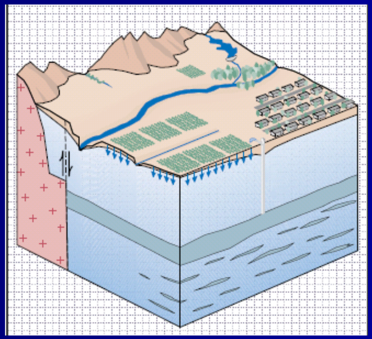
Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Cuyo

AGUAS SUBTERRÁNEAS
Ensayos de bombeo

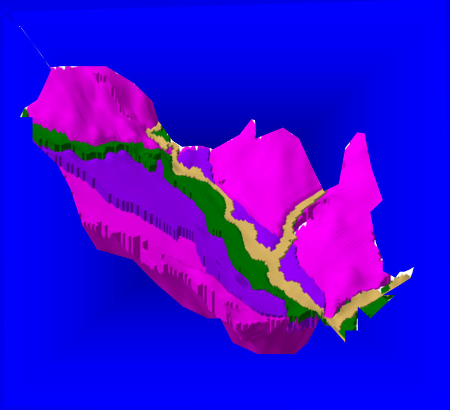


Temas a desarrollar:

1. Repaso de conceptos de Porosidad, Coeficiente de almacenamiento (S), Permeabilidad (K), Transmisividad (T).

2. Concepto de régimen permanente y transitorio (no permanente).

3. Ensayos de bombeo. Hidráulica de los pozos, régimen permanente y transitorio (no permanente o inestable). Ecuaciones utilizadas.



1. Porosidad, Permeabilidad (K), Transmisividad (T) y Coeficiente de almacenamiento (S)

ACUÍFERO

Form. Geol. capaz de **almacenar** y **transmitir** agua en cantidades significativas

Porosidad (η)

Permeabilidad (K)

$$Q = K \times A \times \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

$$\eta_{Total} = \eta_{efectiva} + C_{retención}$$

$$\frac{V_{poros}}{V_T} = \frac{V_{H_2O gravífica}}{V_T} + \frac{V_{H_2O\_no\_gravífica}}{V_T}$$

Coef. Almacenamiento (S)

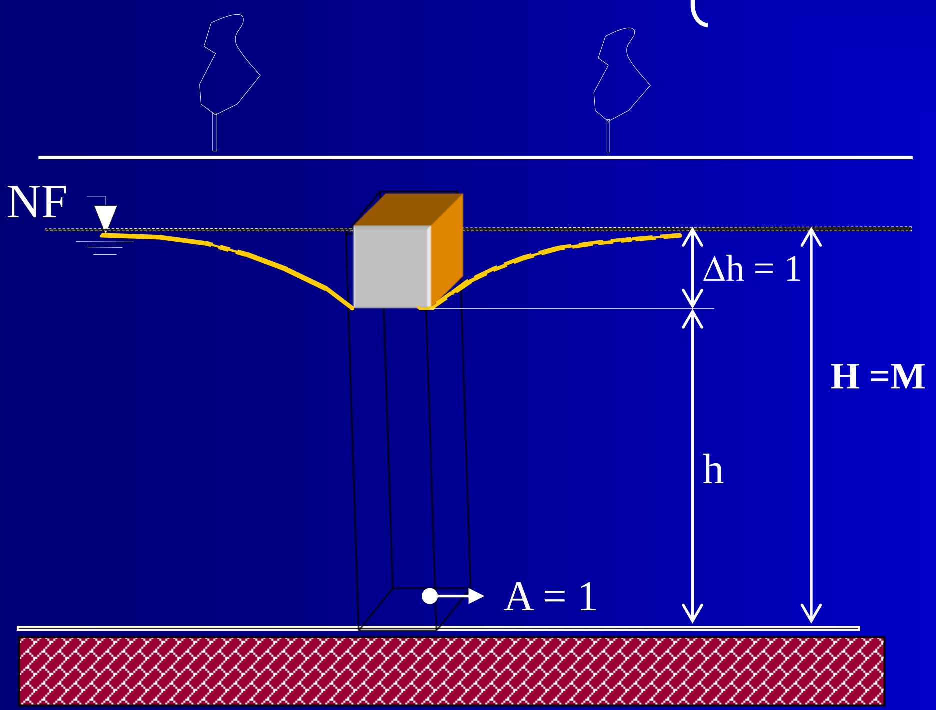
Vol. entrega/recibe una columna de acuífero de Area unitaria y espesor H cuando hay una variación unitaria de nivel (Δh)

A- acuífero libre **B- acuífero confinado**

A- acuífero libre

NF es un nivel real → carga hidráulica (H) = espesor saturado (M)

$$\boxed{S_{libre} = V_{entra\,/\,sale}} \rightarrow \text{cuando} \begin{cases} A = 1 \\ \Delta h = 1 \end{cases}$$



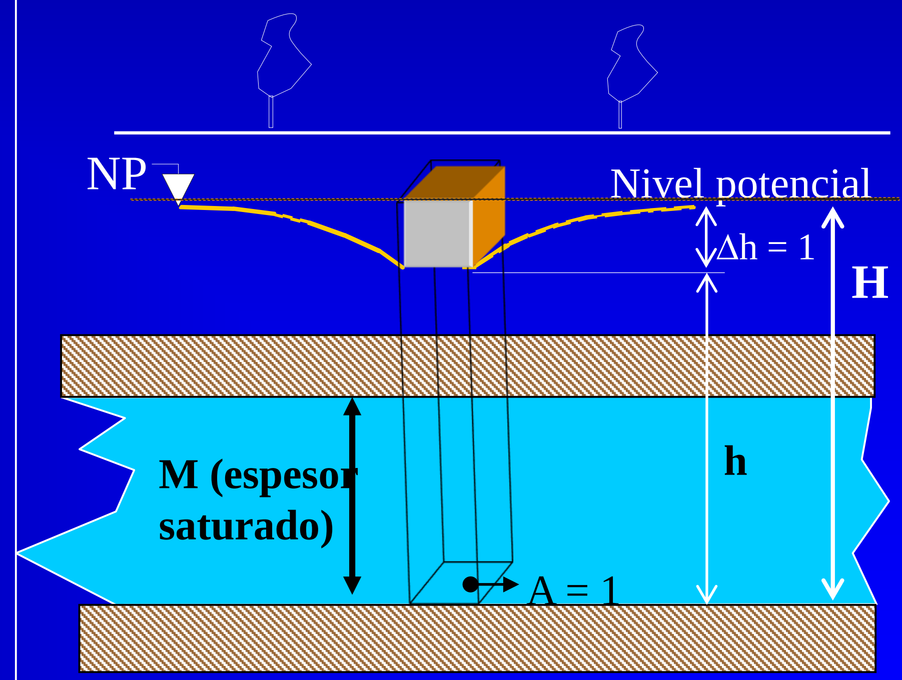
$S_{libre} = \eta_{efectiva}$ → **arena (0,10 a 0,30)**

B- acuífero confinado

NP es un nivel potencial → carga hidráulica (H) ≠ espesor saturado (M)

$$\boxed{S_{conf} = V_{entra\,/\,sale}} \rightarrow \text{cuando} \begin{cases} A = 1 \\ \Delta h = 1 \end{cases}$$

$\rightarrow f\,(compr.material + comp.\,fluido)$



$S_{confin.}$ **orden 10^{-3} o 10^{-5}**

ACUÍFERO

Form. Geol. capaz de almacenar y transmitir agua en cantidades significativas

Porosidad → V_v/V_T

Coef. Almacenamiento (S)

Vol. entrega/recibe el acuífero en un prisma ($H \times A_{unit}$) cuando hay una variación unitaria de nivel (Δh)

A- acuífero libre

B- acuífero confinado

Permeabilidad (K)

$$Q = K \times A \times \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

- cte de proporcionalidad en la ecuación de Darcy.
- Representa la facilidad con que el agua puede pasar a través del seno de la formación geológica.
- Tiene unidades de velocidad (L/T).
- Podemos distinguir en dos tipos:
  - → K o conductividad hidráulica es función del material y del fluido
  - → k_0 o permeabilidad intrínseca función sólo del material.

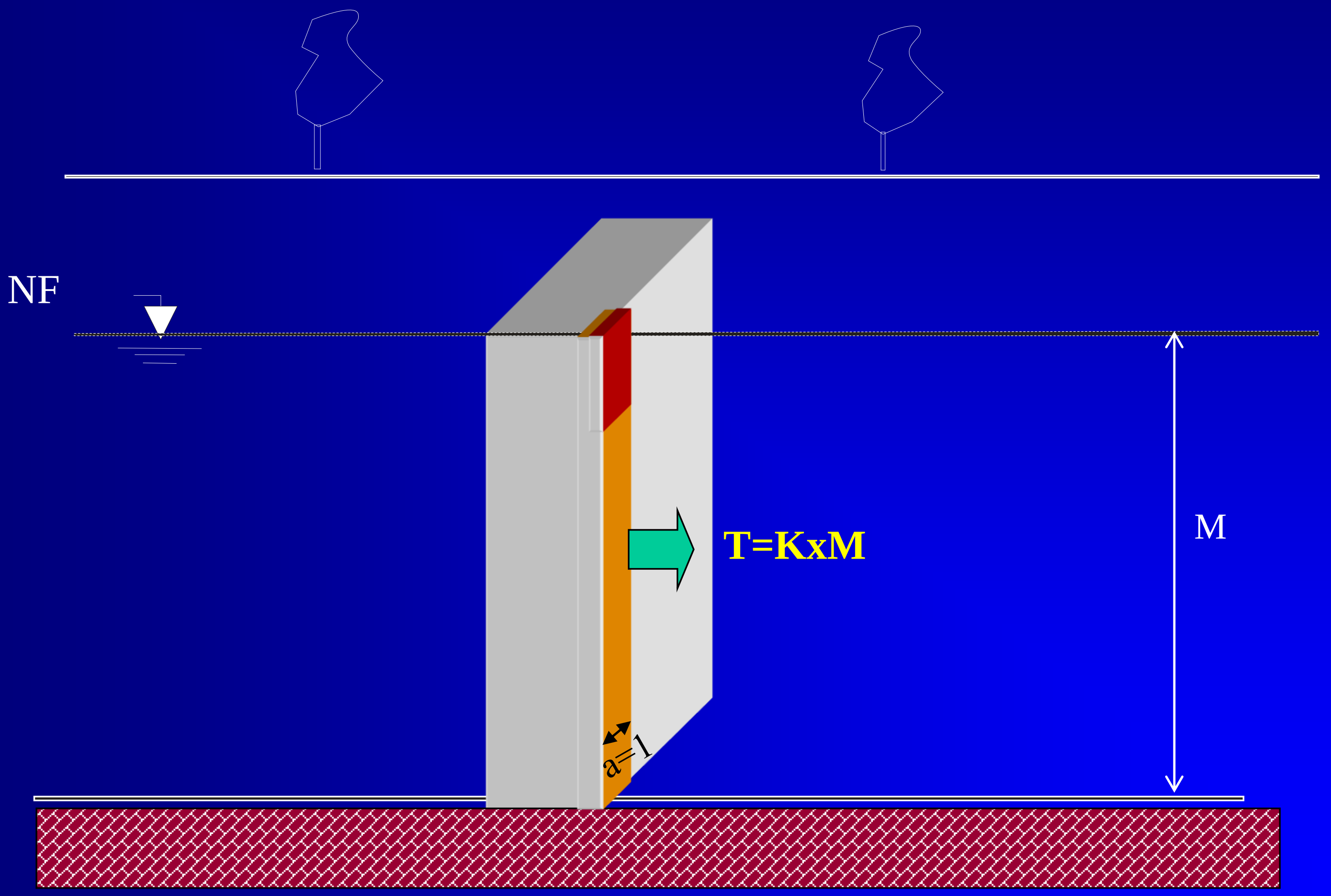
Se relacionan ambas a través de la siguiente ecuación.

$$K = k_0 \times \frac{\gamma}{\mu} = k_0 \times \frac{\rho g}{\mu}$$

Transmisividad (T)

T = K x M

Capacidad de un medio para transmitir agua


NF
T=KxM
M
a=1

¿Para qué estudiamos S, K y T, para que nos sirven?

¿?

¿Cómo están relacionados?

¿Cómo los estimamos?

Ecuación general del escurrimiento subterráneo

Gradiente hidráulico
h: nivel piezométrico

Fuentes o sumideros
por ejemplo pozos, lluvia, etc.

Cambio temporal
de nivel

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)+q_s}_{\text{Variación } q \text{ en el espacio}}=\underbrace{S_s\frac{\partial h}{\partial t}}_{\text{Variación } V \text{ en el tiempo}}$$

Variación *q* en el espacio **Variación *V* en el tiempo**

¿Para qué estudiamos S, K y T, para que nos sirven?

¿?

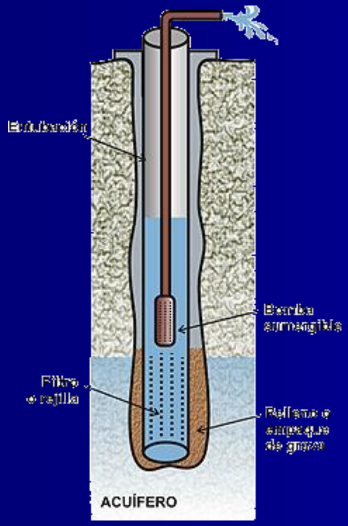
¿Cómo están relacionados?

La ecuación general de flujo en medio poroso nos da la relación

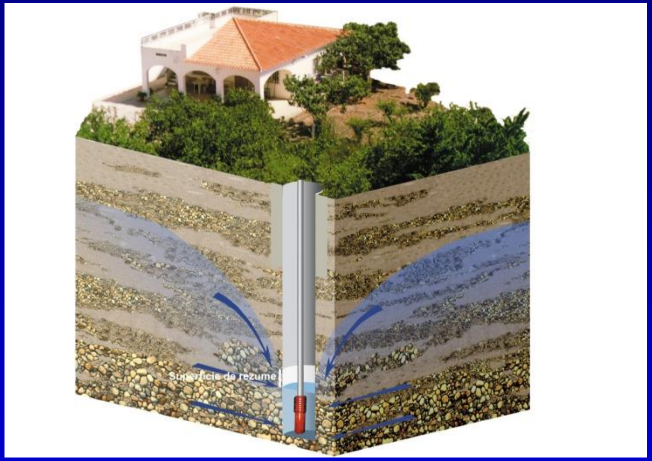
¿Cómo los estimamos?

A través de ensayos de bombeo, y aplicando ecuaciones según el caso podemos calcular K, T y S

- **Hidráulica de los pozos, régimen permanente y transitorio (no permanente o inestable).**



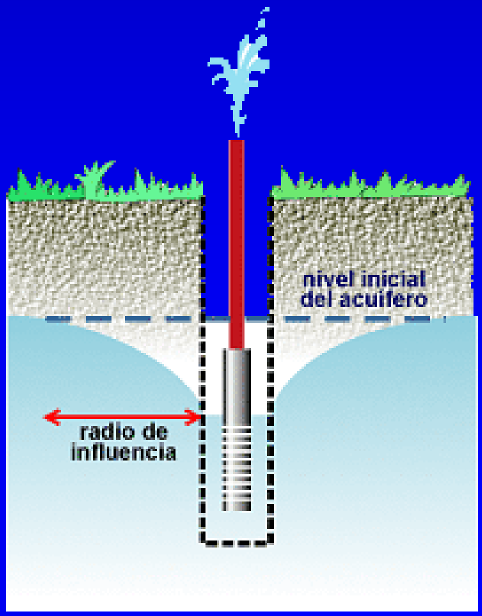
Los **sondeos o perforaciones** son las captaciones más utilizadas en la actualidad, se caracterizan porque la dimensión del diámetro es mucho menor que la dimensión de la profundidad.



En los pozos se produce un gradiente hidráulico para permitir el movimiento del agua hacia el pozo. Si no se produce el descenso de niveles no hay movimiento de agua. Los niveles van descendiendo cerca del pozo hasta que el caudal que aporta el acuífero se iguala con el caudal bombeado. Si los niveles no se estabilizan el bombeo puede secar el acuífero.

El nivel cuando no funciona el pozo se denomina Nivel Estático (NE)

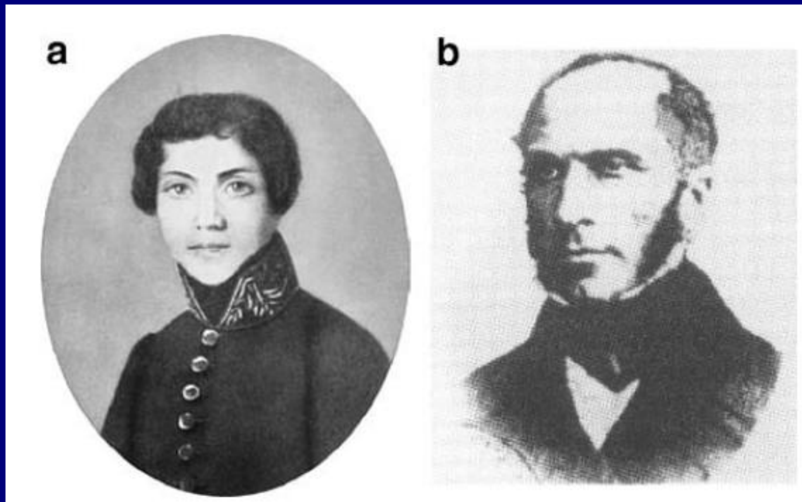
Cuando funciona el pozo el nivel que desciende se llama Nivel Dinámico (ND)



- **Régimen permanente y transitorio (no permanente o inestable) en pozos**

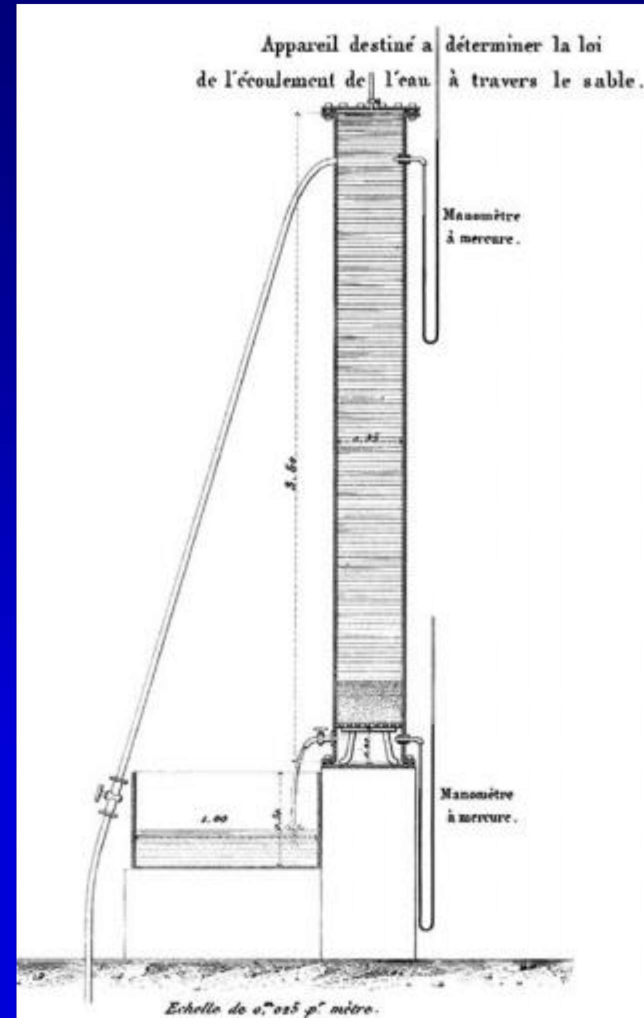
$$\boxed{Q_{entra} - Q_{sale} = \Delta S}$$

Régimen permanente → ΔS=0	**Régimen no permanente → ΔS≠0**
$\boxed{Q_{entra} = Q_{sale}}$ ⇓ $\boxed{Q_{recarga} = Q_{bombeo}}$ No se comprometen los recursos del acuífero se puede mantener en el tiempo. Acuífero confinado — Acuífero libre	$\boxed{Q_{entra} < Q_{sale}}$ $\boxed{Q_{recarga} + \Delta S = Q_{bombeo}}$ Bombeo limitado pues entra en juego las reservas del acuífero. Debe tener tiempo de descanso para permitir recuperación. Acuífero confinado — Acuífero libre

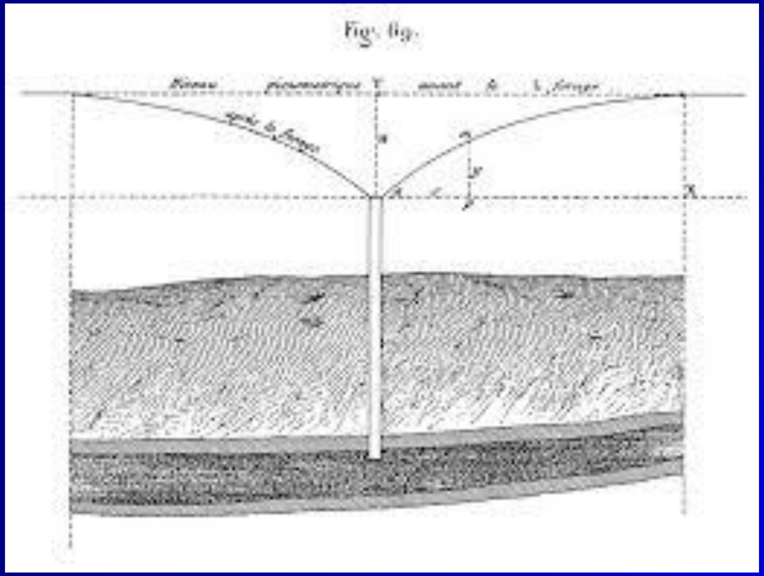


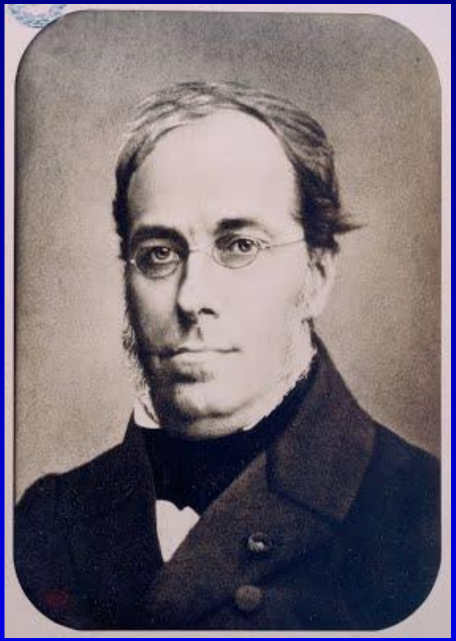
1856

$$q = k\,\frac{s}{e}(h + e \pm h_o) \text{ Darcy's Law from Darcy (1856)}$$



Primer uso de la Ley de Darcy en hidrogeología
Jules Dupuit resuelve la ecuación de flujo radial en régimen permanente (1863)





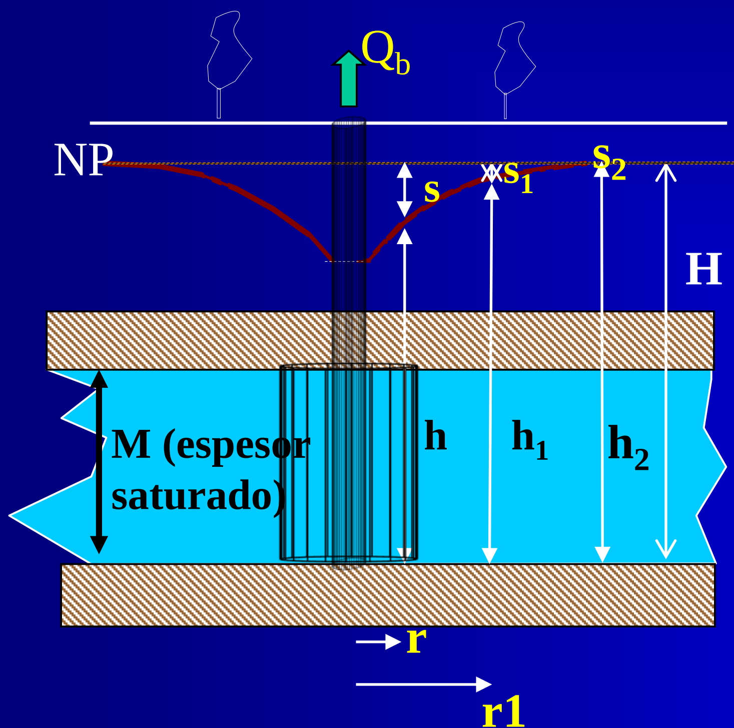
Adolph y Gunther Thiem desarrollaron la misma ecuación y realizaron estudios de campo en el valle del Rin (Alemania)

HIPÓTESIS DE TRABAJO

1. Acuífero homogéneo e isótropo y agua de densidad y viscosidad constante.
2. Espesor del acuífero constante y su base horizontal.
3. Niveles del agua horizontales.
4. Flujo radial y horizontal.
5. Se cumple siempre la Ley de Darcy.
6. Coeficiente de Almacenamiento es constante en el espacio y en el tiempo.
7. Acuífero de extensión infinita, no hay otras captaciones de agua cercanas.
8. El pozo es completo.
9. El caudal de bombeo es constante.

Ens. Bombeo en Régimen permanente → ΔS = 0 → Sólo sirven para calcular *T*, se necesitan como mínimo 2 puntos además del pozo (en el pozo no se pueden tomar los *s*). Se realiza cuando los descensos ya se han estabilizado. Se grafican *s* vs. *inv radio (r)*.

Acuífero Confinado **$Q_{entra} = Q_{sale}$**



Aplicando L. Darcy para obtener el caudal, tenemos:

$$Q = K \times A \times \frac{dh}{dr}$$

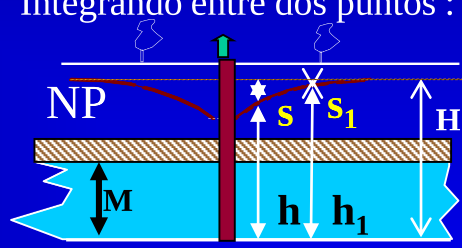
Imaginando un cilindro que pasa por la sección de radio r, la superficie por donde entra agua es $2\pi rM$

Reemplazando el área tenemos

$$Q = 2\pi r \underbrace{M \times K}_{T} \times \frac{dh}{dr}$$

Despejando *dr*: $$\frac{dr}{r} = \frac{2\pi T}{Q} dh$$

Integrando entre dos puntos : $$\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi T}{Q} \int_{h_1}^{h_2} dh$$



$$= \ln r_2 - \ln r_1 = \frac{2\pi T}{Q}(h_2 - h_1)$$

Donde : $\begin{cases} h_1 = H - s_1 \\ h_2 = H - s_2 \end{cases}$ $h_2 - h_1 = H - s_2 - H + s_1 = s_1 - s_2$

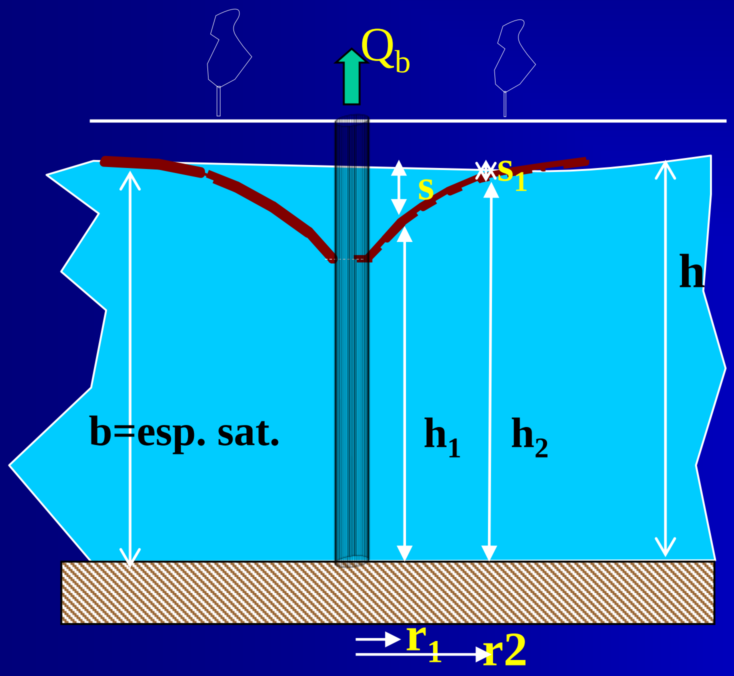
Nos queda entonces: $$\ln \frac{r2}{r1} = \frac{2\pi T}{Q}(s_1 - s_2)$$

Despejando $(s_1 - s_2)$, tenemos: $$(s_1 - s_2) = \ln \frac{r2}{r1} \times \frac{Q}{2\pi T}$$

Fla. de Thiem (a. confin)

Ens. Bombeo en Régimen permanente → ΔS = 0 → Sólo sirven para calcular *T*, se necesitan como mínimo 2 puntos además del pozo (en el pozo no se pueden tomar los *s*).

Acuífero Libre $Q_{entra} = Q_{sale}$



Aplicando L. Darcy a un superficie genérica *h*, con radio *r*

$$Q = K \times A \times \frac{dh}{dr} = K \times 2\pi r h \times \frac{dh}{dr}$$

Despejando dr/r $$\frac{dr}{r} = \frac{K \times 2\pi}{Q} hdh$$

Integrando entre dos puntos conocidos 1 y 2

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{K \times 2\pi}{Q} \int_{h_1}^{h_2} hdh$$

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{K \times 2\pi}{Q} \frac{h^2}{2} \Bigg|_{h_1}^{h_2} = \frac{K \times 2\pi}{Q} \left[\frac{h_2^2 - h_1^2}{2} \right]$$

$$h_2^2 - h_1^2 = (h_2 + h_1) \times (h_2 - h_1)$$

$$(h_2 + h_1) \approx 2b$$

$$h_2 - h_1 = h - s_2 - h + s_1 = s_1 - s_2$$

La ecuación nos queda como $$\ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{K 2\pi}{Q} \times \frac{2b(s_1 - s_2)}{2}$$

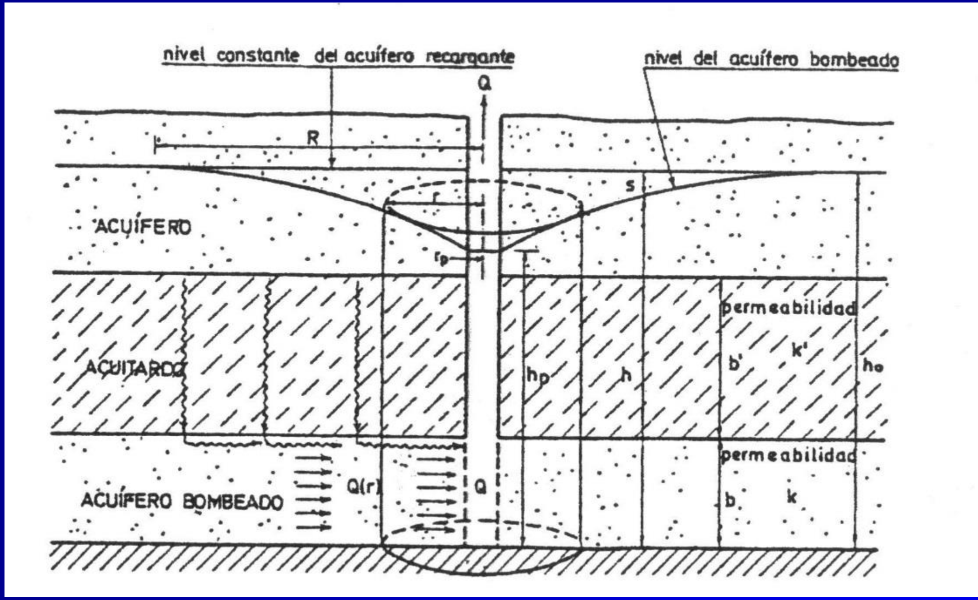
Despejando $(s_1 - s_2)$

$$(s_1 - s_2) = \frac{Q}{2\pi K b} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Ec. Thiem

Ens. Bombeo en Régimen permanente → ΔS = 0 → Sólo sirven para calcular *T*, se necesitan como mínimo 2 puntos además del pozo (en el pozo no se pueden tomar los *s*).

Semi Confinado **$Q_{entra} = Q_{sale}$**

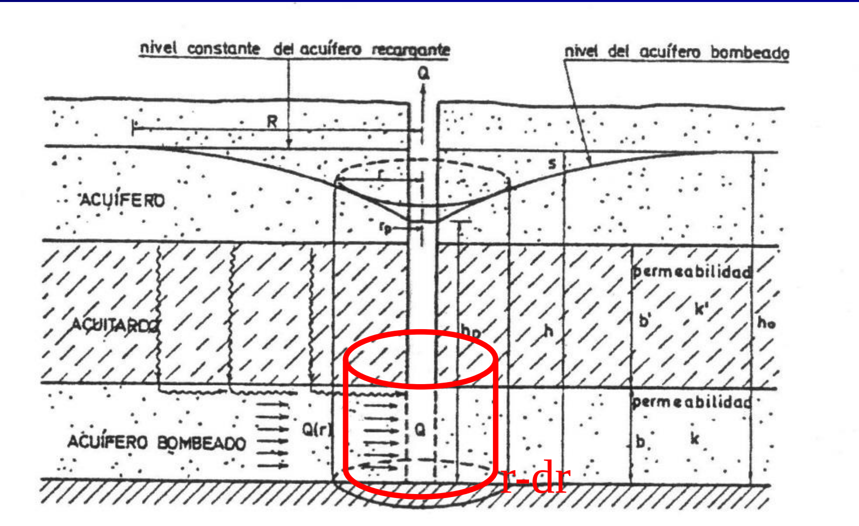


Hipótesis:

- Ambos acuíferos tienen = nivel piezométrico
- El acuífero que recarga mantiene un nivel piezométrico constante
- Recarga proporcional a k'/b' y a la diferencia de nivel entre ambos acuíferos
- Recarga pequeña: líneas de corriente horizonales

Ens. Bombeo en Régimen permanente → ΔS = 0 → Sólo sirven para calcular *T*, se necesitan como mínimo 2 puntos además del pozo (en el pozo no se pueden tomar los *s*).

Semi Confinado **$Q_{entra} = Q_{sale}$**

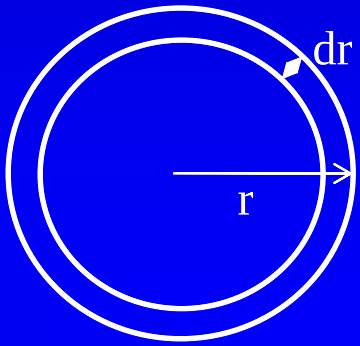


Recarga entre dos cilindros de radio r y r-dr:

$$Q(r-dr) - Q(r) = -dQ(r) = 2\pi r dr (h_0 - h)\frac{k'}{b'}$$

Caudal que pasa por el cilindro de radio r:

$$Q(r) = 2\pi r T \frac{dh}{dr}$$



derivando: $$dQ(r) = \left(2\pi r T \frac{d^2h}{dr^2} + 2\pi T \frac{dh}{dr}\right) dr$$

igualando: $$2\pi r T \frac{d^2h}{dr^2} + 2\pi T \frac{dh}{dr} + 2\pi r dr (h_0 - h)\frac{k'}{b'} = 0$$

Ens. Bombeo en Régimen permanente → ΔS = 0 → Sólo sirven para calcular *T*, se necesitan como mínimo 2 puntos además del pozo (en el pozo no se pueden tomar los *s*).

Semi Confinado **$Q_{entra} = Q_{sale}$**

Cambiando variables: $x = \frac{r}{B}$

Factor de goteo $B = \sqrt{\frac{T}{k'/b'}}$

Descenso $s = h_0 - h$

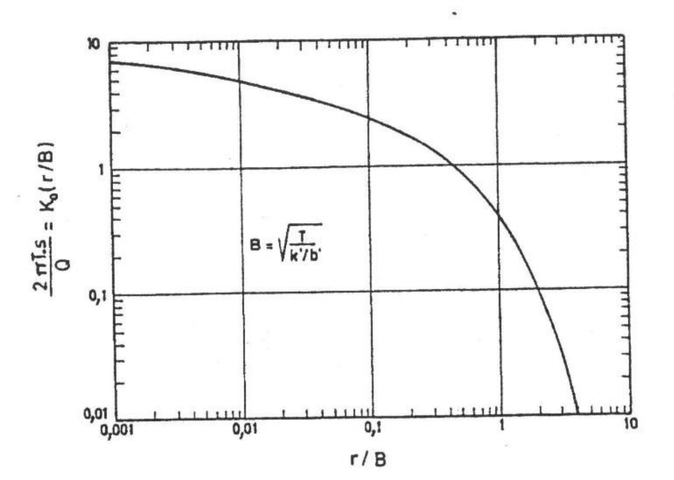
Solución: $s = h_0 - h = A * I_0(x) + C * K(x)$

Condiciones de borde:

$$h = h_0 \; para \; r = \infty$$

$$\lim_{r \to r_p} 2\pi r T \frac{dh}{dr} = Q$$

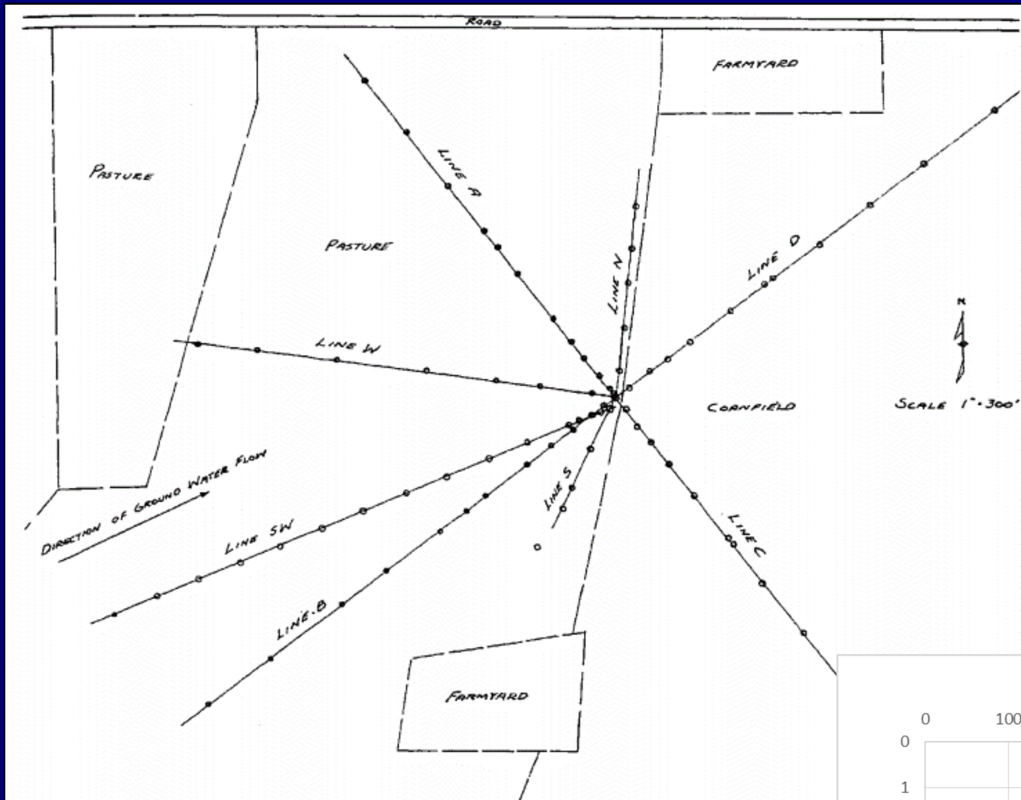
Fla de Jacob-Hantush : $s = \frac{Q}{2\pi T} K_0(r/B)$



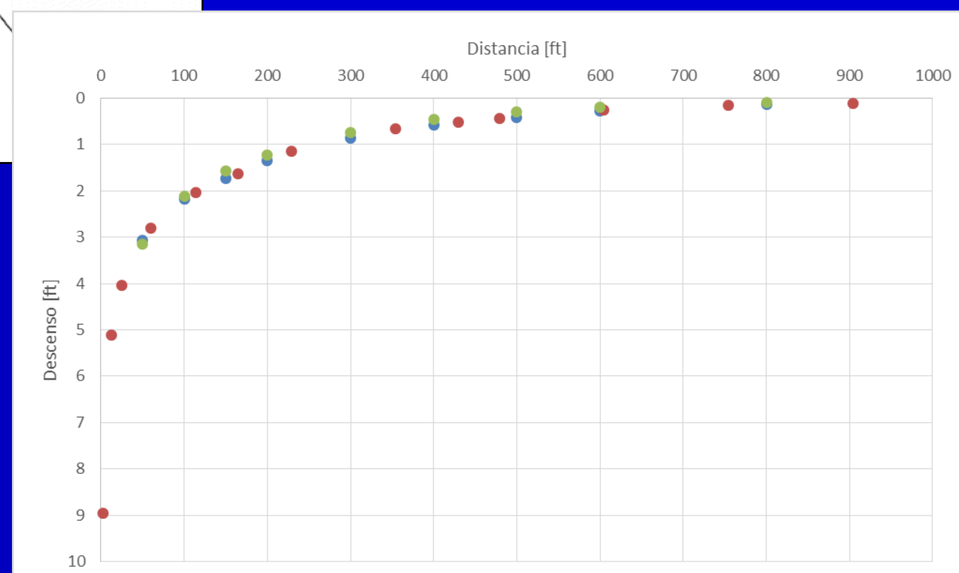
Simplificación para r/B<0,1: $s = \frac{Q}{2\pi T} ln \frac{1.123B}{r}$

Válido en las proximidades del pozo

Experimento de Wenzel (1932)



	Descensos [ft]			
Distancia [ft]	Linea A	Linea B	Linea C	Linea D
50	3.06	3.14	2.98	2.93
100	2.17	2.11	2.08	2.2
150	1.74	1.57	1.52	1.68
200	1.35	1.22	1.17	1.34
300	0.87	0.74	0.73	0.86
400	0.57	0.46	0.44	0.56
500	0.41	0.29	0.28	0.37
600	0.28	0.2	0.2	0.25
800	0.13	0.09	0.1	0.11



C.V. Theis

Formulación de las ecuaciones que caracterizan el régimen transitorio

UNITED STATES
DEPARTMENT OF THE INTERIOR
GEOLOGICAL SURVEY
WATER RESOURCES DIVISION
GROUND WATER BRANCH
Washington 25, D. C.

1935

GROUND WATER NOTES
HYDRAULICS

No. 5

August 1952

THE RELATION BETWEEN THE LOWERING OF THE PIEZOMETRIC SURFACE AND THE RATE AND DURATION OF DISCHARGE OF A WELL USING GROUND WATER STORAGE

By
Charles V. Theis

This paper develops some of the basic concepts on which much of our present-day theory of ground-water hydraulics is founded. Although published in the Transactions of the American Geophysical Union, part 2 (pp. 519-524), August 1935, the supply of reprints has long since been exhausted.

Ens. Bombeo en Régimen no permanente → ΔS ≠ 0 → Son los que generalmente se llevan a cabo. Se puede usar un punto + el pozo. Tb. se puede usar el pozo como control (en ese caso se puede calcular sólo T). Sirven para calcular K, T y S. Se grafican *s* vs. *tpo*

Confinado $Q_{entra} \neq Q_{sale} \rightarrow \Delta S$	Libre $Q_{entra} \neq Q_{sale} \rightarrow \Delta S$

Confinado

La ecuación general de bombeo, se considera flujo qz =0, además se transforma en coordenadas polares

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+\cancel{\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}}\right)=\frac{S}{T}\times\frac{\partial h}{\partial t}$$

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial h}{\partial r}\right)=\frac{S}{T}\times\frac{\partial h}{\partial t}$$

La resolución de la ecuación diferencial conduce a:

$$h_0-h=s=\frac{Q}{4\pi T}\times W_{(u)}$$

Llamada Fórmula de Theis, siendo

$$\begin{cases} W_{(u)}=\int_u^{\infty}\frac{e^{-x}}{x}dx \\ u=\frac{r^2 S}{4Tt} \end{cases}$$

Función de pozo (tabulada). Para valores de u<0,03 se puede aproximar con la aproximación de JACOB

$$s=\frac{Q}{4\pi T}\ln\frac{2.25Tt}{r^2 S}$$

Libre

En principio si los descensos no son grandes en comparación del espesor del acuífero pueden aplicarse las fórmulas de Theis y Jacob con el valor de T= KxM siendo S = η_{ef}.

¿Cómo se procede?

- Se realiza el ensayo midiendo (*s* vs *tpo*) o (*s* vs *r*)
- Se construyen las gráficas (*s* vs *tpo*) o (*s* vs *r*) en escala logarít. (curva) o escala semilogarít (recta)
- Se comparan con gráficos existentes, determinando valores de la función u, o encontrando t_0 o r_0, e igualando esos valores con *Δs. Se obtienen los valores T, K y S.*

Fórmula de Theis

$$h_0 - h = s = \frac{Q}{4\pi T} \times W_{(u)}$$

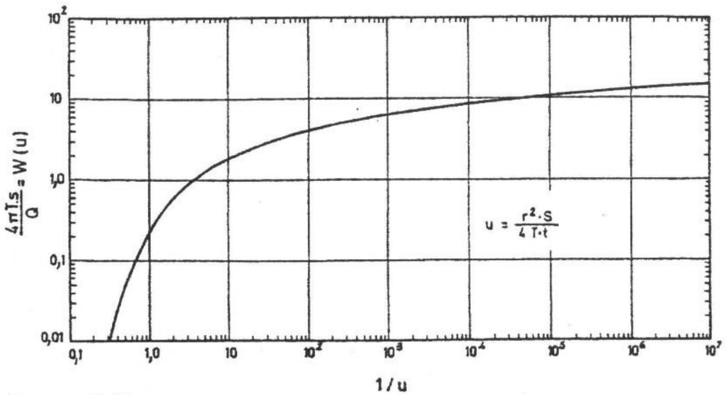


FIGURA 9.12

Función de pozo, W (u), en acuífero cautivo, en función de 1/u. Curva tipo de Theis.

Cerdergren, 1967, etc.) y una relación suficientemente completa de valores se encuentra en las tablas A.9.5 y A.9.6 del apéndice A.9.2. A título orientativo se dan los siguientes valores.

u	W(u)	u	W(u)
10^{-15}	34	10^{-7}	15,5
10^{-14}	31,6	10^{-6}	13,2
10^{-13}	29,3	10^{-5}	10,9
10^{-12}	27,0	10^{-4}	8,6
10^{-11}	24,7	10^{-3}	6,33
10^{-10}	22,4	10^{-2}	4,04
10^{-9}	20,1	10^{-1}	1,82
10^{-8}	17,8	1	0,22

Fórmula de Jacob

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25Tt}{r^2 S}$$

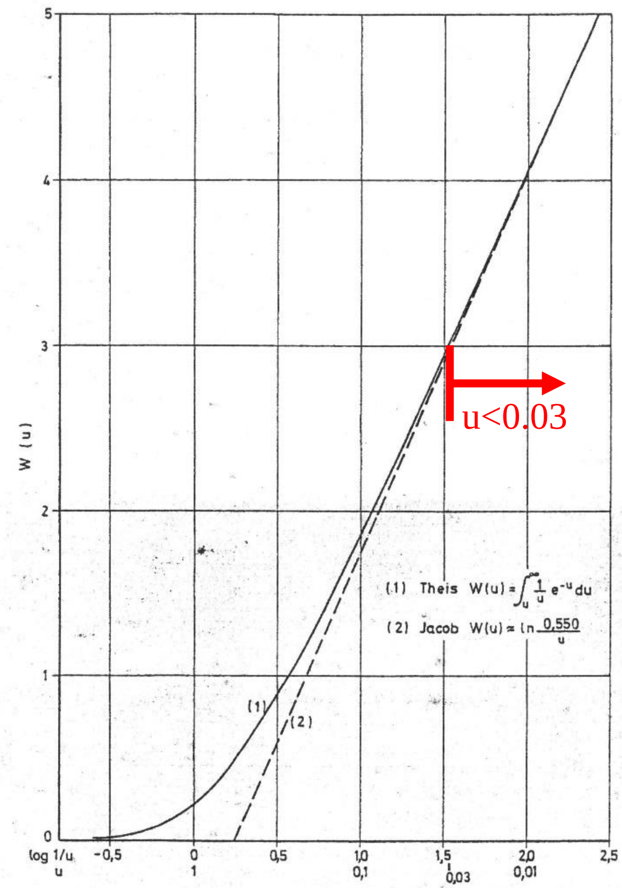


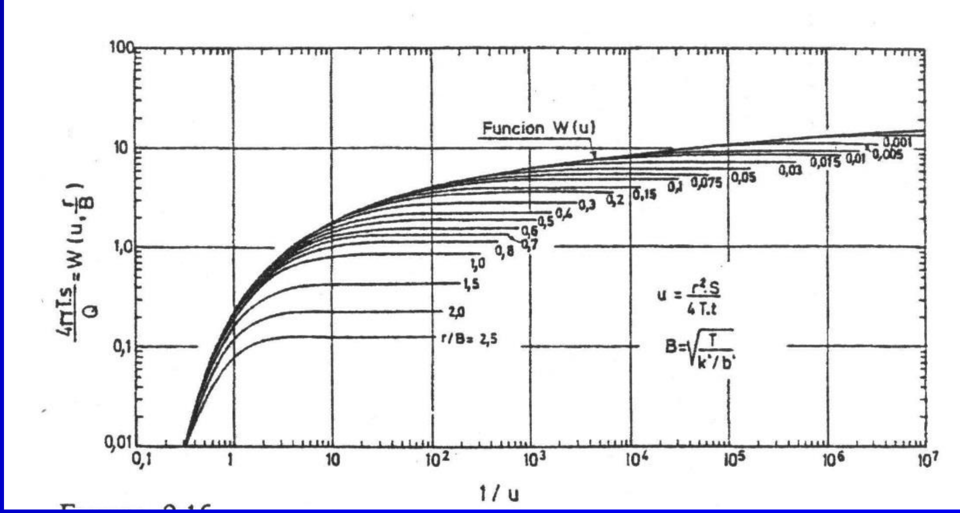
FIGURA 9.13

Comparación de la fórmula de Theis y de la aproximación de Jacob.

Ens. Bombeo en Régimen no permanente → ΔS ≠ 0 → Son los que generalmente se llevan a cabo. Se puede usar un punto + el pozo. Tb. se puede usar el pozo como control (en ese caso se puede calcular sólo T). Sirven para calcular K, T y S. Se grafican *s* vs. *tpo*

Acuífero Semiconfinado $Q_{entra} \neq Q_{sale} \rightarrow \Delta S$

Hipótesis adicionales:
- No se toma agua del almacenamiento del nivel semiconfinante
- Radio del pozo pequeño

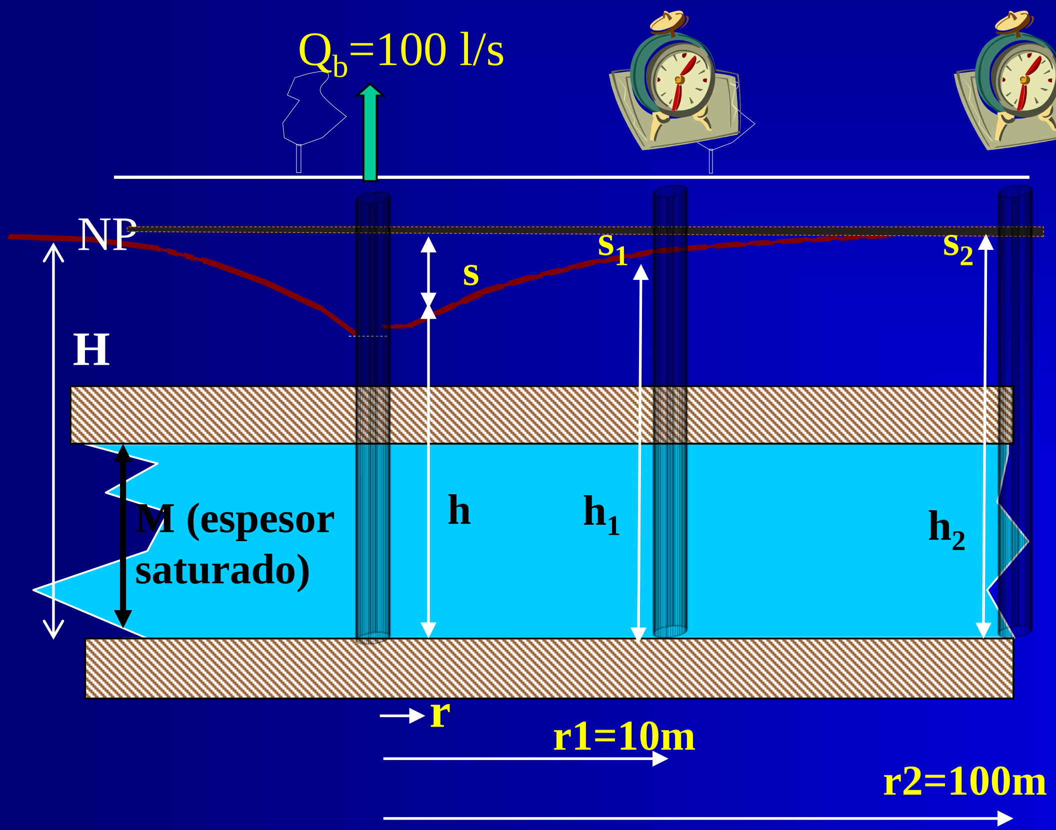


Fla. de Hantush : $s = \frac{Q}{2\pi T} W(u, {}^{r}/_{B})$

Función de pozo: $W\left(u, {}^{r}/_{B}\right) = \int_{u}^{\infty} \frac{1}{y} e^{\left(-y - \frac{r^2}{4B^2 y}\right)} dy$ $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

	Régimen Permanente	**Régimen No permanente**
Libre	Fla. de Thiem $s_1 - s_2 = ln\frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{Q}{2\pi T}$	Fla. de Theis $s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$ $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$
Confinado	Fla. de Thiem $s_1 - s_2 = ln\frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{Q}{2\pi T}$	Fla. de Theis $s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$ $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$
Semiconfinado	Fla. de Jacob-Hantush $s = \frac{Q}{2\pi T} K_0({}^{r}/_{B})$	Fla. de Hantush $s = \frac{Q}{2\pi T} W(u, {}^{r}/_{B})$ $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

Aspectos Prácticos. ¿Cómo realizar el ensayo de bombeo? ¿Cómo analizar los datos obtenidos en el campo?



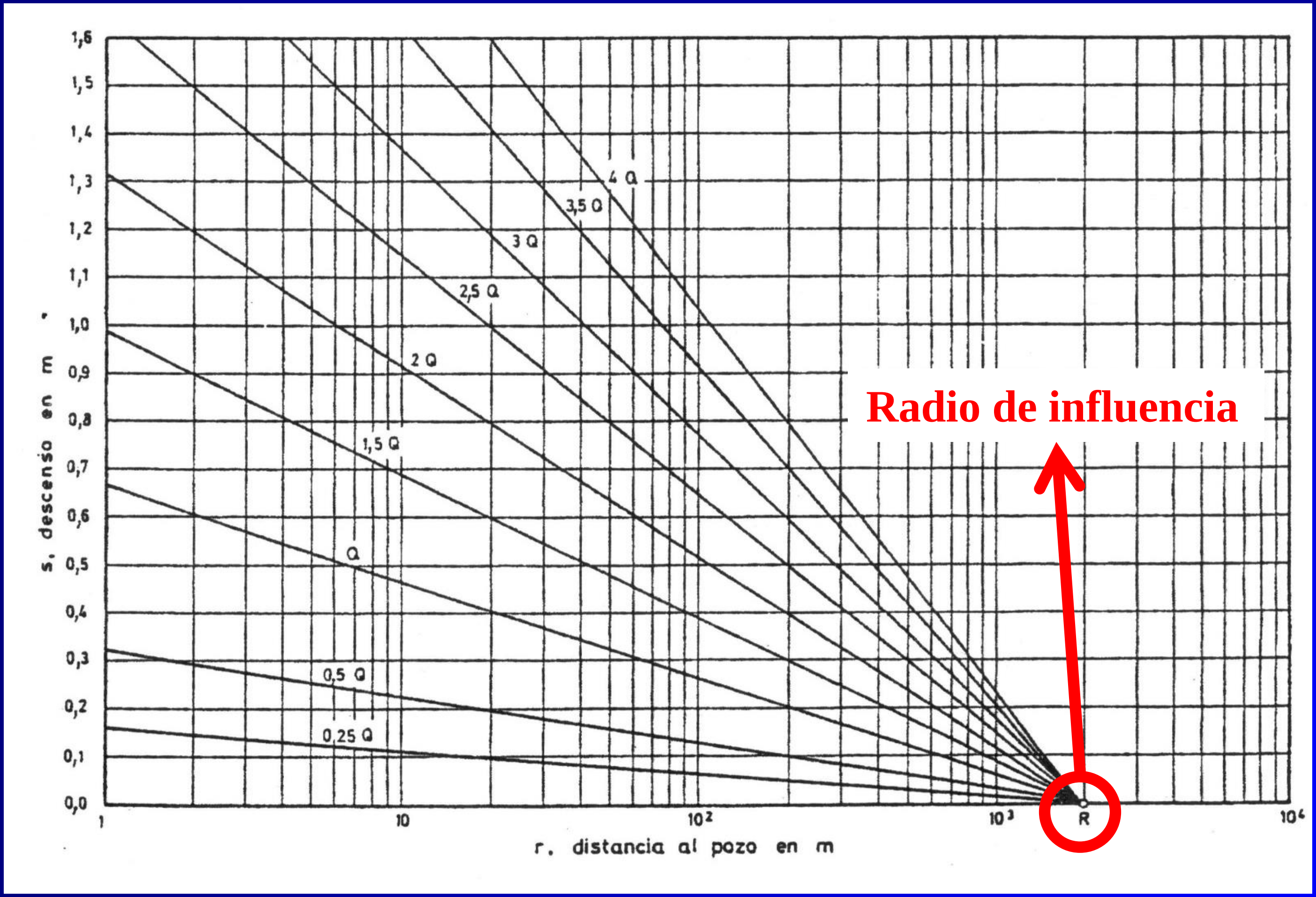
Medimos : 1) tiempo

2) Nivel (descensos)

	Régimen Permanente	Régimen No permanente
Libre	Fla. de Thiem $s_1 - s_2 = ln\frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{Q}{2\pi T}$	Fla. de Theis $s = \frac{Q}{2\pi T} W(u)$ $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$
Confinado	Fla. de Thiem $\boxed{s_1 - s_2 = ln\frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{Q}{2\pi T}}$	Fla. de Theis $s = \frac{Q}{2\pi T} W(u)$ $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$
Semiconfinado	Fla. de Jacob-Hantush $s = \frac{Q}{2\pi T} K_0({}^{r}/_{B})$	Fla. de Hantush $s = \frac{Q}{2\pi T} W(u, {}^{r}/_{B})$ $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

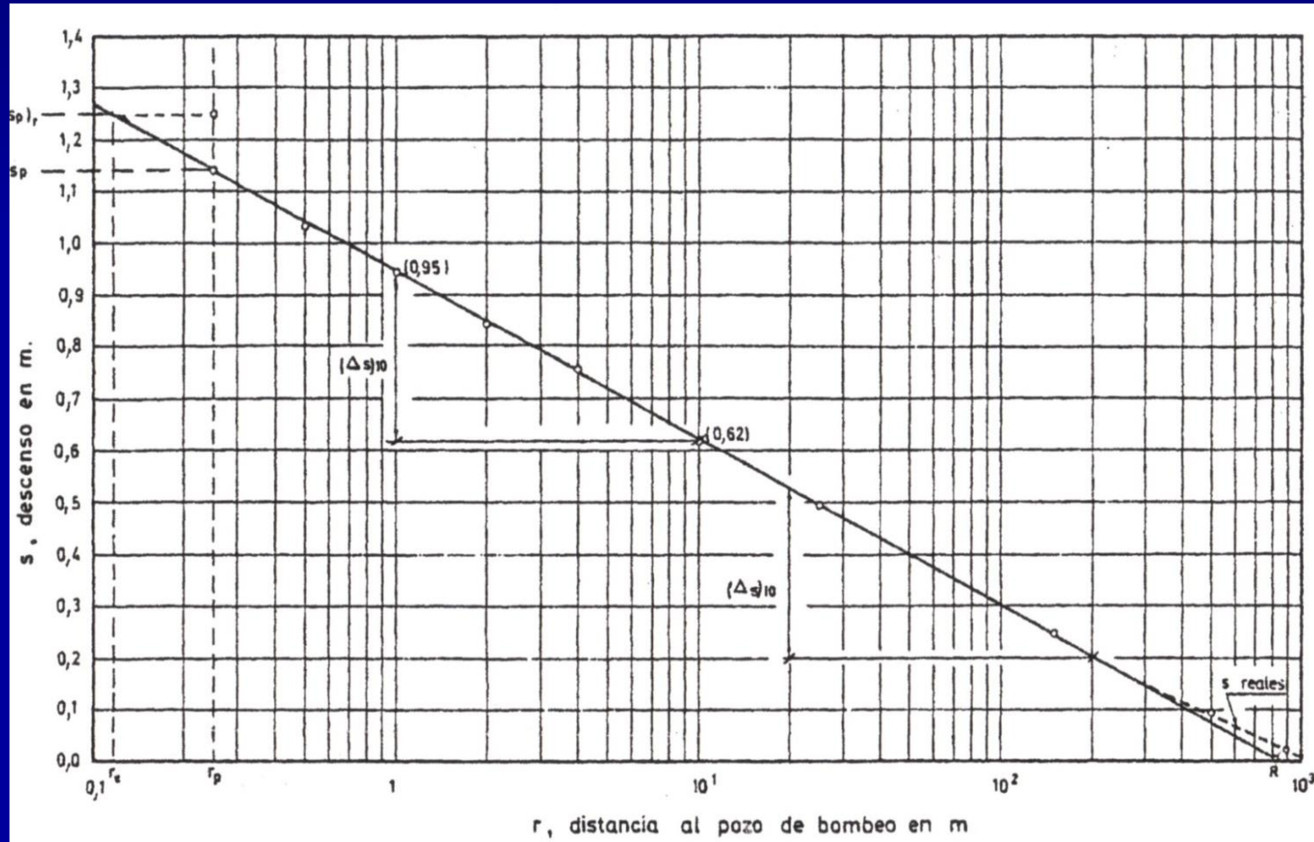
Acuífero confinado. Régimen permanente
Perfil de Descensos

$$s_1 - s_2 = ln\frac{r_2}{r_1}\cdot\frac{Q}{2\pi T} \Longrightarrow s = \frac{Q}{2\pi T}\ln\frac{R}{r} = 2.3\frac{Q}{2\pi T}\log\frac{R}{r}$$



Acuífero confinado. Régimen permanente

Pozo	r[m]	s [m]
Bombeo	---	1.25
1	0.5	1.03
2	1	0.95
3	2	0.84
4	4	0.76
5	10	0.62
6	25	0.49
7	150	0.25
8	500	0.09
9	900	0.01



$$s_1 - s_2 = 2.3\frac{Q}{2\pi T}\log\frac{r_2}{r_1}$$

Conociendo Q, puedo calcular R, el descenso teórico en el pozo y la Trasmisividad

	Régimen Permanente	**Régimen No permanente**
Libre	Fla. de Thiem $$s_1 - s_2 = ln\frac{r_2}{r_1}\cdot\frac{Q}{2\pi T}$$	Fla. de Theis $$s = \frac{Q}{2\pi T}W(u) \qquad u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$
Confinado	Fla. de Thiem $$s_1 - s_2 = ln\frac{r_2}{r_1}\cdot\frac{Q}{2\pi T}$$	Fla. de Theis $$s = \frac{Q}{2\pi T}W(u) \qquad u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$
Semiconfinado	Fla. de Jacob-Hantush $$s = \frac{Q}{2\pi T}K_0\left({}^{r}/_{B}\right)$$	Fla. de Hantush $$s = \frac{Q}{2\pi T}W\left(u, {}^{r}/_{B}\right) \qquad u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Acuífero confinado. Régimen no permanente
Perfil de Descensos.

$$s = \frac{Q}{2\pi T} W(u)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Podemos ver los descensos en función del tiempo o en función de la distancia [r]. Hay varias representaciones posibles:

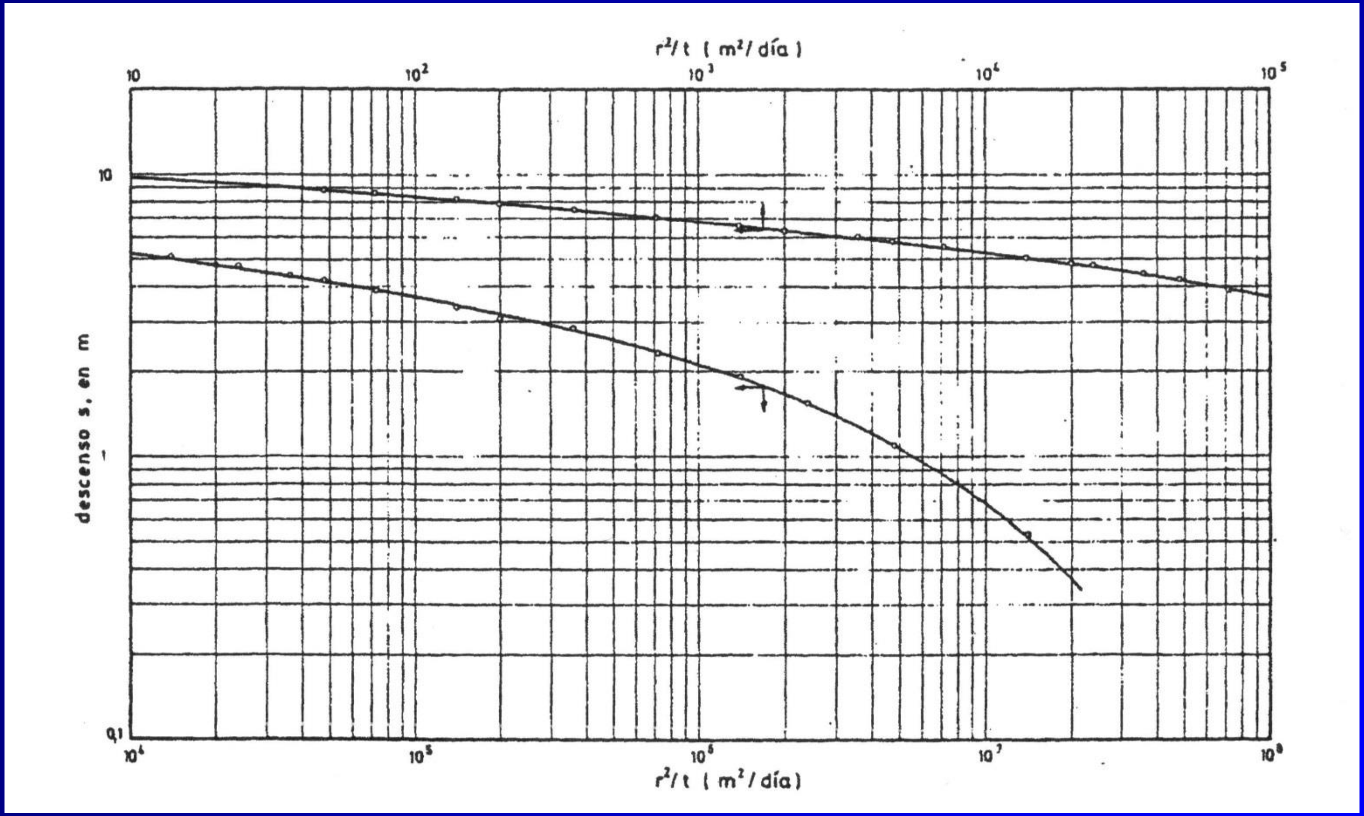
- log s – log r^2/t
- log s – log t
- log s – log r^2

Acuífero confinado. Régimen no permanente
Perfil de Descensos.

$$s = \frac{Q}{2\pi T} W(u)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

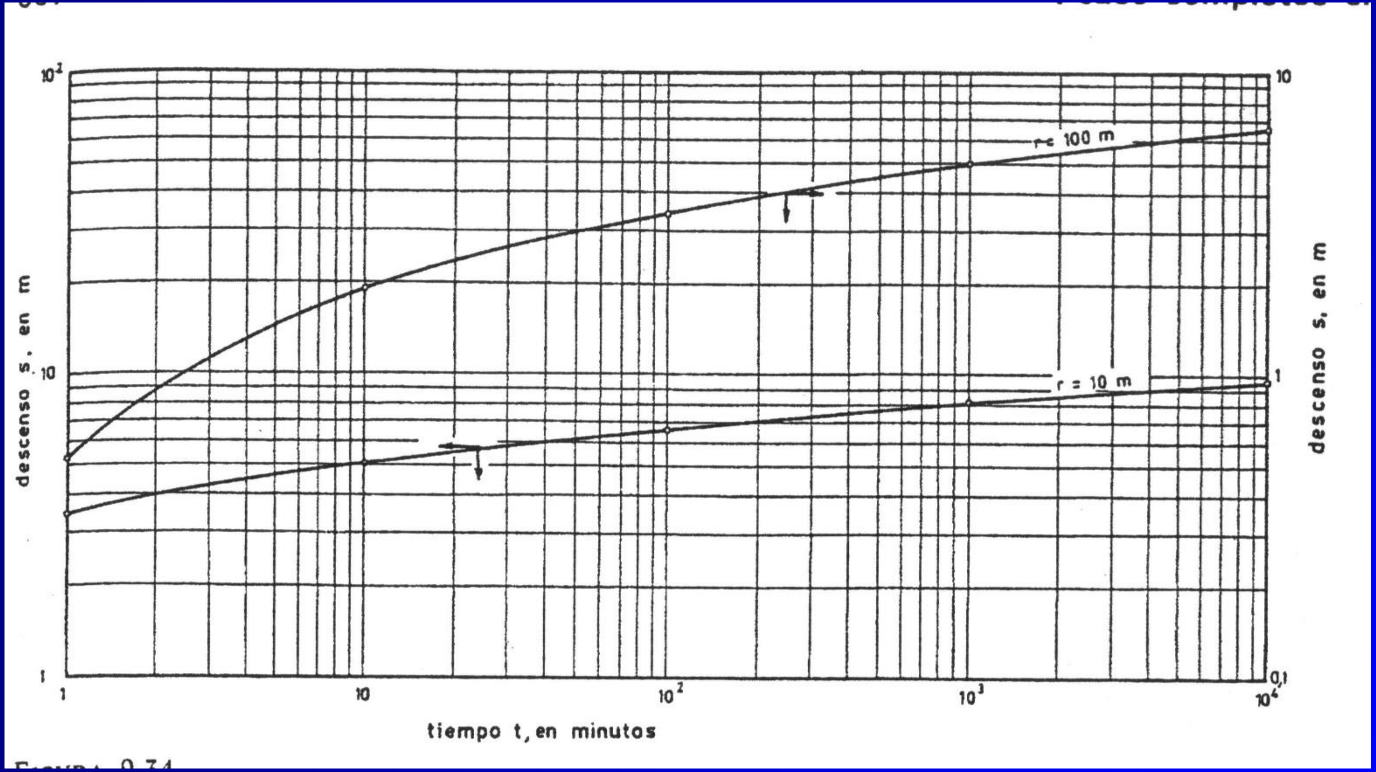
log s – log r^2/t



Acuífero confinado. Régimen no permanente
Perfil de Descensos.

$$s = \frac{Q}{2\pi T} W(u) \qquad u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

log s – log t



Acuífero confinado. Régimen no permanente
Perfil de Descensos.

$$s = \frac{Q}{2\pi T} W(u)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

log s – log r^2

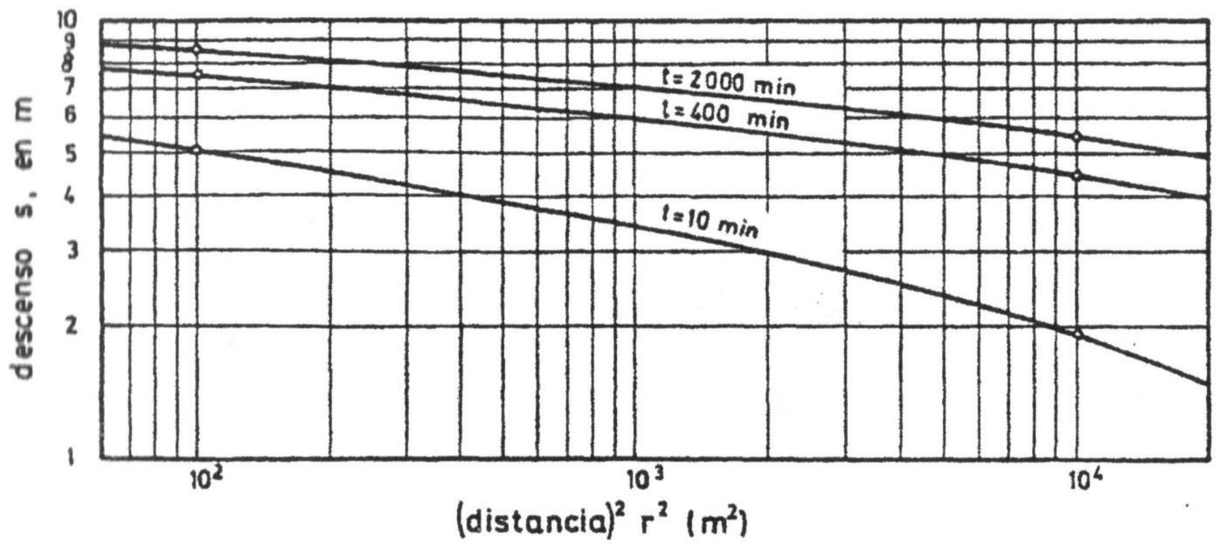


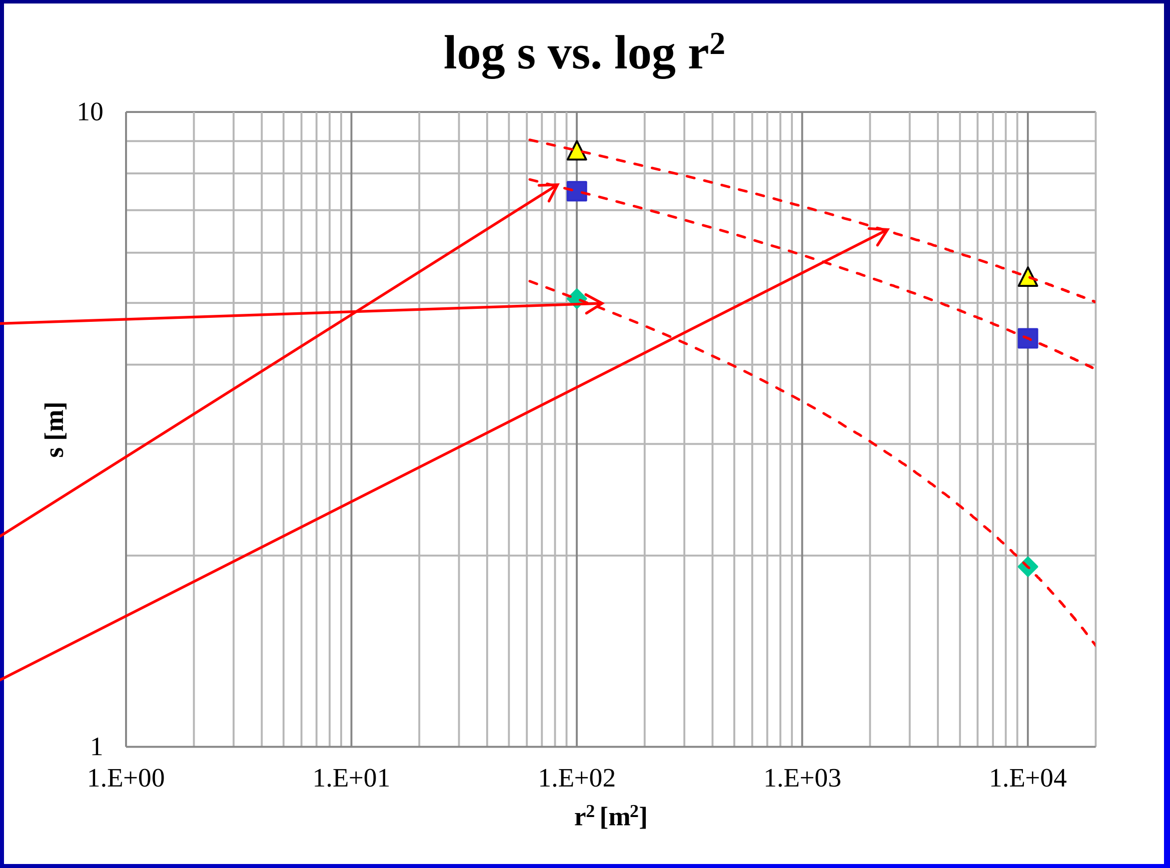
FIGURA 9.33

Curvas log s - log r^2 *para tiempos de 10, 400 y 2000 min del ejemplo 3.*

Análisis de datos de bombeo. Método de coincidencia de curvas.

Datos medidos:

tiempo (min)	s1 (r=10m)	s2 (r=100m)
1	3,4	0,53
3	4,2	1,1
6	4,8	1,55
10	5,08	1,92
20	5,6	2,35
40	6,05	2,9
70	6,4	3,1
100	6,65	3,48
200	7,1	3,9
400	7,5	4,4
700	7,9	4,8
1000	8,25	5,08
2000	8,7	5,5
3000	8,9	5,9

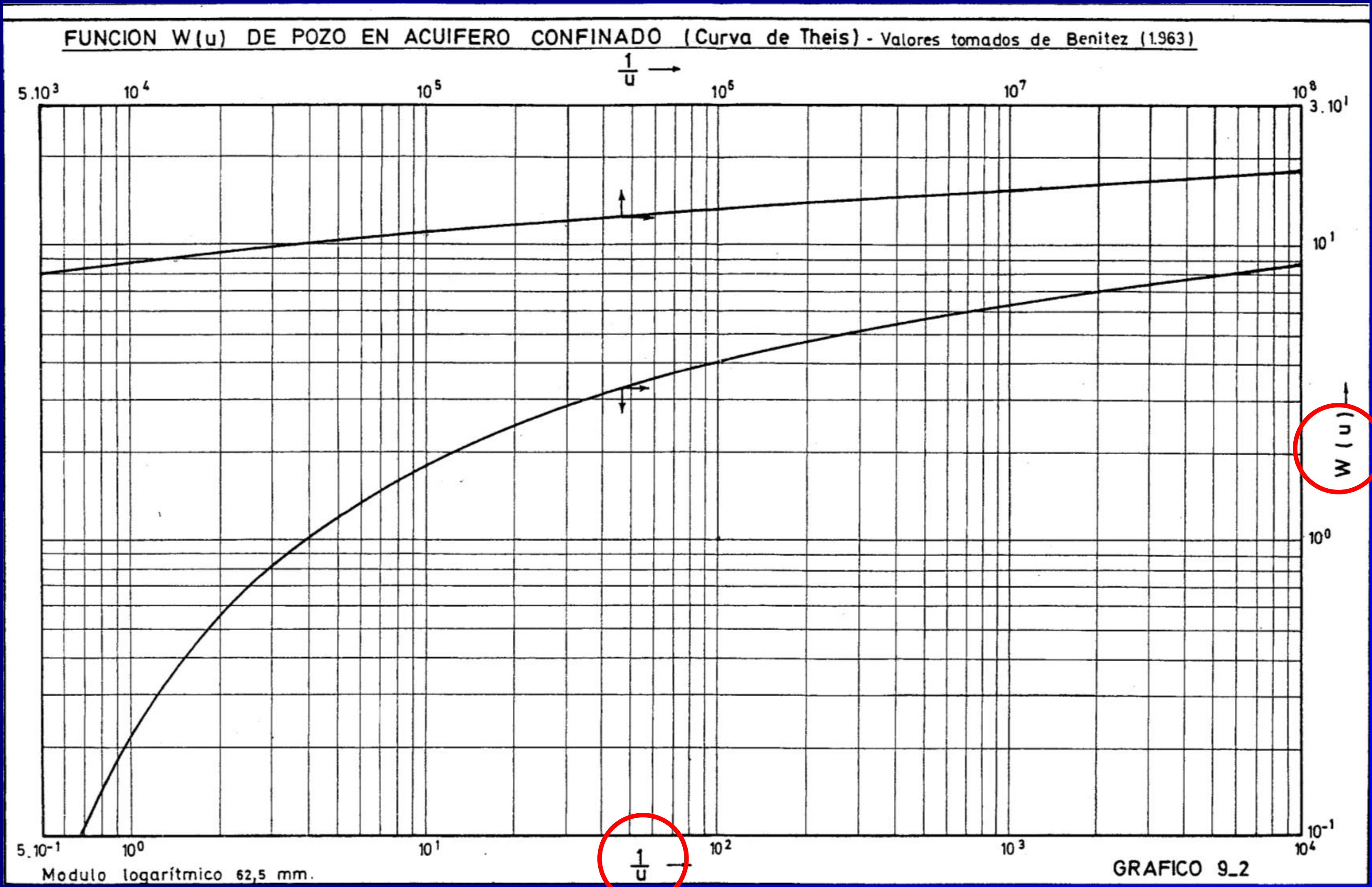


$$\left.\begin{aligned} s &= \frac{Q}{4\pi T} W(u) \\ u &= \frac{r^2 S}{4Tt} \end{aligned}\right\} \text{Fórmula de Theis}$$

$$\boxed{\log s = \log \frac{Q}{4\pi T} + \log W(u)}$$

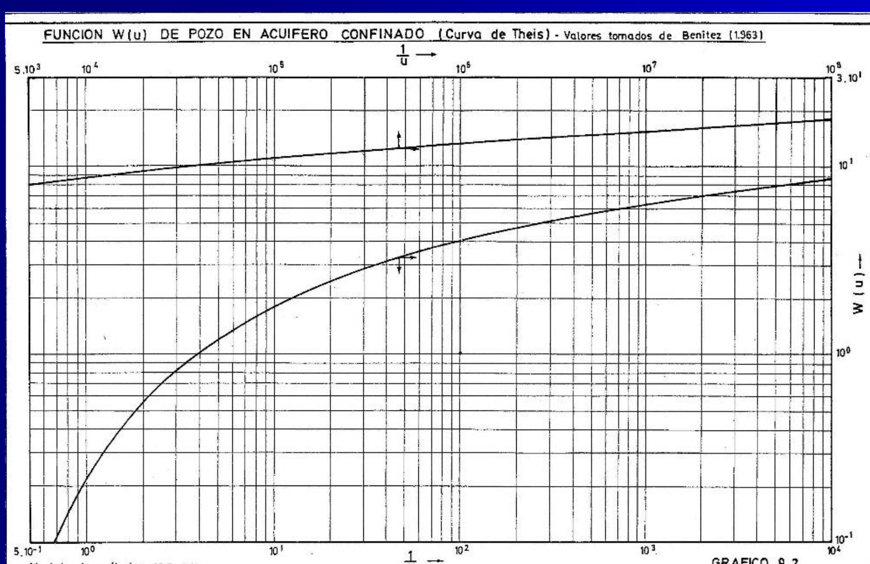
$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \Rightarrow r^2 = \frac{4Tt}{S} u \Rightarrow \boxed{\log r^2 = \log \frac{4Tt}{S} + \log u}$$

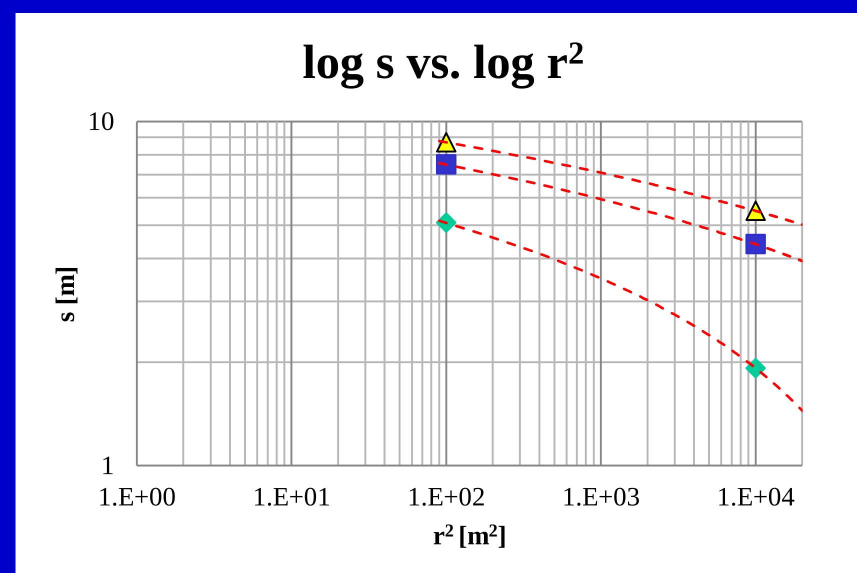
<u>Log s vs log r^2</u> es equivalente a <u>log W(u) vs. Log u</u> más traslaciones en abcisas y ordenadas que contienen a los parámetros que queremos calcular

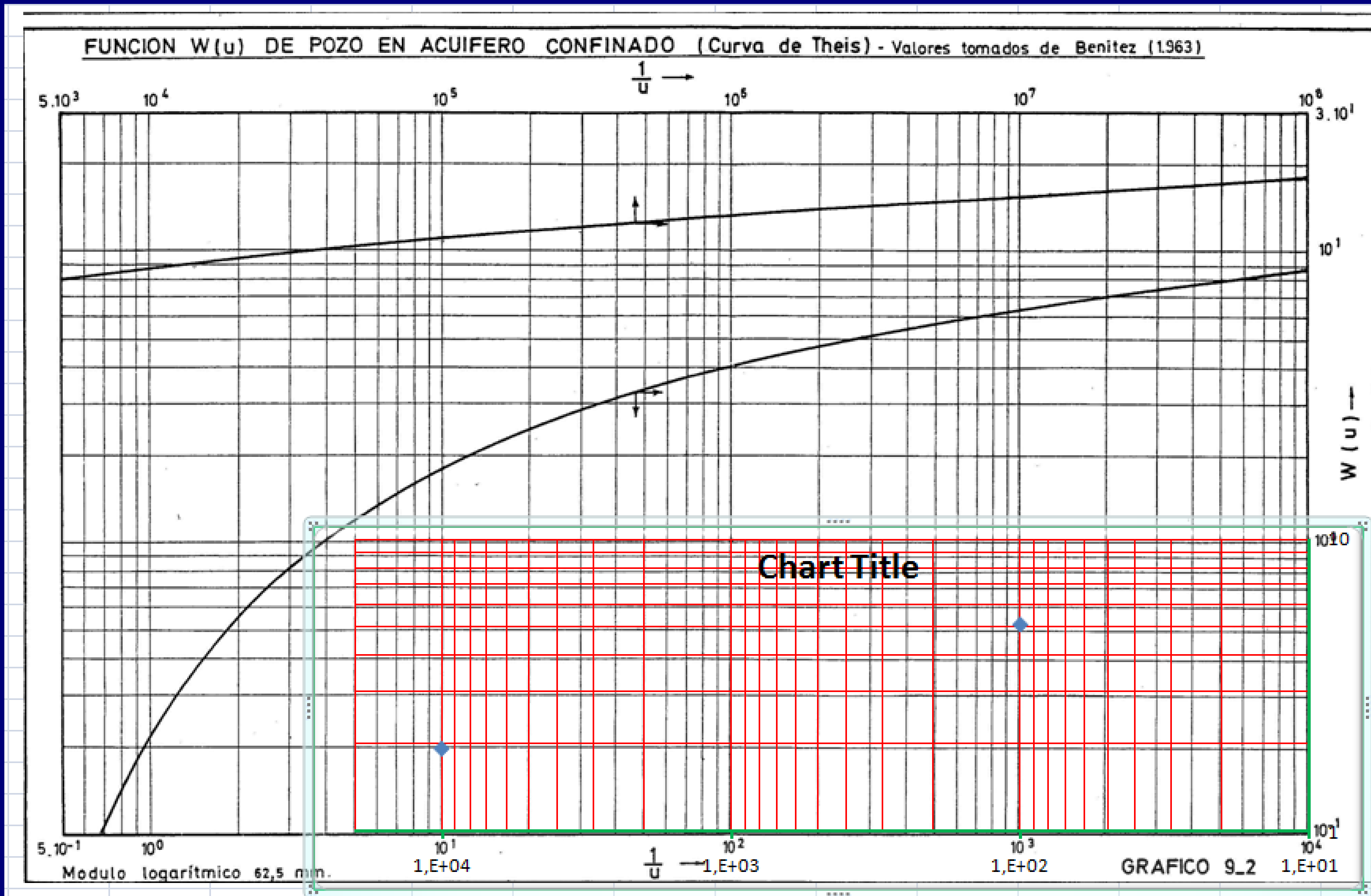

FUNCION W(u) DE POZO EN ACUIFERO CONFINADO (Curva de Theis) - Valores tomados de Benitez (1.963)
1/u →
5.10³
10⁴
10⁵
10⁶
10⁷
10⁸
3.10¹
10¹
W(u)
10⁰
10⁻¹
5.10⁻¹
10⁰
10¹
10²
10³
10⁴
Modulo logarítmico 62,5 mm.
GRAFICO 9_2

$$\log s = \log \frac{Q}{4\pi T} + \log W(u)$$

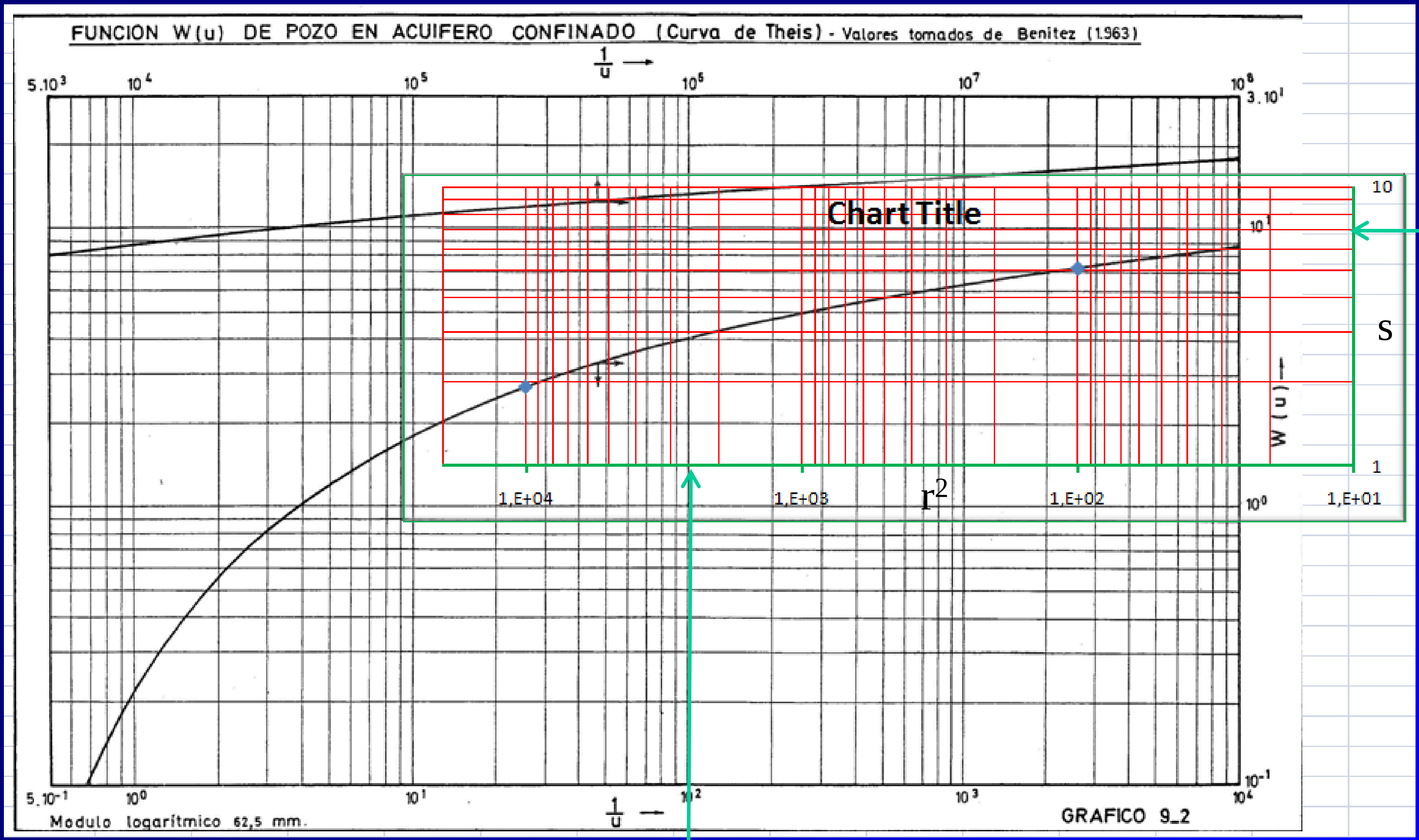
$$\log r^2 = \log \frac{4Tt}{S} + \log u = \log \frac{4Tt}{S} - \log \frac{1}{u}$$







Importante: hacer coincidir la escala de ambos gráficos



W(u)=10
s=7

1/u=100
r^2=2500

$$\left.\begin{aligned} s &= \frac{Q}{4\pi T} W(u) \\ u &= \frac{r^2 S}{4Tt} \end{aligned}\right\} \text{Fórmula de Theis}$$

$$W(u) = 10, s = 7m$$

$$T = \frac{QW(u)}{4\pi s} = \frac{360m^3/h * 24h/dia * 10}{4\pi 7m} = \boxed{982m^2/dia = T}$$

$$1/u = 100, r^2 = 2500m^2$$

$$S = \frac{4Tt}{r^2(1/u)} = \frac{4 * 982m^2/dia * 10/1440dia}{2{,}5 * 10^3 * 100} = \boxed{1{,}1x10^{-4} = S}$$

Bibliografía:

Hidrología Subterránea, de E. Custodio y M. Llamas
Tomo I
Sección 9
Capítulo 9.1 Conceptos fundamentales
Capítulo 9.2 Formulaciones
Capítulo 9.3 y 9.4 Aspectos prácticos