



# HIDROGEOLOGÍA

## UNIDAD 2. HIDRODINAMICA (PARTE II)

### TEMA: HIDRÁULICA DE CAPTACIONES

Profesor: José Luis Expósito Castillo  
2015

La hidráulica de captaciones estudia el movimiento de las aguas subterráneas hacia los sondeos, pozos, drenes, etc.

**Respecto al pozo, informan sobre:**

Calidad de la construcción (eficiencia del pozo)

Pérdidas de carga

Caudal de bombeo más aconsejable

Colocación de la bomba

**Respecto al acuífero, informan sobre:**

Transmisividad y conductividad hidráulica

Coeficiente de almacenamiento

Existencia de barreras o bordes impermeables

Zonas de recarga

Área del embalse subterráneo

**Otros elementos**

Radio de influencia del sondeo

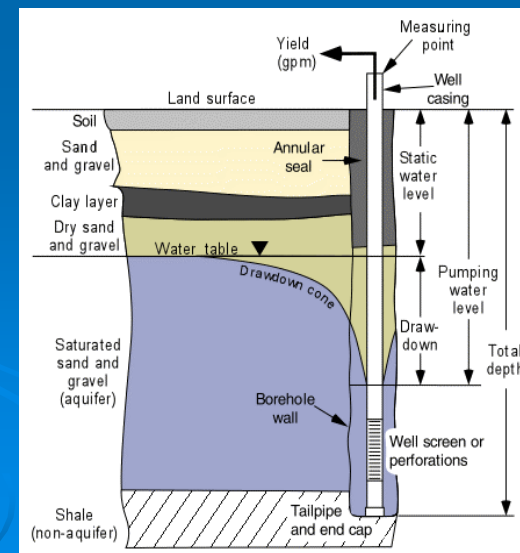
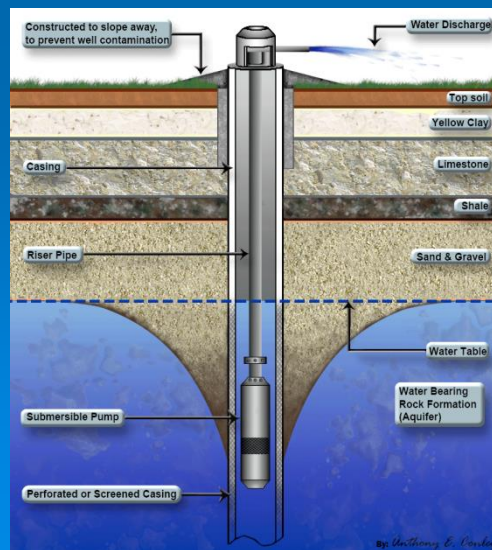
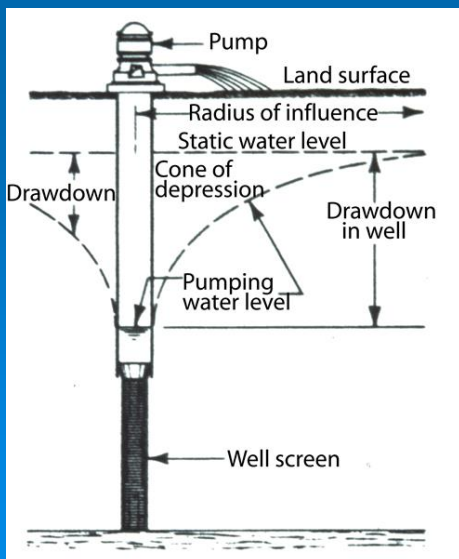
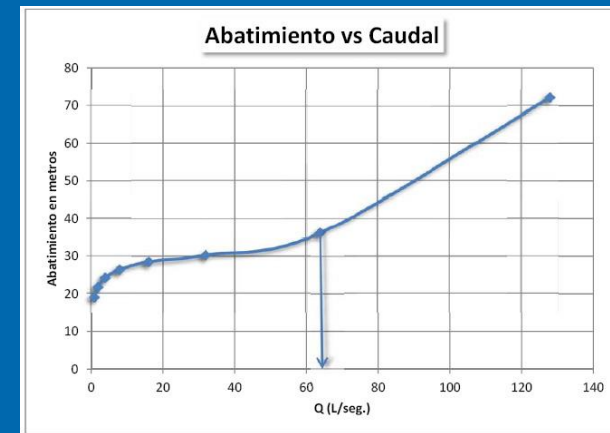
Amplitud de la zona de llamada (perímetros de protección)

# HIDROGEOLOGÍA. HIDRÁULICA DE CAPTACIONES

La hidráulica de captaciones estudia el movimiento de las aguas subterráneas hacia los sondeos, pozos, drenes, etc.

Respecto al pozo, informan sobre:

- Calidad de la construcción (eficiencia del pozo)
- Pérdidas de carga
- Caudal de bombeo más aconsejable
- Colocación de la bomba



La hidráulica de captaciones estudia el movimiento de las aguas subterráneas hacia los sondeos, pozos, drenes, etc.

## Respecto al acuífero, informan sobre:

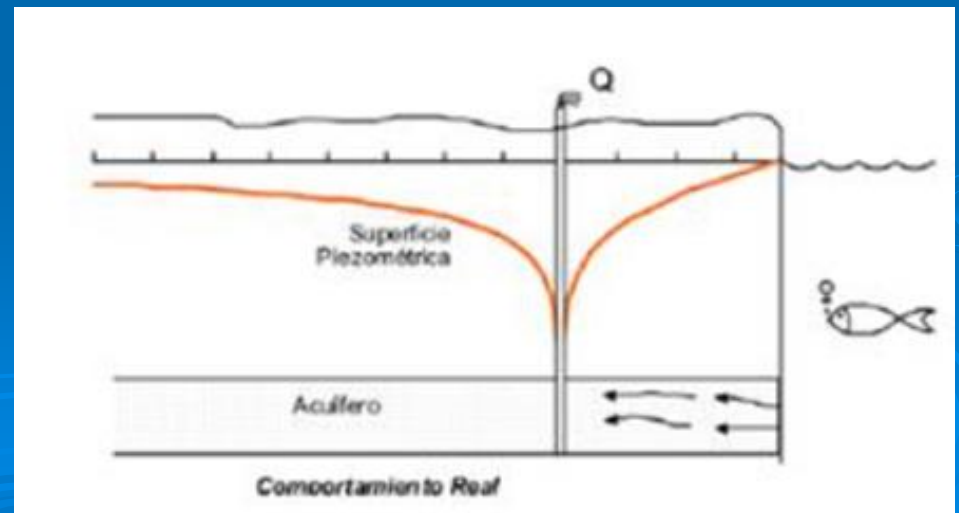
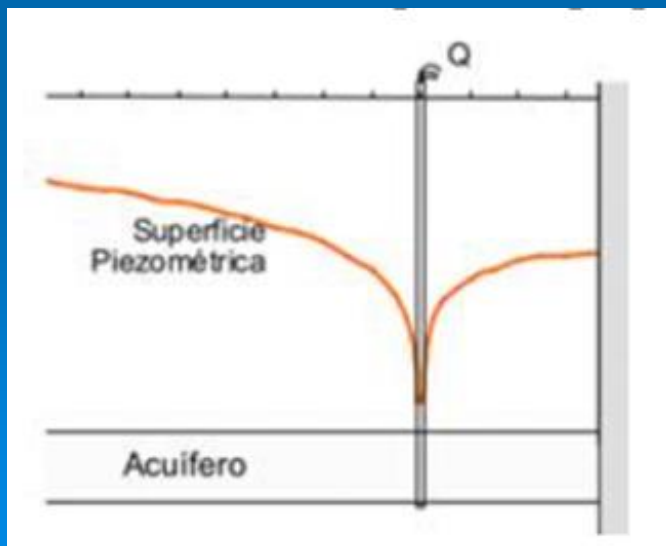
Transmisividad y conductividad hidráulica

Coefficiente de almacenamiento

Existencia de barreras o bordes impermeables

Zonas de recarga

Área del embalse subterráneo





La hidráulica de captaciones estudia el movimiento de las aguas subterráneas hacia los sondeos, pozos, drenes, etc.

## Otros elementos

Radio de influencia del sondeo

Amplitud de la zona de llamada (perímetros de protección)

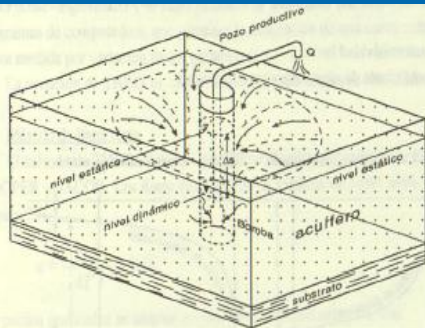


Figura 72: Cono de abatimiento en el acuífero confinado. La sección del flujo al pozo no se cambia durante el desarrollo del cono de abatimiento — Tomado del LAWA (1979).

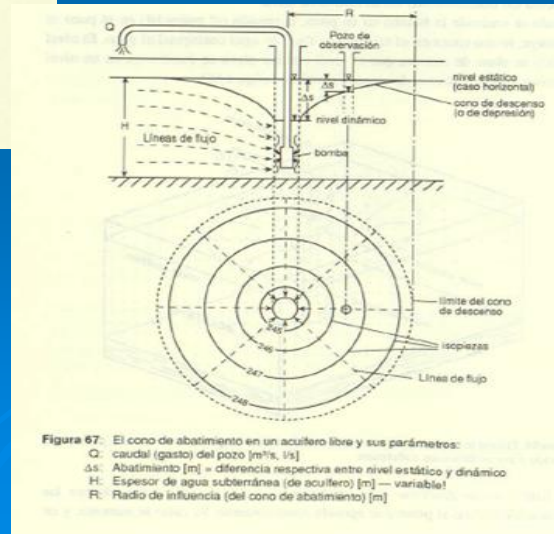
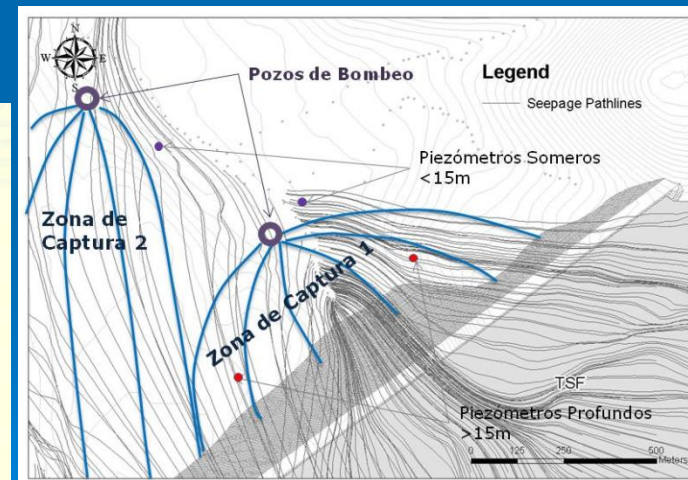


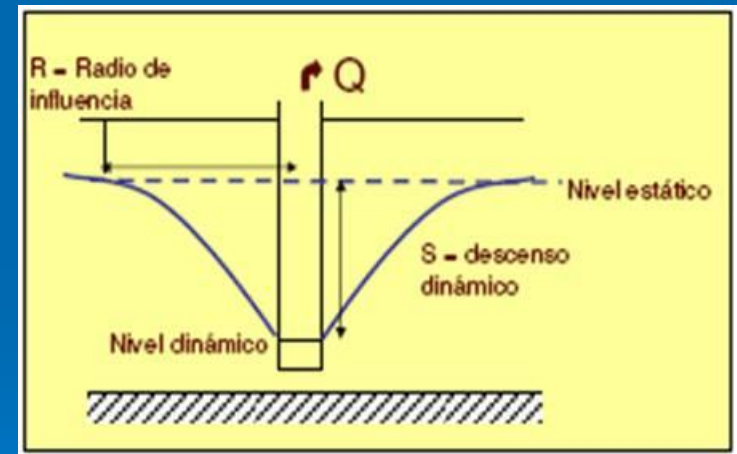
Figura 67: El cono de abatimiento en un acuífero libre y sus parámetros:

- Q: caudal (gasto) del pozo [ $m^3/s$ ,  $l/s$ ]
- $\Delta s$ : Abatimiento [m] = diferencia respectiva entre nivel estático y dinámico
- H: Espesor de agua subterránea (de acuífero) [m] — variable!
- R: Radio de influencia (del cono de abatimiento) [m]



La extracción de agua subterránea siempre está asociada a un descenso del nivel de agua, denominado depresión.

Una variedad de ecuaciones ha sido desarrollada para relacionar el caudal de los pozos con la depresión de la superficie piezométrica (o freática) y los parámetros hidráulicos de los acuíferos.



Estas fórmulas corresponden a dos grandes grupos, las de flujo en régimen estacionario y las de flujo en régimen transitorio. El régimen estacionario es un estado de equilibrio en el cual no se producen variaciones con el transcurso del tiempo. En la práctica se presenta muy pocas veces, pero puede ser alcanzado cuando se bombea un acuífero con buena recarga o en forma aproximada cuando después de bombeos prolongados la depresión es muy lenta.

En las ecuaciones de régimen transitorio interviene el factor tiempo; estas ecuaciones permiten calcular el descenso de la superficie piezométrica o freática con relación al tiempo transcurrido desde el inicio de la extracción de agua.

Las ecuaciones desarrolladas requieren en general las siguientes hipótesis básicas:

- 1). El acuífero es homogéneo, isótropo, horizontal, de espesor constante y de una extensión horizontal infinita.
- 2). Hay un solo pozo en funcionamiento, bombeando un caudal constante.
- 3). El filtro del pozo abarca todo el espesor acuífero.
- 4). El nivel piezométrico anterior al bombeo es constante y uniforme en todo el acuífero.
- 5). En respuesta al descenso del nivel piezométrico, el agua almacenada en el acuífero es liberada en forma instantánea.



## Métodos de ensayo

- **A caudal constante**

*Régimen de equilibrio (permanente), los niveles no varían con el tiempo*

*Régimen no permanente, los niveles varían con el tiempo*

- **A caudal variable**

*Bombeo a caudal crítico*

*Bombeos escalonados*

- **Ensayos de recuperación**

# HIDROGEOLOGÍA. HIDRÁULICA DE CAPTACIONES (TIPOS DE ENSAYOS)

Tipo de acuífero	Tipo de ensayo		Método de análisis
Confinado	Régimen permanente		Fórmula de Thiem
	Régimen variable	Prueba en descensos	Fórmula de Theis
			Aproximación logarítmica de Jacob
		Recuperación	Fórmula de recuperación de Theis
Semiconfinado	Régimen permanente		Fórmula de De Glee o de Jacob-Hantush
	Régimen variable	Descensos	Fórmula de Hantush
		Recuperación	Estudio de ascensos teóricos (1)
Libre	Régimen permanente		Fórmula de Thiem (2) y corrección de Jacob
			Fórmula de Dupuit (3)
	Régimen variable	Prueba en descensos	Fórmula de Theis (4)
			Aproximación logarítmica de Jacob (4)
			Corrección de Dupuit
			Fórmula de Boulton
			Fórmula de Neuman
	Recuperación	Fórmula de recuperación de Theis (2)	

(1) Si el bombeo es lo suficientemente largo como para que los niveles se estabilicen, los ascensos teóricos coinciden con los medidos

(2) Si los descensos son pequeños en comparación con el espesor saturado del acuífero

(3) Admitiendo la aproximación de Dupuit-Forchheimer

(4) Si los descensos son pequeños en comparación con el espesor saturado del acuífero y si el drenaje es instantáneo y proporcional al descenso producido (no existe drenaje diferido)



# METODOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

## *Acuíferos confinados. Método de Thiem*

$$d_1 - d_2 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad \longrightarrow \quad d_1 - d_2 = 0.366 \frac{Q}{T} \lg \frac{r_2}{r_1}$$

$d_1$  depresión producida por el bombeo en el piezómetro 1  
 $d_2$  depresión producida por el bombeo en el piezómetro 2  
 Q caudal de bombeo (cte)

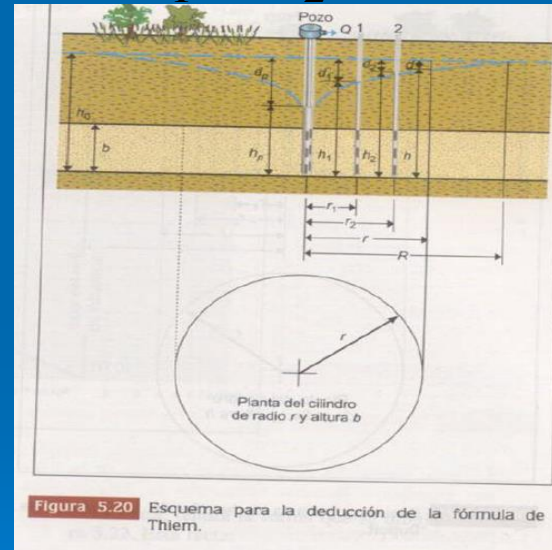
T Transmisividad

$r_1$  distancia del pozo de bombeo al piezómetro 1

$r_2$  distancia del pozo de bombeo al piezómetro 2

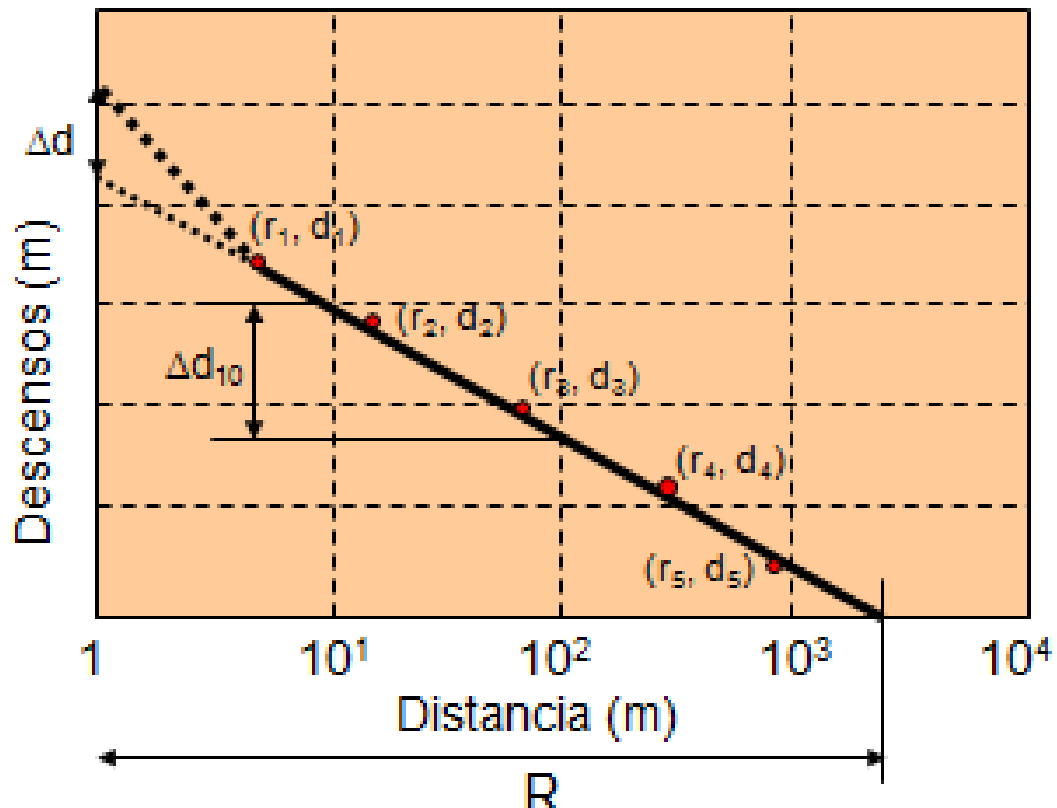
$$d_p - d_2 = 0.366 \frac{Q}{T} \lg \frac{r_2}{r_p}$$

$$\longrightarrow d_p = 0.366 \frac{Q}{T} \lg \frac{R}{r_p}$$



$$d_p = 0.366 \frac{Q}{T} \lg \frac{R}{r_p}$$

# Acuíferos confinados. Método de Thiem (Procedimiento gráfico)



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta d}{\Delta \lg r}$$

$$m = \Delta d$$

$$T = 0.366 \frac{Q}{\Delta d}$$



## EJERCICIO

En un sondeo de radio 0,3 m situado en un acuífero confinado, se ha realizado un ensayo de bombeo a un caudal de 3300 l/min llegando a estabilizarse los niveles. En el sondeo se midió un descenso de 15 m. En tres piezómetros de observación se observaron los descensos indicados en la tabla siguiente:

Piezómetro	Distancia al pozo de bombeo (m)	Descenso (m)
P-1	10	6,80
P-2	40	4,70
P-3	110	2,90

A partir de los datos obtenidos de diferentes sondeos, se ha podido estimar un espesor medio de 55 m de formación permeable.

- Calcular la transmisividad y conductividad hidráulica del acuífero y el radio de influencia
- Calcular el descenso teórico en el sondeo
- ¿Qué caudal específico presenta este sondeo?. ¿Cuál sería el caudal específico si no existiesen pérdidas de carga?
- Calcular el descenso teórico producido en el sondeo y en los piezómetros si se bombease un caudal de 2580 m<sup>3</sup>/día. ¿Podría determinarse el descenso real?. ¿Qué descenso se produce a 1650 m de distancia del punto de bombeo?

## EJERCICIO

Apartado a Calcular la transmisividad y la conductividad hidráulica del acuífero y el radio de influencia

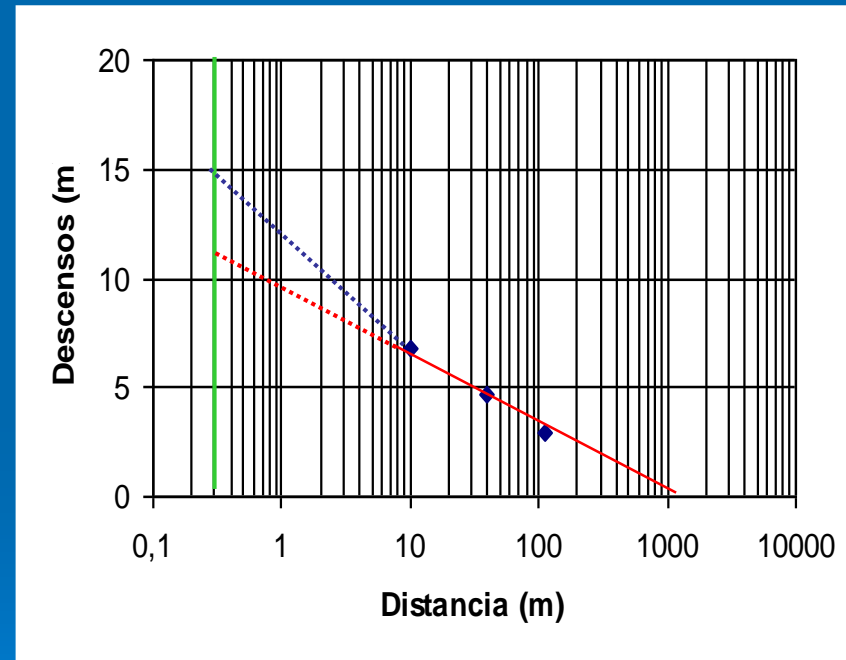
$$T = 0.366 \frac{Q}{\Delta d} = 0.366 \frac{4752 \text{m}^3 / \text{día}}{3.1 \text{m}} = 561 \text{m}^2 / \text{día}$$

$$K = \frac{T}{b} = \frac{561 \text{m}^2 / \text{día}}{55 \text{m}} = 10.2 \text{m} / \text{día}$$

$$R = 1500 \text{m}$$

Apartado b Calcular el descenso teórico en el sondeo

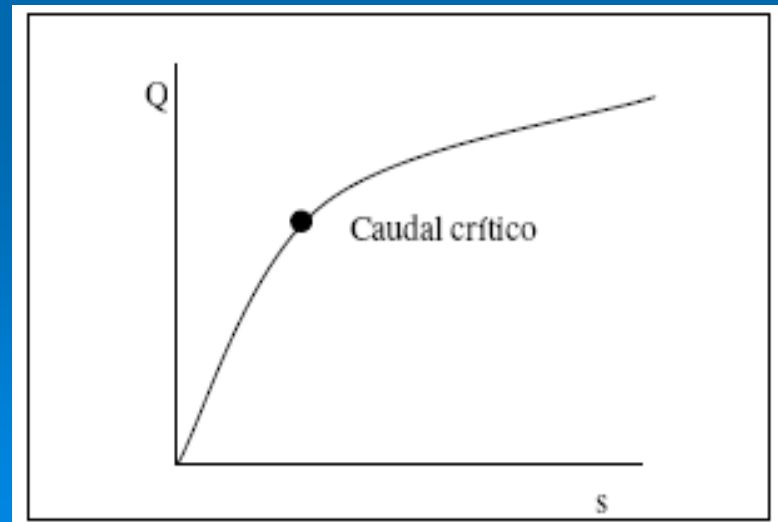
Se prolonga la recta hacia atrás, hasta alcanzar el valor del radio del pozo (0.3m), para obtener el descenso teórico: **st ~ 11.2m**



## EJERCICIO

# Caudal específico

- Caudal por unidad de descenso, l/s/m
- Caudal crítico, representaría un caudal máximo para mínimo descenso (a partir de este punto con pequeños incrementos de caudal, se producen importantes descensos)



## EJERCICIO

Apartado c ¿Qué caudal específico presenta este sondeo?  
¿Cuál sería el caudal específico si no existiesen pérdidas de carga?

$$q_e = \frac{Q}{s_p} = \frac{4752m^3 / día}{15m} = 3.7l / seg / m$$

$$q_e = \frac{Q}{d_t} = \frac{4752m^3 / día}{11.2m} = 4.91l / seg / m$$

## EJERCICIO

Apartado d Calcular el descenso teórico producido en el sondeo y en los piezómetros si se bombease un caudal de 2580 m<sup>3</sup>/día.

$$d = 0.366 \frac{Q}{T} \lg \frac{R}{r}$$

$$d_s = 0.366 \frac{2580 \text{ m}^3 / \text{día}}{561 \text{ m}^2 / \text{día}} \lg \frac{1500 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} = 6,23 \text{ m}$$

$$d_1 = 0.366 \frac{2580 \text{ m}^3 / \text{día}}{561 \text{ m}^2 / \text{día}} \lg \frac{1500 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 3,66 \text{ m}$$

$$d_2 = 0.366 \frac{2580 \text{ m}^3 / \text{día}}{561 \text{ m}^2 / \text{día}} \lg \frac{1500 \text{ m}}{40 \text{ m}} = 2,65 \text{ m}$$

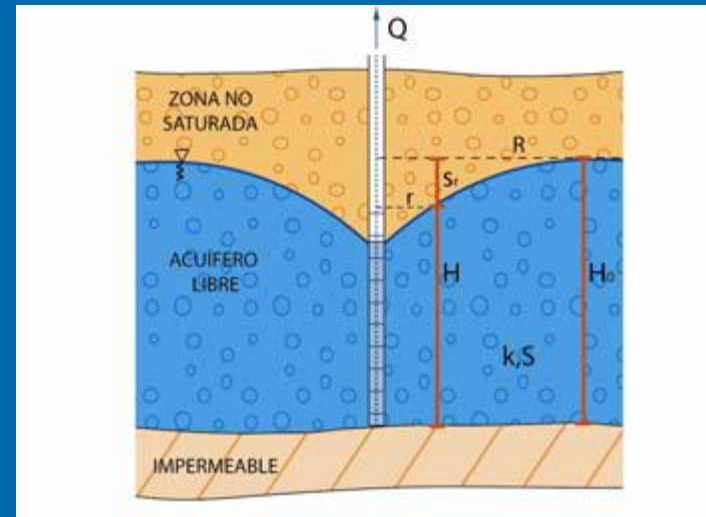
$$d_3 = 0.366 \frac{2580 \text{ m}^3 / \text{día}}{561 \text{ m}^2 / \text{día}} \lg \frac{1500 \text{ m}}{110 \text{ m}} = 1,91 \text{ m}$$



# MÉTODOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

## *Acuíferos libres. Método de Dupuit*

$$H_0^2 - H^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r}$$



$H_0$  = Potencial hidráulico antes del bombeo (L)

$r$  = Radio de influencia en un punto (L)

$H$  = Potencial hidráulico con cono estabilizado (L)

$R$  = Radio máximo de influencia (L)

$K$  = Conductividad hidráulica (L/T)

$Q$  = Caudal constante (L<sup>3</sup>/T)

# MÉTODOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

## *Acuíferos libres. Método de Dupuit*

### Solución de Dupuit: cálculo de parámetros hidráulicos (K)

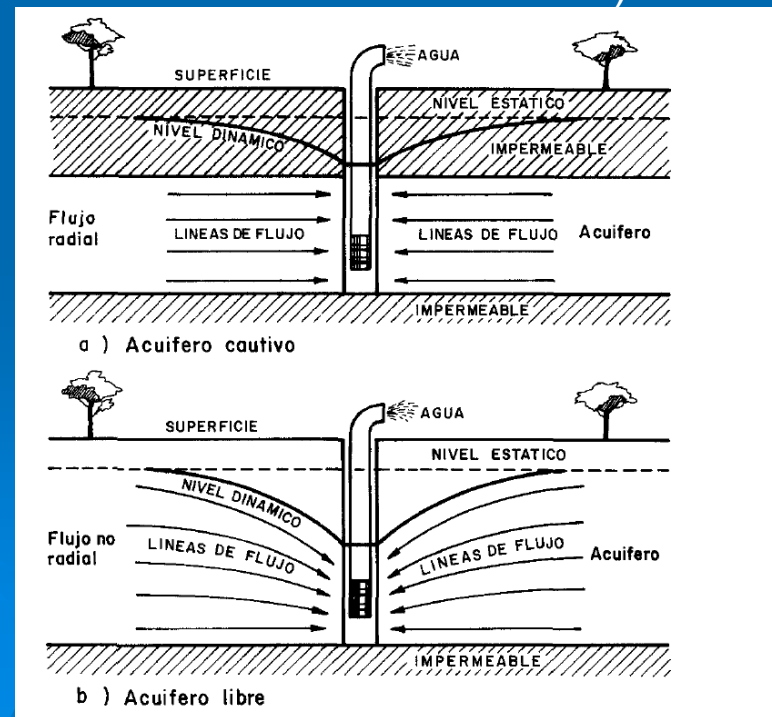
- Es necesario aplicar el método gráfico
- Para ello es necesario conocer también el descenso en al menos dos puntos adicionales del acuífero (una vez estabilizado el cono de bombeo)

### Requerimientos técnicos

- Pozo de bombeo
- Dos piezómetros de observación

### Formulación

$$K = \frac{2.3 Q}{\pi \Delta_{10}}$$



# METODOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

## *Acuíferos libres. Método de Dupuit*

### **Ejemplo: Solución de Dupuit**

En un acuífero libre se bombea de un pozo de 0.2 m de radio un caudal constante de 30 l/s hasta observarse una estabilización del cono de bombeo. El potencial hidráulico en el acuífero antes del bombeo era de 40 m, habiendo descendido 4 y 12.6 m respectivamente a 20 y 1m de distancia del pozo, en el cual se ha observado un descenso de 19.5m. Se necesita calcular:

- a) Radio máximo de influencia del pozo
- b) Conductividad hidráulica del acuífero, transmisividad mínima y máxima
- c) Pérdidas de carga del pozo
- d) El descenso en un punto situado a 50 m del pozo de bombeo y el descenso en un punto situado a 200 m del pozo

**MÉTODOS EN RÉGIMEN PERMANENTE*****Acuíferos libres. Método de Dupuit***

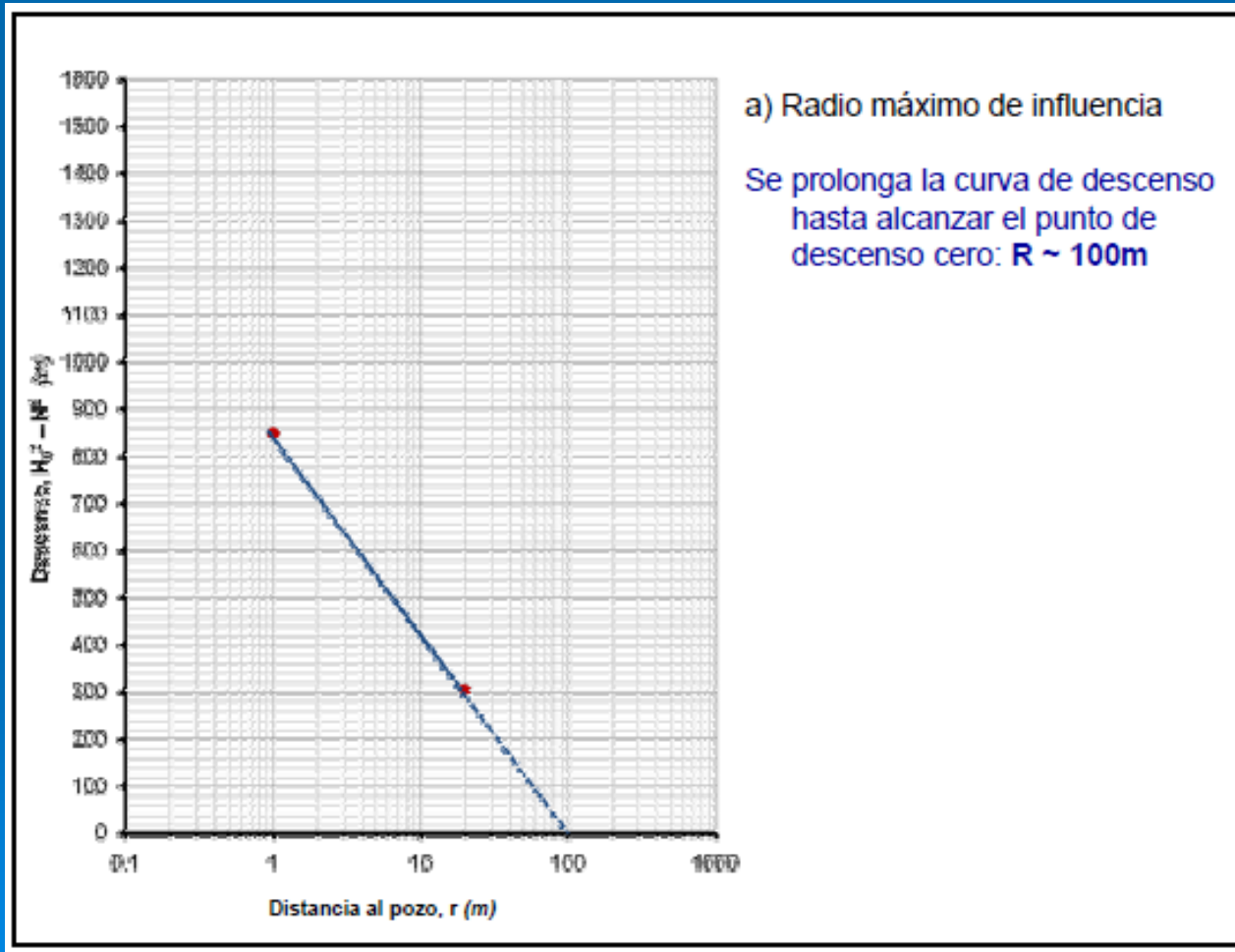
En un acuífero libre se bombea de un pozo de 0.2 m de radio un caudal constante de 30 l/s hasta observarse una estabilización del cono de bombeo. El potencial hidráulico en el acuífero antes del bombeo era de 40m, habiendo descendido 4 y 12.6m respectivamente a 20 y 1m de distancia del pozo, en el cual se ha observado un descenso de 19.5m. Se necesita calcular:

## a) Radio máximo de influencia del pozo

Distancia (m)	Descenso (m)	$H_0$ (m)	H (m)	$H_0^2 - H^2$
1	12.6	40	27.4	849
20	4.0	40	36.0	304

# MÉTODOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

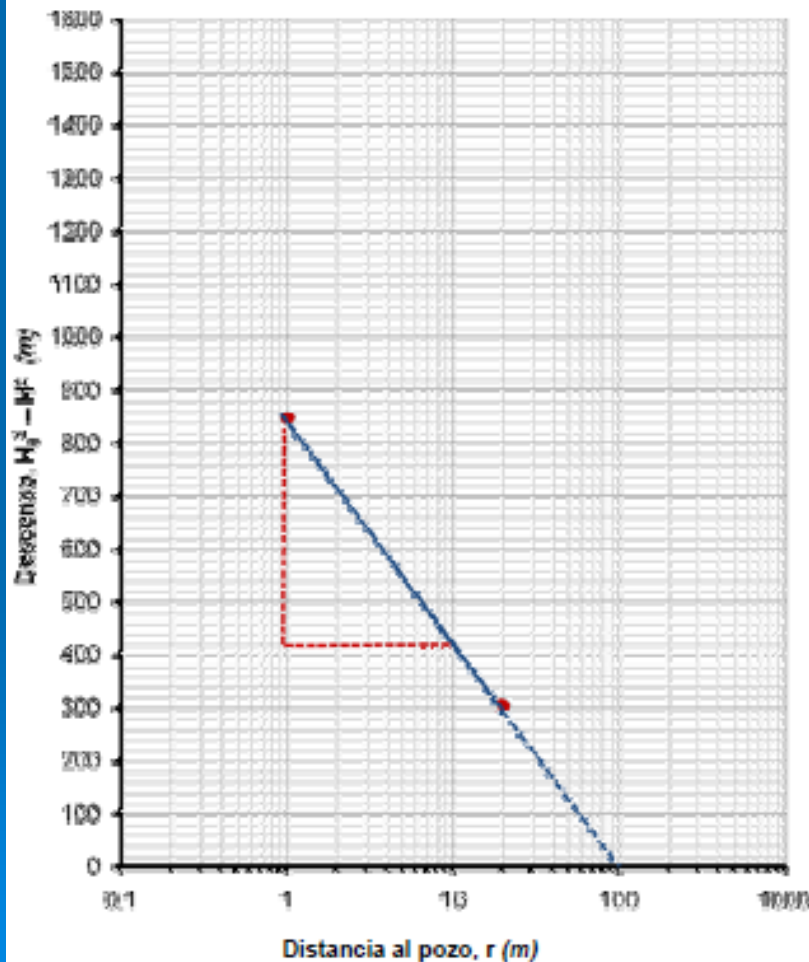
## *Acuíferos libres. Método de Dupuit*





# MÉTODOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

## *Acuíferos libres. Método de Dupuit*



b) Conductividad hidráulica y transmisividades max y min

$$K = 2.3 Q / \pi \Delta_{10}$$

$$\Delta_{10} = (850 - 430) / 1$$

$$K = 2.3 \cdot 2592 / (\pi \cdot 420)$$

$$K = 4.5 \text{ m/d}$$

Por tanto:

$$T = K \cdot b$$

$$T_{\max} = 4.5 \cdot 40$$

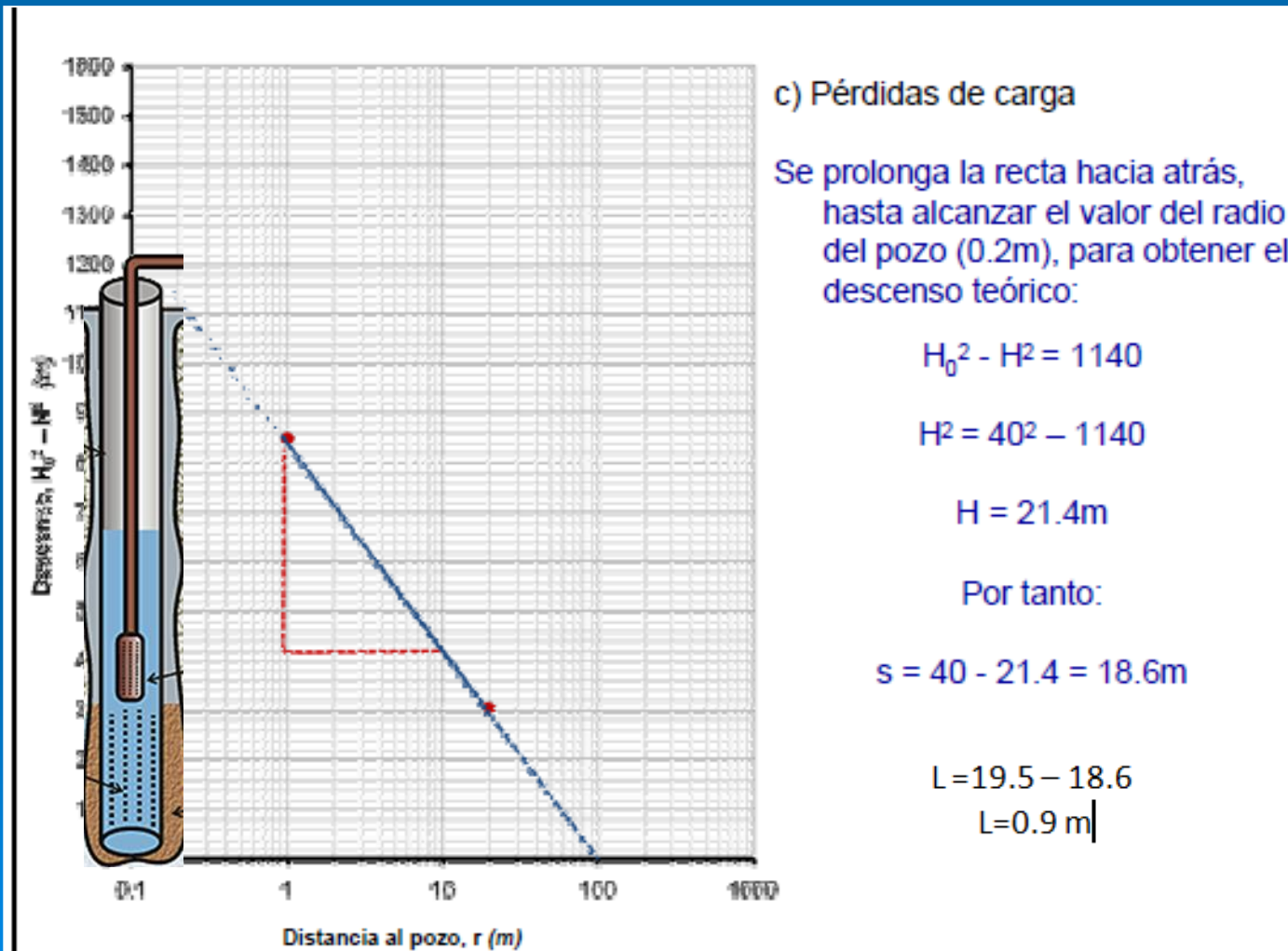
$$T_{\max} = 180 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$T_{\min} = 4.5 \cdot (40 - 19.5)$$

$$T_{\min} = 92 \text{ m}^2/\text{d}$$

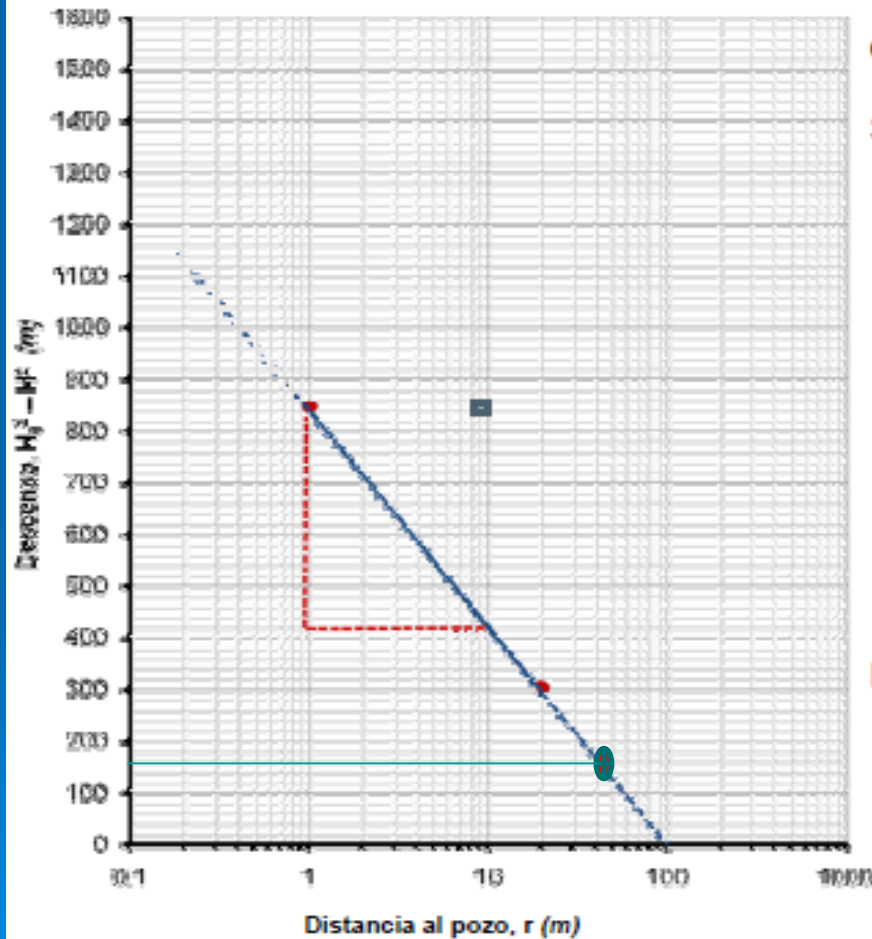
# MÉTODOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

## *Acuíferos libres. Método de Dupuit*



# MÉTODOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

## *Acuíferos libres. Método de Dupuit*



d) Descenso a 50m del pozo

Se prolonga la recta hacia delante hasta llegar a  $r_{50}$

$$H_0^2 - H_{50}^2 = 1400$$

$$H_{50}^2 = 40^2 - 1400$$

$$H_{50} = 38.2\text{m}$$

Por tanto:

$$s_{50} = 40 - 38.2 = 1.8\text{m}$$

Descenso a 200m del pozo

$$s_{200} = 0\text{m}$$

# METODOS EN RÉGIMEN VARIABLE

## *Acuíferos confinados.*

### *Aproximación logarítmica de Jacob*

$$d = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad d = 0,183 \frac{Q}{T} \lg \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

Si  $\frac{r^2 S}{2,25Tt} = t_0$   $t_0 =$  punto de corte de la recta con el eje X

$$d = 0,183 \frac{Q}{T} \lg t - 0,183 \frac{Q}{T} \lg t_0$$

$$m = \Delta d_{10} = 0,183 \frac{Q}{T}$$

d = descenso en un punto situado a una distancia r del punto de bombeo

Q = caudal

T = transmisividad

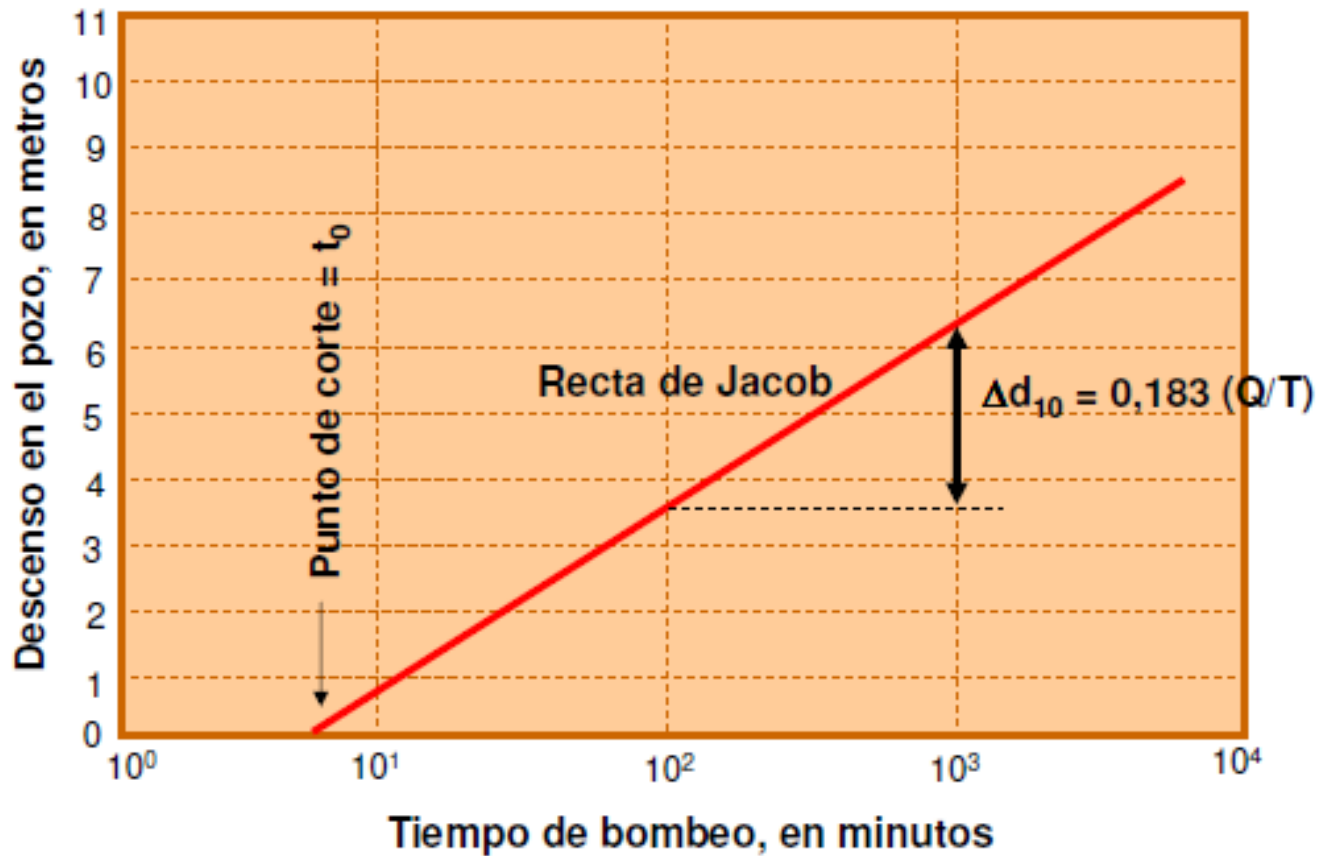
S = coeficiente de almacenamiento

t = tiempo transcurrido a partir del inicio del bombeo

# MÉTODOS EN RÉGIMEN VARIABLE

*Acuíferos confinados.*

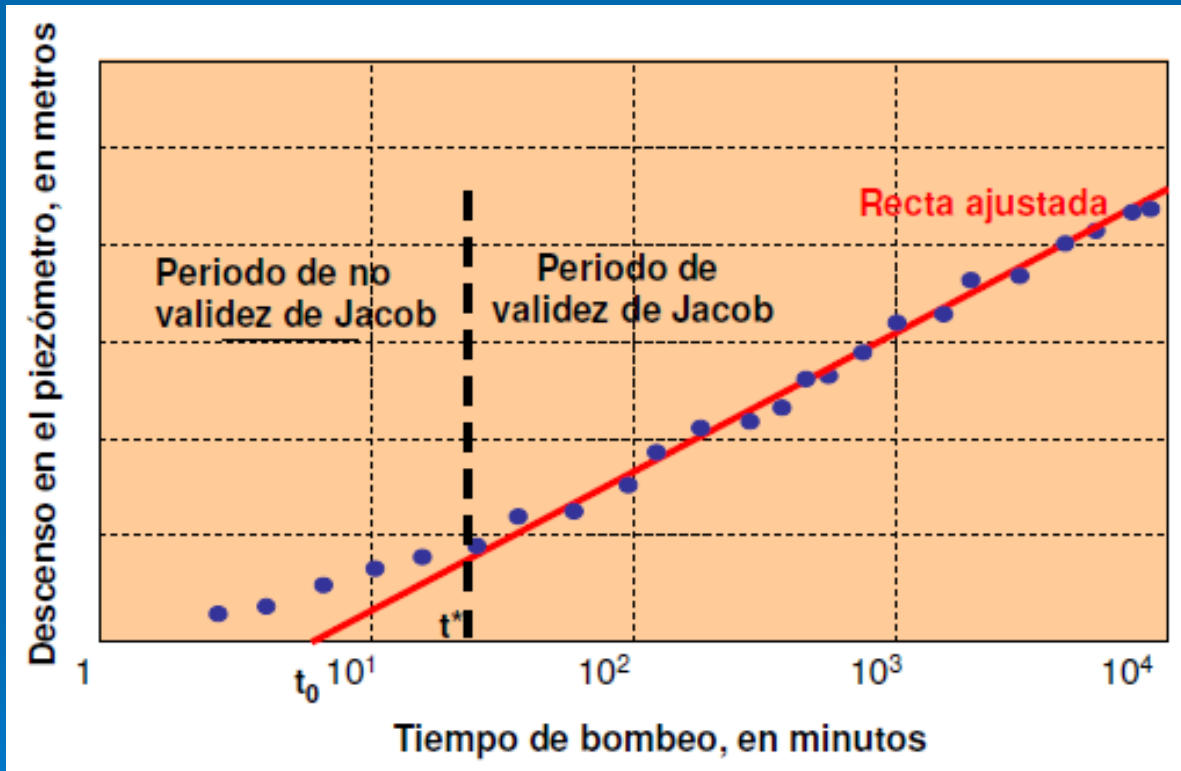
*Aproximación logarítmica de Jacob*



# METODOS EN RÉGIMEN VARIABLE

*Acuíferos confinados.*

*Aproximación logarítmica de Jacob*



Mejores resultados cuanto mayor es el tiempo y/o menor la distancia al pozo de bombeo

# METODOS EN RÉGIMEN VARIABLE

## *Acuíferos confinados.*

### *Aproximación logarítmica de Jacob*

#### EJERCICIO

Calcular los descensos de un pozo de 0.60 m de diámetro a 10 y 100 metros del mismo a 1 hora y 1 día de iniciado el bombeo sabiendo que el caudal constante de bombeo es de 100 m<sup>3</sup>/hora, la transmisividad del acuífero es de 1000 m<sup>2</sup>/día y el coeficiente de almacenamiento es de 10<sup>-4</sup>. Utilizar la simplificación de Jacob.

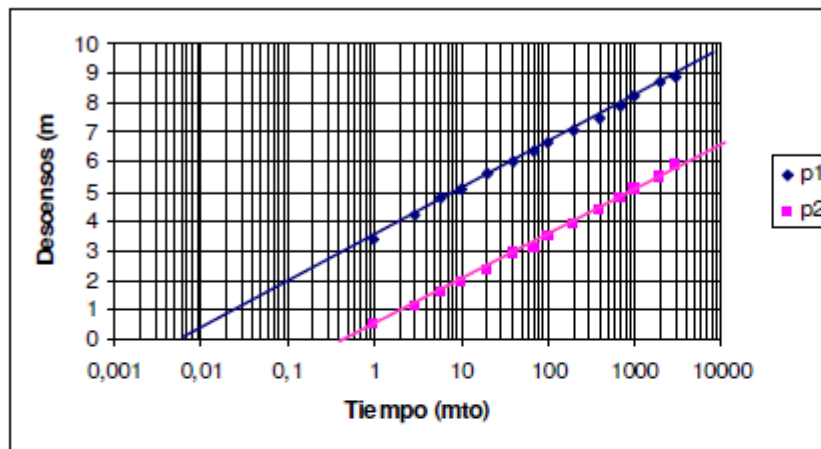
t(mto)	Sp1	Sp2	Spozo
1	3.40	0.53	17.50
3	4.20	1.10	18.20
6	4.80	1.55	19.00
10	5.08	1.92	19.40
20	5.60	2.35	19.90
40	6.05	2.90	20.30
70	6.40	3.10	30.70
100	6.65	3.48	21.10
200	7.10	3.90	21.30
400	7.50	4.40	21.80
700	7.90	4.80	22.00
1000	8.25	5.08	22.40
2000	8.70	5.50	22.80
3000	8.90	5.90	23.20



# METODOS EN RÉGIMEN VARIABLE

## *Acuíferos confinados.*

### *Aproximación logarítmica de Jacob*



Para P1  
 $\Delta d = 1,65$   
 $T_0 = 7,6 \cdot 10^{-3}$

Para P2  
 $\Delta d = 1,60$   
 $T_0 = 6 \cdot 10^{-1}$

$$T_1 = 0,183 \frac{Q}{\Delta d_{10}} = 0,183 \frac{360m^3 / h \cdot 24h / día}{1,65m} = 960m^2 / día$$

$$S_1 = \frac{2,25Tt_0}{r^2} = \frac{2,25 \cdot 960m^2 / día \cdot 7,610^{-3}}{100 \cdot 1440 \text{ min} / día} = 1,1 \cdot 10^{-4}$$

$$T_2 = 990m^2 / día$$

$$S_2 = 0,9 \cdot 10^{-4}$$

## REFERENCIAS BÁSICAS

- Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.) (1983).- Hidrología Subterránea. (2 tomos). Omega, 2350 pp.
- Fetter, C. W. (2001). - Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, 4ª ed., 598 pp.
- Kruseman, G.P. y N.A. Ridder. (1990).- Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. International Institute for Land Reclamation and Improvement, 377 pp.

