

CURSO 4
FLUJO DE AGUA EN SUELOS
FUNDAMENTOS Y APLICACIONES

TEMA 2
MEDICIONES DE PERMEABILIDAD IN SITU

2011



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



METODOS DE TERRENO

PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION

PRUEBAS TIPO SLUG TESTS

PRUEBAS DE INFILTRACION

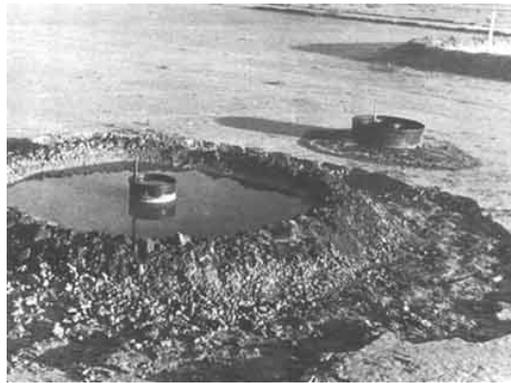
PRUEBAS GEOTECNICAS

PRUEBAS CON TRAZADORES

PRUEBAS DE BOMBEO



- METODOS DIRECTOS PARA CALCULAR K (TERRENO)**



- **METODOS DIRECTOS PARA CALCULAR K (TERRENO)**

Los métodos de terreno permiten identificar la conductividad hidráulica de un suelo en forma directa a través de experiencias que involucran la excavación de norias o pozos superficiales, en los cuales se efectúan:

- Pruebas de agotamiento y recuperación
- Slug tests
- Pruebas de infiltración
- Pruebas geotécnicas
- Medidas de velocidad de la napa mediante el uso de trazadores
- Pruebas de bombeo en pozos profundos



- METODOS DIRECTOS PARA CALCULAR K (TERRENO)**

METODO	PARAMETRO	VALIDEZ
Pruebas de Agotamiento y Recuperación	Conductividad Hidráulica Horizontal	1 a 5 m
Slug Tests	Conductividad Hidráulica Horizontal	1 a 5 m
Pruebas de Infiltración	Tasa de infiltración y Conductividad Hidráulica Vertical	1 a 5 m
Pruebas Geotécnicas	Conductividad Hidráulica Horizontal	1 a 5 m
Pruebas con Trazadores	Conductividad Hidráulica Horizontal	1 a 20 m
Pruebas de Bombeo	Conductividad Hidráulica Horizontal y Transmisividad	200 a 500 m



METODOS DE TERRENO

PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION

PRUEBAS TIPO SLUG TESTS

PRUEBAS DE INFILTRACION

PRUEBAS GEOTECNICAS

PRUEBAS CON TRAZADORES

PRUEBAS DE BOMBEO



- **PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION (AUGER HOLE)**

Las **pruebas de agotamiento y recuperación** requieren la perforación de una zanja, pozo o noria de pequeña profundidad que comprometa al menos una parte de la napa de aguas subterráneas.

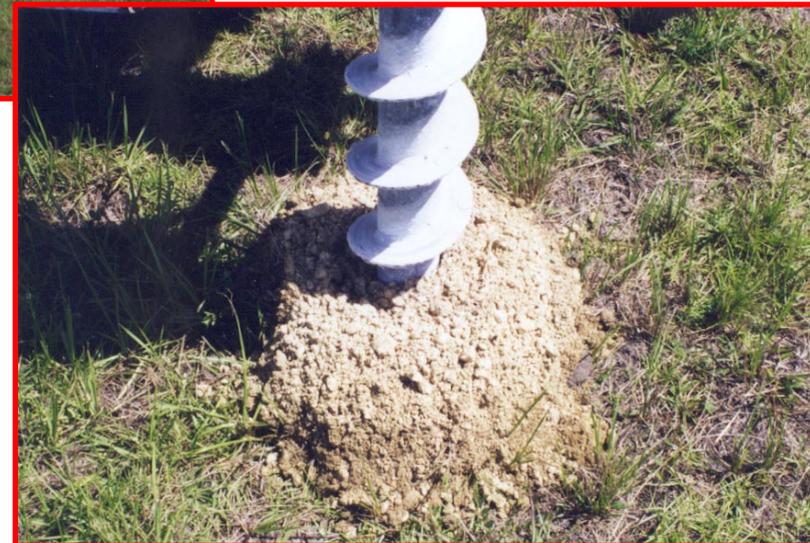
Mediante el uso de pequeñas bombas es posible extraer agua del pozo (agotamiento) y medir la recuperación de la napa a lo largo del tiempo. A partir de la información de niveles y de la geometría del pozo es posible estimar el coeficiente de permeabilidad.

Analizaremos dos tipos:

- Perforación entubada
- Perforación no entubada



- **PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION (AUGER HOLE)**



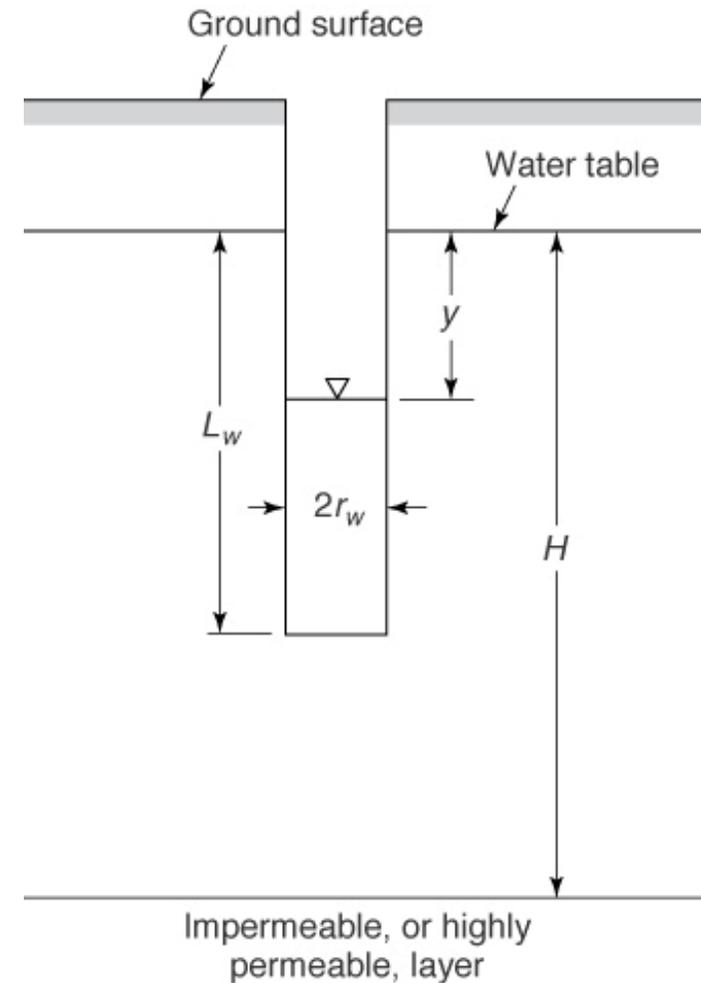
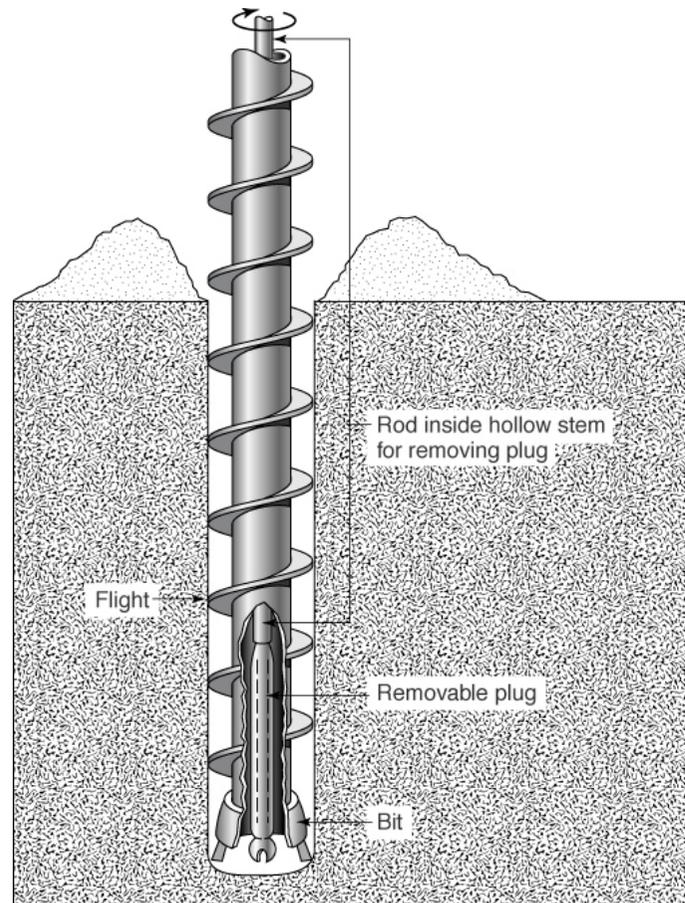
- **PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION (AUGER HOLE)**



- **PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION (AUGER HOLE)**



- PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION (AUGER HOLE)



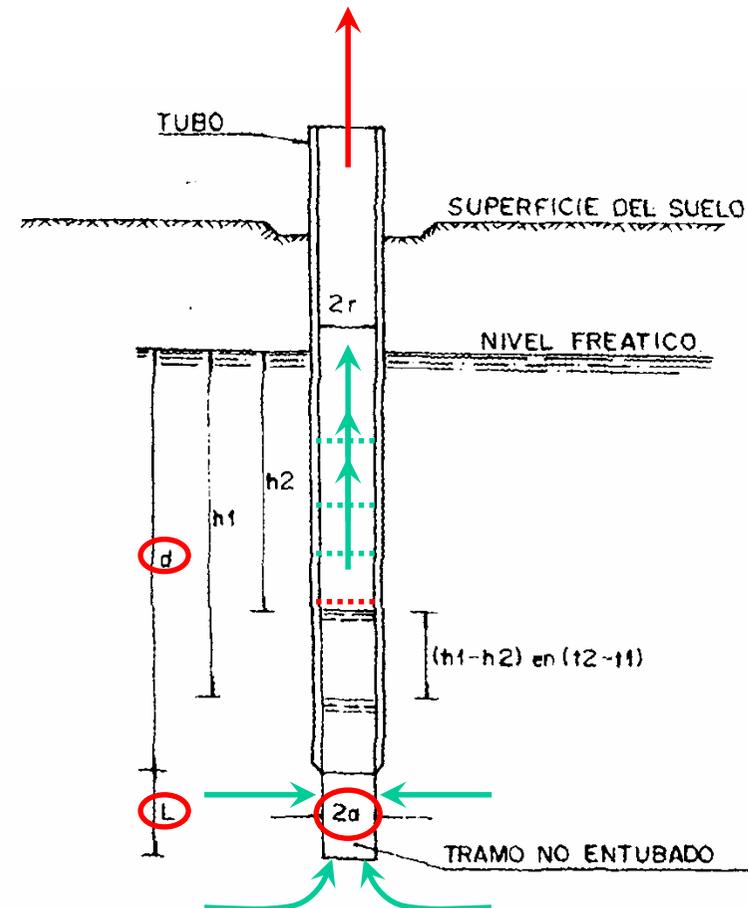
PRUEBA DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION PERFORACION ENTUBADA



- **PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION (PERFORACION ENTUBADA)**

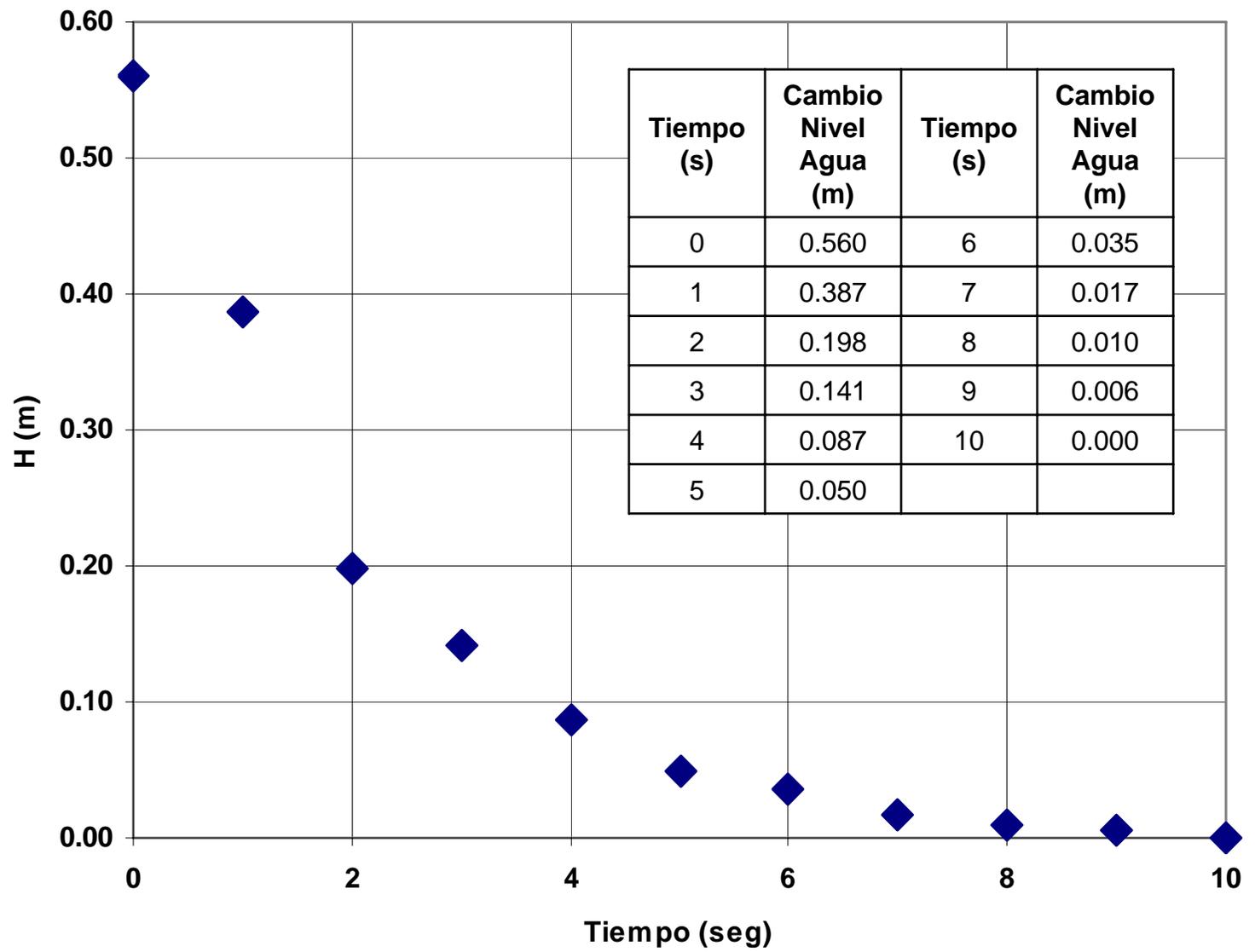
La **prueba en perforación entubada** requiere la perforación de un pozo aproximadamente cilíndrico, el cual se reviste con un tubo de mayor diámetro. La porción inferior de la perforación se deja sin entubar para permitir la entrada del agua subterránea hacia el pozo durante la etapa de recuperación.

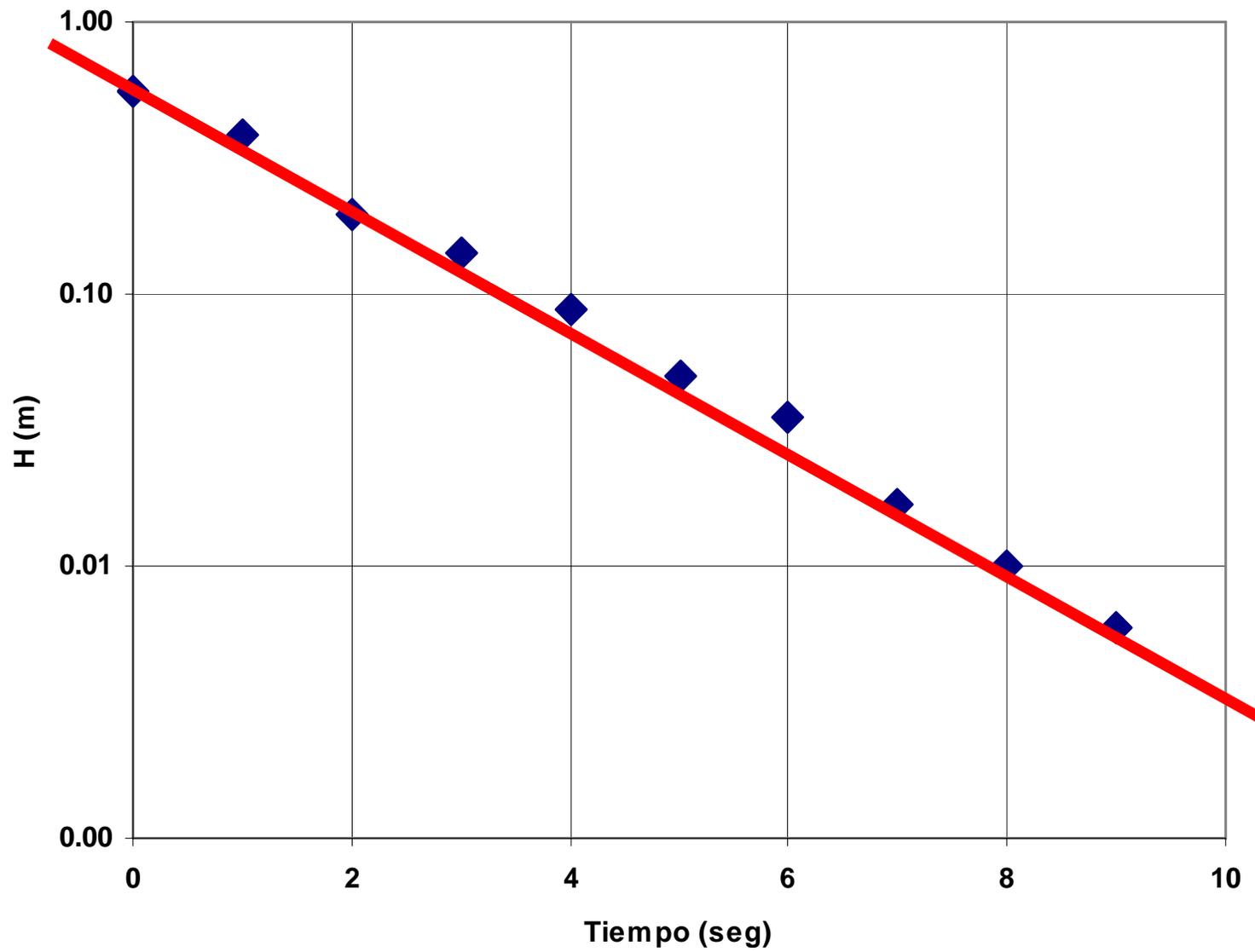
Para llevar a cabo la prueba el nivel de aguas se deprime mediante el uso de una bomba y se mide su recuperación a través del tiempo.



h versus t





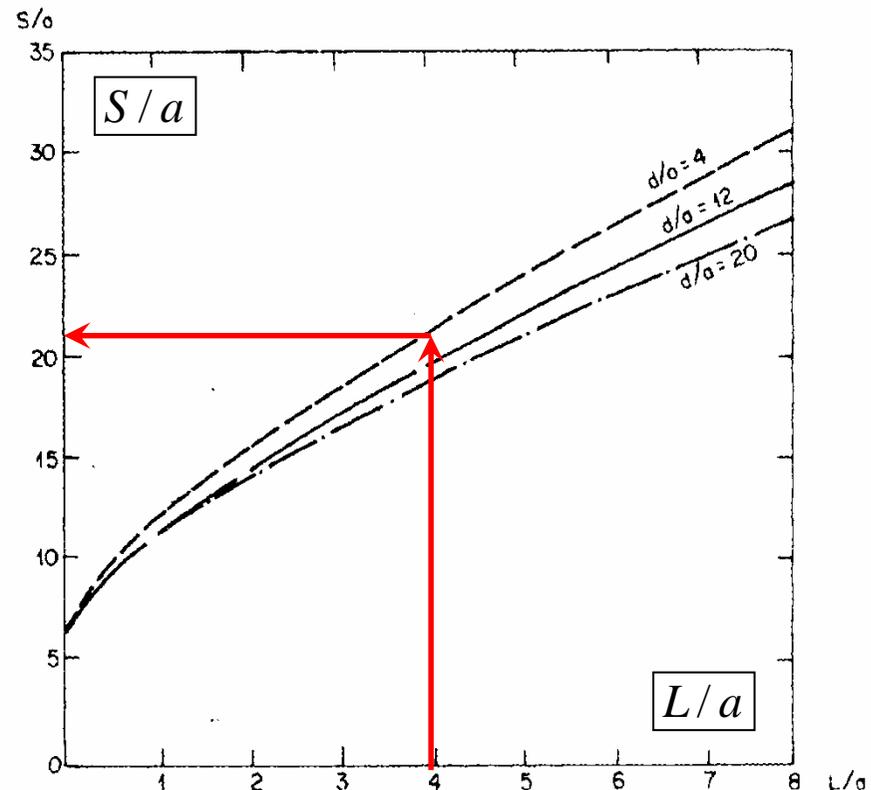


- **PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION (PERFORACION ENTUBADA)**

El coeficiente de permeabilidad se estima a partir de la siguiente relación:

$$K = \frac{\pi \cdot r^2}{S} \cdot \frac{\ln(h_1 / h_2)}{(t_2 - t_1)}$$

en donde r es el radio interior del tubo y S es un factor de forma que depende del diámetro de la perforación no entubada y de la longitud del tramo entubado ubicado por debajo del nivel freático. El valor de S se obtiene del gráfico.

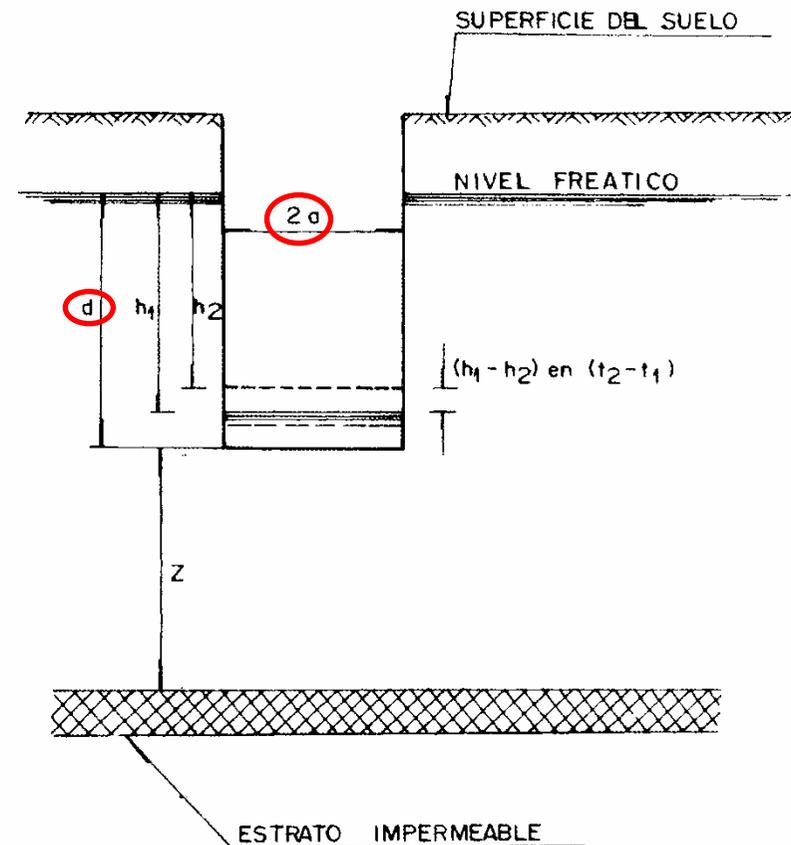


PRUEBA DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION PERFORACION NO ENTUBADA



- **PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION (PERFORACION NO ENTUBADA)**

En la prueba en **perforación no entubada** se excava un pozo de sección circular hasta comprometer parcial o totalmente la napa de aguas subterráneas a lo menos en una longitud de 50 cm. En este caso la excavación no se reviste. Al igual que en la prueba anterior, el nivel de aguas se deprime mediante el uso de una bomba y se mide su recuperación a través del tiempo.

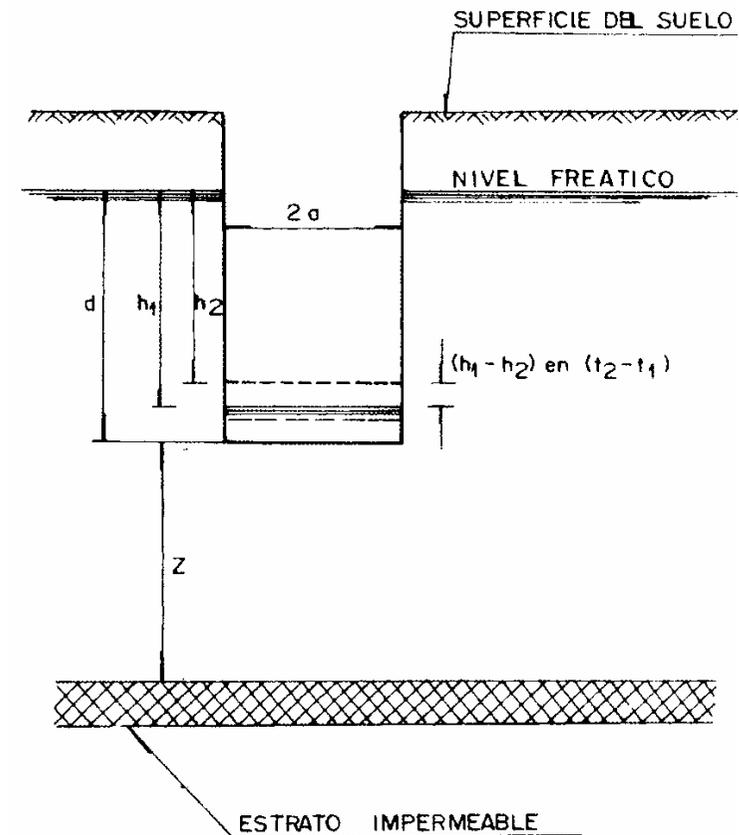


- **PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION (PERFORACION NO ENTUBADA)**

En el caso que la perforación atraviese sólo parcialmente la napa, el coeficiente de permeabilidad se estima a partir de la siguiente relación:

$$K = \frac{a \cdot S}{2d + a} \cdot \frac{\ln(h_1 / h_2)}{(t_2 - t_1)}$$

donde $S = a d / 0.19$ en el sistema MKS.

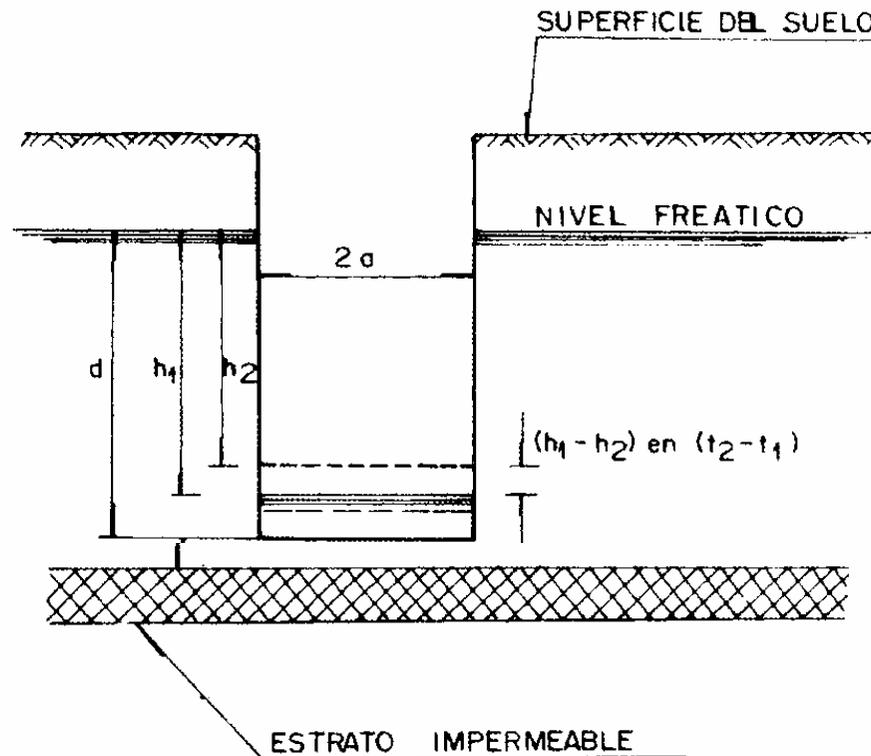


- **PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION (PERFORACION NO ENTUBADA)**

En el caso que la perforación comprometa totalmente el espesor de la napa, el coeficiente de permeabilidad se estima a partir de la siguiente relación:

$$K = \frac{a \cdot S}{2d} \cdot \frac{\ln(h_1/h_2)}{(t_2 - t_1)}$$

donde $S = a d / 0.19$ en el sistema MKS.



EJEMPLO DE PRUEBA DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION PERFORACION NO ENTUBADA



Nombre	Calicata C1
Ubicación	Relleno Sanitario La Yesca
Coordenada Norte	6211207.045 m
Coordenada Este	343495.101 m
Area	2.9 m ²
Radio efectivo	0.96 m
Profundidad del Agua	1.08 m (Medida desde la superficie libre)

Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel
[seg]	[m]	[seg]	[m]
0	0.81	840	0.71
30	0.805	1020	0.695
60	0.802	1080	0.689
90	0.799	1200	0.678
120	0.795	1320	0.667
150	0.79	1440	0.658
180	0.787	1560	0.648
210	0.782	1680	0.638
240	0.78	1800	0.628
270	0.777	2100	0.603
300	0.77	2400	0.578
360	0.762	2700	0.56
420	0.754	3000	0.539
480	0.748	3120	0.535
540	0.743	3300	0.523
600	0.737	3600	0.502
720	0.722		





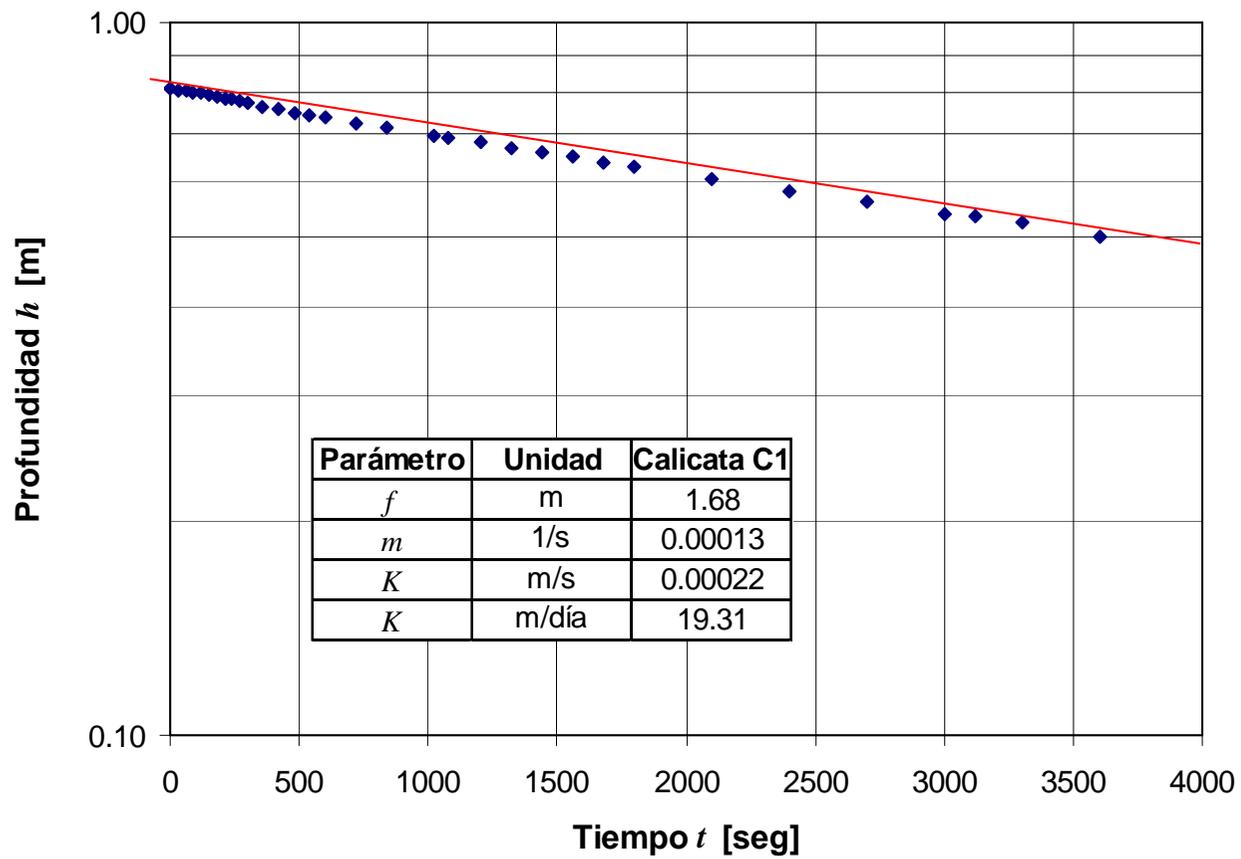












$$K = \frac{a \cdot S}{2d + a} \cdot \frac{\ln(h_1/h_2)}{(t_2 - t_1)} = f \cdot m$$

Parámetro	Unidad	Calicata
		C1
A	[m ²]	2.9
a	[m]	0.96
d	[m]	1.08
S	[m]	5.46
f	[m]	1.68



METODOS DE TERRENO

PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION

PRUEBAS TIPO SLUG TESTS

PRUEBAS DE INFILTRACION

PRUEBAS GEOTECNICAS

PRUEBAS CON TRAZADORES

PRUEBAS DE BOMBEO



ANTECEDENTES HISTORICOS

Metodología para evaluación de sistemas hidrogeológicos ampliamente utilizada para caracterización de sitios contaminados en los últimos 20 años.

El cambio en el nivel de agua en el pozo se produce por la agregación instantánea (o muy rápida) de un pistón o en algunos casos de agua. Posteriormente se mide el cambio o recuperación del nivel de agua en la perforación hasta alcanzar su nivel original.

Usos más comunes:

- a) Caracterizar sitios contaminados donde no es factible bombear o inyectar agua
- b) Caracterizar sistemas acuíferos de baja permeabilidad



ANTECEDENTES HISTORICOS

Porqué se ha ampliado tanto su uso en los últimos años:

- 1) Bajo Costo en términos de implementación y personal en terreno
- 2) Simplicidad de inicio y mantención de la prueba
- 3) Relativamente rápidos
- 4) Muy adecuados para formaciones de baja permeabilidad
- 5) No se requiere llevar agua para desarrollo de pruebas en terreno
- 6) Con un buen diseño experimental esta metodología provee información sobre la variación espacial de la conductividad hidráulica
- 7) Análisis de resultados relativamente simple

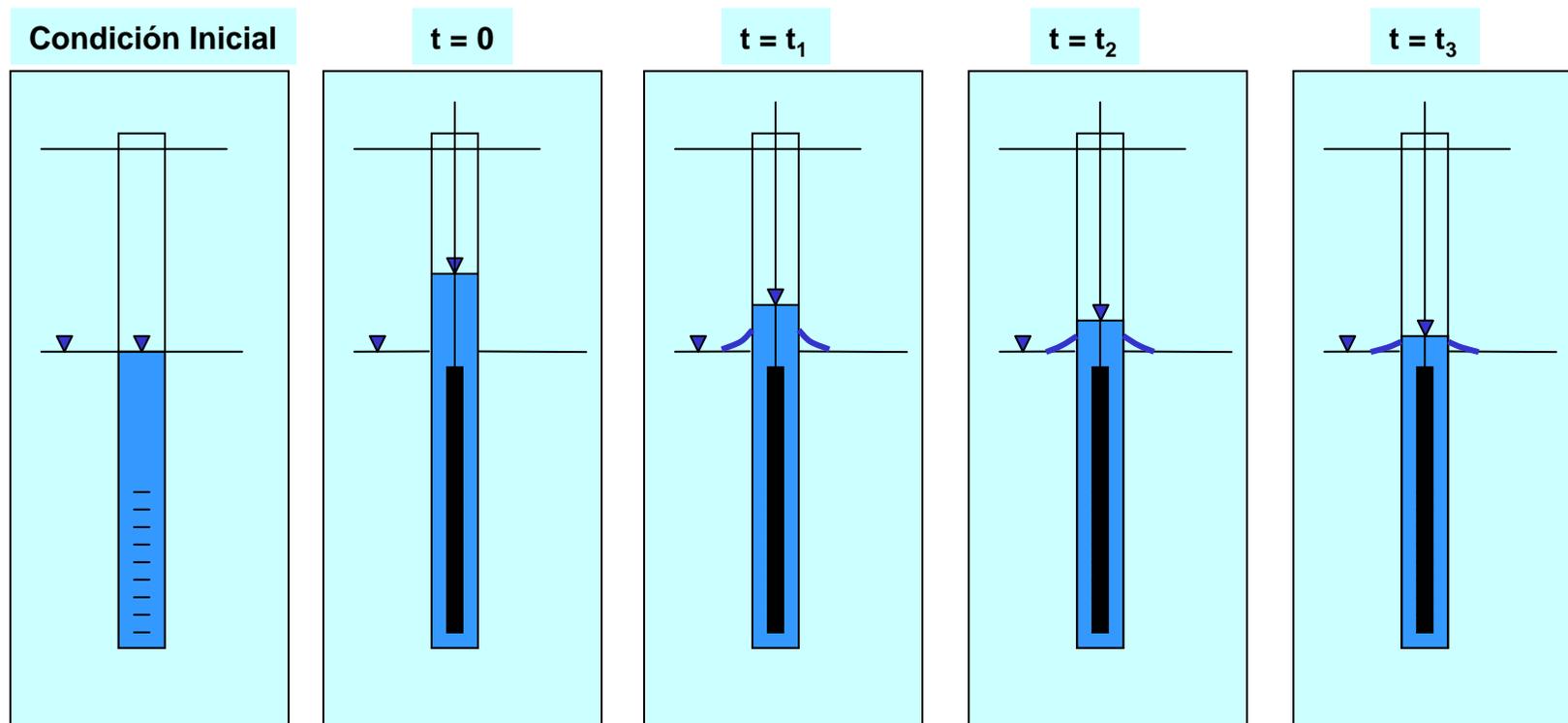
Escepticismo acerca de su validez:

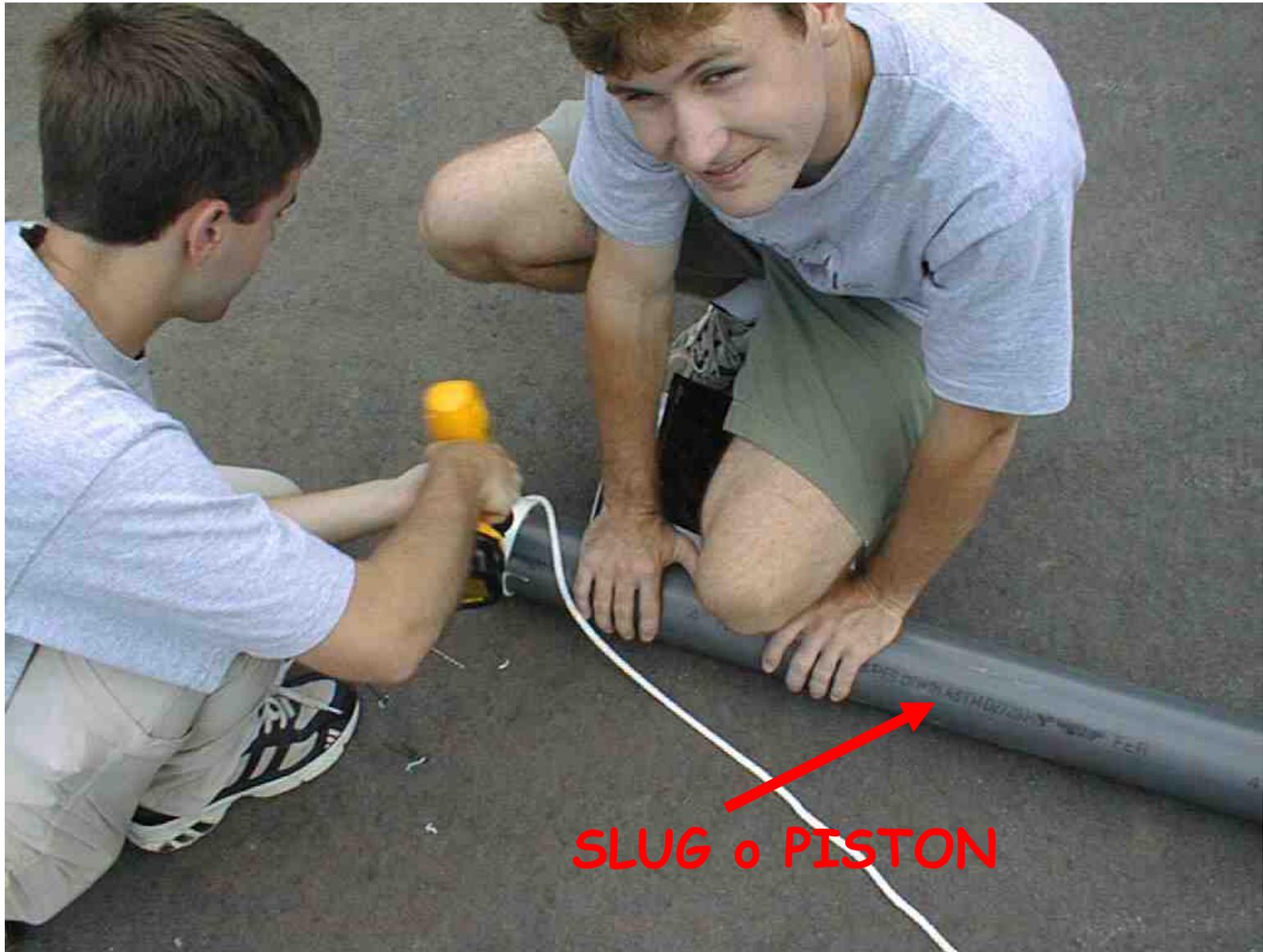
- 1) Resultados difieren de aquellos obtenidos por otras metodologías
- 2) No hay desarrollo adecuado de los pozos (especialmente monitoreo)
- 3) Efecto de método de perforación



“Slug tests” se llevan a cabo subiendo o bajando en forma instantánea el nivel de agua en una perforación y midiendo la recuperación del nivel de aguas original (previo a la prueba).

Es una alternativa barata y rápida a las tradicionales pruebas de bombeo.



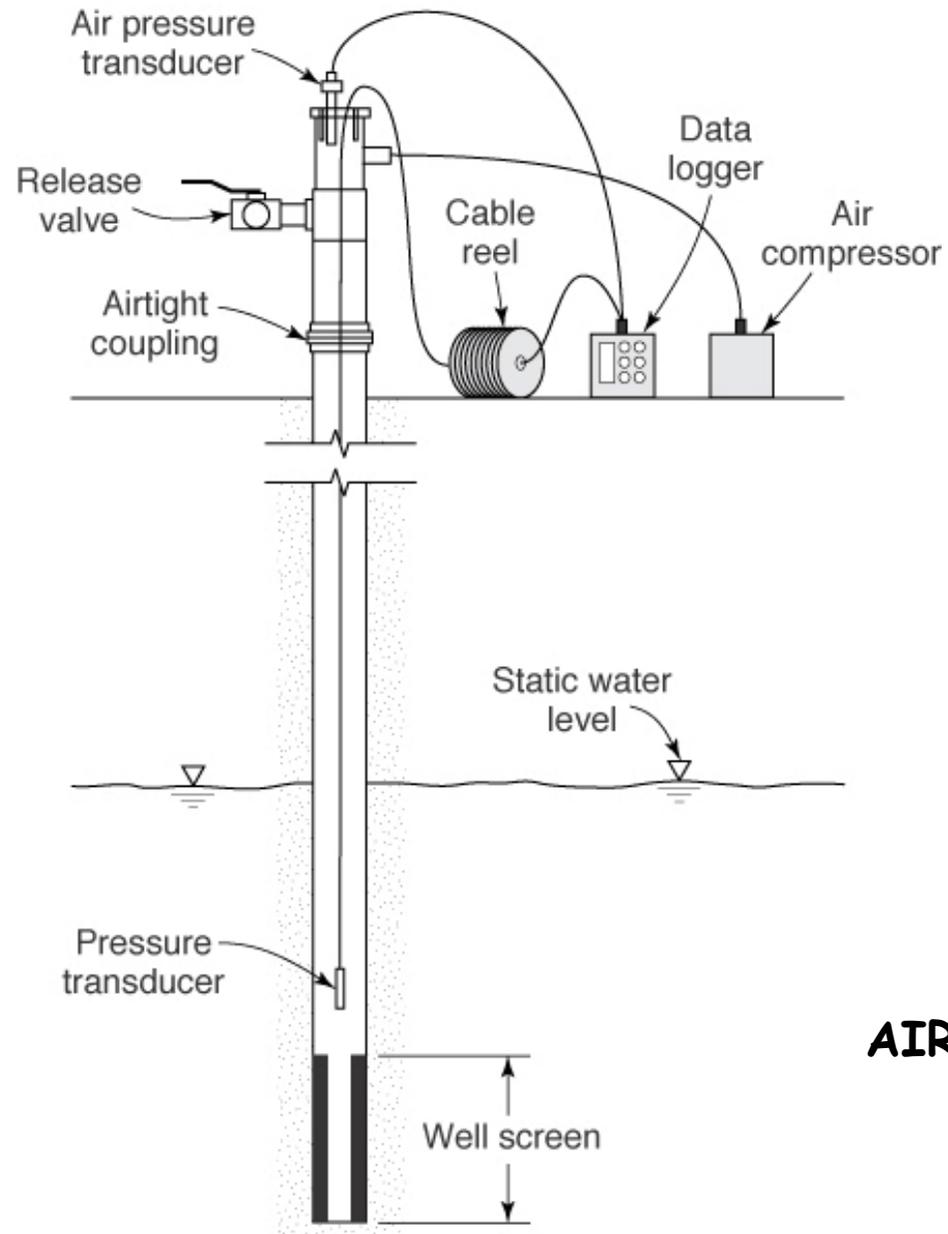


SLUG o PISTON



Insertar "pistón"

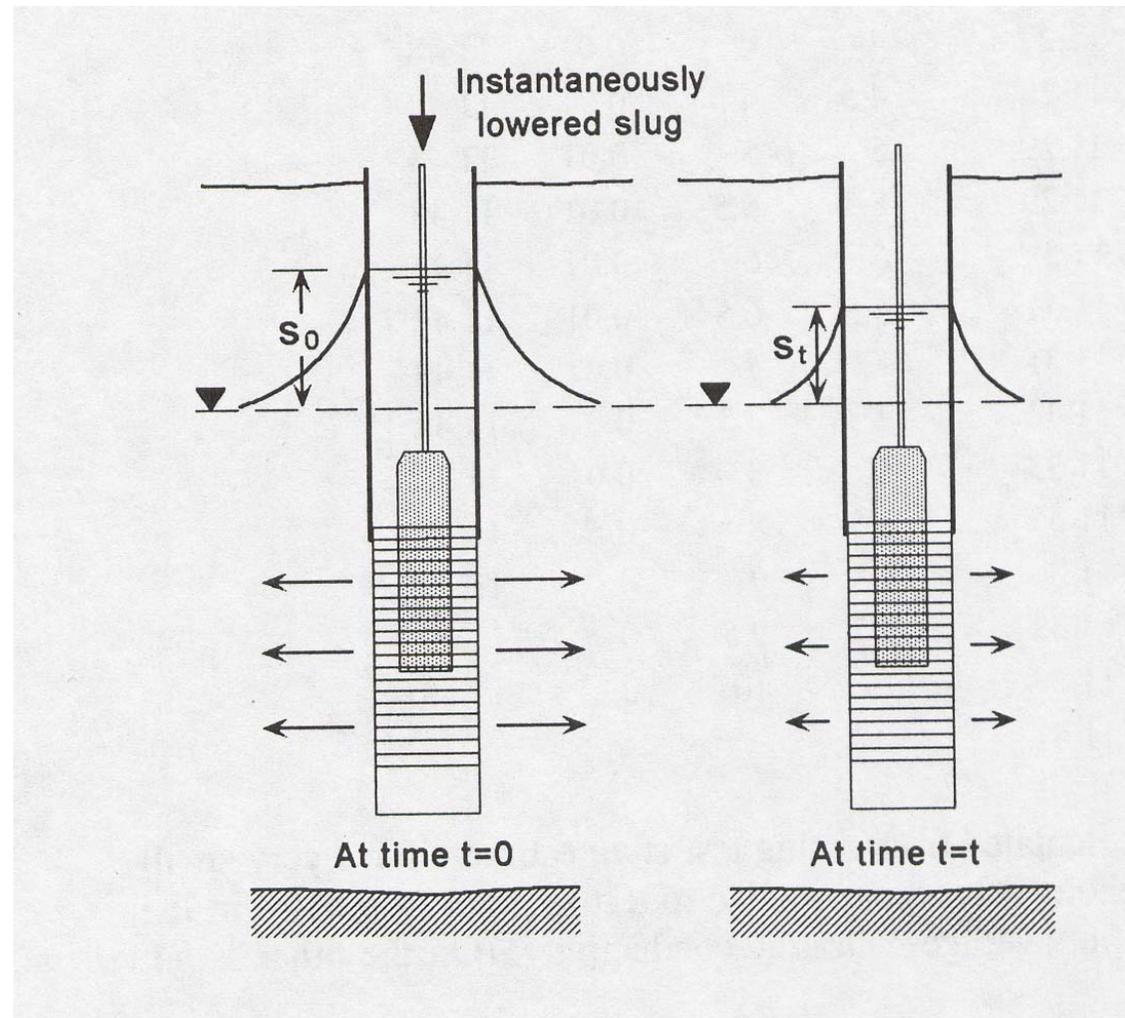




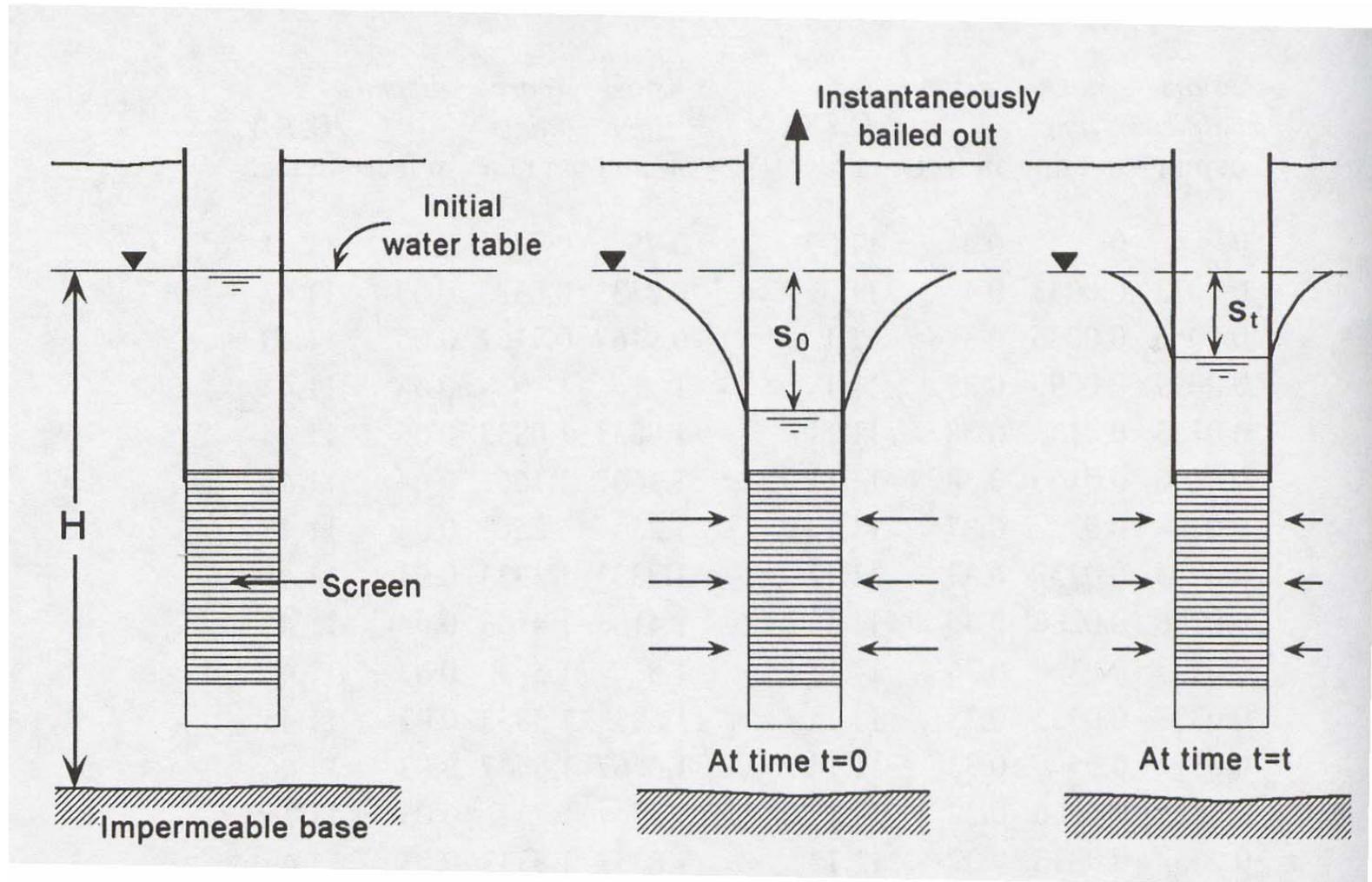
AIRE A PRESION



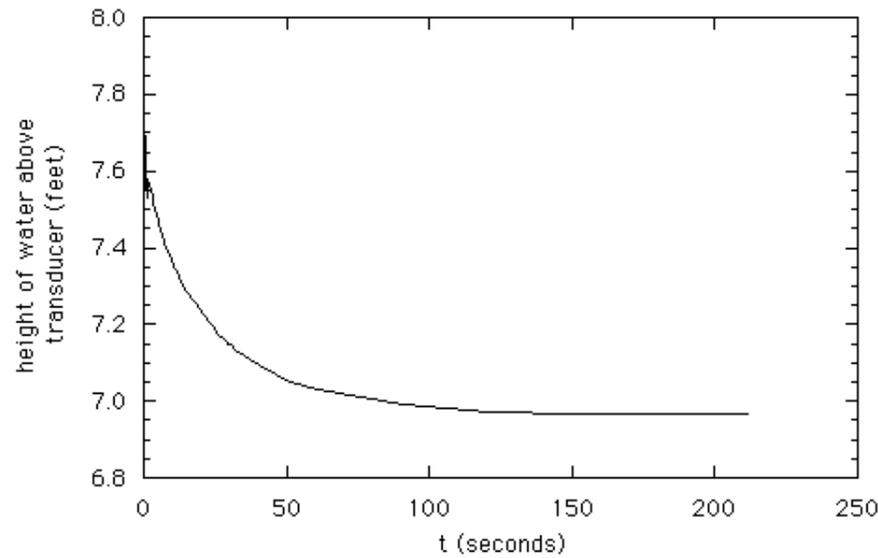
SLUG TEST hacia adelante (Forward)



SLUG TEST en reversa (Reverse)



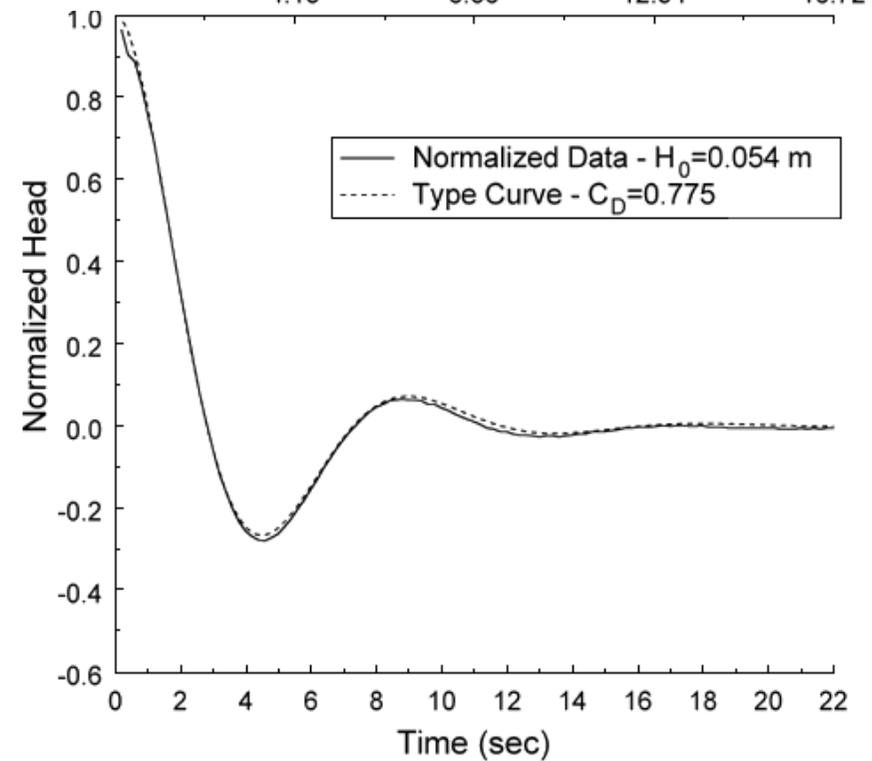
Sobreamortiguada



Dimensionless Time

4.18 8.36 12.54 16.72

Subamortiguada



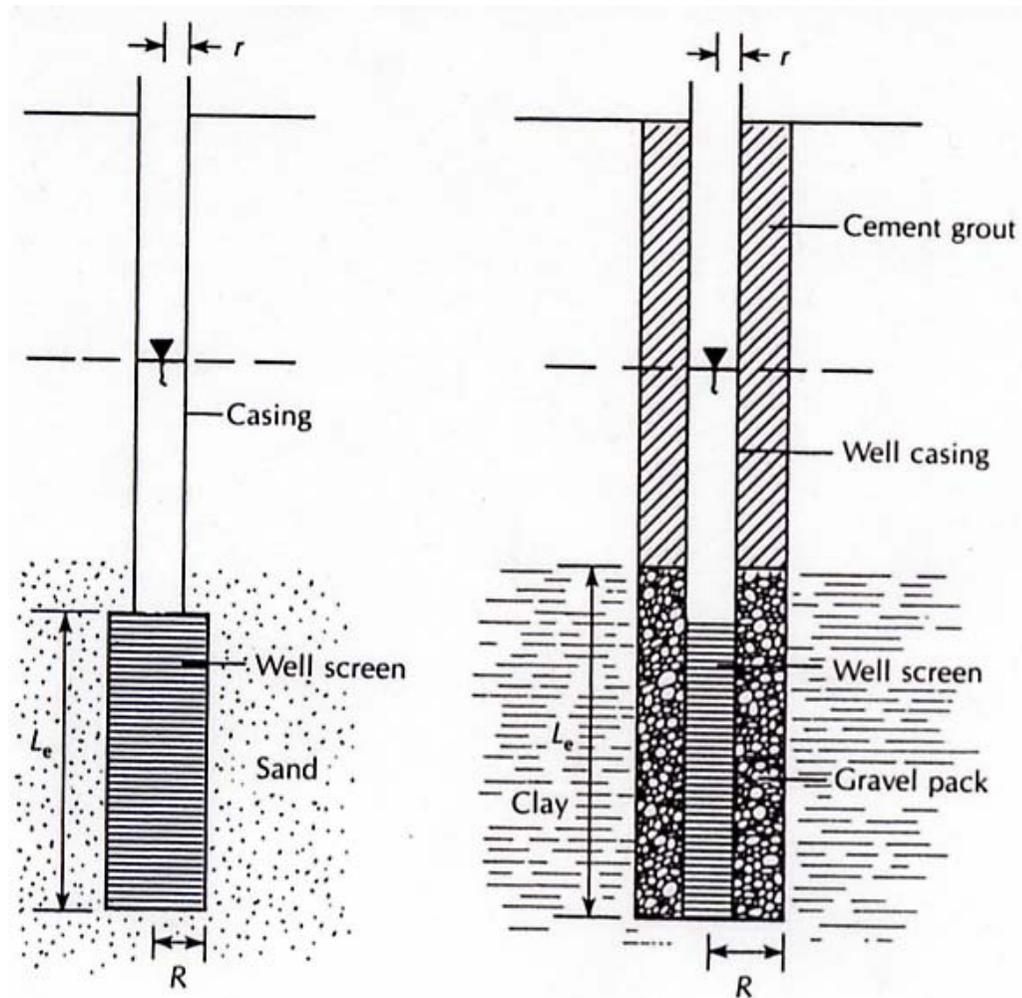
METODOS PARA INTERPRETACION

HVORSLEV SLUG TEST



HVORSLEV SLUG TEST

Para esta prueba se utilizan pozos de observación que no penetran completamente el acuífero.



HVORSLEV SLUG TEST

Plotear H/H_0 (log) vs tiempo (aritmético)

Ajustar una línea recta a los datos.

$$T_0 = - \frac{t}{\text{Ln}(h/h_0)}$$

Determinar T_0 para $H/H_0 = .37$

Si $L_e/R > 8$ entonces ...

$$K = \frac{r^2 \cdot \text{Ln}(L_e/R)}{2 \cdot L_e \cdot T_0}$$

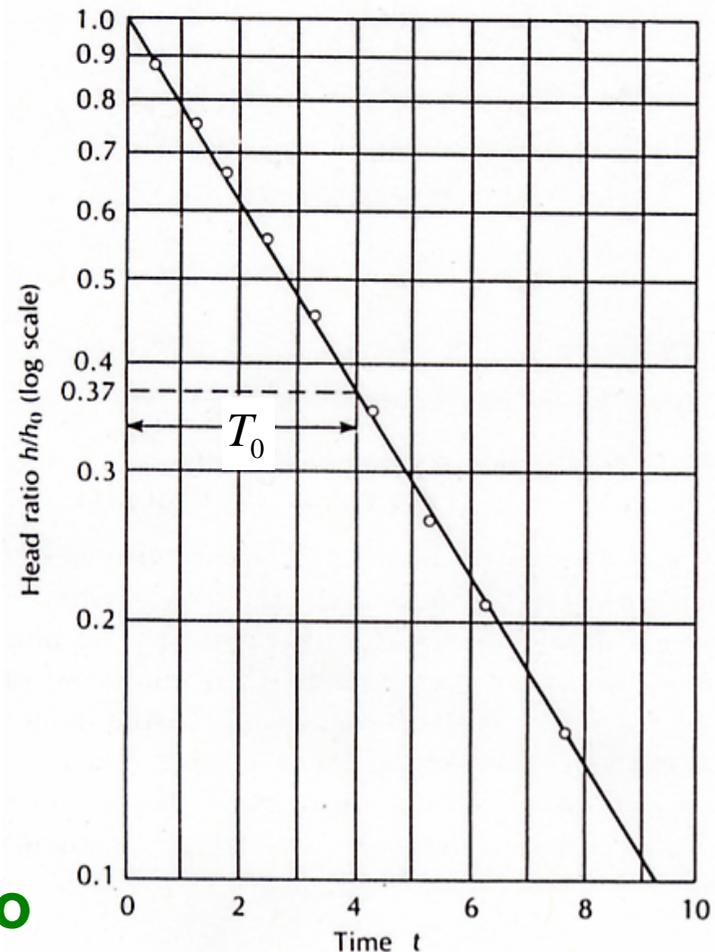
K = conductividad hidráulica

r = radio del pozo ciego

R = radio de la criba

L_e = longitud de la criba

Confinado o No Confinado



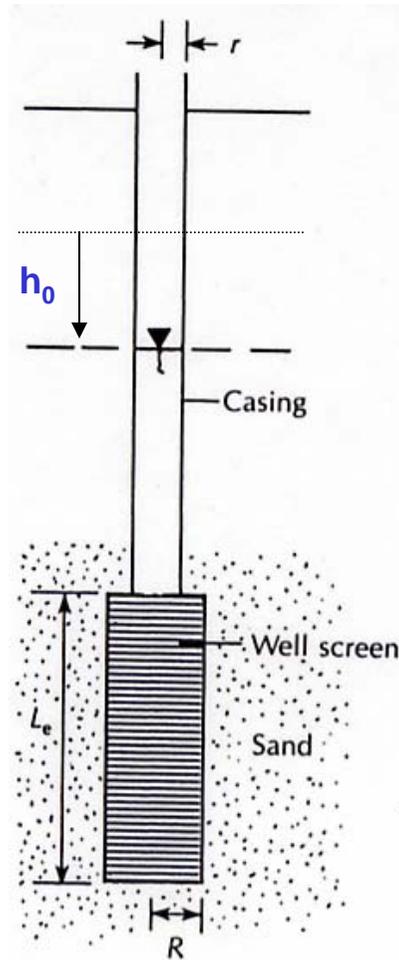
EJEMPLO SLUG TEST HVORSLEV



SLUG TEST MÉTODO HVORSLEV

Datos perforación:

$r = 4,1 \text{ cm}$
 $R = 5,8 \text{ cm}$
 $L_e = 12 \text{ m}$



Datos prueba:

Tiempo (s)	Cambio Nivel Agua (m)
0	0.560
1	0.387
2	0.198
3	0.141
4	0.087
5	0.050
6	0.035
7	0.017
8	0.010
9	0.006
10	0.000



SLUG TEST MÉTODO HVORSLEV

Tiempo (s)	h (m)	h/h ₀
0	0,560	1,000
1	0,387	0,691
2	0,198	0,354
3	0,141	0,252
4	0,087	0,155
5	0,050	0,089
6	0,035	0,063
7	0,017	0,030
8	0,010	0,018
9	0,006	0,011
10	0	0,000

Procedimiento:

Si $\frac{L_e}{R} > 8$ entonces

$$K = \frac{r^2 * \ln(L_e / R)}{2 * L_e * T_0}$$

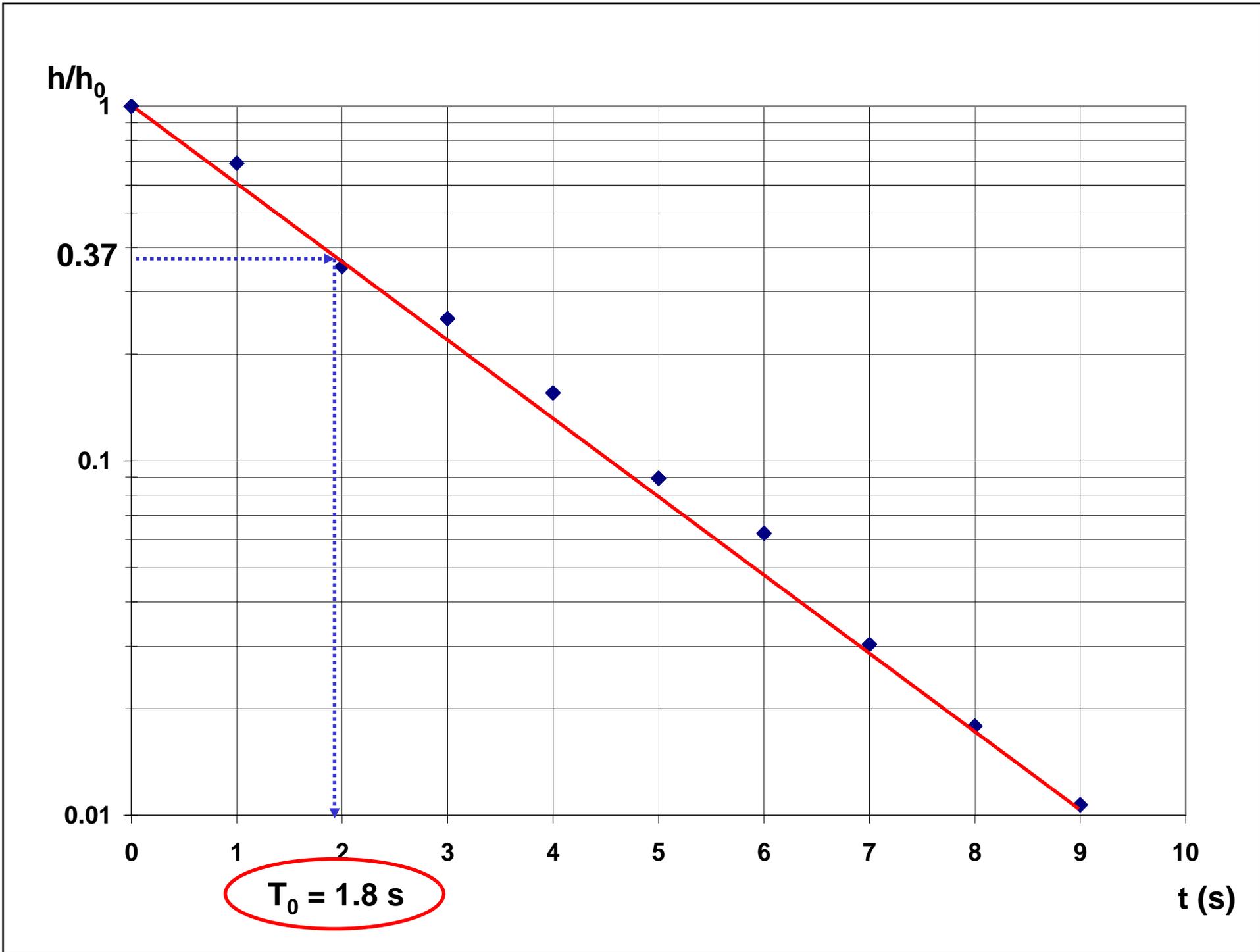
Donde

$$T_0 = -\frac{t}{\ln(h/h_0)} \text{ para } h/h_0=0,37$$

En este caso

$$\frac{L_e}{R} = 206,9 > 8$$





METODOS PARA INTERPRETACION

BOUWER AND RICE

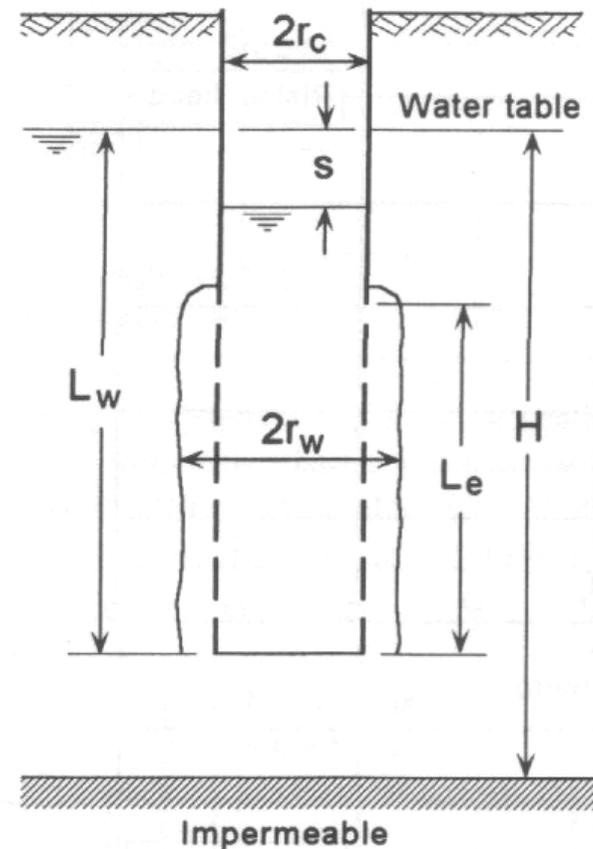


BOUWER AND RICE

Este método puede ser usado para analizar norias o pozos cribados. Los pozos pueden penetrar parcial o totalmente la napa.

$$K = \frac{r_c^2}{2 \cdot L_e} \cdot \text{Ln} \left(\frac{R_e}{R} \right) \cdot \frac{1}{t} \cdot \text{Ln} \left(\frac{H_0}{H_t} \right)$$

- K = conductividad hidráulica**
- r_c = radio de la zona ciega**
- R = radio del filtro de grava (r_w)**
- R_e = radio efectivo sobre la cual se disipa la carga hidráulica**
- L_e = longitud de la criba**
- H_0 = descenso en tiempo $t = 0$**
- H_t = descenso en tiempo t**
- t = tiempo desde inicio de prueba**



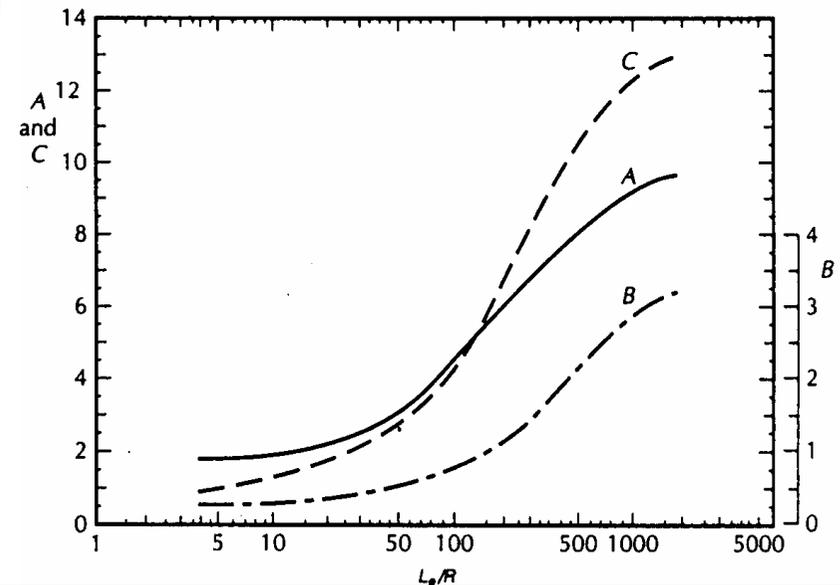
BOUWER AND RICE

Pozo parcialmente penetrante: $L_W < H$

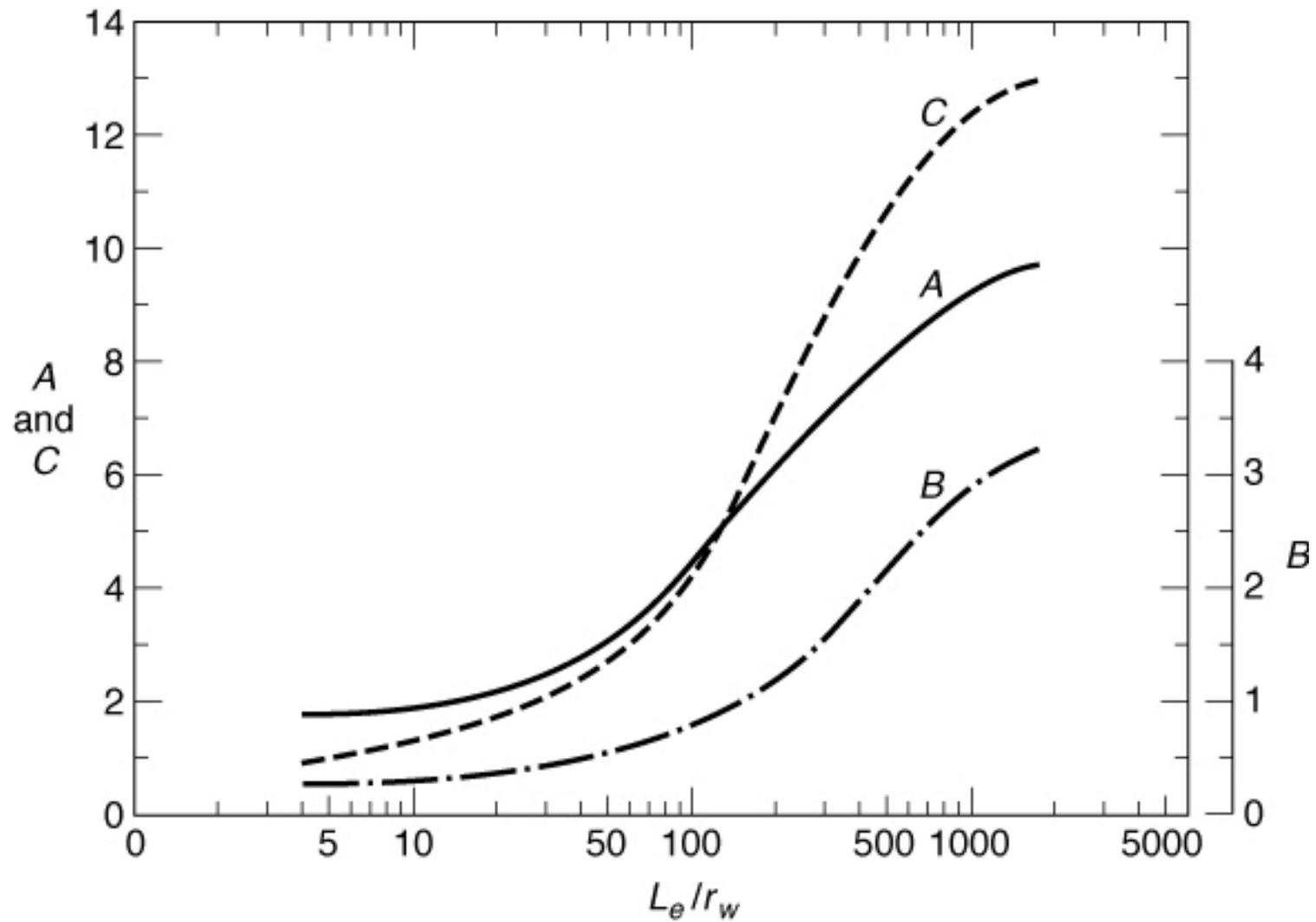
$$\ln\left(\frac{R_e}{R}\right) = \left[\frac{1.1}{\ln(L_W/R)} + \frac{A + B \cdot \ln[(H - L_W)/R]}{L_e/R} \right]^{-1}$$

Pozo totalmente penetrante: $L_W = H$

$$\ln\left(\frac{R_e}{R}\right) = \left[\frac{1.1}{\ln(L_W/R)} + \frac{C}{L_e/R} \right]^{-1}$$



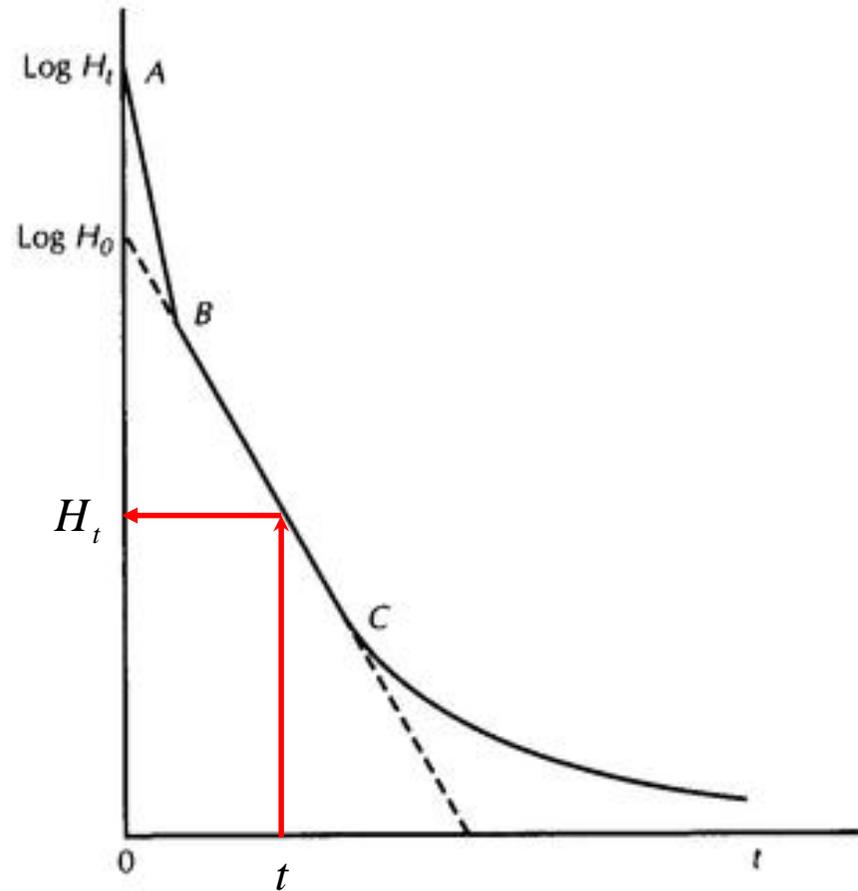
BOUWER AND RICE



BOUWER AND RICE

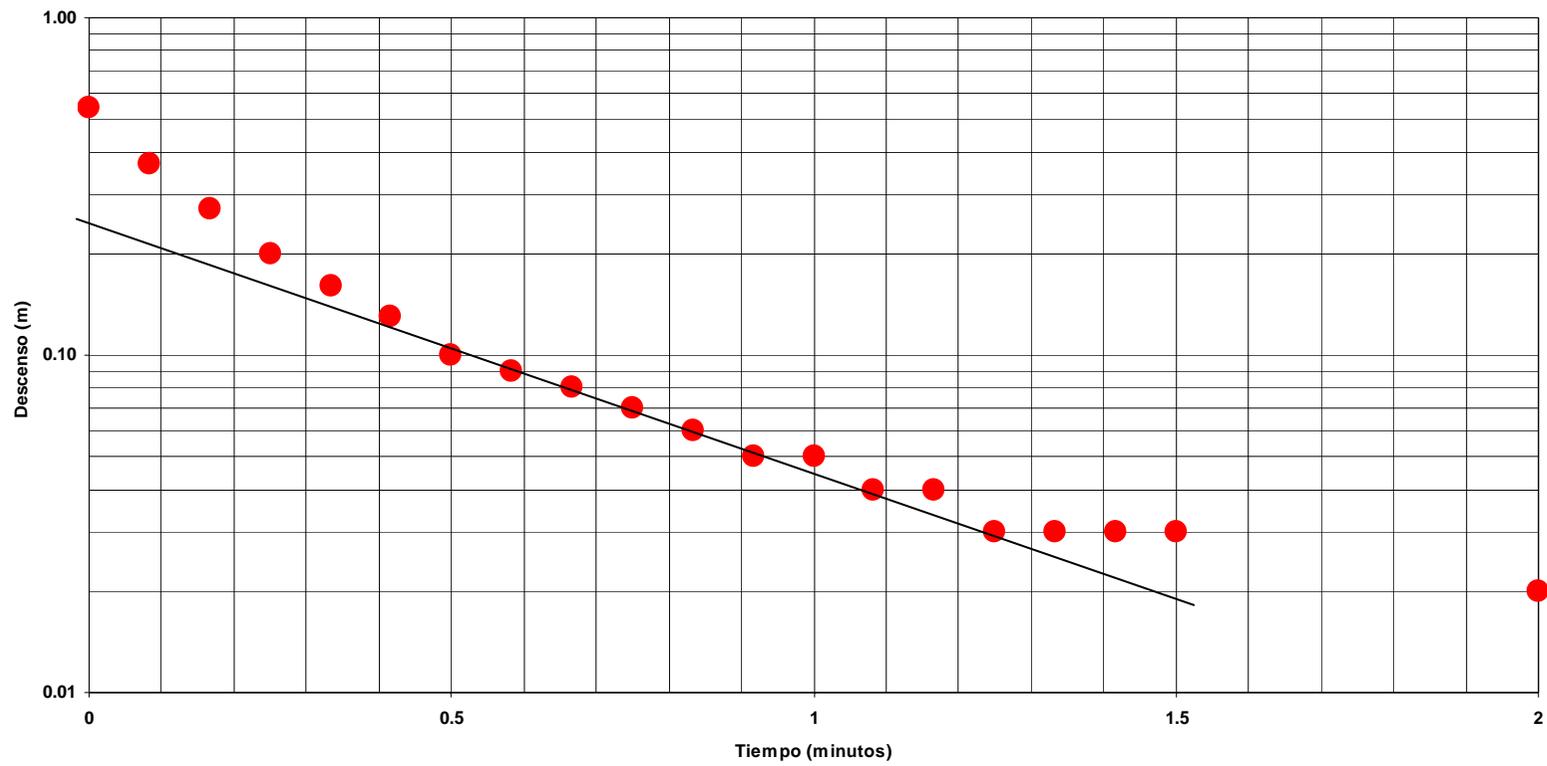
► FIGURE 5.27

Head in a borehole as a function of time where two straight-line segments are formed during the early part of the test but eventually deviate from the straight line. Source: Herman Bouwer, *Ground Water* 27 (1989): 304–309. Used with permission. © 1989, Ground Water Publishing Company.



$$K = \frac{r_C^2}{2 \cdot L_e} \cdot \text{Ln} \left(\frac{R_e}{R} \right) \cdot \frac{1}{t} \cdot \text{Ln} \left(\frac{H_0}{H_t} \right)$$

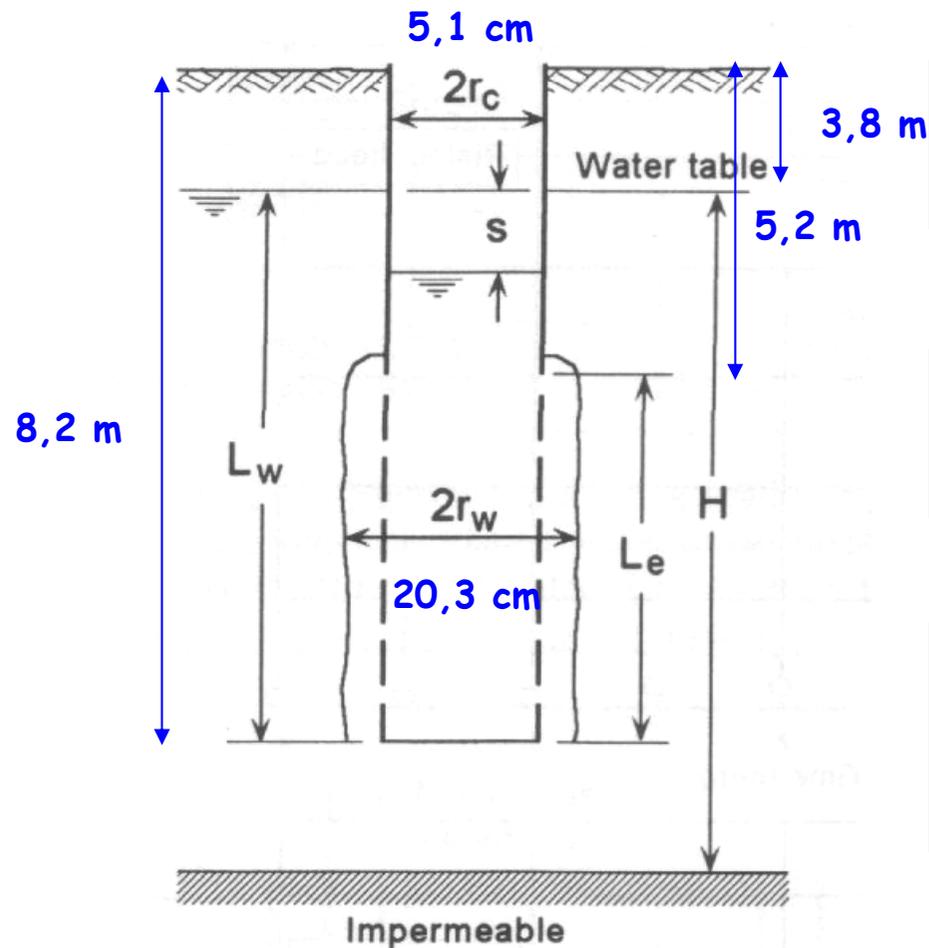




**EJEMPLO
SLUG TEST
BOUWER AND RICE**



SLUG TEST MÉTODO BOUWER Y RICE



Expresión Bouwer y Rice

$$K = \frac{r_c^2 * \ln(R_e / r_w) * \frac{1}{t} * \ln\left(\frac{s_0}{s_t}\right)}{2 * L_e}$$

Donde para pozos totalmente penetrantes:

$$\ln(R_e / r_w) = \left[\frac{1,1}{\ln(L_w / r_w)} + \frac{C}{L_e / r_w} \right]^{-1}$$

Con:

$$r_c = 0,026 \text{ m}$$

$$r_w = 0,102 \text{ m}$$

$$L_w = 8,2 - 3,8 = 4,4 \text{ m}$$

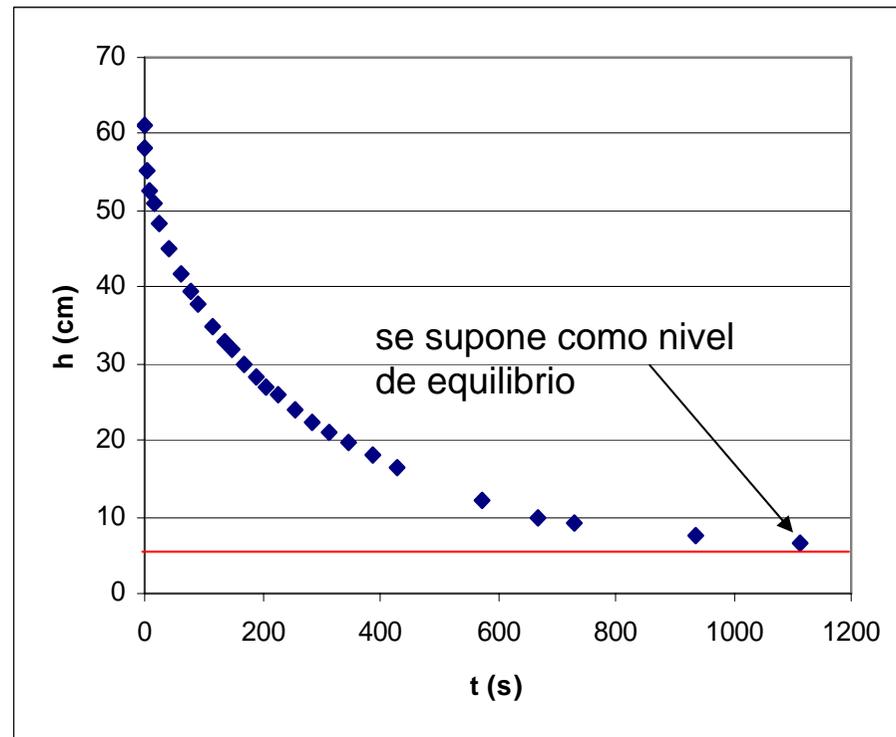
$$L_e = 8,2 - 5,2 = 3 \text{ m}$$



SLUG TEST MÉTODO BOUWER Y RICE

t (s)	h (cm)
0	61
2	58,3
6	55,1
10	52,6
15	50,8
26	48,2
42	45
61	41,8
77	39,6
92	37,7
115	35
135	32,9
147	31,8
168	30
189	28,4
207	27,1
227	25,8
257	24
286	22,4
315	20,9
346	19,6
386	18
430	16,4
574	12,1
668	9,9
731	9,2
938	7,7
1115	6,6

$\frac{1}{t} * \ln\left(\frac{s_0}{s}\right)$ se obtiene gráficamente



$$h_0 = 6,6 \text{ m}$$

$$s = h - h_0$$

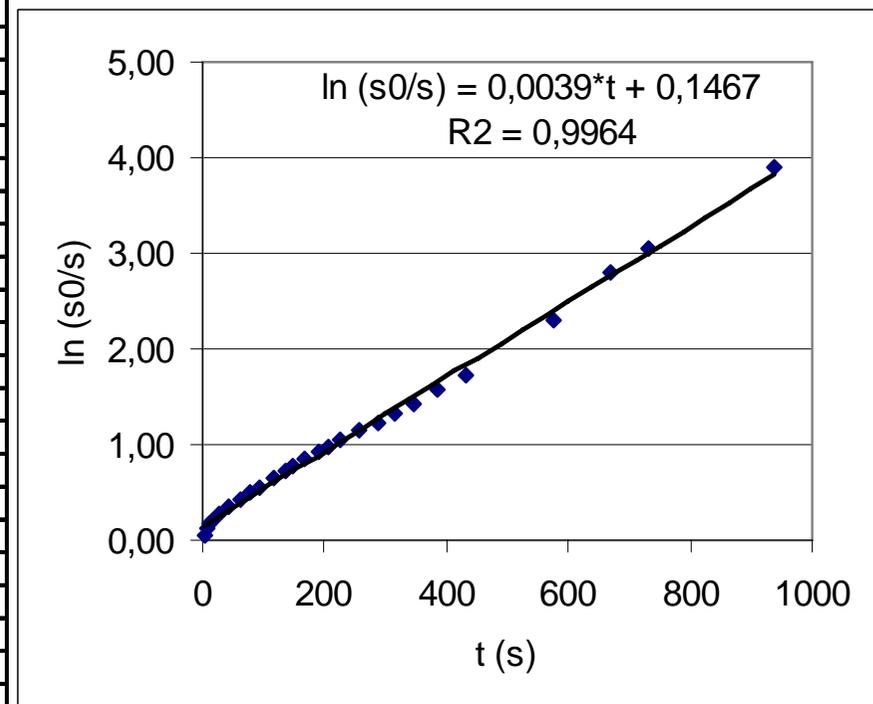
$$s_0 = s(t=0)$$



SLUG TEST MÉTODO BOUWER Y RICE

t (s)	h (cm)	s (m)	ln(s0/s)
0	61	0,544	
2	58,3	0,517	0,05
6	55,1	0,485	0,11
10	52,6	0,46	0,17
15	50,8	0,442	0,21
26	48,2	0,416	0,27
42	45	0,384	0,35
61	41,8	0,352	0,44
77	39,6	0,33	0,50
92	37,7	0,311	0,56
115	35	0,284	0,65
135	32,9	0,263	0,73
147	31,8	0,252	0,77
168	30	0,234	0,84
189	28,4	0,218	0,91
207	27,1	0,205	0,98
227	25,8	0,192	1,04
257	24	0,174	1,14
286	22,4	0,158	1,24
315	20,9	0,143	1,34
346	19,6	0,13	1,43
386	18	0,114	1,56
430	16,4	0,098	1,71
574	12,1	0,055	2,29
668	9,9	0,033	2,80
731	9,2	0,026	3,04
938	7,7	0,011	3,90
1115	6,6	0	

$\frac{1}{t} * \ln\left(\frac{s_0}{s}\right)$ se obtiene gráficamente



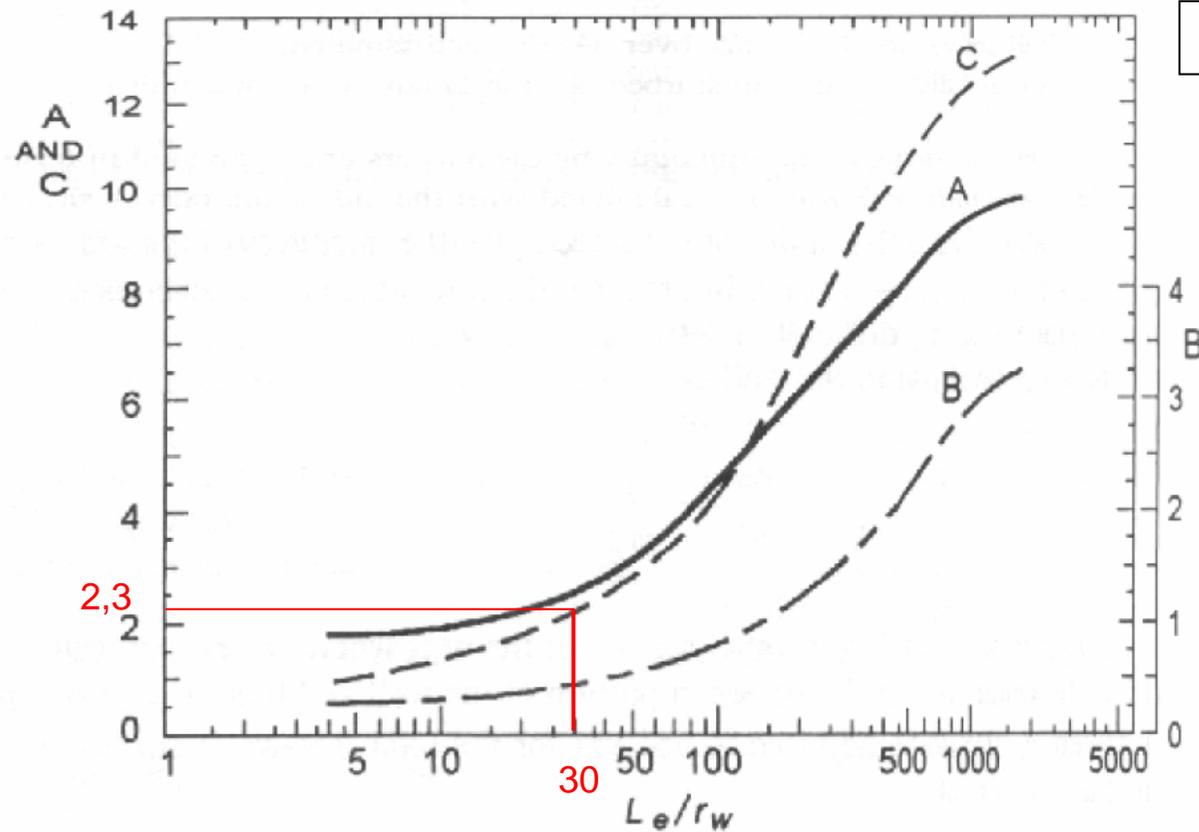
La pendiente del gráfico corresponde a:

$$\frac{1}{t} * \ln\left(\frac{s_0}{s}\right) = 0,0039$$



SLUG TEST MÉTODO BOUWER Y RICE

C se obtiene gráficamente



$$L_e/r_w = 30 \rightarrow C = 2,3$$



**METODOS PARA INTERPRETACION
COOPER-BROEDEHOEFT-PAPADOPULOS**



COOPER-BREDEHOEFT-PAPADOPULOS

En este método se tiene un acuífero confinado que es penetrado completamente por una noria o pozo de gran diámetro.

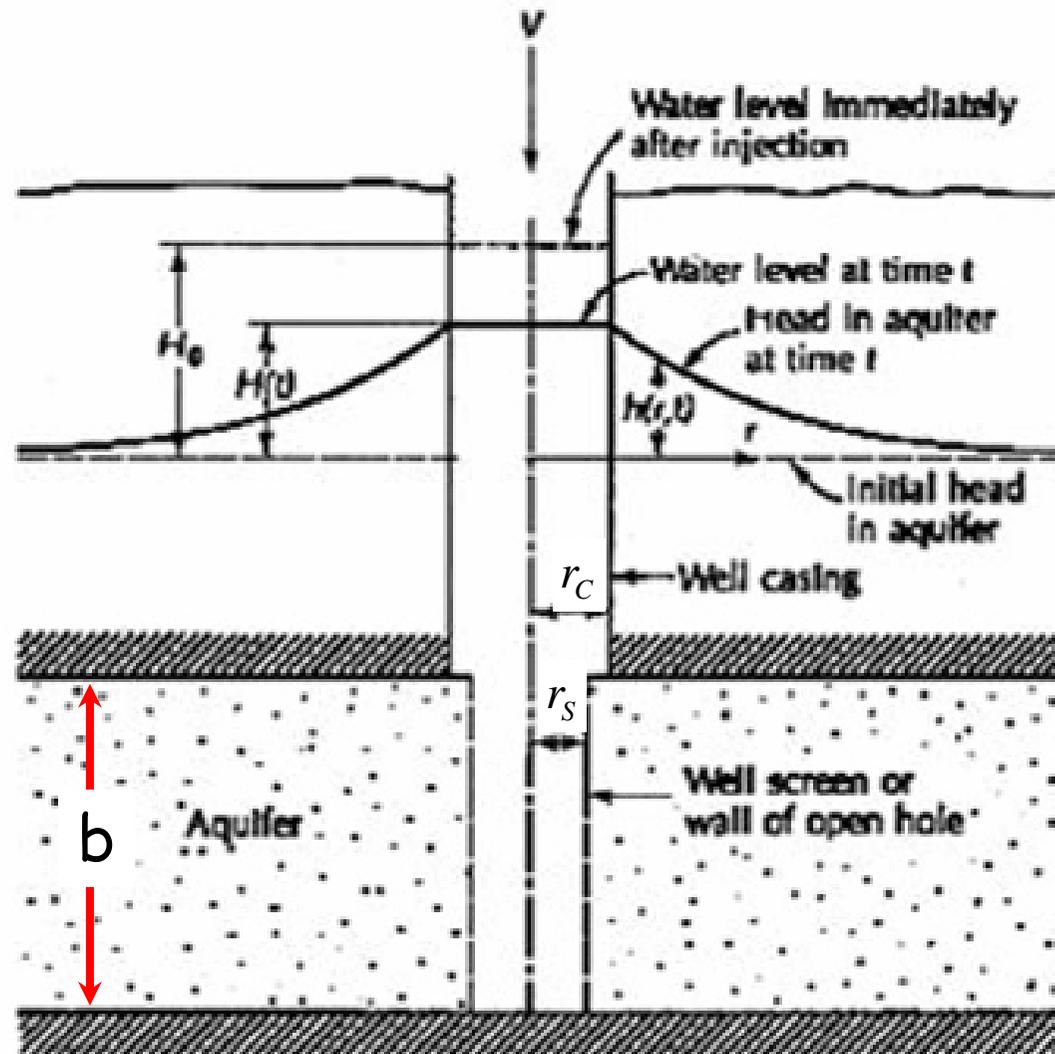
Un volumen conocido de agua es agregado al pozo en forma instantánea, lo que produce la elevación rápida del nivel de agua y su posterior incorporación en el acuífero.

En vez de incorporar agua al pozo se puede introducir un pistón que desplaza el agua y produce un efecto similar.

Luego de producido el aumento del nivel del agua se monitorea el descenso en función del tiempo.



COOPER-BREDEHOEFT-PAPADOPULOS



$H(t)$

H_0



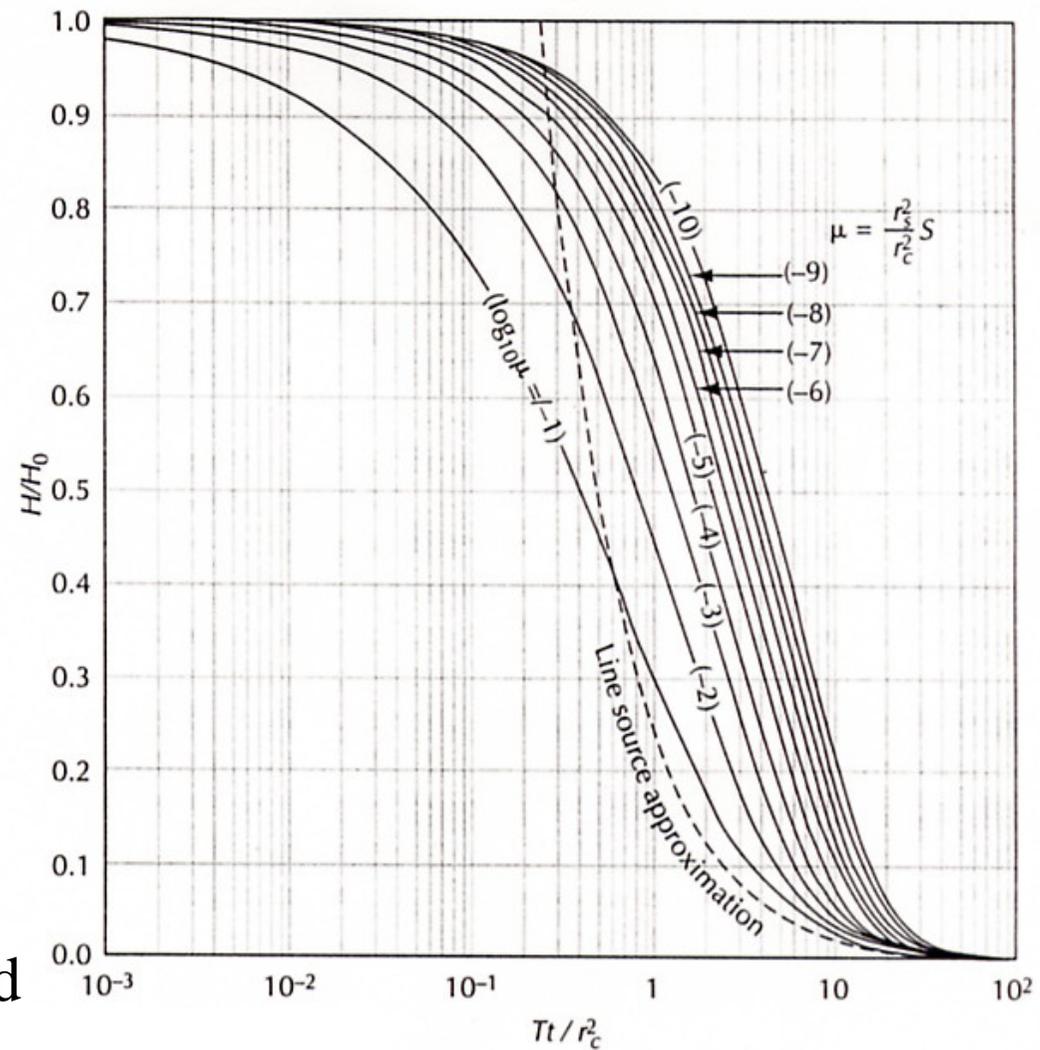
COOPER-BREDEHOEFT-PAPADOPULOS

$$\frac{H}{H_0} = F(\eta, \mu)$$

$$\eta = \frac{T \cdot t}{r_c^2}$$

$$\mu = \frac{r_s^2 \cdot S}{r_c^2}$$

$$T = K \cdot b$$



T: Transmisibilidad

K: Conductividad Hidráulica



METODOS DE TERRENO

PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION

PRUEBAS TIPO SLUG TESTS

PRUEBAS DE INFILTRACION

PRUEBAS GEOTECNICAS

PRUEBAS CON TRAZADORES

PRUEBAS DE BOMBEO



- **PRUEBAS DE INFILTRACION**

En algunos casos es posible obtener una medida de la conductividad hidráulica del suelo a partir de mediciones de infiltración de agua en el suelo.

Para determinar el coeficiente de conductividad hidráulica o permeabilidad a partir de pruebas de infiltración se supone que el escurrimiento vertical a través del suelo se debe únicamente a la fuerza de gravedad.

Debido a lo anterior, el gradiente hidráulico es igual a 1.0 (gradiente unitario).

De esta forma, a partir de la ley de Darcy se determina la velocidad de descenso en un infiltrómetro o en una calicata, la que se supone igual a la permeabilidad.



- **PRUEBAS DE INFILTRACION**

En algunos casos es posible estudiar la capacidad de infiltración de un suelo a partir de la incorporación de agua dentro del suelo a través de lagunas, sistemas de infiltración como los anillos concéntricos o a través de una excavación.

Tipo de Suelo	Tasa de Infiltración
	(mm/hora)
Arena	Menor de 30
Arena limosa	20 – 30
Limo	10 – 20
Arcilla limosa	5 – 10
Arcilla	1 - 5



LAGUNAS DE INFILTRACION



- **LAGUNAS DE INFILTRACION**

Lagunas con superficie mínima de 7 m².

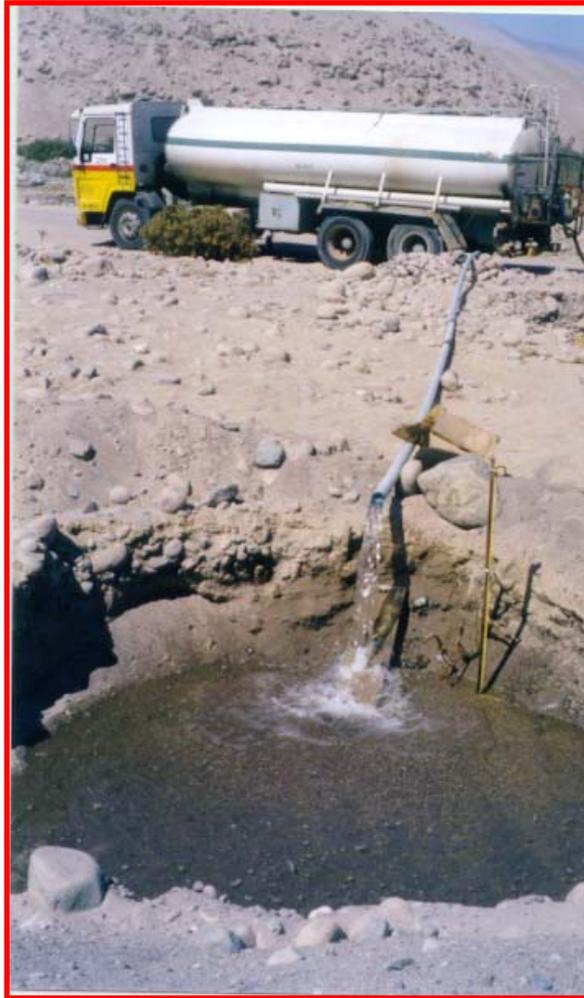
Tasas de infiltración de largo plazo entre un 10 a 15% de las obtenidas con esta metodología.

Circulares o rectangulares.

Suelo saturado inicialmente.



- **LAGUNAS DE INFILTRACION**



INFILTROMETRO CILINDRICO



- **INFILTROMETRO CILINDRICO**

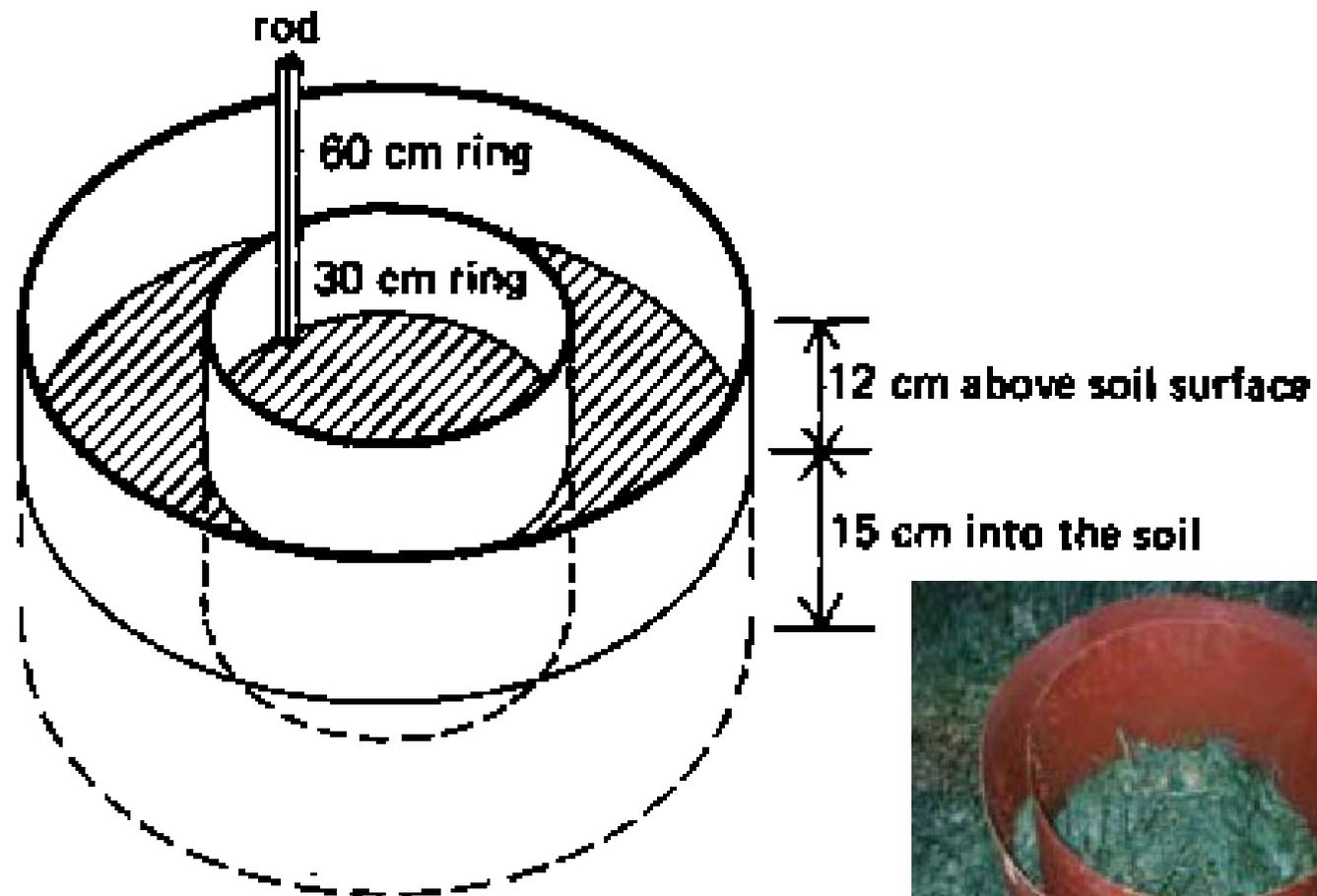
Un infiltrómetro es un tubo de metal cilíndrico de diámetro variable entre 20 y 80 cm, y longitud entre 50 y 100 cm, el que se hincan en el suelo en a lo menos un tercio de su largo. Se llena de agua y se mide la velocidad a la cual el agua infiltra el suelo en el que se ha hincado.



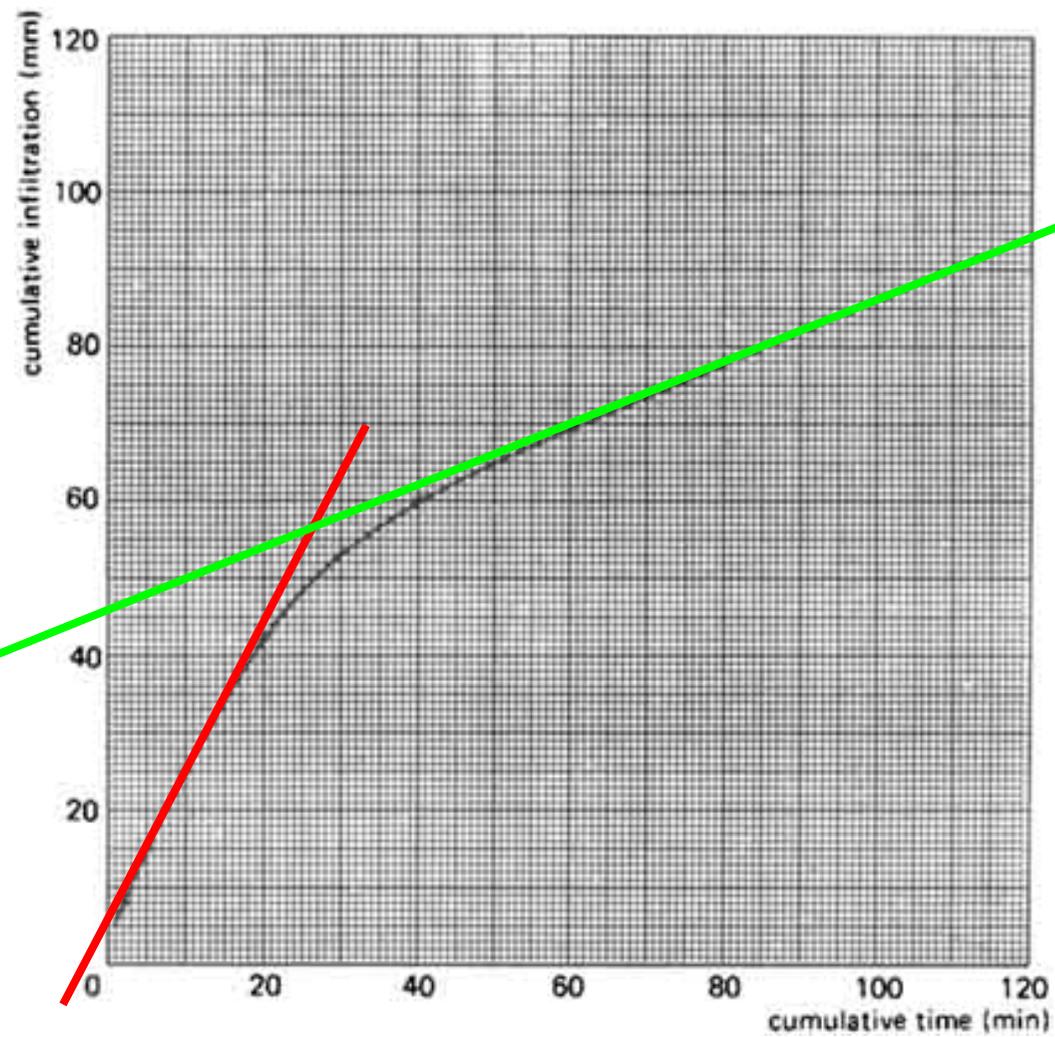
La figura muestra un ejemplo de infiltrómetro doble, en el cual se incorpora agua en el anillo exterior y se deja infiltrar durante un tiempo muy largo para saturar la porción externa del suelo, luego se realiza una prueba de infiltración en el tubo interior.



- **INFILTROMETRO CILINDRICO**



- INFILTROMETRO CILINDRICO

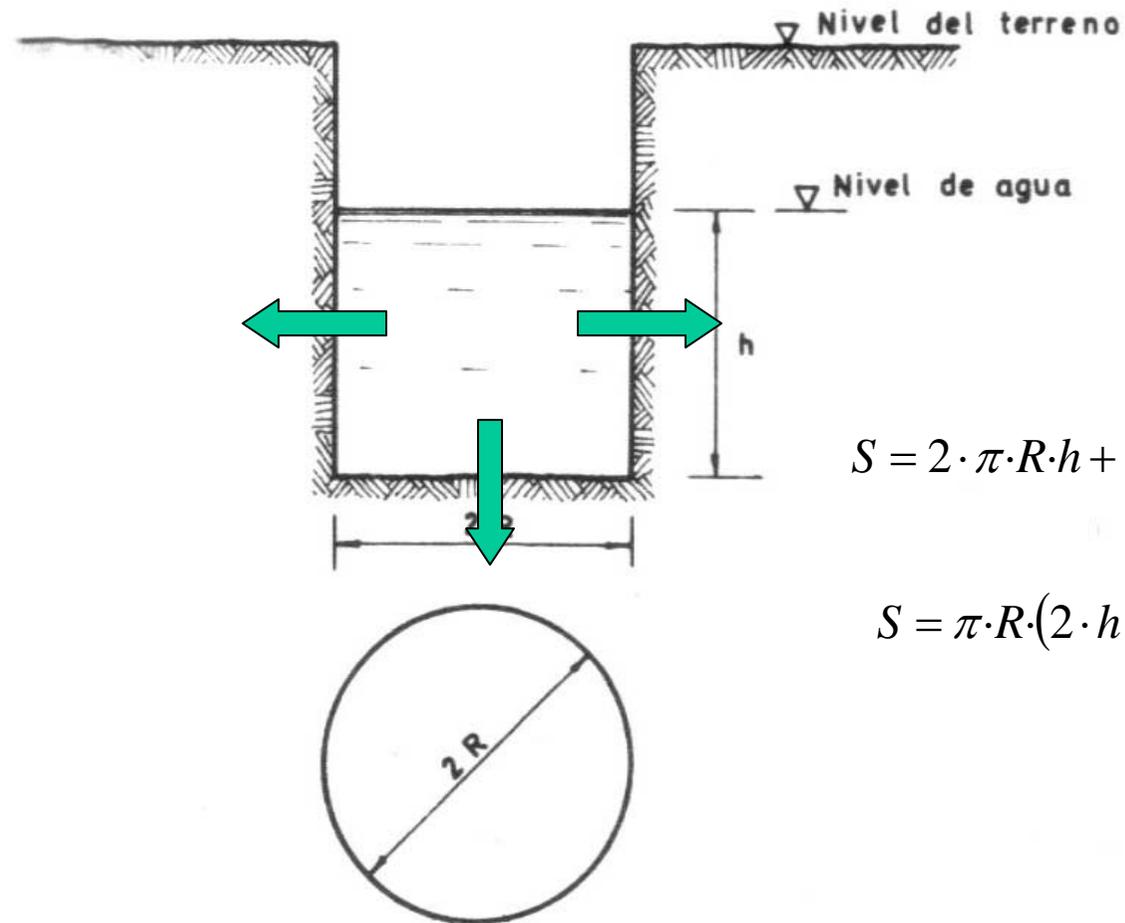


METODO DE PORCHET



- **PORCHET**

Para la estimación de la tasa de infiltración en terreno se puede utilizar el método de Porchet, el cual consiste en excavar un cilindro de radio R y se llenarlo con agua hasta una altura h .



$$S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h + \pi \cdot R^2$$

$$S = \pi \cdot R \cdot (2 \cdot h + R)$$



- **PORCHET**

La superficie a través de la cual se infiltra agua es:

$$S = \pi \cdot R \cdot (2 \cdot h + R)$$

Para un tiempo, dt , suficientemente pequeño para que pueda suponerse que la capacidad de infiltración, f , es constante se verificará la igualdad:

$$\pi \cdot R \cdot (2 \cdot h + R) \cdot f = -\pi \cdot R^2 \cdot \frac{dh}{dt}$$

Simplificando y separando variables:

$$f \cdot dt = -R \cdot \frac{dh}{2 \cdot h + R}$$

Integrando la ecuación anterior se tiene finalmente:

$$f = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$$

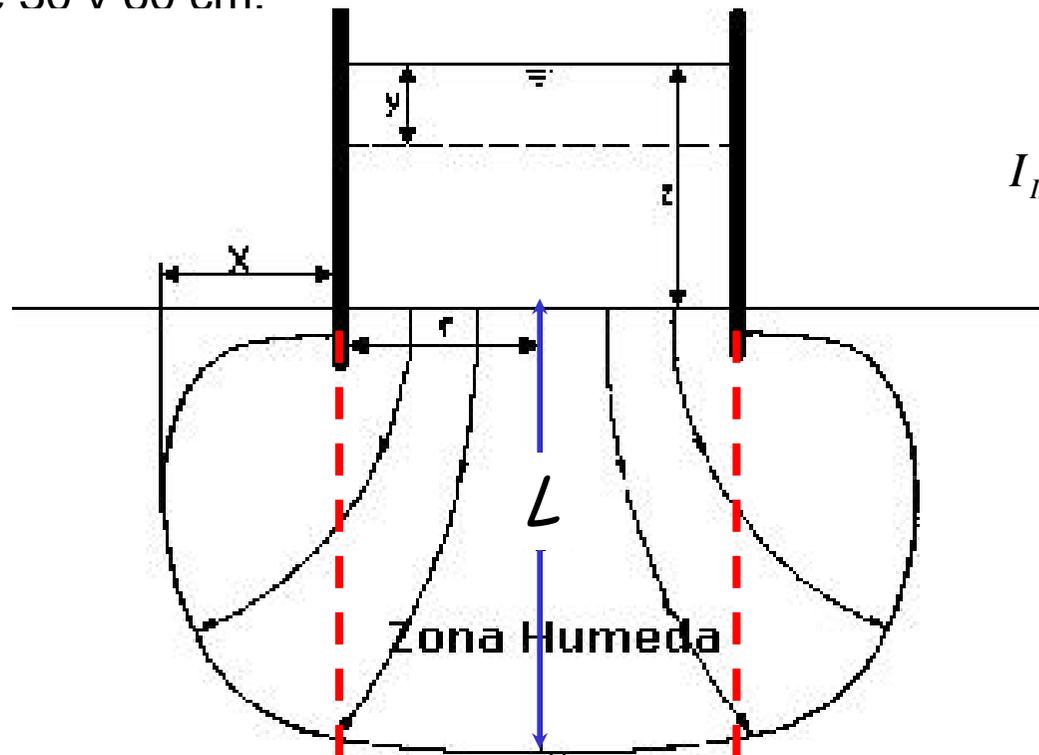


METODO DE BOUWER



- **BOUWER**

Bouwer et al. (1999) propusieron una metodología en la cual se considera el efecto de la componente horizontal de la humedad. Esta metodología considera el uso de un infiltrómetro circular o rectangular con tamaño superior a 2 m (diámetro o longitud característica), el cual se opera por períodos de tiempo de hasta seis horas, con alturas de agua entre 30 v 60 cm.



$$I_{INF} = \frac{dy}{dt}$$



- **BOUWER**

La tasa de recarga o infiltración corregida que considera la zona de expansión lateral del bulbo de saturación (i_{COR}), se puede calcular a partir de la tasa de infiltración obtenida directamente a partir de la operación del infiltrómetro (i_{INF}).

Para un infiltrómetro circular:

$$I_{COR} = I_{INF} \cdot \frac{\pi \cdot r^2}{\pi \cdot (r + x)^2}$$

La longitud del frente de saturación (L) al final de la prueba de infiltración se puede calcular utilizando la siguiente expresión para un infiltrómetro circular:

$$L = \frac{y_t \cdot \pi \cdot r^2}{n \cdot \pi \cdot (r + x)^2}$$

Tipo de suelo	n
Suelo uniforme y seco	0.3
Suelo moderadamente húmedo	0.2
Suelo muy húmedo	0.1

En la expresión anterior, n, se conoce como la porosidad "rellenable" del suelo (fillable soil porosity), la cual puede ser estimada a partir de la textura del suelo y de su contenido de humedad inicial.

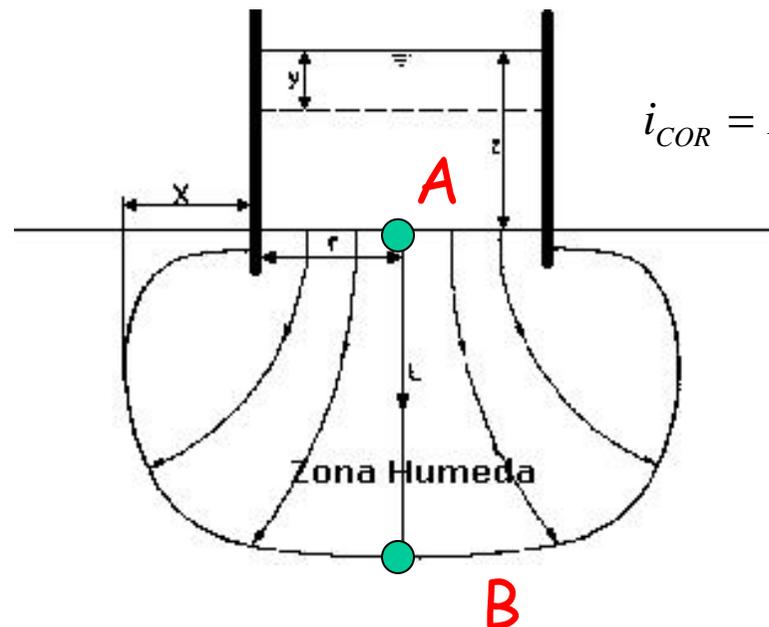


- **BOUWER**

Aplicando la ley de Darcy para evaluar el flujo vertical que ocurre en la zona saturada (wetted zone), se puede escribir la tasa de recarga corregida como:

$$i_{COR} = K \cdot \frac{h_A - h_B}{L}$$

donde z es la carga hidráulica promedio sobre el terreno durante la duración de la prueba. Por su parte h_{we} es la presión de poros en el suelo antes de ser humedecido, la que es negativa por tratarse de un suelo en condiciones no saturadas.



$$i_{COR} = K \cdot \frac{h_A - h_B}{L} = K \cdot \frac{z + L - h_{we}}{L}$$

$$h_A = z$$

$$h_B = -L + h_{we}$$



- **BOUWER**

El valor de h_{we} es usado para estimar la succión en la posición del frente húmedo a medida que éste se mueve verticalmente.

Tipo de suelo	h_{we} (cm)
arena gruesa	-5
arena media	-10
arena fina	-15
arena limosa	-20
limo arenoso	-25
Limo	-35
arcillas estructuradas	-30
arcillas no estructuradas	-100

A partir de lo anterior se puede estimar el valor de K como:

$$K = \frac{i_{COR} \cdot L}{z + L - h_{we}}$$



METODO DE MATSUO



- **MATSUO**

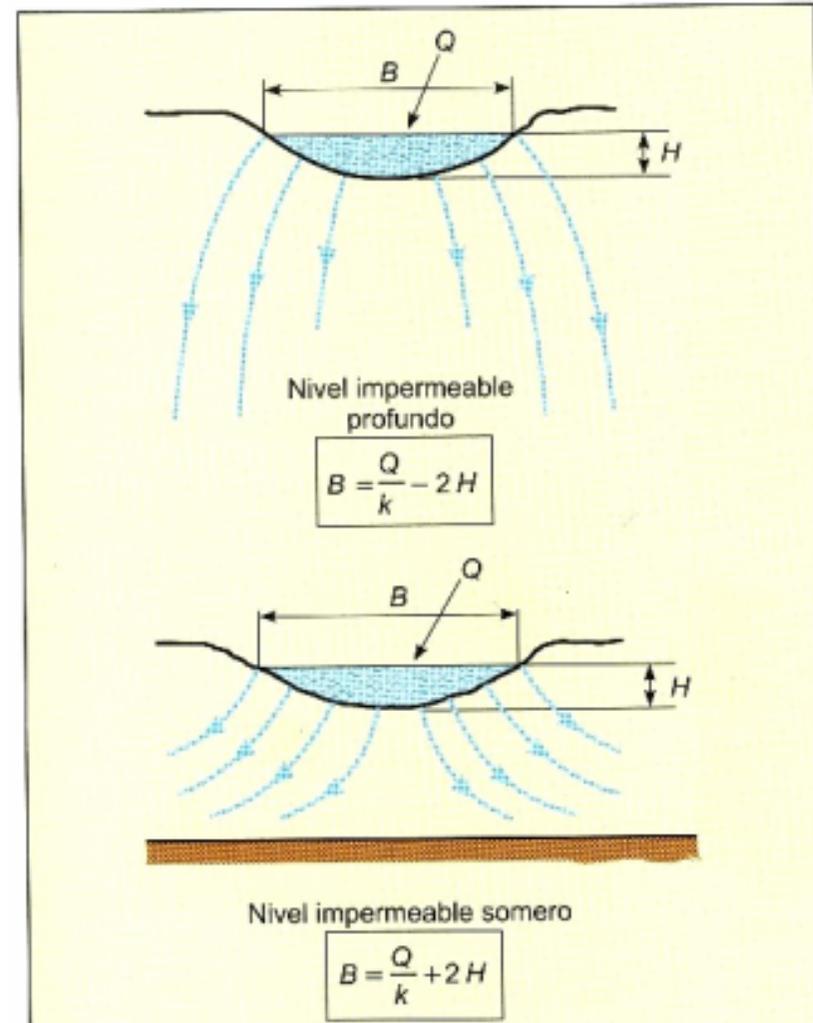
Este ensayo se realiza en suelos secos o semisaturados

Nivel Impermeable Profundo

$$K = \frac{Q}{B + 2 \cdot H}$$

Nivel Impermeable Somero

$$K = \frac{Q}{B - 2 \cdot H}$$



METODOS DE TERRENO

PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION

PRUEBAS TIPO SLUG TESTS

PRUEBAS DE INFILTRACION

PRUEBAS GEOTECNICAS

PRUEBAS CON TRAZADORES

PRUEBAS DE BOMBEO



• PRUEBAS GEOTECNICAS

En sondajes geotécnicos de pequeño diámetro es posible realizar pruebas de infiltración que pueden ser utilizadas para conocer la conductividad hidráulica del entorno.

Estas pruebas permiten generar información puntual sobre la conductividad hidráulica de un suelo o formación acuífera.

Existen básicamente dos tipos de pruebas: carga o nivel constante y carga o nivel variable.

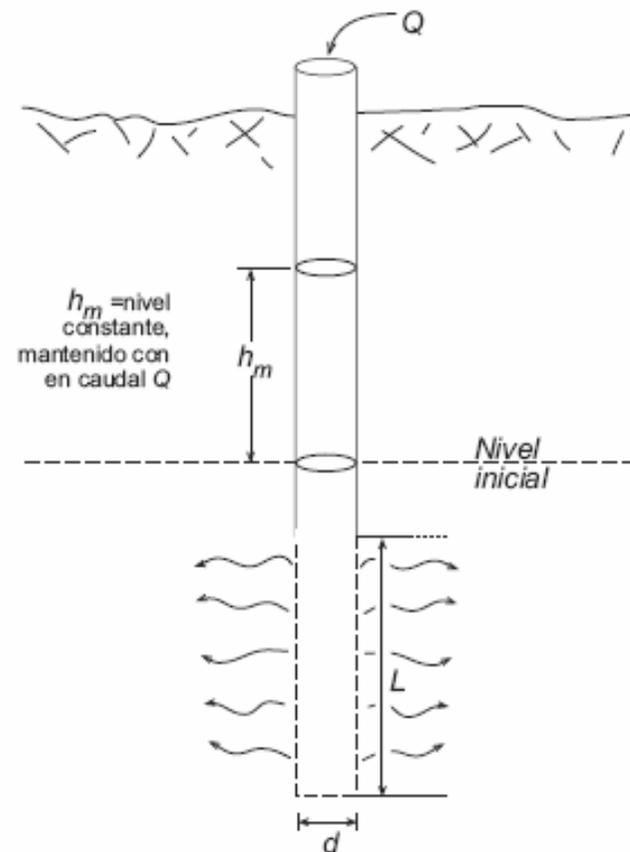
En las **pruebas de nivel constante** se introduce un caudal conocido que permite mantener la altura de agua dentro de la perforación constante a través de tiempo.

En las **pruebas de nivel variable** se introduce o extrae de manera brusca una determinada cantidad de agua, y posteriormente se mide la recuperación del nivel a través del tiempo.



- **LEFRANC**

Se introduce agua con un caudal constante, Q , para mantener un nivel de agua h_m dentro del sondaje.



- **LEFRANC**

La conductividad hidráulica se obtiene mediante la siguiente expresión:

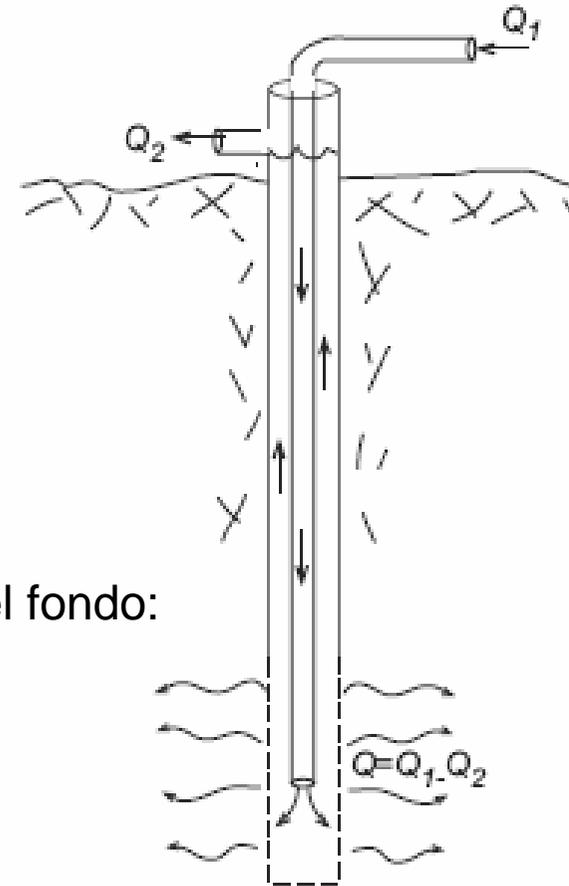
$$K = \frac{Q}{C \cdot h_m}$$

donde C es un factor de forma:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\text{Ln}\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right)}$$

Si el sondaje entrega agua sólo por el fondo:

$$C = 2.75 \cdot d$$



NORMA ASTM



METODOS DE TERRENO

PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION

PRUEBAS TIPO SLUG TESTS

PRUEBAS DE INFILTRACION

PRUEBAS GEOTECNICAS

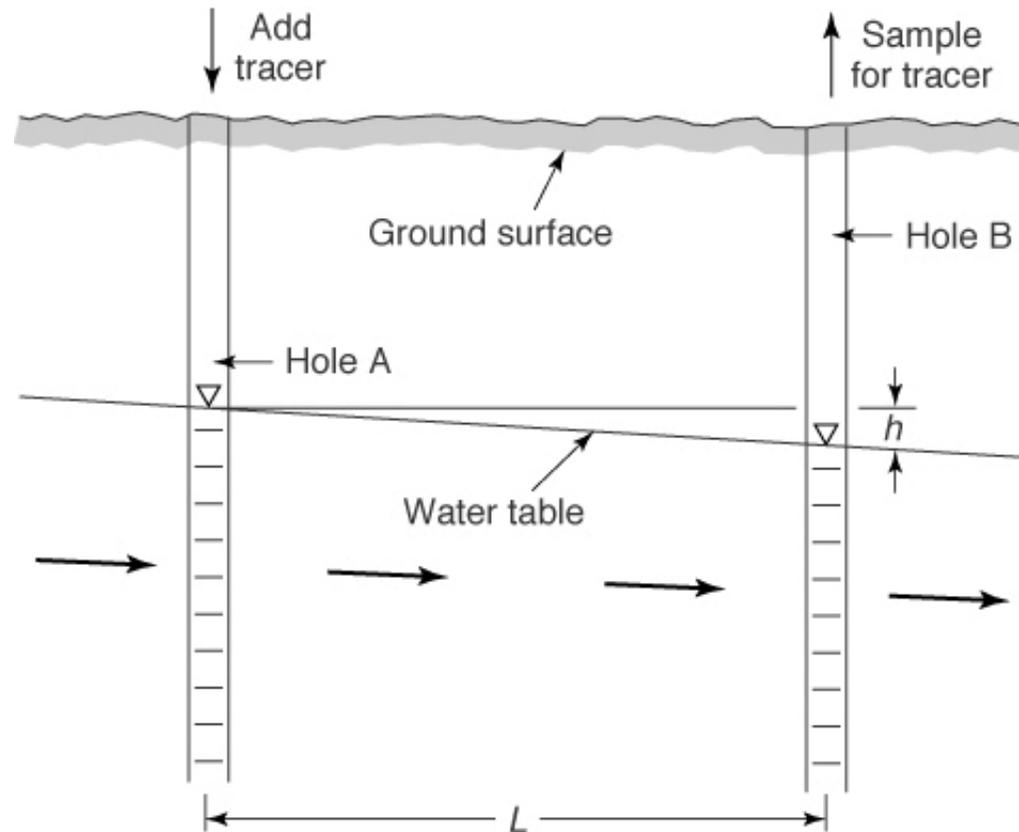
PRUEBAS CON TRAZADORES

PRUEBAS DE BOMBEO



- **PRUEBAS CON TRAZADORES**

La conductividad hidráulica de una formación acuífera puede ser estimada midiendo el tiempo que un trazador se demora en recorrer la distancia entre dos sondajes.



- **PRUEBAS CON TRAZADORES**

Debido a que el agua fluye a través del acuífero a la velocidad de poros es posible escribir:

$$v_R = \frac{K}{n} \cdot \frac{h}{L}$$

Si t es el tiempo que el trazador demora en recorrer la distancia L entre los dos sondajes se puede escribir:

$$v_R = \frac{L}{t}$$

Lo anterior permite escribir la siguiente expresión para la conductividad hidráulica:

$$K = \frac{n}{h} \cdot \frac{L^2}{t}$$



METODOS DE TERRENO

PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION

PRUEBAS TIPO SLUG TESTS

PRUEBAS DE INFILTRACION

PRUEBAS GEOTECNICAS

PRUEBAS CON TRAZADORES

PRUEBAS DE BOMBEO



- **PRUEBAS DE BOMBEO**

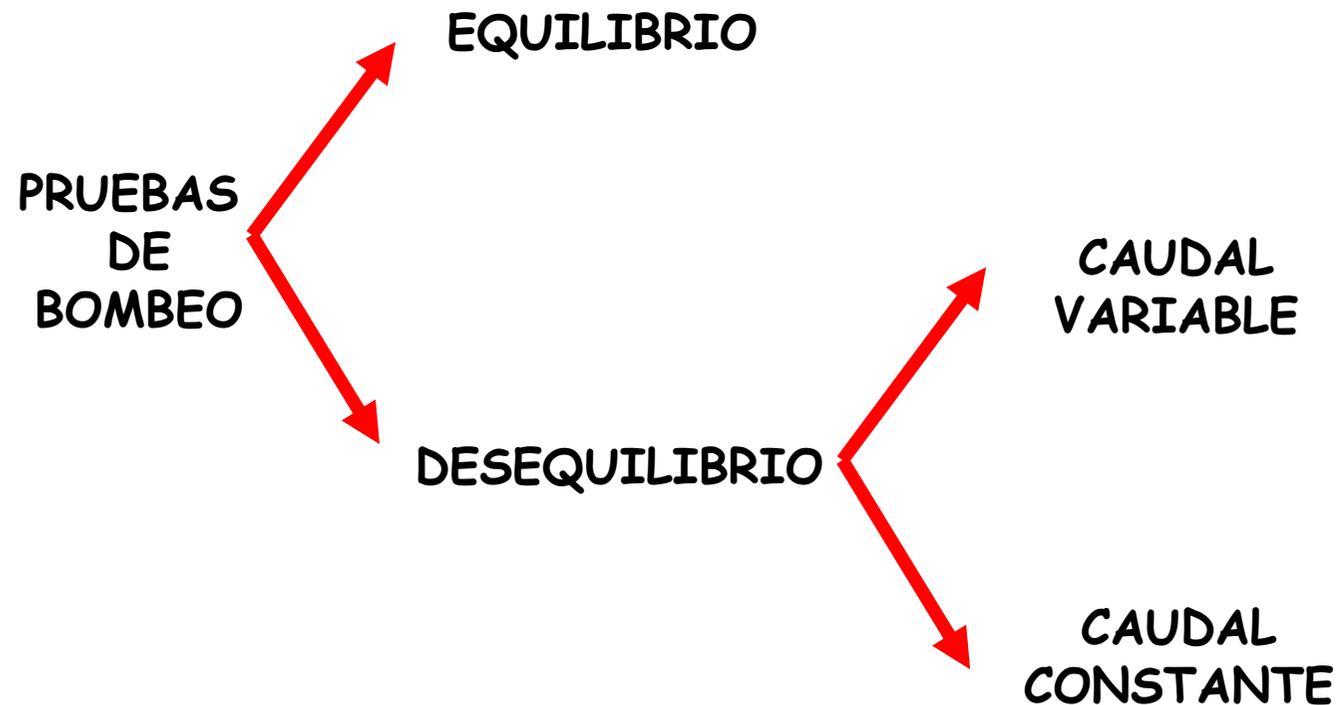
El pozo profundo es uno de los principales medios de producción de aguas subterráneas con que se cuenta. Su comportamiento hidráulico permite obtener valiosa información sobre el medio acuífero asociado al pozo.

Para determinar la conductividad hidráulica de formaciones acuíferas se recurre a las denominadas **pruebas de bombeo**, en las cuales se opera un pozo de bombeo y se mide la depresión o descenso de nivel en uno o más pozos de observación.

La interpretación de estas curvas, descenso-tiempo, permite obtener el valor de las distintas constantes hidrogeológicas que describen el sistema en estudio.



Básicamente las pruebas de bombeo pueden ser clasificadas en dos grandes categorías: pruebas en **condiciones de equilibrio** y en **condiciones de desequilibrio**.

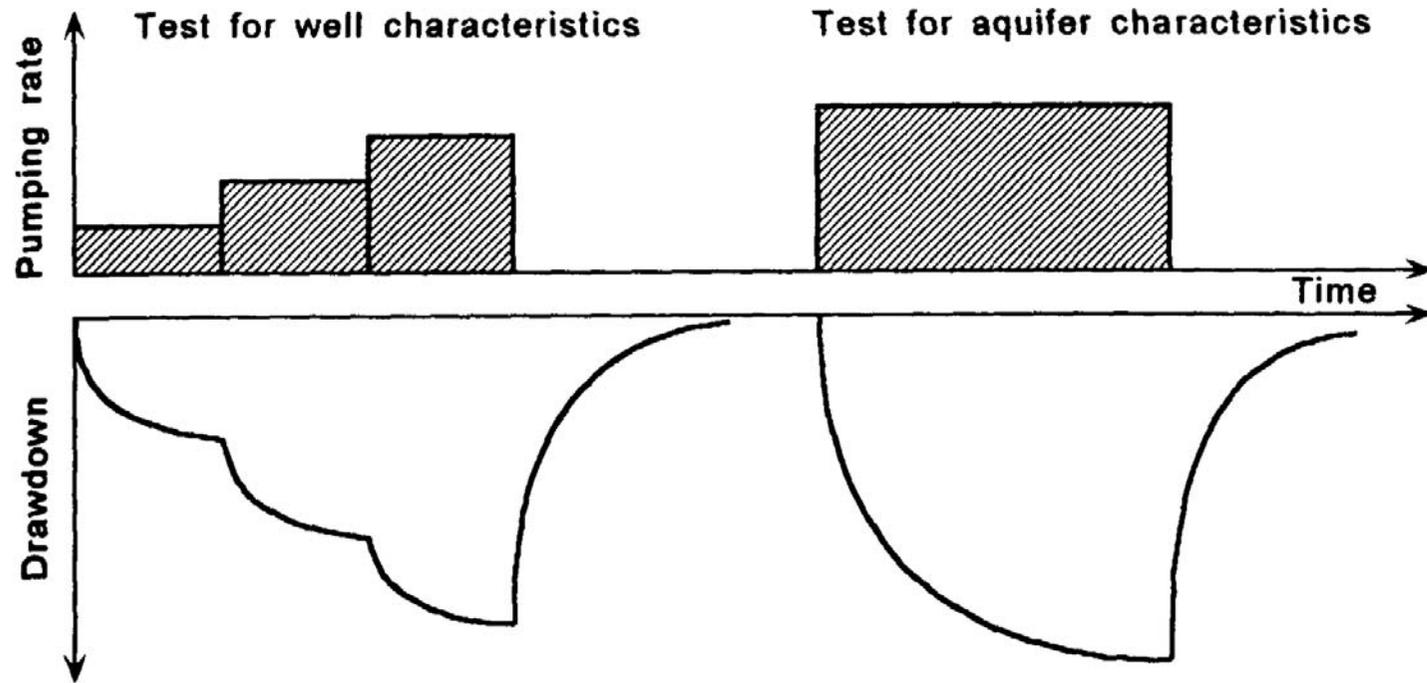


Las pruebas en **condiciones de desequilibrio** son las más utilizadas en la práctica. Dependiendo del tipo de captación, del tipo de acuífero y de la forma de extraer el agua (caudal constante o variable), se han derivado una serie de relaciones que permiten el cálculo de los parámetros representativos del medio acuífero.

Las pruebas de bombeo se pueden clasificar en dos grandes grupos: **gasto o caudal variable** y **gasto o caudal constante**.

- Las pruebas de **gasto variable** se realizan para determinar la capacidad de producción del pozo y para determinar la posición de la bomba dentro del sondaje.
- La prueba de **gasto constante** es utilizada para determinar las propiedades elásticas o hidrogeológicas de la formación acuífera (conductividad hidráulica, transmisividad y coeficiente de almacenamiento).





GASTO VARIABLE

GASTO CONSTANTE



