



# **INTERACCION SUELO AGUA**

**Area de Geotecnia.  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA**



# CONCEPTOS GENERALES



## PROBLEMA ?....

1. IDENTIFICAR LA PERMEABILIDAD
  1. Del suelo
  2. Del macizo rocoso?
2. CAUDAL QUE FILTRA POR EL MEDIO CONTINUO?
3. PRESION QUE GENERA EL AGUA EN MOVIMIENTO?
4. CONTROL DE EROSIÓN...

# 1. PERMEABILIDAD



## OBJETIVO

- **Establecer el concepto de permeabilidad de los suelos**
- **Identificar formas de medición de la permeabilidad**

## REFERENCIAS

- Fundamentos de ingeniería geotécnica. Cuarta edición. BRAJA M. DAS. Capítulo 6 Conductibilidad Hidráulica.
- Soil Mechanics in Engineering Practice. 3° Edición. Terzaghi, K.; Peck, R. y Mesri, G. Chapter 4. Hydarulic Properties of soils. Pag 71.

**Area de Geotecnia.**

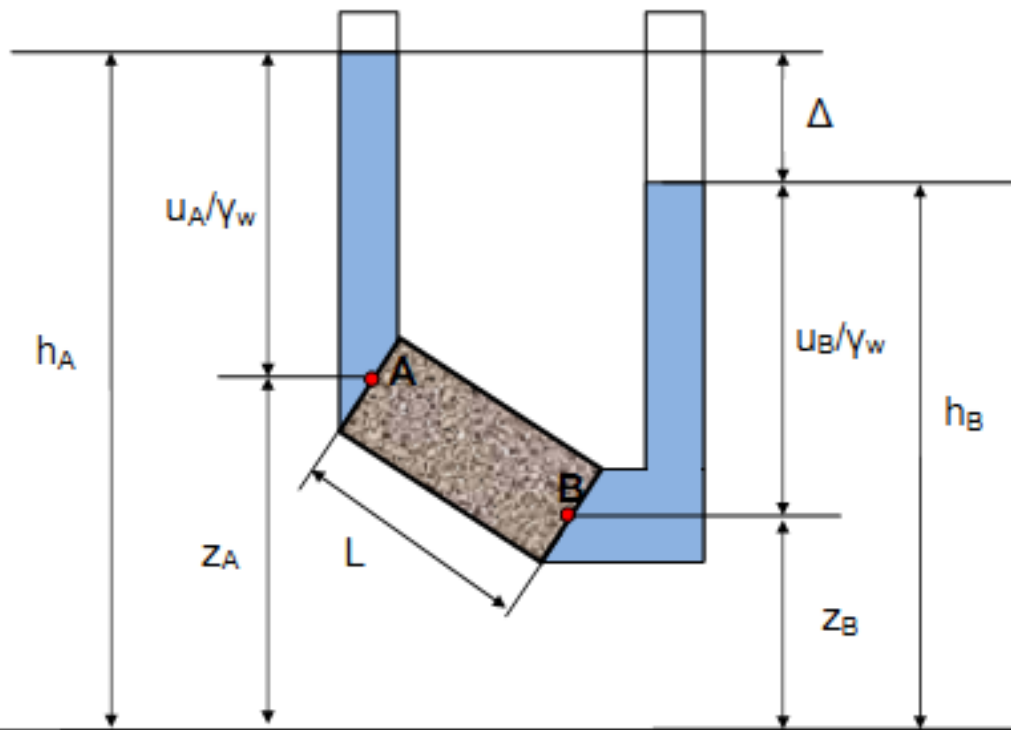
**Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA**



# 1. PERMEABILIDAD

## CONCEPTOS GENERALES



$$\Delta h = h_A - h_B = \left( \frac{u_A}{\gamma_w} + z_A \right) - \left( \frac{u_B}{\gamma_w} + z_B \right)$$

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Ley de Darcy  $v = k i$

Caudal

$$q = v A = k i A$$

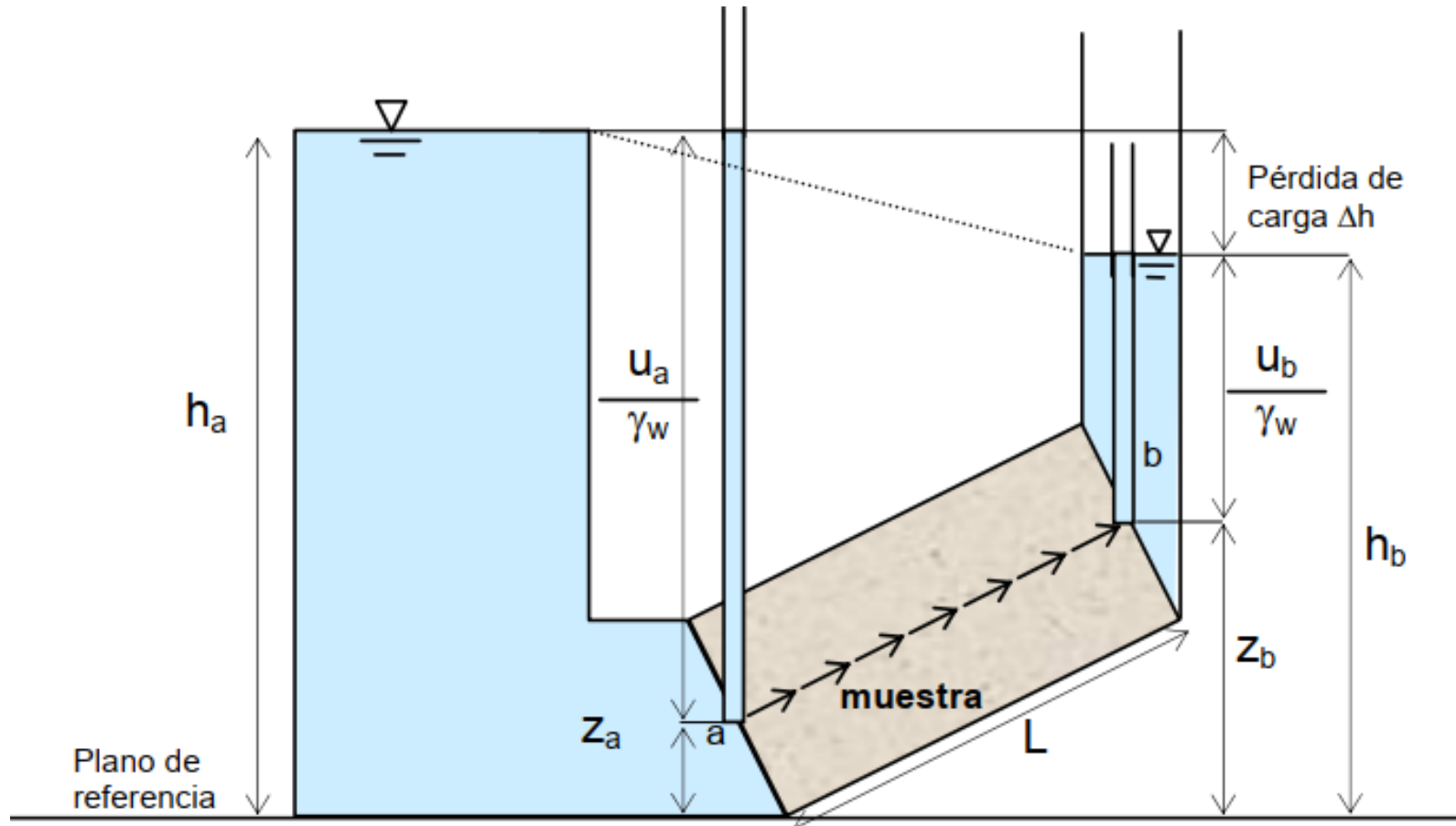
$$q = V/t = k i A$$

Figura 1: E scorrimiento de agua en un medio poroso, altura de presión, de posición y altura piezométrica



# 1. PERMEABILIDAD

## CONCEPTOS GENERALES



**Ley de Darcy.** Para que existe movimiento entre dos pntos el primero tienen que tener mayor energía total respecto del segundo



# 1. PERMEABILIDAD

## CONCEPTOS GENERALES

### Límite de aplicación. **La ley de Darcy:**

- **Flujo Laminar.** Las líneas adyacentes del flujo son localmente rectas y paralelas.
- **Flujo Estacionario.** El problema es constantes en el tiempo. La variable tiempo no interviene.
- **Fluido incompresible.** En su recorrido el agua tiene módulo infinito.

### **Situaciones límite en la validez ...**

- **Algunas arcillas:**
  - Altamente plásticas → permeabilidad baja.
  - Altamente comprimidas y pizarras.
- **Gradiente hidráulico umbral (muy bajo) →  $q=0$ .**



# 1. PERMEABILIDAD

## CONCEPTOS GENERALES

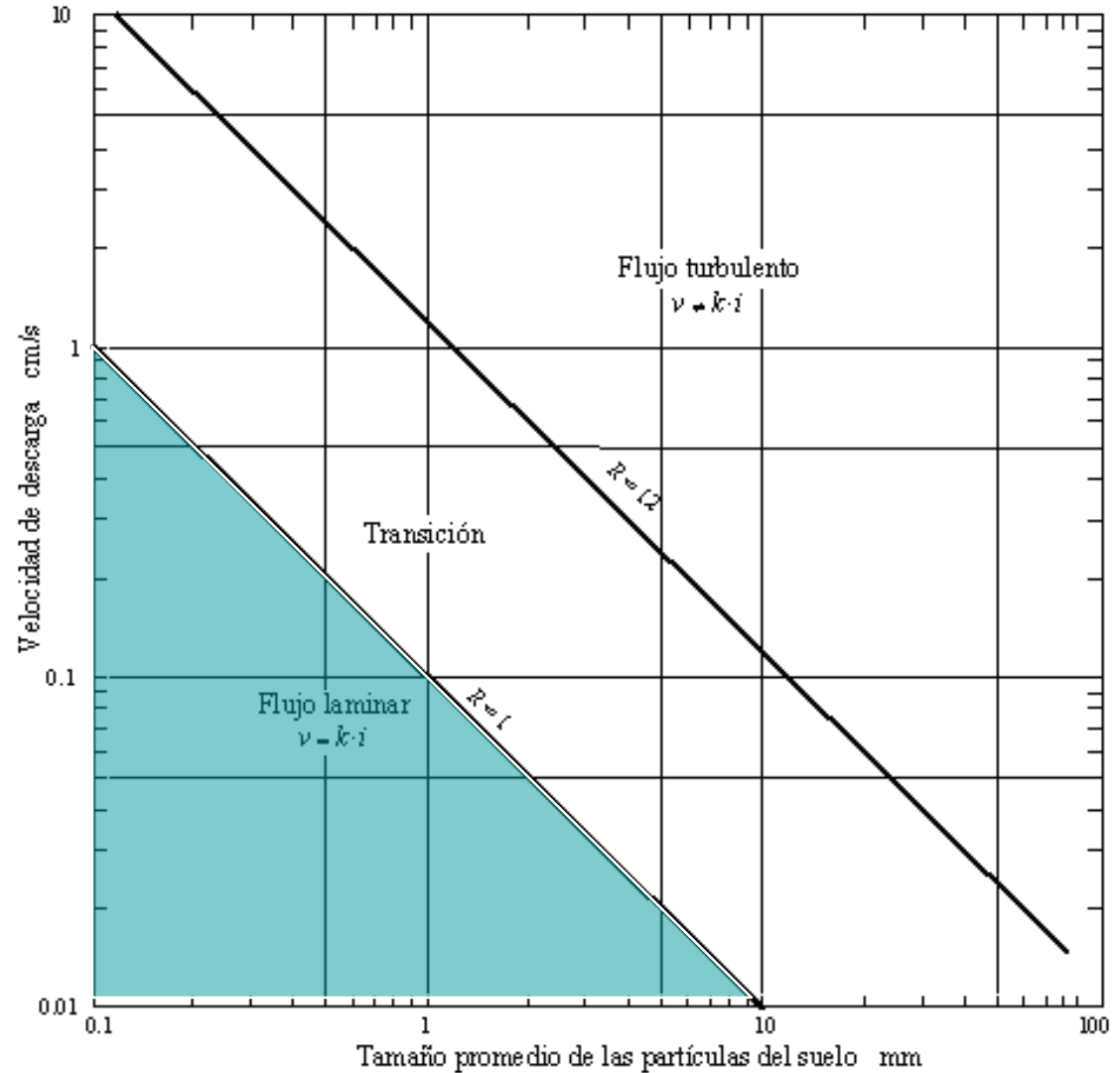
$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta}$$

**Donde:**

$\rho$  densidad 1.000 kg/m<sup>3</sup>  
 $d$  diámetro, en mm  
 $V$  velocidad, en cm/s  
 $\eta$  viscosidad, 0.001 Pa.s

**NR < 1 Laminar**

**NR > 10 Turbulento**





# 1. PERMEABILIDAD

## CONCEPTOS GENERALES

$$v = k i$$
$$k = \gamma_w \frac{K}{\eta}$$

$\eta$  Viscosidad Pa.s  
 $K$  Cont de permeabilidad, m<sup>2</sup>

Consecuencia...

- la permeabilidad  $k$ , no es un parámetro intrínseco del suelo

Factores de influencia en la permeabilidad:

- Relación de vacíos.
- Las viscosidad el fluido.
- La geometría y rugosidad de las partículas.
- El grado de saturación del suelo.
- La heterogeneidad del suelo.

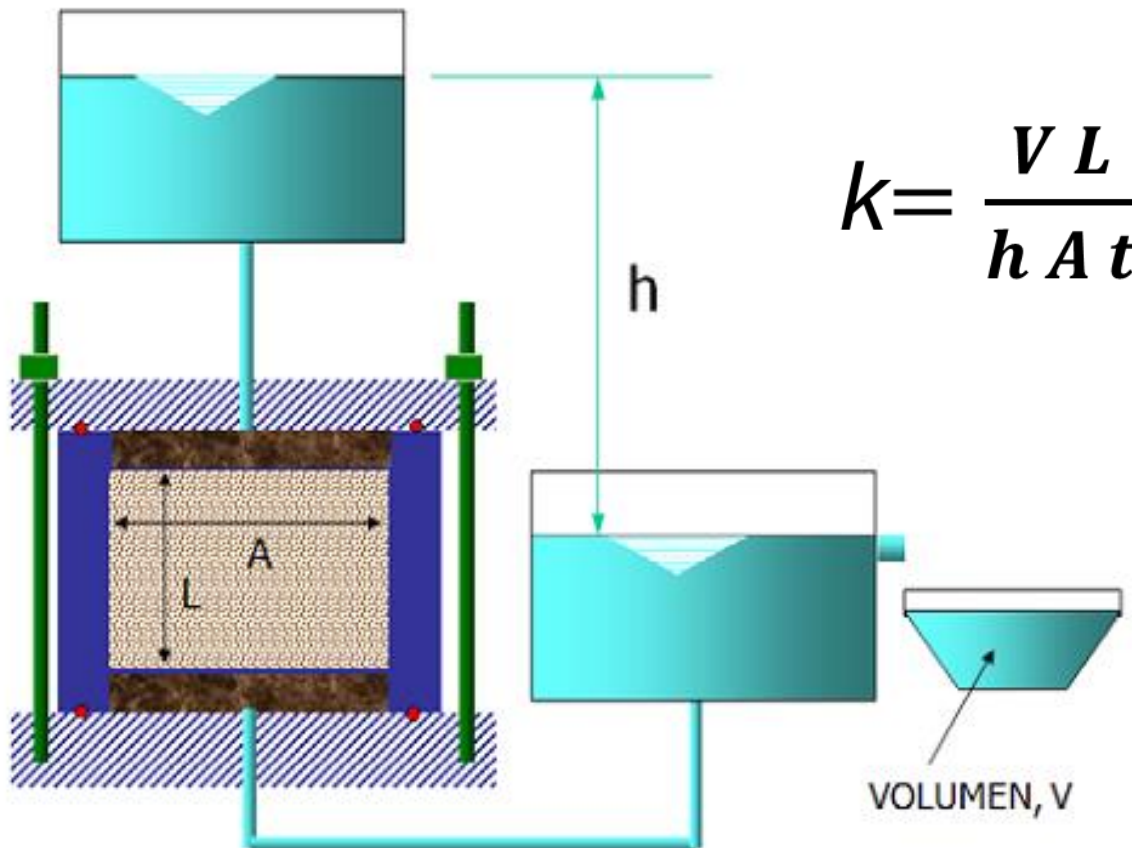




# 1. PERMEABILIDAD

## MEDICION DE PERMEABILIDAD DE SUELOS

### ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN – Permeámetro Carga Constante



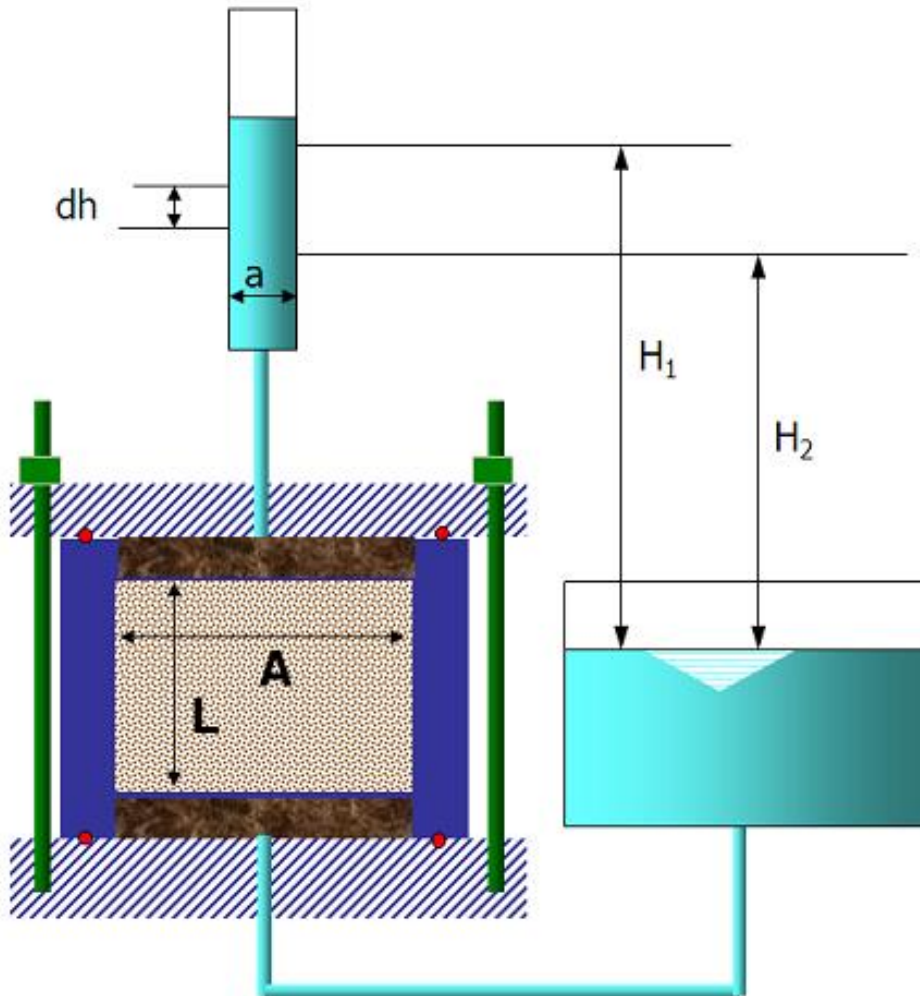
- Suelos con permeabilidad elevada: arenas



# 1. PERMEABILIDAD

## MEDICION DE PERMEABILIDAD DE SUELOS

### ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN – Permeámetro Carga Variable



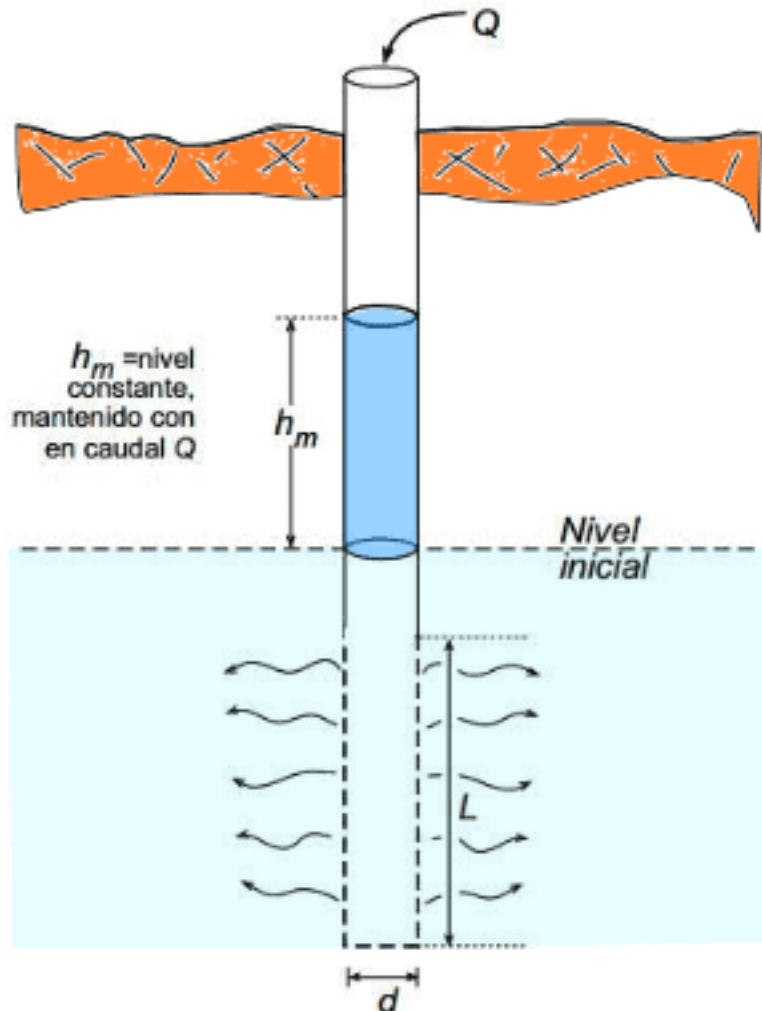
- Suelos con permeabilidad reducida: limos, arcillas
- Se basa en la aplicación en un diferencial de tiempo de la ley de Darcy

$$k = 2.303 \frac{aL}{At} \log \frac{h_1}{h_2}$$



# 1. PERMEABILIDAD

## MEDICION DE PERMEABILIDAD DE SUELOS



$$k = m \frac{Q}{h_m}$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad

Q: Caudal de agua

hm: Altura desde la superficie del agua hasta la profundidad del **nivel freático**.

m: Coeficiente que depende de las características geométricas del hueco de perforación del sondeo.

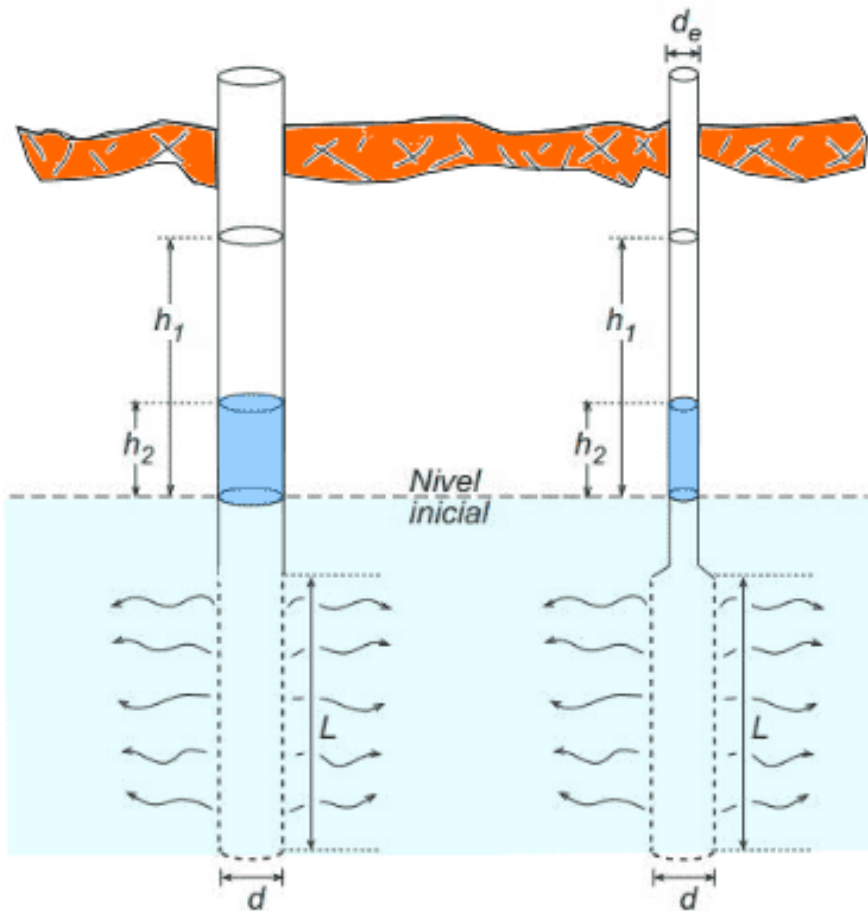
$$m = \frac{\ln\left(\frac{2L}{d}\right)}{2\pi L}$$

**ENSAYO LEFRANC (Carga constante)**



# 1. PERMEABILIDAD

## MEDICION DE PERMEABILIDAD DE SUELOS



$$K = \frac{d_e^2 \ln(2L/d)}{8 L t} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad

$h_1$  ,  $h_2$  = altura del agua al principio y al final del ensayo

$t$  = tiempo transcurrido entre la observación de los niveles  $h_1$  y  $h_2$

$L$  = longitud de la zona filtrante

$d$  = diámetro de la zona filtrante

Con respecto al diámetro de entubación,  
 $d_e$  = diámetro de la entubación (puede ser igual a  $d$ )

**ENSAYO LEFRANC (Carga variable)**



# 1. PERMEABILIDAD

## PERMEABILIDAD EN SUELOS MÉTODOS EMPÍRICOS

### Tamaño de Partículas

### Fórmula de Hazen

Aplicable a:

Arenas con

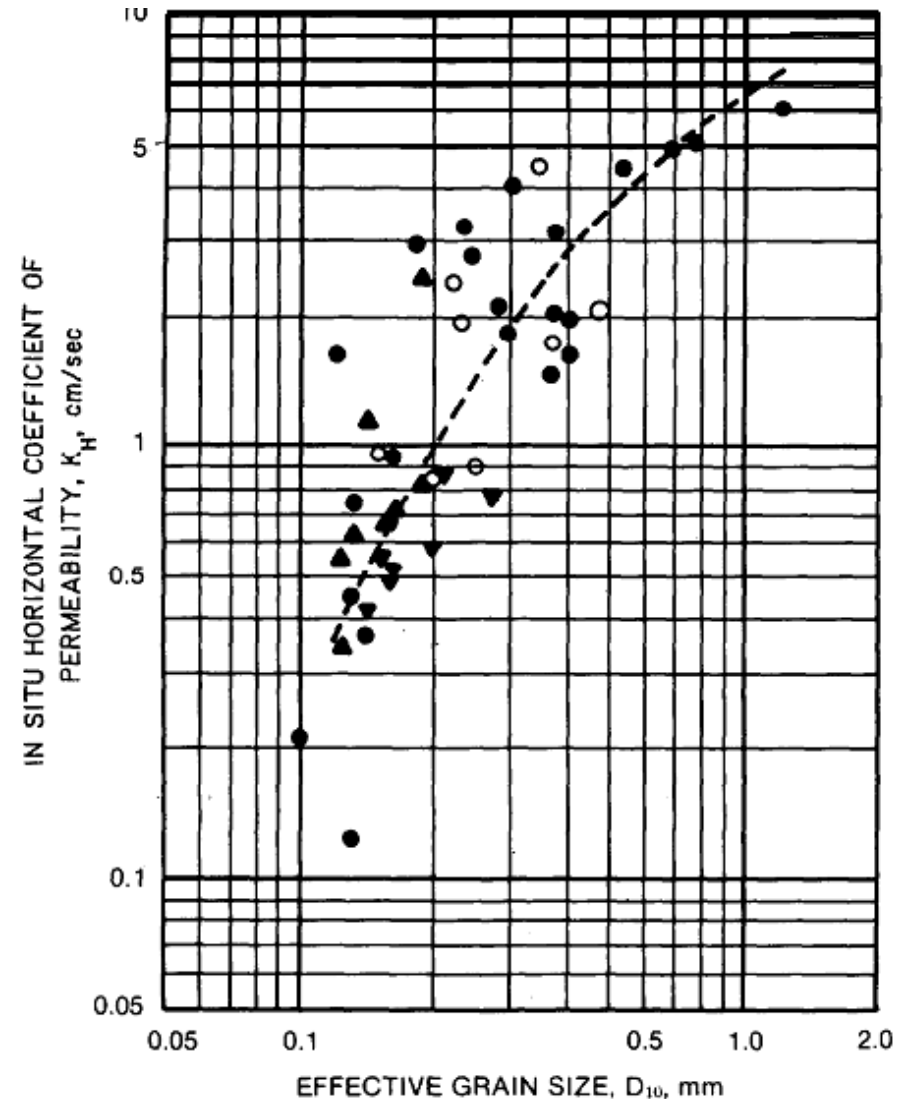
- $0.1 \text{ mm} < D_{10} < 0.3 \text{ mm}$
- $CU < 5$

$$k = 100 D_{10}^2$$

$k$ , en cm/seg  
 $D_{10}$ , en cm

### VARIABLES DE INFLUENCIA ADICIONAL...

- Compacidad del material (friccionales)
- Relación de vacíos (cohesivos)
- Contenido de finos
- Grado de saturación





# 1. PERMEABILIDAD

## PERMEABILIDAD EN SUELOS MÉTODOS EMPÍRICOS

### Suelos Cohesivos Relaciones Empíricas

Investigator	Relation	Notation	Remarks
Mesri and Olson (1971)	$\log k = C_2 \log e + C_3$	$C_2, C_3 = \text{constants}$	Based on artificial and remolded soils
Taylor (1948)	$\log k = \log k_0 - \frac{e_0 - e}{C_k}$	$k_0 = \text{coefficient of in situ permeability at void ratio } e_0$ $k = \text{coefficient of permeability at void ratio } e$ $C_k = \text{permeability change index}$	$C_k \approx 0.5e_0$ (Tavenas et al., 1983a,b)
Samarsinghe et al. (1982)	$k = C_4 \frac{e^n}{1 + e}$	$C_4 = \text{constant}$ $\log [k(1 + e)] = \log C_4 + n \log e$	Applicable only to normally consolidated clays
Raju et al. (1995)	$\frac{e}{e_L} = 2.23 + 0.204 \log k$	$k$ is in cm/s $e_L = \text{void ratio at liquid limit} = w_{LL} G_s$ $w_{LL} = \text{moisture content at liquid limit}$	Normally consolidated clay
Tavenas et al. (1983a,b)	$k = f$	$f = \text{function of void ratio, and PI + CF}$ $\text{PI} = \text{plasticity index in decimals}$ $\text{CF} = \text{clay size fraction in decimals}$	See Figure 5.10



# 1. PERMEABILIDAD

## PERMEABILIDAD EN SUELOS MÉTODOS EMPÍRICOS

**Schlichter**

$$k = 771 \frac{D_{10}^2}{c} \text{ en cm/seg}$$

$\eta$	0.26	0.38	0.46
<b>C</b>	83.4	24.1	12.8

**Terzaghi**

$$k = C_1 D_{10}^2 (0,7 + 0,03 t) \quad \text{cm/seg}$$

$$C_1 = C_0 \left( \frac{n - 0,13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2$$

Suelo	$C_0$
Arena grano redondeado	800
Arena grano anguloso	460
Arena con limos	< 400

**t, temperatura**



# 1. PERMEABILIDAD

## Principio Básico de Aplicación.

### Errores en la Definición de la Permeabilidad

- Representatividad de la muestra
- Orientación del estrato que se está evaluando
- Gradiente hidráulico adoptado
- Disolución de aire en la corriente
- Pérdidas en el permeámetro.

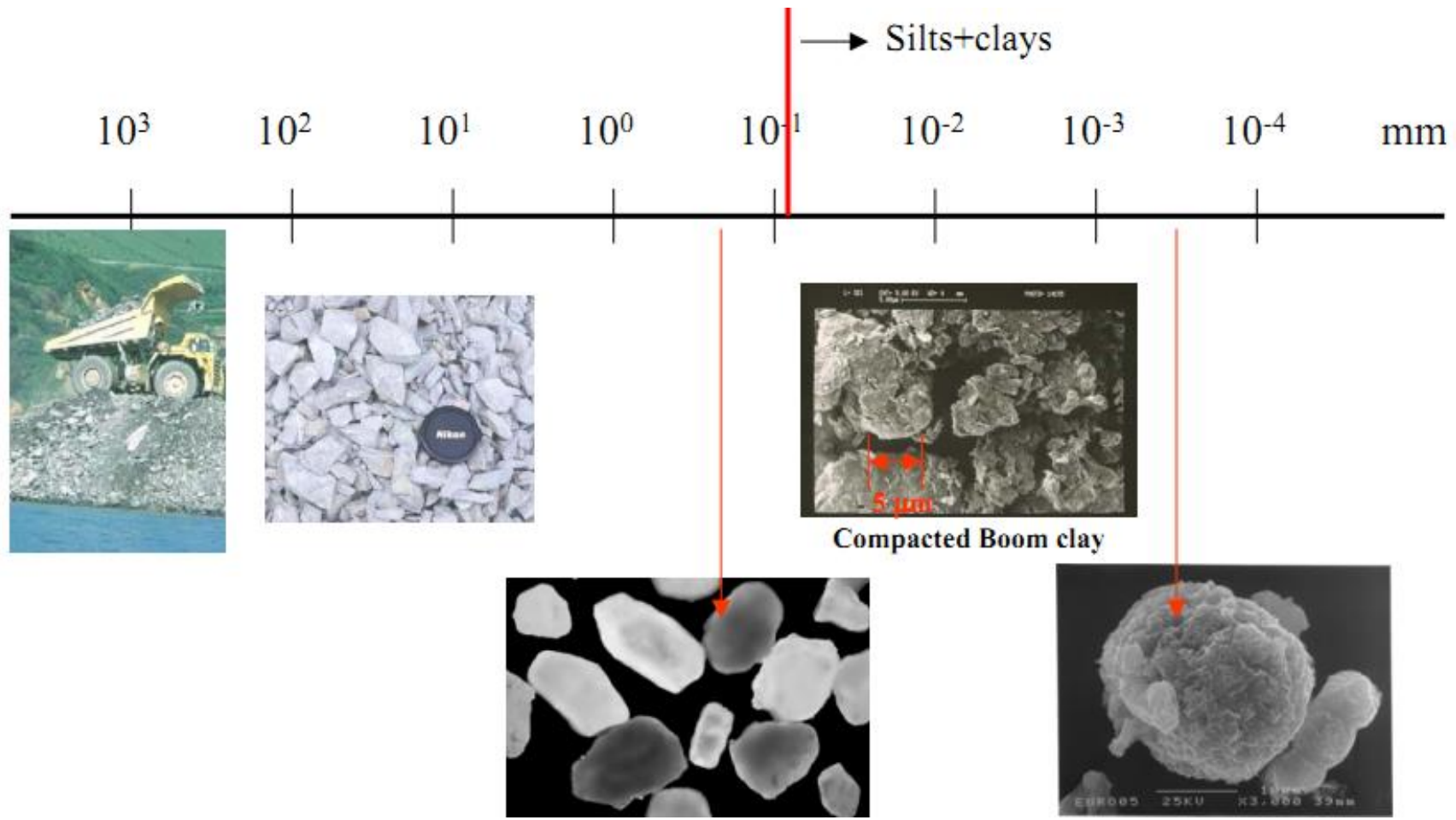


# 1. PERMEABILIDAD

## PERMEABILIDAD EN SUELOS MÉTODOS EMPÍRICOS

### Rango de valores de permeabilidad

- Es la propiedad de suelos con mayor nivel de variabilidad





# 1. PERMEABILIDAD

## CONCEPTOS GENERALES

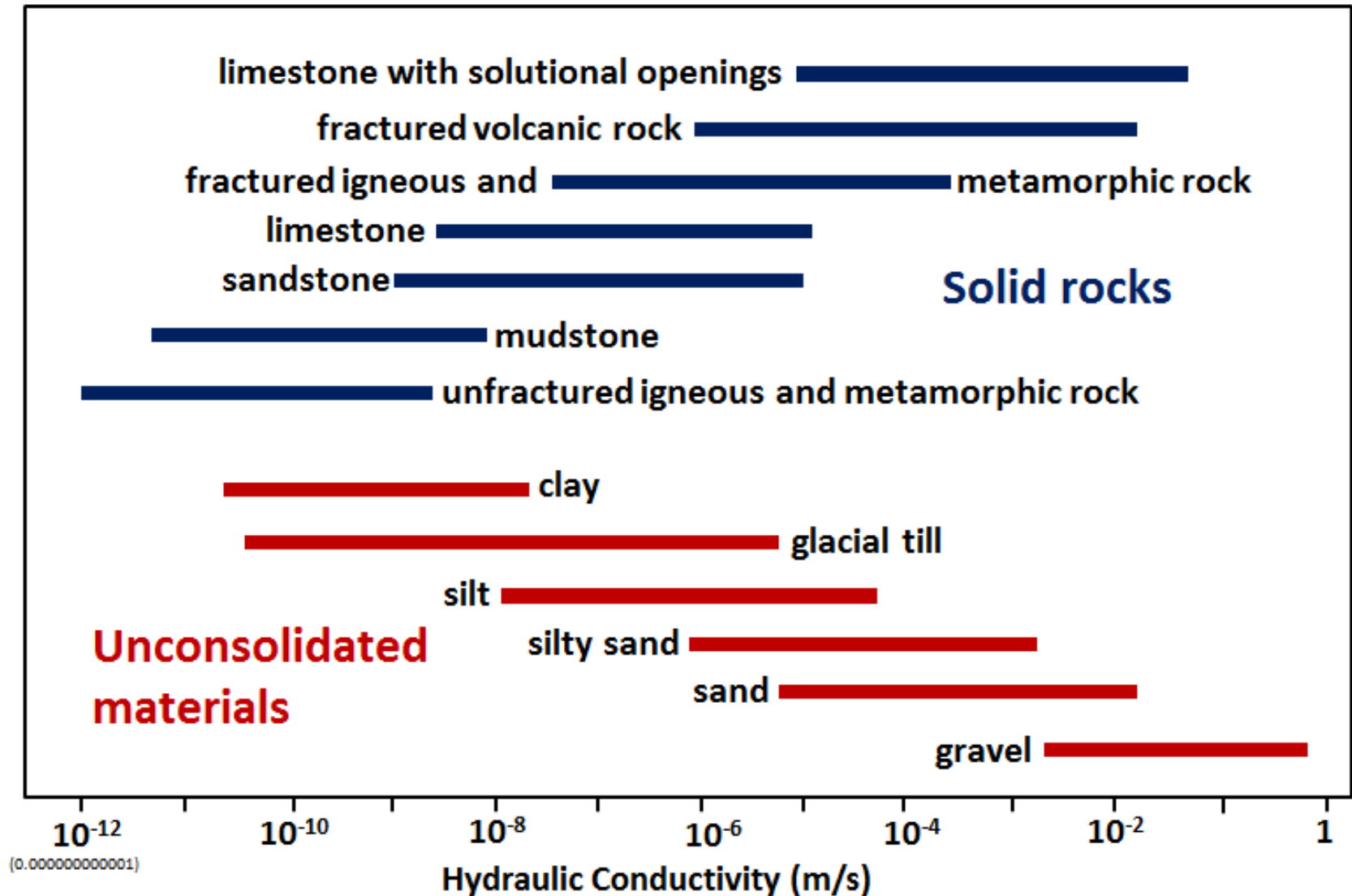
### PERMEABILIDAD DE LOS MATERIALES (cm/seg)

	100	10	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
Drenaje	Bueno						Pobre			Prácticamente impermeable		
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada				Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición			
					Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. <sup>d</sup>							
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.											
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.											
Determinación indirecta de k		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.				
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.								Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia			



# 1. PERMEABILIDAD

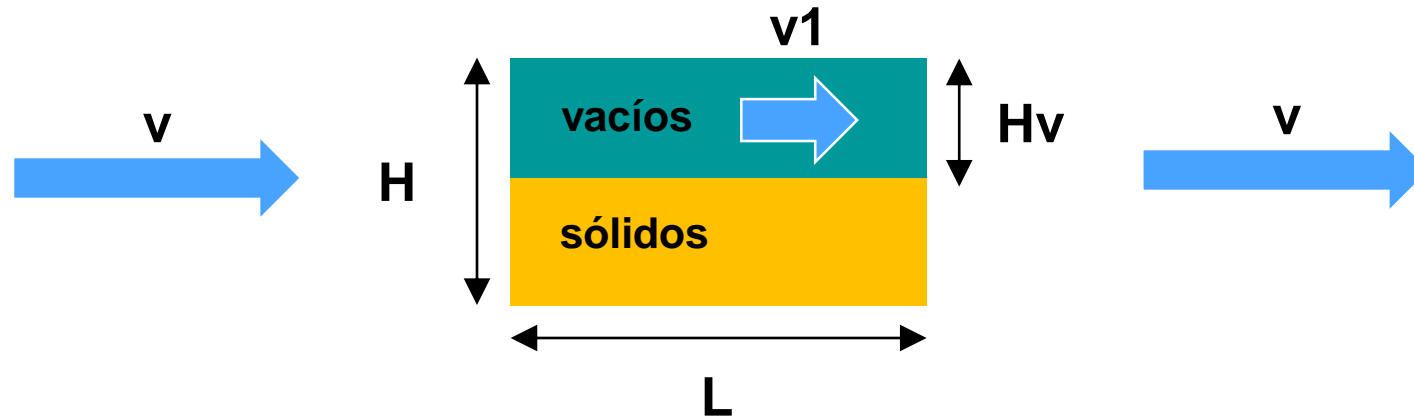
## PERMEABILIDAD EN SUELOS Y ROCAS (cm/seg)





# 1. PERMEABILIDAD

## VELOCIDAD EFECTIVA DE CIRCULACIÓN



$$q = vA = v_1A_1$$

$$v_1 = \frac{A}{A_1} v$$

$$\frac{AL}{A_1L} = \frac{V}{V_v} = \frac{V_v + V_s}{V_v} = 1 + \frac{V_s}{V_v} = 1 + \frac{1}{e} = \frac{1+e}{e}$$

$$v_1 = \frac{1+e}{e} v$$



# 1. PERMEABILIDAD

## EJERCICIOS PARTE 1 Cálculos de Permeabilidad