac{2.25\cdot T}{S}\right)+\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Log\left(\frac{t}{r^2}\right)$$

$$s(r,t)=a+b\cdot Log\left(\frac{t}{r^2}\right) \rightarrow b=\frac{2.3\cdot Q}{4\cdot p\cdot T} \rightarrow \boxed{T=0.183\cdot\frac{Q}{\Delta s}}$$

Coeficiente de Almacenamiento:

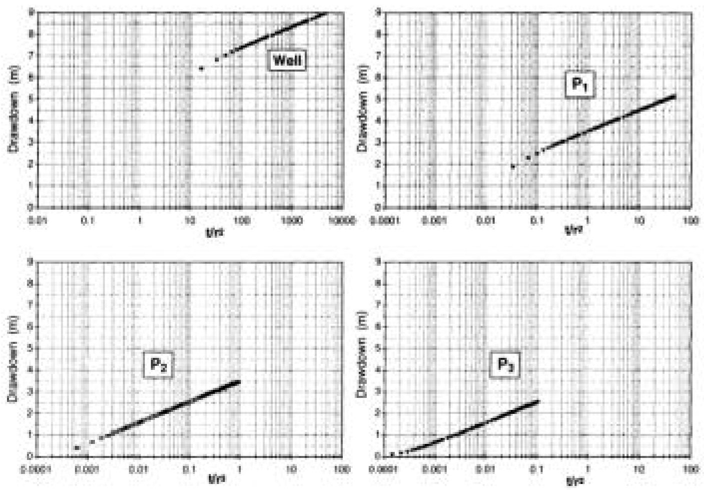
$$s(r,t)=\frac{Q}{4\cdot p\cdot T}\cdot Ln\left(\frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2\cdot S}\right)=0 \rightarrow \frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2\cdot S}=1$$

$$\boxed{S=\frac{2.25\cdot T\cdot t_0}{r^2}}$$

JACOB 2

CI51J

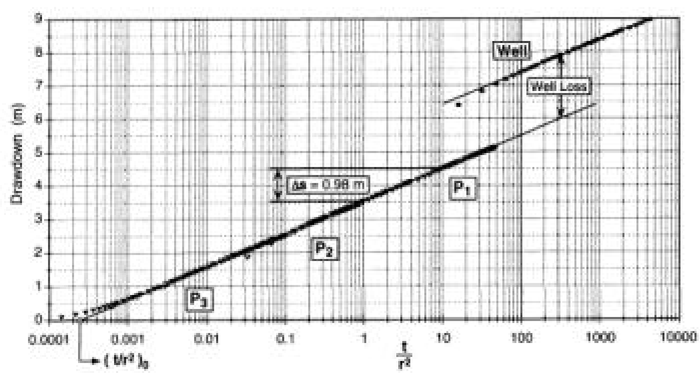
PRUEBA DE BOMBEO 3



JACOB 2

CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 3



$T = 129.1 \frac{m^2}{día}$ $S = 5.03 \cdot 10^{-5}$

JACOB 2

CI51J

EJEMPLO 1

EJEMPLO 2

EJEMPLO 3

- **THEIS**
- **JACOB – TIEMPO**
- **JACOB – TIEMPO/DISTANCIA^2**
- **PERDIDAS DE CARGA**

EJEMPLO 4

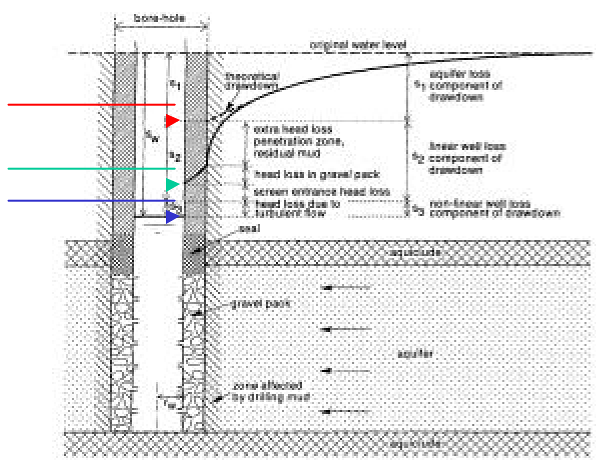
EJEMPLO 5

EJEMPLO 6

EJEMPLO 7

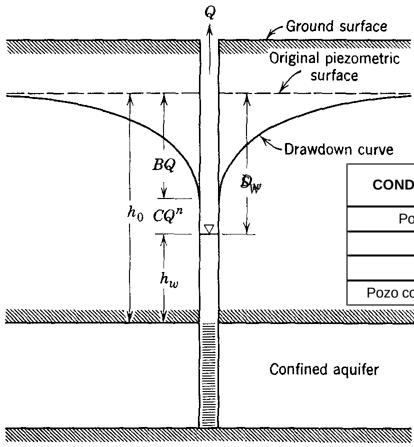
CI51J

El descenso del nivel de agua en un pozo de bombeo incluye no sólo el efecto del cono de depresión en el acuífero, sino que también las pérdidas de carga causadas por el paso del agua a través de la rejilla o criba del pozo hacia el interior del pozo.



CI51J

Debido a que este último proceso es de tipo turbulento se ha demostrado que su importancia es proporcional a la segunda potencia del caudal, i.e., Q^2.

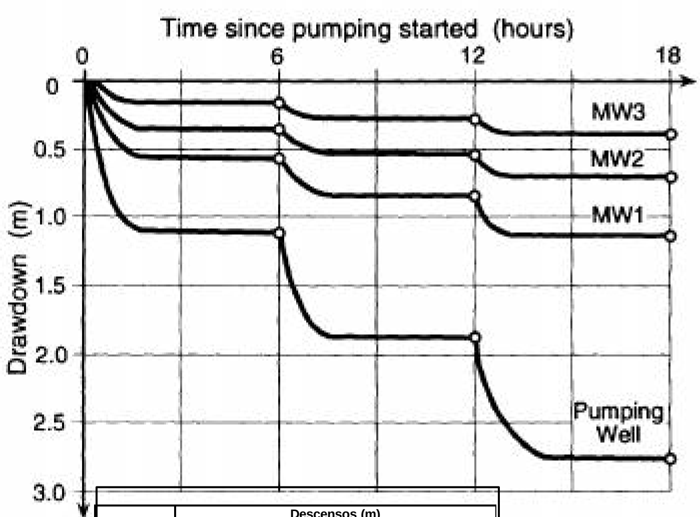


$$\boxed{s_W = B \cdot Q + C \cdot Q^2}$$

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

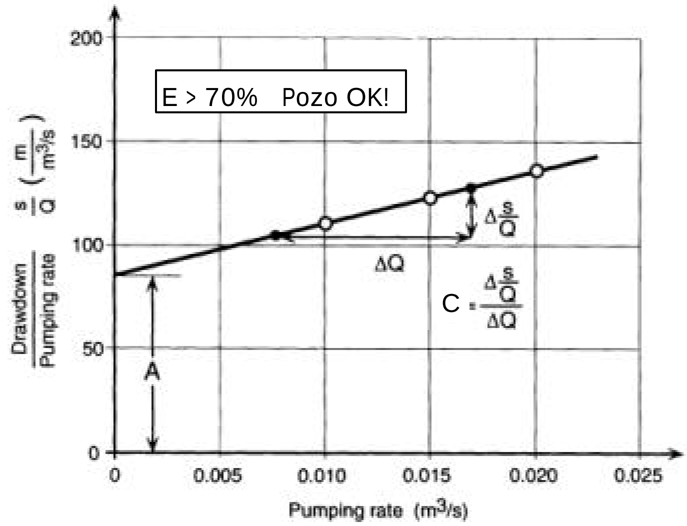
$$\boxed{\frac{s_W}{Q} = B + C \cdot Q}$$

CI51J



Caudal (l/s)	Descensos (m) Pozo de Bombeo	Pozo MW1	Pozo MW2	Pozo MW3
10	1.10	0.54	0.32	0.17
15	1.84	0.80	0.48	0.24
20	2.72	1.08	0.65	0.33

CI51J



E= Eficiencia del Pozo $= \dfrac{Descenso\ Teórico}{Descenso\ Medido} \cdot 100 = \dfrac{s_W - C \cdot Q^2}{s_W} \cdot 100$

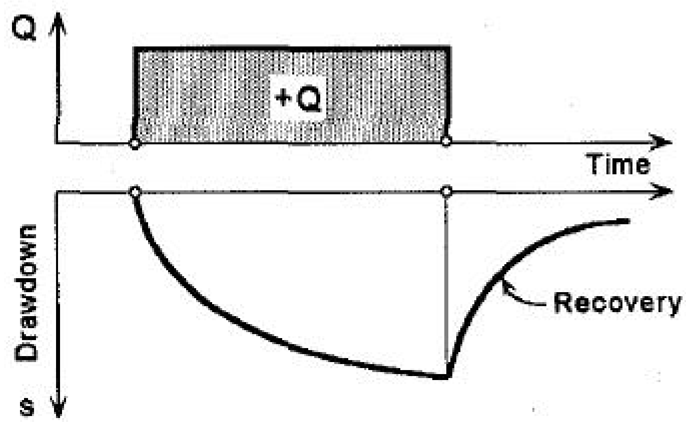
CI51J

EJEMPLO 1
EJEMPLO 2
EJEMPLO 3
- **THEIS**
- **JACOB – TIEMPO**
- **JACOB – TIEMPO/DISTANCIA²**
- **PERDIDAS DE CARGA**

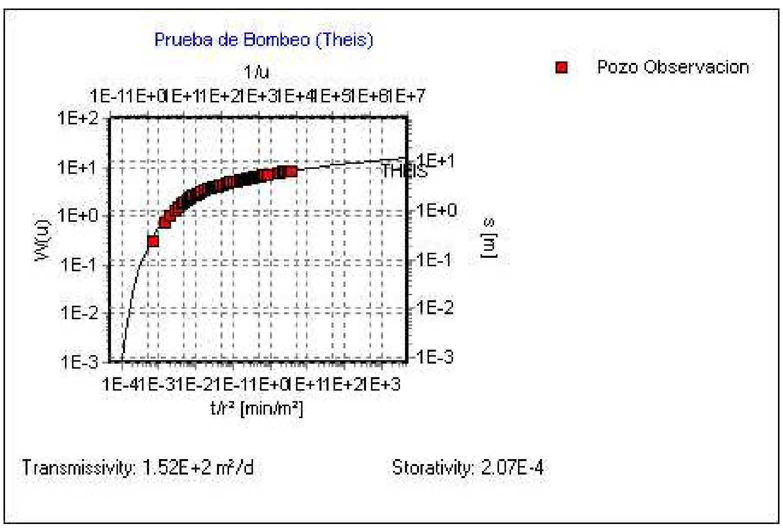
EJEMPLO 4
EJEMPLO 5
EJEMPLO 6
EJEMPLO 7

CI51J

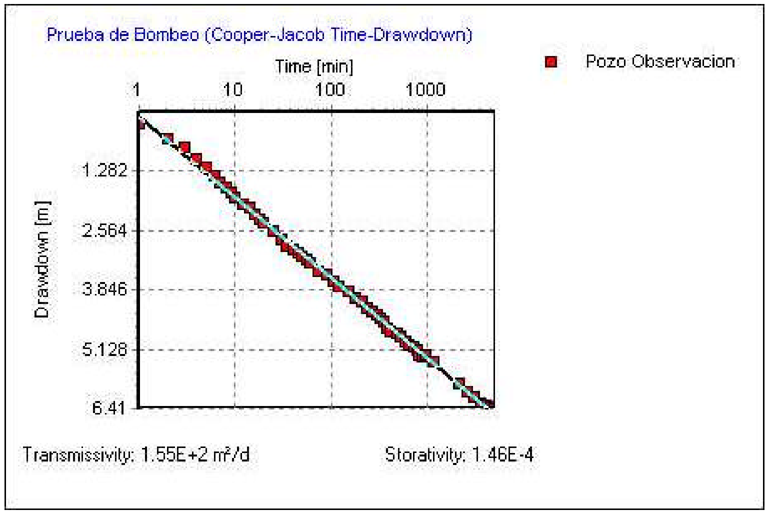
Si un pozo ha sido bombeado por un período de tiempo *t* y luego es detenido bruscamente, el descenso residual puede ser calculado fácilmente mediante superposición.



CI51J

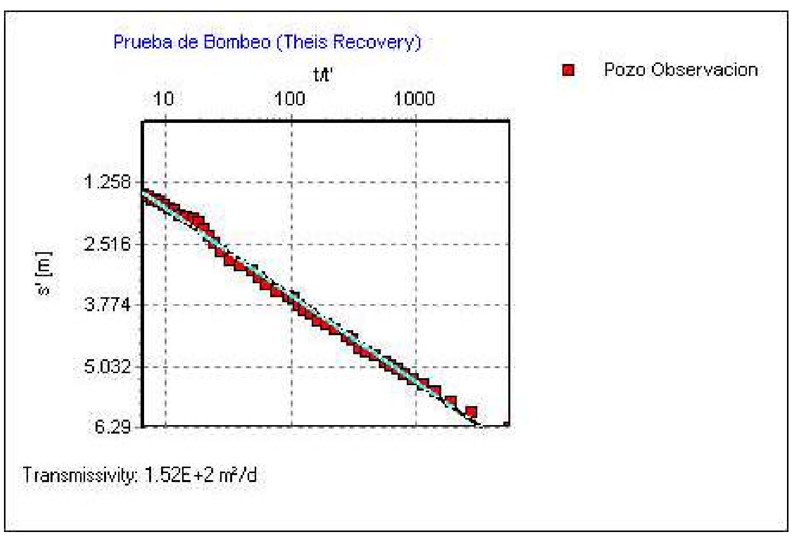


CI51J



Prueba de Bombeo (Cooper-Jacob Time-Drawdown)
Pozo Observacion
Time [min]
1
10
100
1000
Drawdown [m]
1.282
2.564
3.846
5.128
6.41
Transmissivity: 1.55E+2 m²/d
Storativity: 1.46E-4

CI51J



Prueba de Bombeo (Theis Recovery)
Pozo Observacion
t/t'
10
100
1000
s' [m]
1.258
2.516
3.774
5.032
6.29
Transmissivity: 1.52E+2 m²/d

CI51J

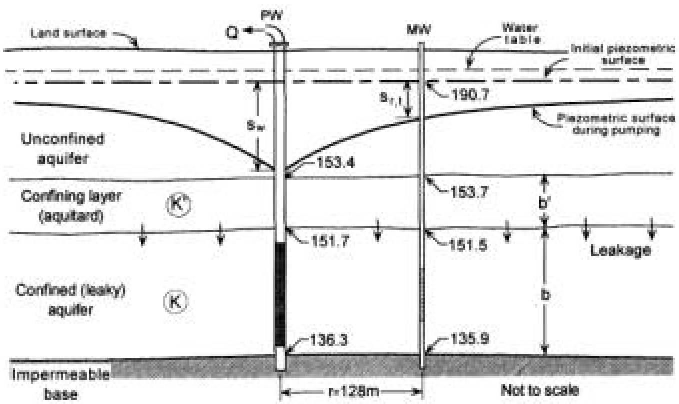
EJEMPLO 1
EJEMPLO 2
EJEMPLO 3
- **THEIS**
- **JACOB – TIEMPO**
- **JACOB – TIEMPO/DISTANCIA^2**
- **PERDIDAS DE CARGA**

EJEMPLO 4
EJEMPLO 5
EJEMPLO 6
EJEMPLO 7

CI51J

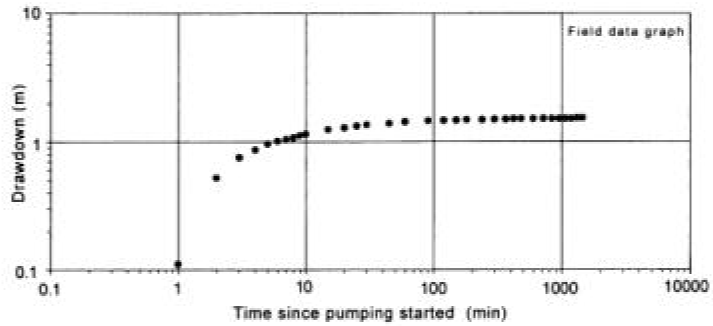
PRUEBA DE BOMBEO 4

Q = 8 l/s = 0.48 m^3/min =691.2 m^3/día
r_W = 350 mm



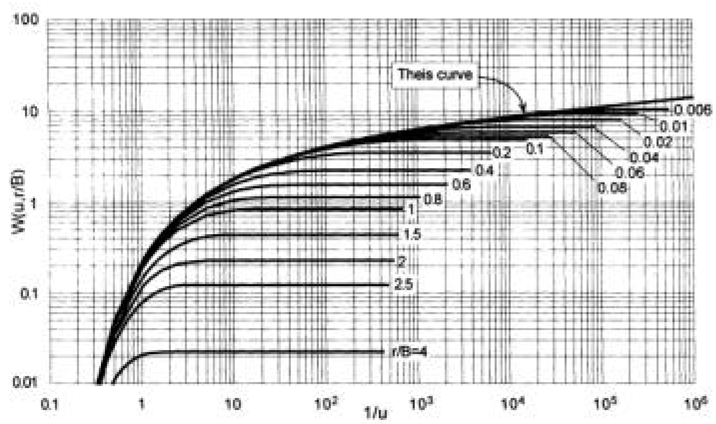
CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 4



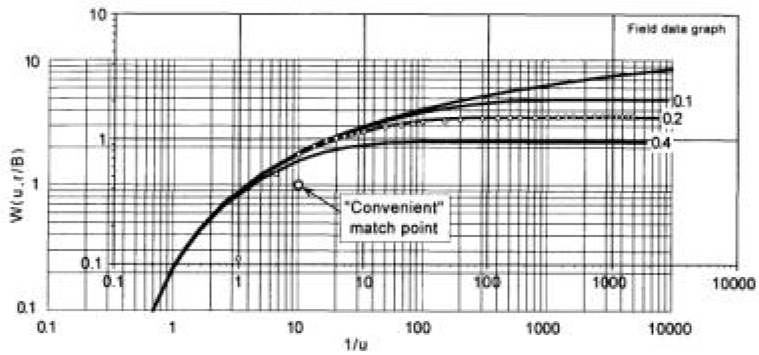
CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 4



CI51J

PRUEBA DE BOMBEO 4

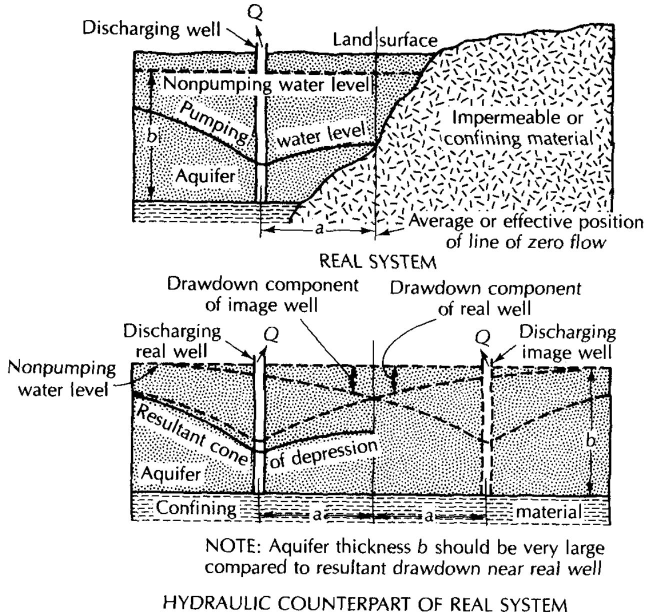


CI51J

EJEMPLO 1
EJEMPLO 2
EJEMPLO 3
- THEIS
- JACOB – TIEMPO
- JACOB – TIEMPO/DISTANCIA^2
- PERDIDAS DE CARGA

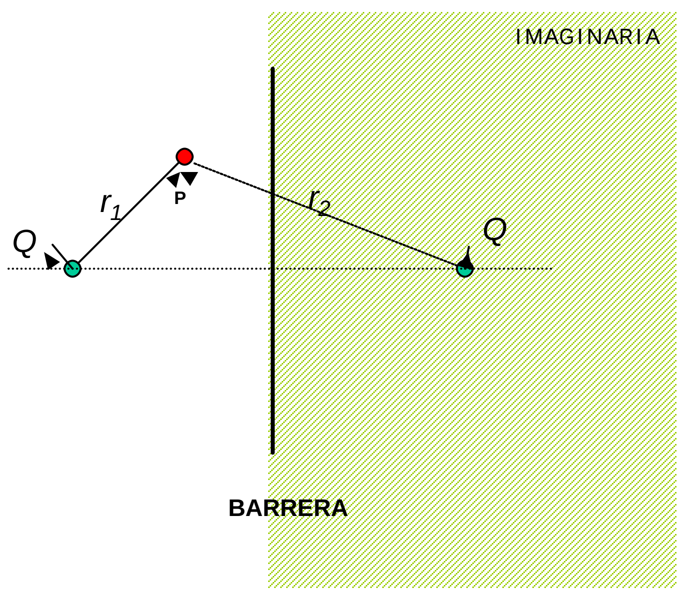
EJEMPLO 4
EJEMPLO 5
EJEMPLO 6
EJEMPLO 7

CI51J



Discharging well
Q
Land surface
Nonpumping water level
Pumping water level
b
Aquifer
Impermeable or confining material
a
Average or effective position of line of zero flow
REAL SYSTEM
Drawdown component of image well
Drawdown component of real well
Discharging real well
Q
Q
Discharging image well
Nonpumping water level
Resultant cone of depression
Aquifer
b
Confining
a
a
material
NOTE: Aquifer thickness b should be very large compared to resultant drawdown near real well
HYDRAULIC COUNTERPART OF REAL SYSTEM

CI51J



IMAGINARIA
P
r_1
r_2
Q
Q
BARRERA

CI51J

Para el esquema anterior se tiene que en un punto cualquiera situado en la zona izquierda de la barrera la depresión total queda dada por la contribución de cada uno de los pozos:

$$\boxed{s_P(r,t) = s(r_1,t) + s(r_2,t)}$$

donde r_1 y r_2 son las distancias desde el pozo real y el pozo imaginario hasta el punto A, respectivamente.

Si utilizamos la solución de Theis para describir la depresión de un pozo de bombeo sobre el punto A obtenemos la siguiente ecuación:

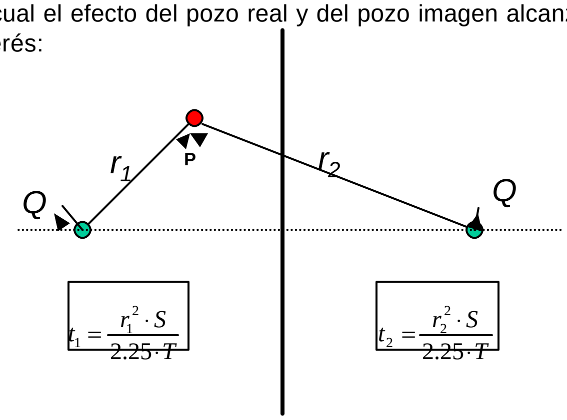
$$\boxed{s_P(r,t) = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot W\left(\frac{r_1^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}\right) + \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot W\left(\frac{r_2^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}\right)}$$

La que se puede resumir como:

$$\boxed{s_P(r,t) = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot \left[W\left(\frac{r_1^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}\right) + W\left(\frac{r_2^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}\right)\right]}$$

CI51J

Si utilizamos la aproximación de Jacob es necesario analizar el tiempo en el cual el efecto del pozo real y del pozo imagen alcanza al punto de interés:



$$\boxed{t_1 = \frac{r_1^2 \cdot S}{2.25 \cdot T}} \qquad \boxed{t_2 = \frac{r_2^2 \cdot S}{2.25 \cdot T}}$$

BARRERA

$$\boxed{s_P = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S}\right) = 0} \rightarrow \boxed{\frac{2.25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S} = 1}$$

CI51J

Si utilizamos la aproximación de Jacob es necesario analizar el tiempo en el cual el efecto del pozo real y del pozo imagen alcanza al punto de interés:

$$\boxed{s_P = 0} \longrightarrow \boxed{t < \frac{r_1^2 \cdot S}{2.25 \cdot T}}$$

$$\boxed{s_P = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t}{r_1^2 \cdot S}\right)} \longrightarrow \boxed{\frac{r_1^2 \cdot S}{2.25 \cdot T} \leq t < \frac{r_2^2 \cdot S}{2.25 \cdot T}}$$

$$\boxed{s_P = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t}{r_1^2 \cdot S}\right) + \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t}{r_2^2 \cdot S}\right)} \longrightarrow \boxed{t > \frac{r_2^2 \cdot S}{2.25 \cdot T}}$$

Al reordenar la última expresión se obtiene:

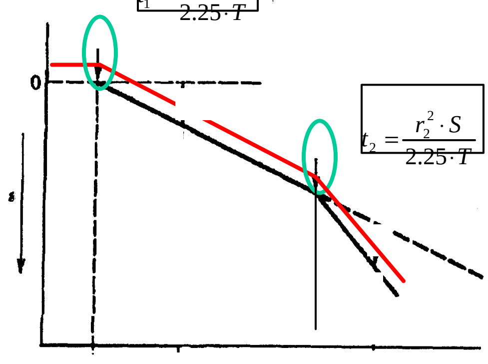
$$\boxed{s_P = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t}{r_1^2 \cdot S} \cdot \frac{2.25 \cdot T \cdot t}{r_2^2 \cdot S}\right) = \frac{Q}{2 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t}{r_1 \cdot r_2 \cdot S}\right)}$$

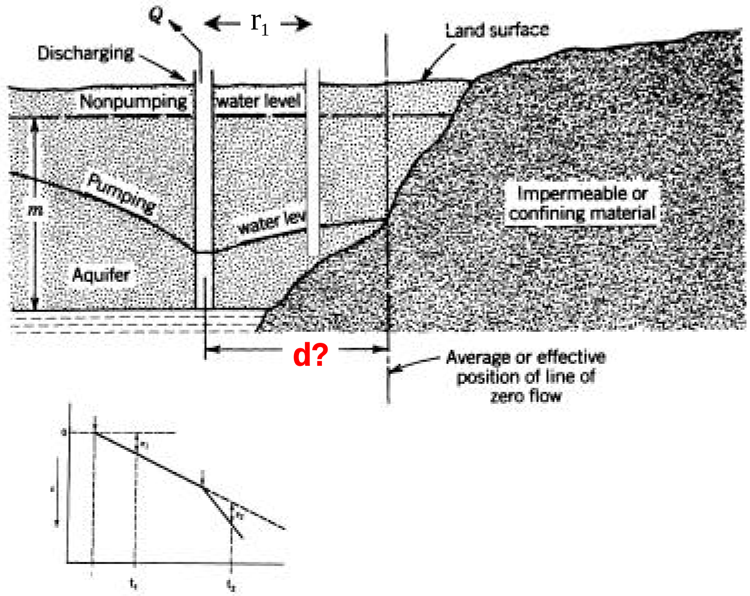
CI51J

El análisis de una prueba de bombeo realizada en una zona con presencia de una barrera tendrá una forma como la indicada en la figura siguiente.

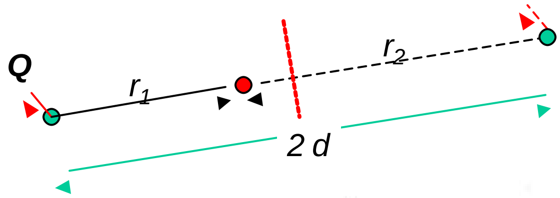
$$\boxed{t_1 = \frac{r_1^2 \cdot S}{2.25 \cdot T}}$$

$$\boxed{t_2 = \frac{r_2^2 \cdot S}{2.25 \cdot T}}$$

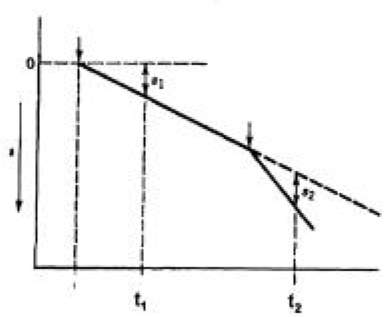




Supongamos que se realiza una prueba de bombeo utilizando un pozo de bombeo y un pozo de observación separados una distancia r_1.



$$s_P = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t}{r_1^2 \cdot S}\right)$$



CI51J

Desde la figura anterior es posible identificar los valores de depresión s_1 y s_2, los que se producen luego de un tiempo t_1 y t_2 de iniciado el bombeo.

La depresión o descenso causado por el pozo de bombeo y el pozo imaginario son las siguientes:

$$\boxed{s_1 = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t_1}{r_1^2 \cdot S}\right)}$$

$$\boxed{s_2 = \frac{Q}{4 \cdot p \cdot T} \cdot Ln\left(\frac{2.25 \cdot T \cdot t_2}{r_2^2 \cdot S}\right)}$$

Por construcción se ha elegido que ambos descensos, s_1 y s_2, sean iguales, por lo que se tiene que los argumentos de los logaritmos deben ser iguales:

$$\boxed{\frac{2.25 \cdot T \cdot t_1}{r_1^2 \cdot S} = \frac{2.25 \cdot T \cdot t_2}{r_2^2 \cdot S}}$$

CI51J

Los argumentos de los logaritmos deben ser iguales:

$$\boxed{\frac{2.25 \cdot T \cdot t_1}{r_1^2 \cdot S} = \frac{2.25 \cdot T \cdot t_2}{r_2^2 \cdot S}}$$

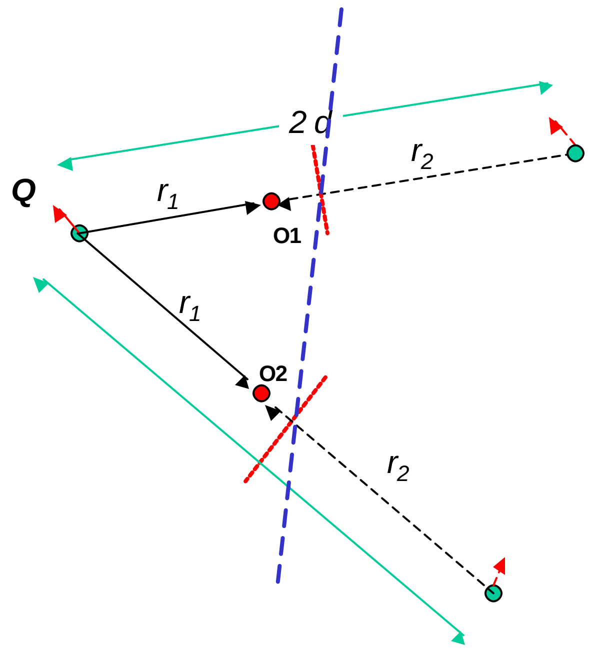
con lo que finalmente obtenemos:

$$\boxed{r_2 = r_1 \cdot \sqrt{\frac{t_2}{t_1}}}$$

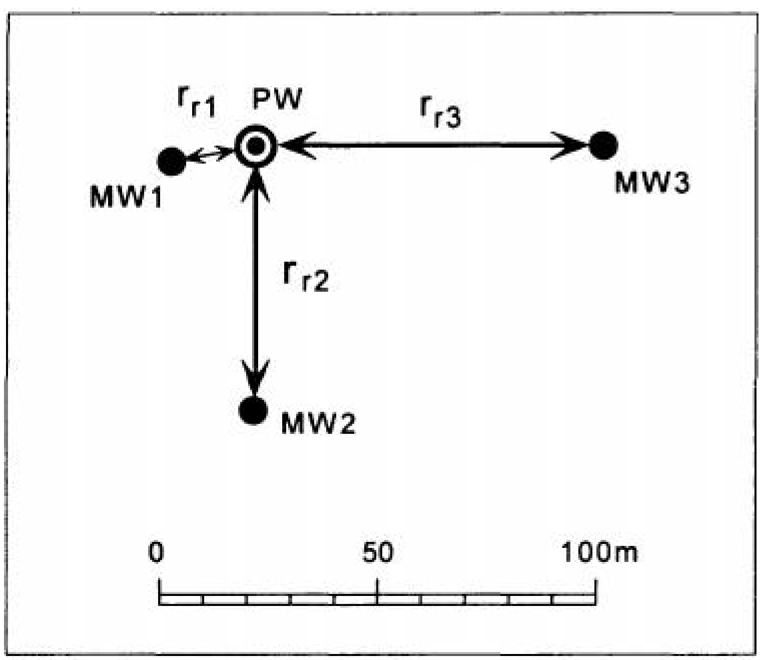
lo que nos permite conocer la distancia desde el pozo de bombeo hasta la barrera, *d*, la cual se puede calcular como:

$$\boxed{d = \frac{r_1 + r_2}{2}}$$

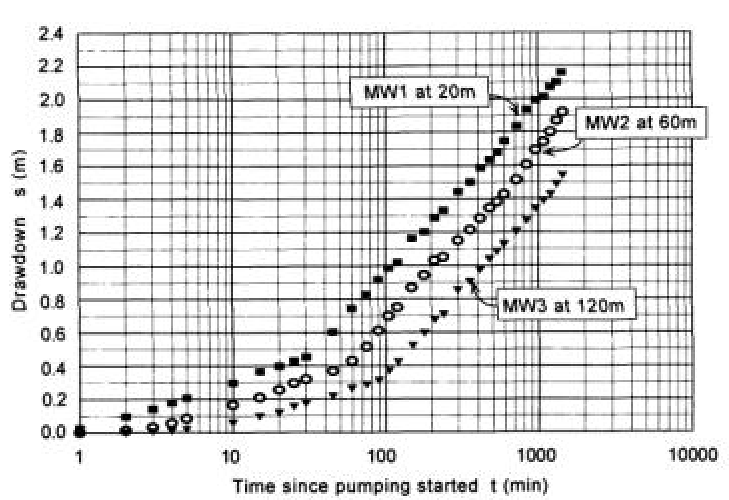
CI51J



CI51J

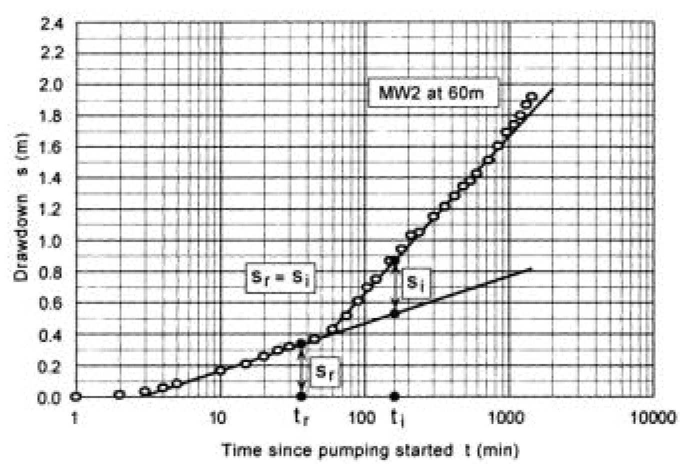


CI51J



Drawdown s (m)
Time since pumping started t (min)
MW1 at 20m
MW2 at 60m
MW3 at 120m

CI51J



Drawdown s (m)
Time since pumping started t (min)
MW2 at 60m
$s_r = s_i$
s_i
s_r
t_r
t_i