

TEMA 8. HIDROLOGÍA. AGUA EN EL TERRENO

Hidrología es la ciencia que estudia el agua subterránea. El agua que se encuentra entre los huecos del terreno y que puede circular.

El agua subterránea se utiliza para abastecimiento, regadío o industria.

Esta agua existente en el terreno puede perjudicar en las obras civiles:

- Altera las propiedades físicas del terreno:
 - Disminuye la cohesión.
 - Produce hinchamiento (yesos).
 - Altera la presión (muros de carga).
 - Producen disolución.
- Perturba la ejecución de las obras:
 - Cimentaciones (rebajar el nivel freático).
 - Túneles.
 - Presas.
 - Taludes.

P: precipitación

E: escorrentía

EVT: evapo-transpiración

I: infiltración

ΔR : variación de reservas

Ecuación de balance hídrico: $P = E + EVT + I + \Delta R$

○ PRECIPITACIÓN (P):

Se mide en litros/ m² = mm de altura. Los datos se presentan mediante isoyetas, medidas de la P en una cuenca.

- Media aritmética: $Pm = \frac{P1+P2+P3...Pn}{n}$
- Polígonos de Thyessen: $Pm = \frac{P1.S1+P2.S2+P3.S3+\dots+Pn.Sn}{S1+S2+S3+\dots+Sn}$
- Método de las isoyetas: $Pm = \frac{\frac{P1+P2}{2}.S1 + \frac{P2+P3}{2}.S2 + \dots + \frac{Pn-1+Pn}{2}.Sn-1}{S1+S2+S3+\dots+Sn}$

○ ESCORRENTÍA (E):

Se mide en aforos. Existen fórmulas empíricas (Coutagne):

$$E = \beta \cdot P^{2/3}$$

Siendo conocido $\beta = 0.007$ (zonas secas).....0.020 (zonas muy lluviosas).

○ EVAPOTRANSPIRACIÓN (EVT):

Pérdidas de agua por evaporación o transpiración. Se estiman por cálculos obtenidos en experimentos.

- Thornthwaite (EVP potencial):

$$EVTp = \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30} \cdot d \cdot \varepsilon$$

N: nº horas al sol

d: nº días del mes.

ε : evapotranspiración potencial medida.

$$\varepsilon = 16 \left(10 \cdot \frac{T}{I}\right)^a \text{ (mm/día)}$$

T: temperatura media del día.

I: índice calor anual

a= conocido.

- TURC (EVP real):

$$EVT_r = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P: precipitación en mm/año

L: $300 + 25t + 0.025 t^2$

t: temperatura media anual.

- INFILTRACIÓN (I):

El agua que se infiltra. Recursos.

$$I = P - E - EVT$$

- RESERVA DE LOS ACUÍFEROS ($\pm \Delta R$):

Puede que sea 0 si esta no varía. Depende de si se explotan los recursos.

Origen de las aguas subterráneas:

- Procede de la precipitación del agua de la lluvia, que se infiltra.
- La explotación de las aguas subterráneas se realiza por: pozos, galerías y sondeos.

ACUÍFEROS:

El agua infiltrada ($I = P - E - EVT$) pasa a formar parte de los acuíferos. La zona que está saturada por el agua constituye el acuífero. El techo se denomina **nivel freático** y esta a presión atmosférica.

El agua del acuífero se mueve:

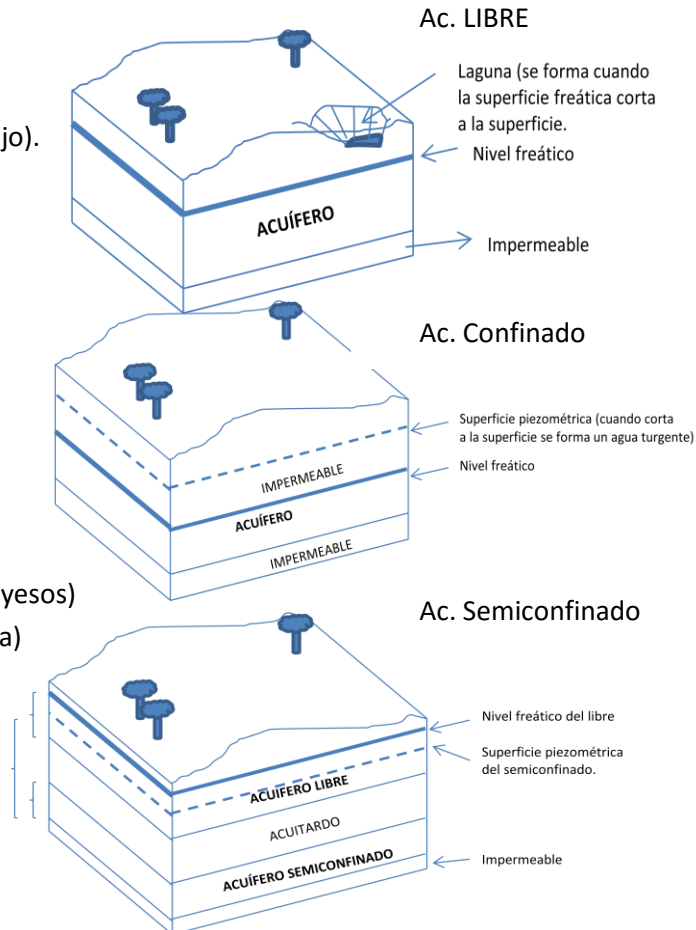
- En el suelo (a lo largo de la capacidad de campo).
- En la zona no saturada (por la gravedad, hacia abajo).
- En la zona capilar (por absorción).
- En la zona saturada (isopiezas).

Los acuíferos pueden ser:

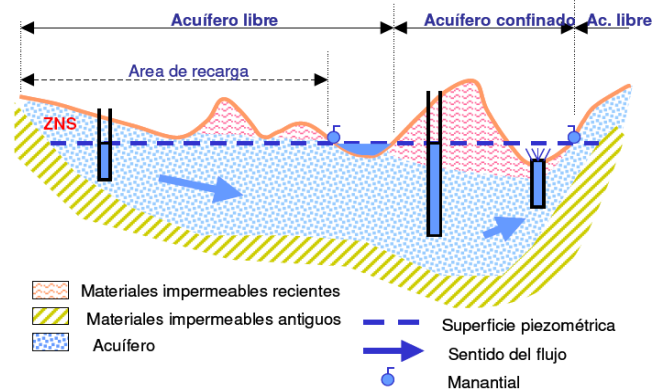
- Acuíferos: gravas, arenas y calizas.
- Acuitardos: gravas limosas y arenas arcillosas.
- Acuicludos: arcillas.
- Acuifugos: granito y gneis (trabajo Peñalara).

Clasificación de los acuíferos:

- Según su textura:
 - Acuíferos porosos (materiales detríticos)
 - Acuíferos cársticos y fisurados (calizas y yesos)
 - Acuíferos cársticos y porosos (calcarenita)
- Según su hidráulica y estructura:
 - Acuíferos libres.
 - Acuíferos semiconfinados.
 - Acuíferos confinados o cautivos.



FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACUÍFEROS



PARÁMETROS HIDROLÓGICOS:

- Porosidad (n)
- Permeabilidad (K)
- Transmisibilidad (T)
- Coeficiente de almacenamiento (S)

- Porosidad (n): es el conjunto de huecos del terreno en %, en relación con el volumen total. La porosidad dependerá del terreno: la forma y tamaño del grano, fisuración, disolución,...

$$n = \frac{V_{\text{huecos}}}{V_{\text{total}}} \times 100 = \frac{V_t - V_s}{V_t} \times 100$$

- Porosidad eficaz (n_e): $n_e = \frac{\text{agua extraíble por gravedad}}{V_t} \times 100$
- Porosidad específica (Re): agua de constitución + agua inhibición
- Porosidad total (n_t): $n_t = n_e + Re$

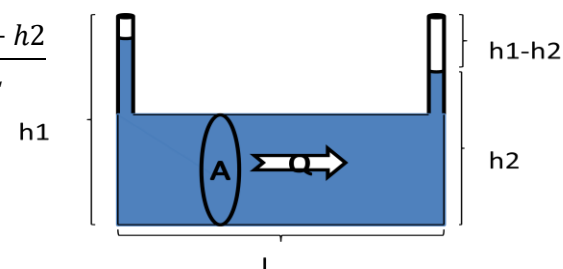
- Permeabilidad (K): se mide en [m/día], es la capacidad del terreno para dejar pasar **agua** a su través.

*Coeficiente de permeabilidad: es el caudal (Q) que se filtra a través de una sección unidad de terreno, con un gradiente unidad ($i=1$), entrando el agua a T° fija.

- Transmisividad (T): se mide en [m²/día], es el caudal (Q) que se filtra a través de una sección unidad del terreno, de ancho la unidad y altura la del acuífero; cuyo gradiente es la unidad a una temperatura fija. $T = K \cdot b$ siendo b : altura del acuífero.

** LEY DE DARCY: rige el movimiento del agua en un acuífero y establece que el flujo a través de un medio poroso es proporcional a la pérdida de carga, a la sección considerada, y a la conductividad hidráulica (permeabilidad K).

$$Q = v \cdot S; \quad v = k \cdot i; \quad \rightarrow \quad Q = k \cdot i \cdot S \quad i = \frac{h_1 - h_2}{L}$$



○ Coeficiente de almacenamiento (S):

- En acuíferos libres: el volumen de agua extraíble de una unidad de acuífero saturado. Porosidad eficaz.
- En acuíferos combinados: el volumen de agua extraíble de una columna vertical de terreno que tiene por base la unidad y altura la media del acuífero (b), para rebajar el nivel una unidad.

MEDIDA DE LA PERMEABILIDAD:

1. Tablas:

Permeabilidad (cm/s)	10²	1	10⁻³	10⁻⁵	10⁻⁷	10⁻⁹
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia	Arena fina, arena arcillosa; mezcla arena-limo-arcilla		Arcilla
Calificación	Buenos acuíferos			Acuíferos pobres		Impermeable
Capacidad de drenaje	Drenan bien			Drenan mal		No dreman
Uso en presas	Partes permeables en presas			Uso en pantallas impermeables		

2. Ensayos en laboratorio:

- Permeámetro de carga fija: se usa para arenas, ya que son muy permeables y si no se mantiene la carga absorberían toda el agua de carga rápidamente.
- Permeámetro de carga variable: se usa para arcillas, que son poco permeables y por lo tanto nos vale con la carga que tenemos y no hace falta suministrar más.

3. Ensayos "in situ":

- En excavaciones (suelos): cargas constantes o cargas variables.
- En pozos: ensayos por bombeo.

- Método de Haefeli: se basa en llenar una excavación con agua hasta una altura cualquiera. Pudiendo dejar el nivel del agua constante y midiendo el caudal necesario para ello; o manteniendo la velocidad de descenso del nivel constante.

$$K_{cte} = \frac{Q}{b^2} \cdot \frac{1}{\left(27 \frac{h}{b} + \alpha\right)} \quad ; \quad K = 0'25 \cdot V_{cte}$$

b: lado base inferior (cm)

h: altura agua (cm)

α: capacidad del terreno (3)

V: velocidad de descenso

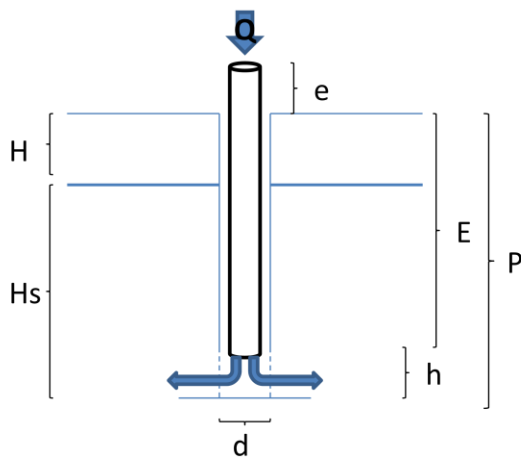
- Método de Matsuo: se realiza en el interior de excavaciones en suelos saturados y semisaturados. La permeabilidad (K) se determinará a partir del caudal infiltrado en la excavación con forma de canaleta (cuya longitud debe ser mucho mayor que la anchura).

$$B = \frac{Q}{K} - 2H \quad K = \frac{Q}{N+2H}$$

B: ancho canaleta.
Q: caudal necesario para mantener llena la canaleta.
H: altura canaleta.

- Ensayos Lefranc:

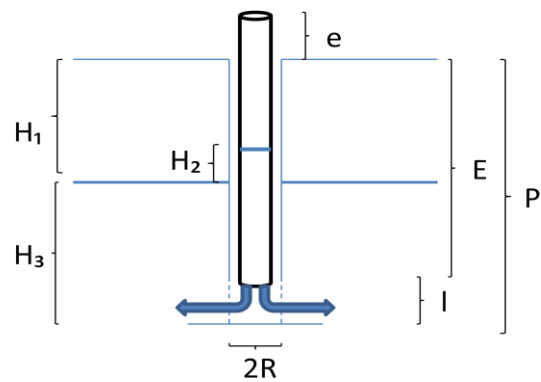
Con carga fija:



$$K = \left[\frac{\text{Ln}\left(\frac{2h}{d}\right)}{2\pi h} \right] \cdot \frac{Q}{H}$$

P: profundidad perforación.
E: entubación.
H: tramo ensayado.
H: carga piezométrica

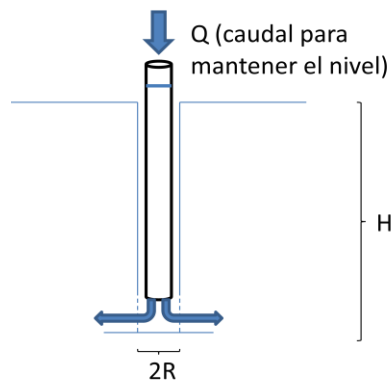
Con carga variable:



$$K = \frac{r^2}{2 \cdot l \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \text{Ln} \frac{l}{R} \cdot \text{Ln} \frac{H_1}{H_2}$$

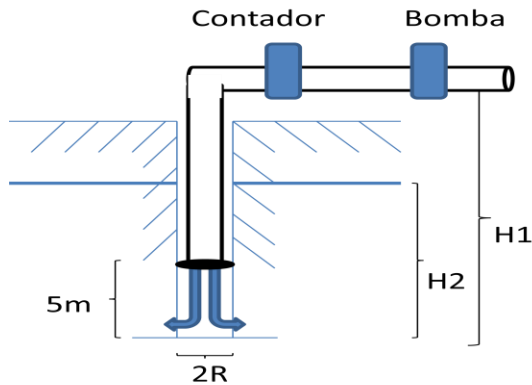
H1: altura de la columna de agua en tiempo 1 (t1)
H2: altura de la columna de agua en tiempo 2 (t2)

En sondeos: ensayo para macizos rocosos sin acuíferos o por encima del nivel freático.



$$K = \frac{1000 \cdot Q}{5,5 \cdot R \cdot H}$$

- Ensayo Lugeon: en sondeos, para rocas. Consiste en ensayar un tramo de 5m inyectando agua con presión de hasta 10 kg/cm² durante 10 minutos.



$$H_{total} = H_{bomba} + H_1 - H_2$$

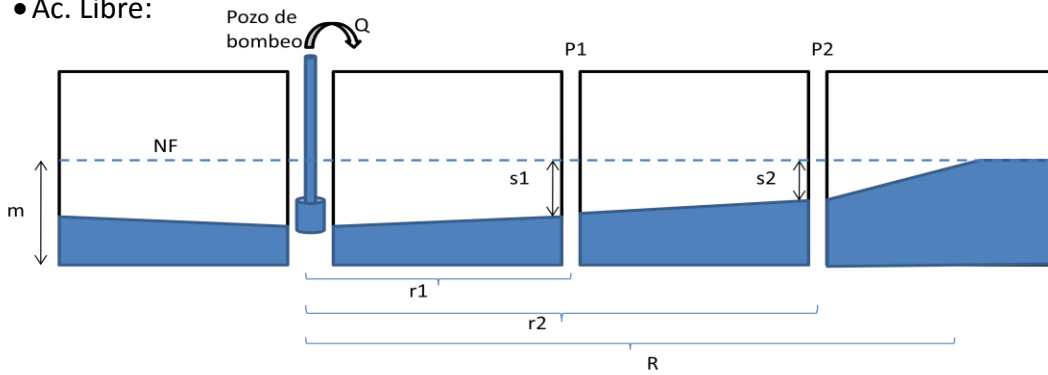
$$P = \frac{Q}{C} \left[\frac{l}{m \times min} \right]$$

Q: caudal en 10 min.

C: tramo ensayado (5 m)

FORMULA DE THIEM:

- Ac. Libre:

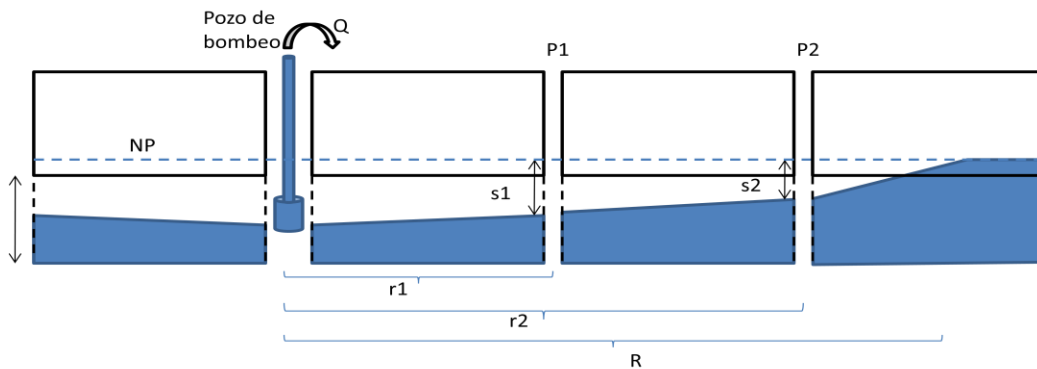


$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot m}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} (s_1 - s_2)$$

Q: caudal

K: permeabilidad (K= T/m)

- Ac. Confinado:



$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot m}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} (s_1 - s_2)$$