



# **TENSIONES EN LA MASA DE SUELOS**

## **PARTE 1**

**Area de Geotecnia.  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA**



# TENSIONES EN LA MASA DE SUELOS

## PARTE 1

### OBJETIVO:

- Establecer los conceptos de tensiones geostáticas y presiones efectivas.
- Establecer los conceptos de presiones hidrodinámicas e hidrostáticas

### REFERENCIAS

- Fundamentos de ingeniería geotécnica. Cuarta edición. BRAJA M. DAS. Capítulo 8. Esfuerzo en la masa de suelos. 8.1 a 8.4.
- Soil Mechanics in Engineering Practice. 3° Edición. Terzaghi, K.; Peck, R. y Mesri, G. Chapter 3. Hydraulic and Mechanical Properties of Soils. Artículo 15.

Área de Geotecnia.

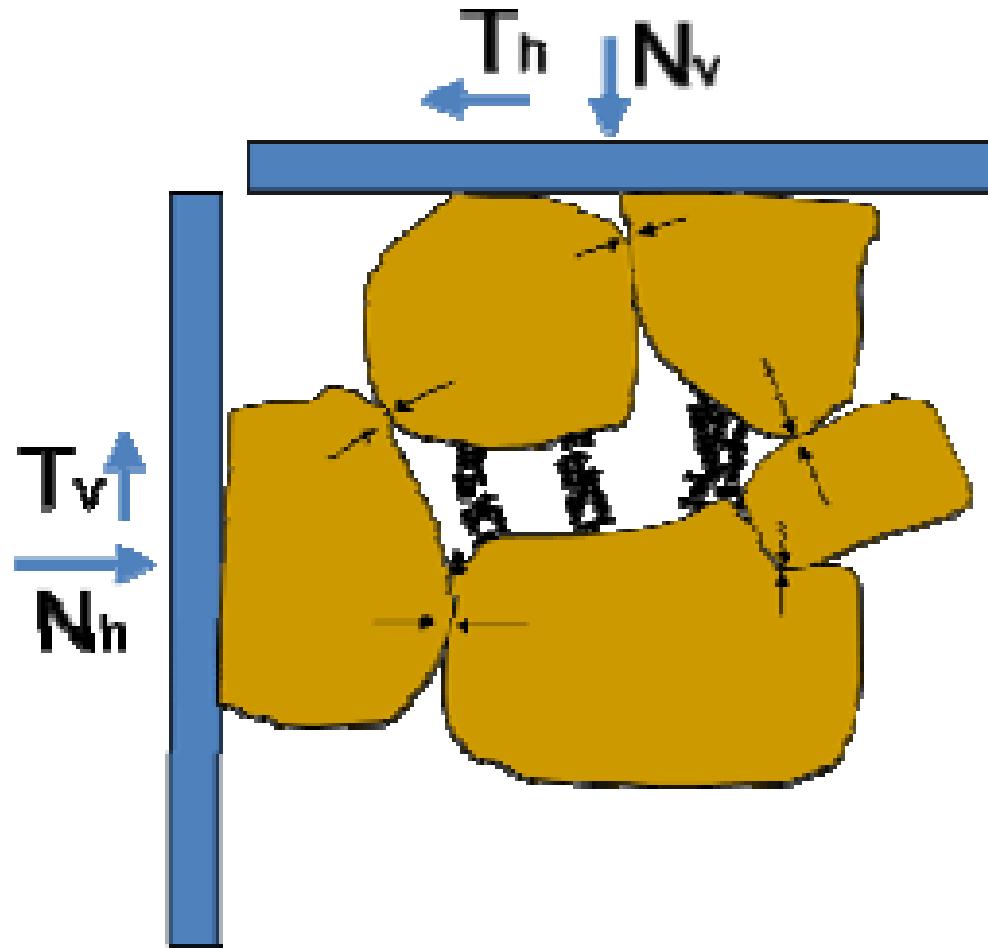
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA



# PRESIONES GEOSTÁTICAS

## CONCEPTOS GENERALES

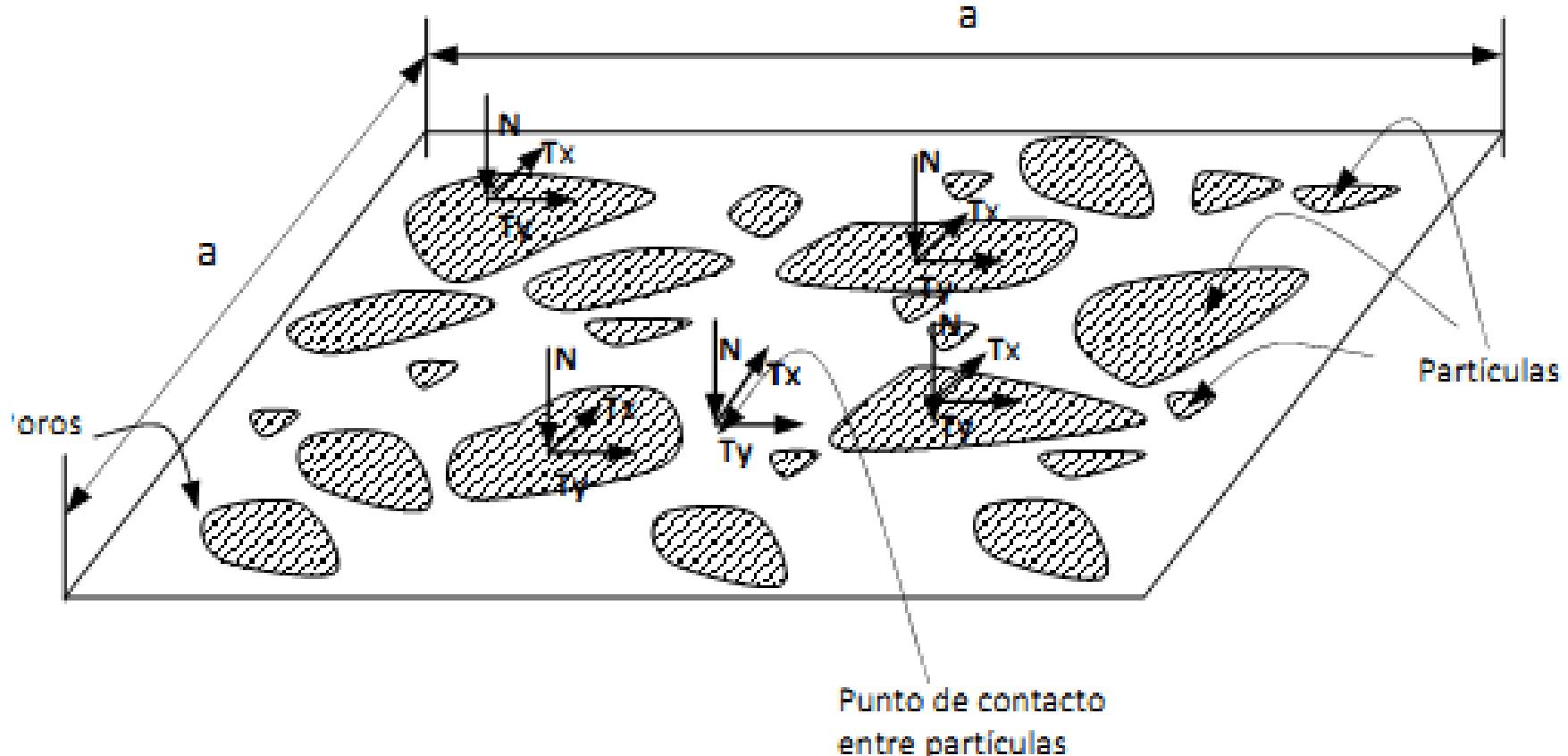


**Presiones totales en el medio continuo**  
(nominales, aplicadas sobre el área total)



# PRESIONES GEOSTÁTICAS

## CONCEPTOS GENERALES



### Presiones físicas reales

(El suelo es una combinación de partículas sólidas en contacto. La presión a través del esqueleto sólido ocurre por medio de los contactos)

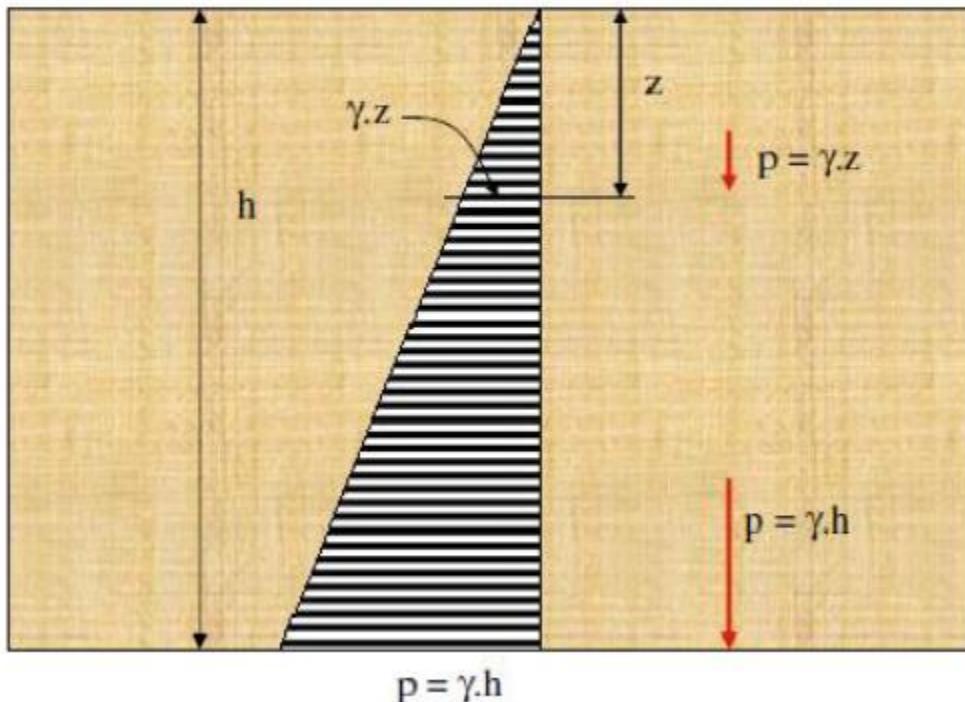


# PRESIONES GEOSTÁTICAS

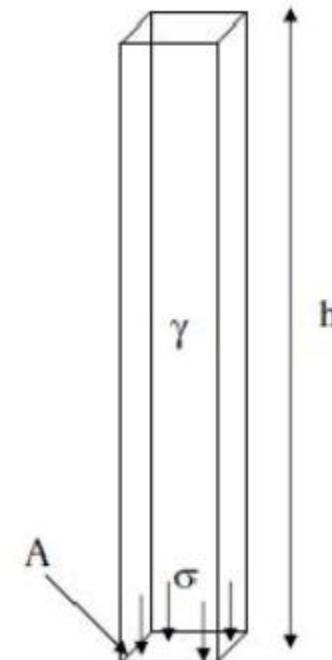
## PRESIONES VERTICALES

### PRESIONES VERTICALES

$$\sigma = \gamma z$$



$$W = \gamma \cdot A \cdot h$$



$$\sigma_v = \int_0^z \gamma \cdot dz \quad \rightarrow \quad \sigma_v = \sum \gamma \cdot \Delta z$$

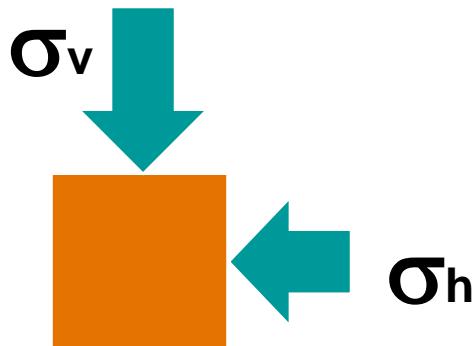


# PRESIONES GEOSTÁTICAS

## PRESIONES HORIZONTALES

### PRESIONES HORIZONTALES

$$K = \sigma_h / \sigma_v$$



Jaky (1944)

$$K_o = 1 - \operatorname{sen} \phi$$

$\phi$  ángulo de fricción

Massarsch (1979) para arcillas normalmente consolidadas

$$K_o = 0,44 + 0,42 \left[ \frac{IP(\%)}{100} \right]$$

Brooker & Ireland (1965)

$$K_o = 0,95 - \operatorname{sen} \phi'$$

Mayne & Kulhawy (1981)

arcillas preconsolidadas

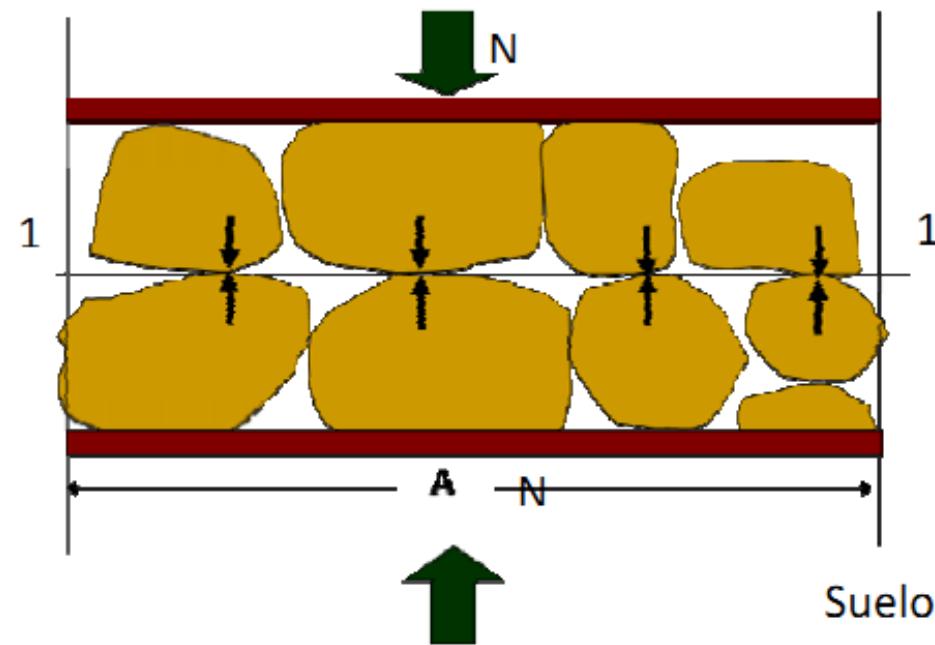
$$K_o = (1 - \operatorname{sen} \phi') \cdot OCR^{\operatorname{sen} \phi'}$$



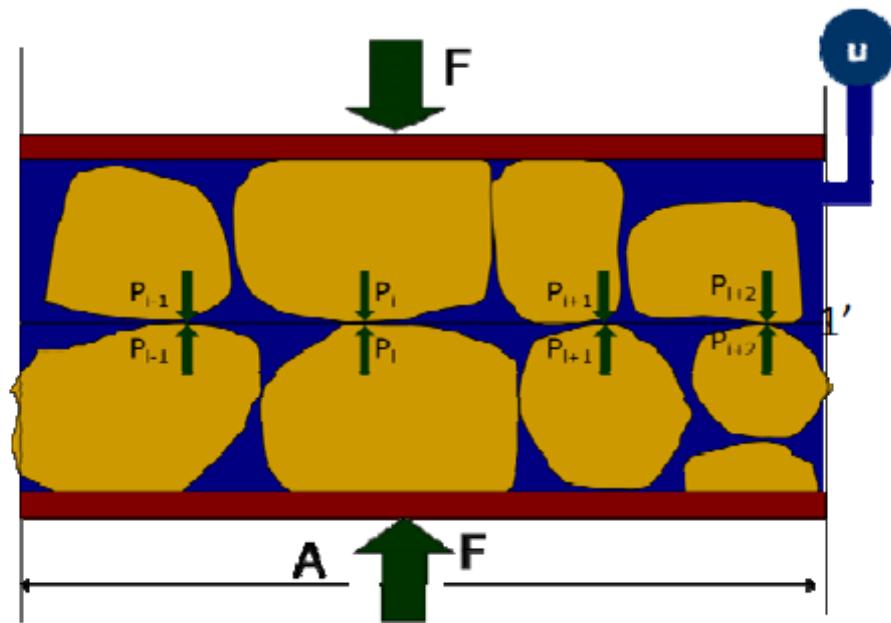
# PRESIONES GEOSTÁTICAS

## PRESIONES VERTICALES

PRESIONES MEDIA  
SUELO SIN AGUA



PRESIONES MEDIA  
SUELO CON AGUA



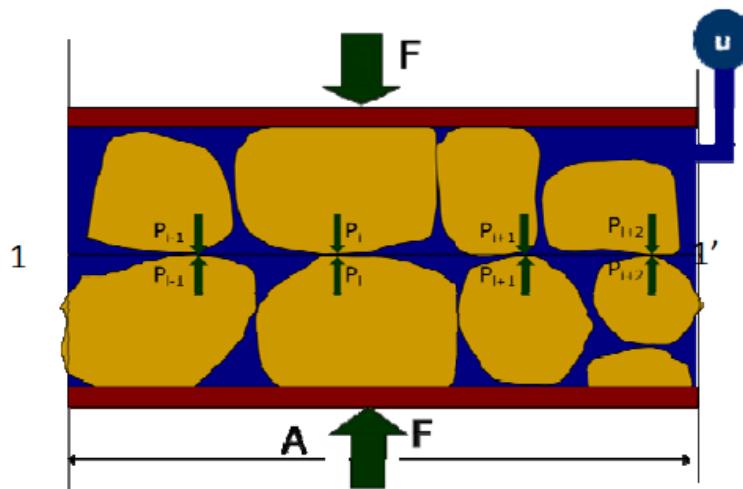
La presión media se reduce en función de la presión hidrostática



# PRESIONES GEOSTÁTICAS

## PRESIONES VERTICALES

### PRESIONES EFECTIVA



$$F = \sum_1^n p_i + u(A - A_c)$$

$$\frac{F}{A} = \frac{\sum_1^n p_i}{A} + u \frac{(A - A_c)}{A}$$

La presión total ( $\sigma$ ), es la suma de:

- La presión de contacto entre sólidos ( $\sigma'$ ), más
- La presión de poros ( $u$ ) en el área efectiva

$$\sigma = \sigma' + u \left( 1 - \frac{A_c}{A} \right)$$



# PRESIONES GEOSTÁTICAS

## PRESIONES VERTICALES

### PRESIONES EFECTIVA

$$\sigma' = \sigma - u$$

$\sigma'$  = Presión efectiva

$\sigma$  = Presión Total

$u$  = Presión del agua o Presión de poros



# PRESIONES GEOSTÁTICAS

## VALORES TÍPICOS DE LAS FUERZAS DE CONTACTO MEDIAS EN SUELOS GRANULARES

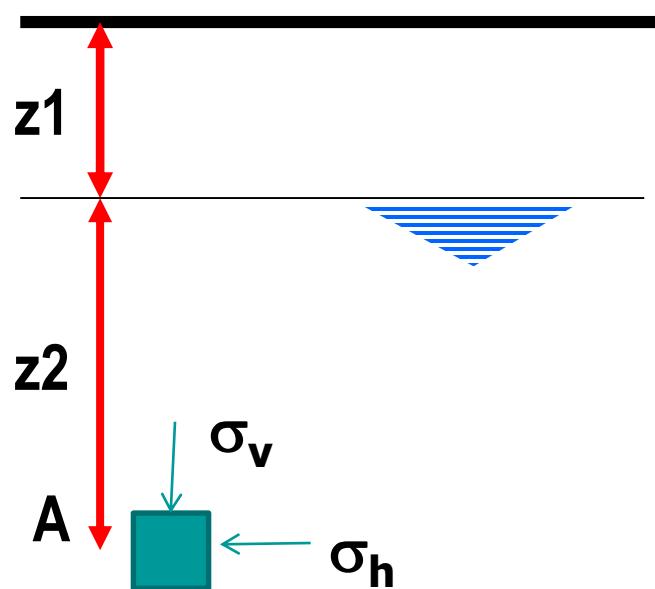
Tipo de suelo	Diámetro de las partículas [mm]	FUERZA media de contacto (gr) para un esfuerzo macroscopio [kg/cm <sup>2</sup> ]		
		1,0	10,0	100,0
Gravas	60,0	3	30	300
Arenas	2,0	0,003	0,03	0,3
Limos	0,06	0,0000003	0,00003	0,0003

**CONCEPTO DE TENSIONES EN MEDIO GRANULAR**



# PRESIONES GEOSTATICAS

## Presión vertical



$$\sigma_v = \gamma \cdot h$$

$$\sigma_v = \sum \gamma \cdot \Delta h$$

**Total**

$$\sigma_{VA} = \gamma_1 \cdot \Delta h_1 + \gamma_2 \cdot \Delta h_2$$

**Efectiva**

$$\sigma'_{VA} = \sigma_{VA} - \gamma_w \cdot \Delta h_2$$

## Presión horizontal

**Efectiva**

$$\sigma'_{hA} = k_o \cdot \sigma'_{vA}$$

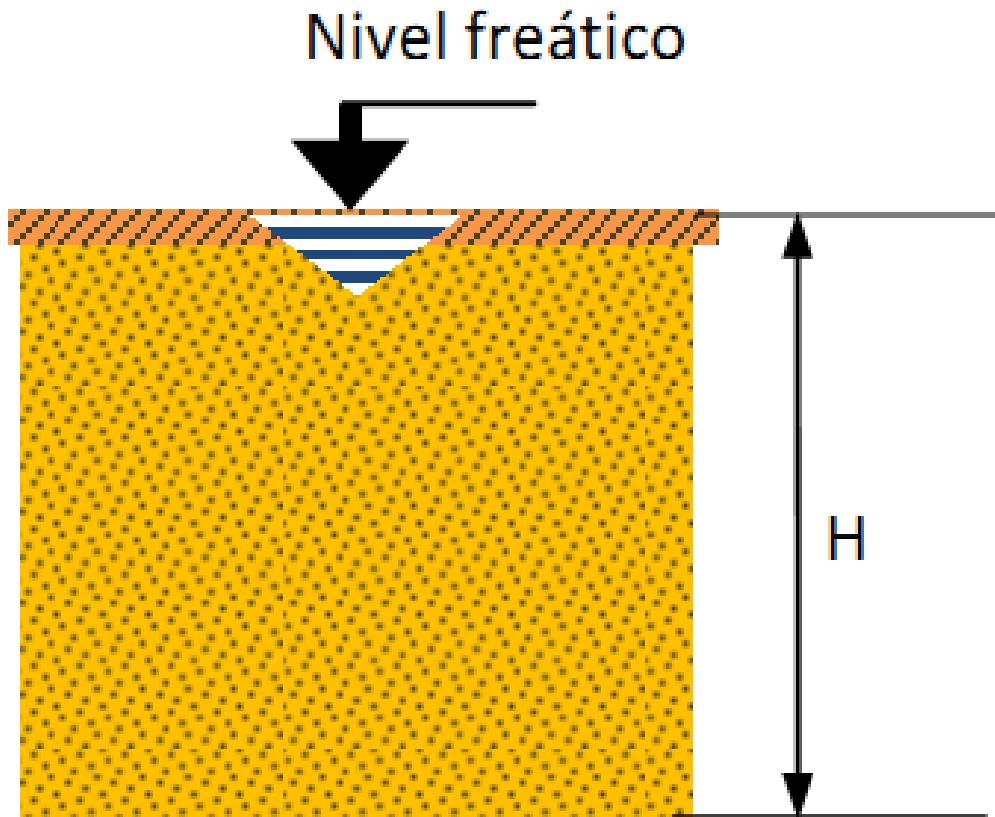
**Total**

$$\sigma_{hA} = \sigma'_{vA} + u_A$$



# PRESIONES GEOSTATICAS

## PESO UNITARIO SUMERGIDO



$$\sigma = \gamma_{SAT} \cdot H$$

$$u = \gamma_w \cdot H$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = \gamma_{SAT} \cdot H - \gamma_w \cdot H$$

$$\boxed{\sigma' = \gamma' \cdot H}$$

$$\boxed{\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w}$$

# PRESIONES GEOSTATICAS

## PESO UNITARIO SUMERGIDO

$$\sigma_v = \gamma \cdot h$$

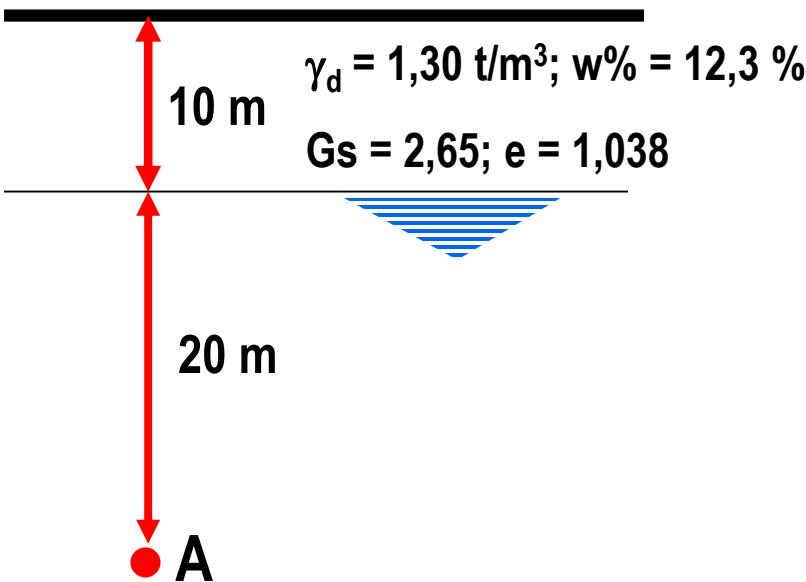
$$\sigma_v = \sum \gamma \cdot \Delta h$$

$$\sigma_h = k_o \cdot \sigma_v$$

$$\gamma = 1,30 \text{ t/m}^3 [1 + (12,3/100)] = 1,46 \text{ t/m}^3$$

$$w_{sat}\% = 1,038 \cdot 100 / 2,65 = 39,2 \%$$

$$\gamma_{SAT} = 1,30 \text{ t/m}^3 [1 + (39,2 / 100)] = 1,81 \text{ t/m}^3$$



Presiones totales

$$\sigma_A = (1,46 \text{ t/m}^3 \cdot 10 \text{ m}) + (1,81 \text{ t/m}^3 \cdot 20 \text{ m}) = 50,8 \text{ t/m}^2$$

Presión del agua

$$u_A = 1,00 \text{ t/m}^3 \cdot 20 \text{ m} = 20,0 \text{ t/m}^2$$

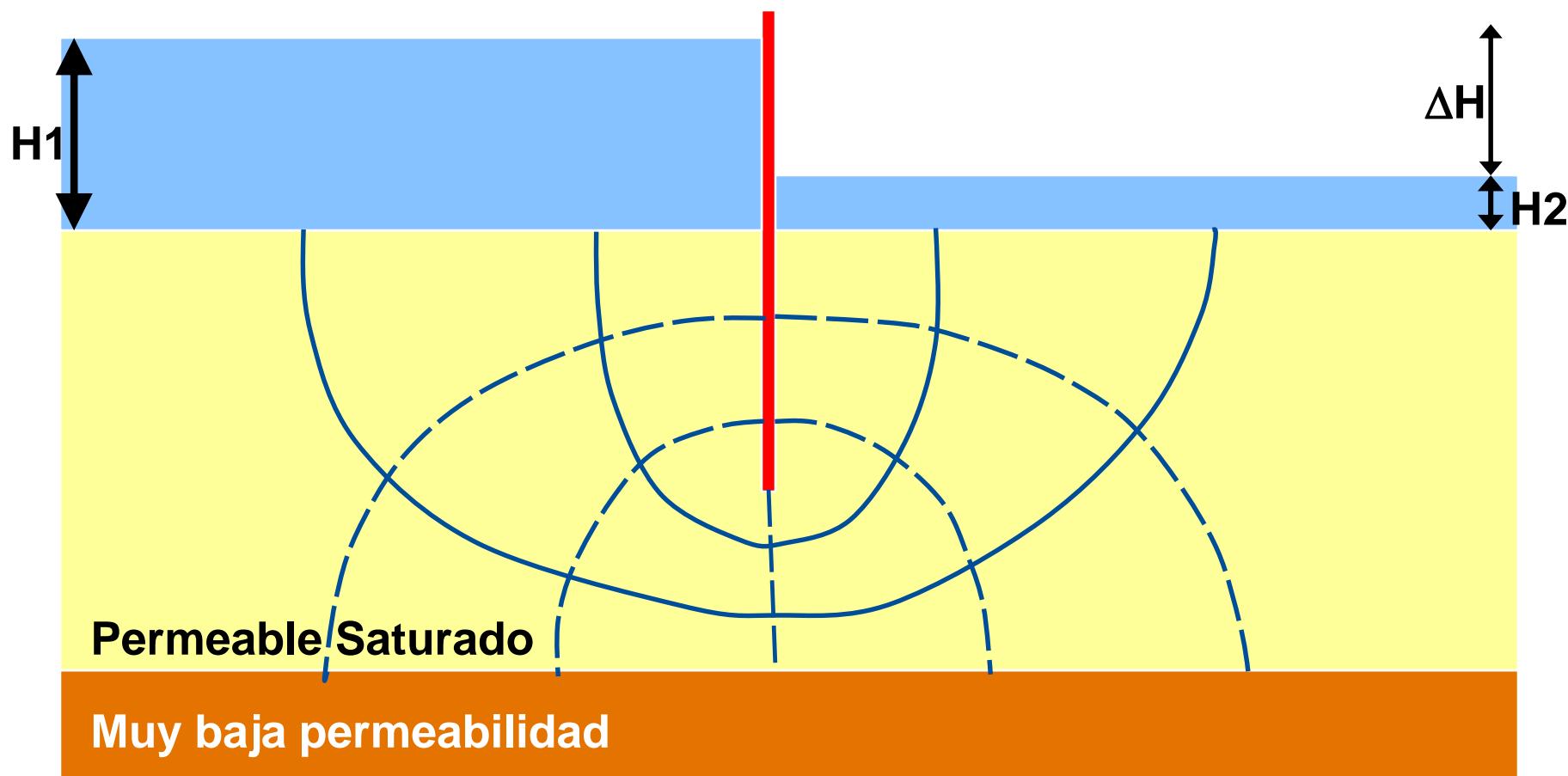
Presiones efectivas verticales

$$\sigma'_A = 50,8 \text{ t/m}^3 - 20,0 \text{ t/m}^3 = 30,8 \text{ t/m}^2$$

Calcular valor de presiones horizontales



# PRESIONES HIDRODINAMICAS



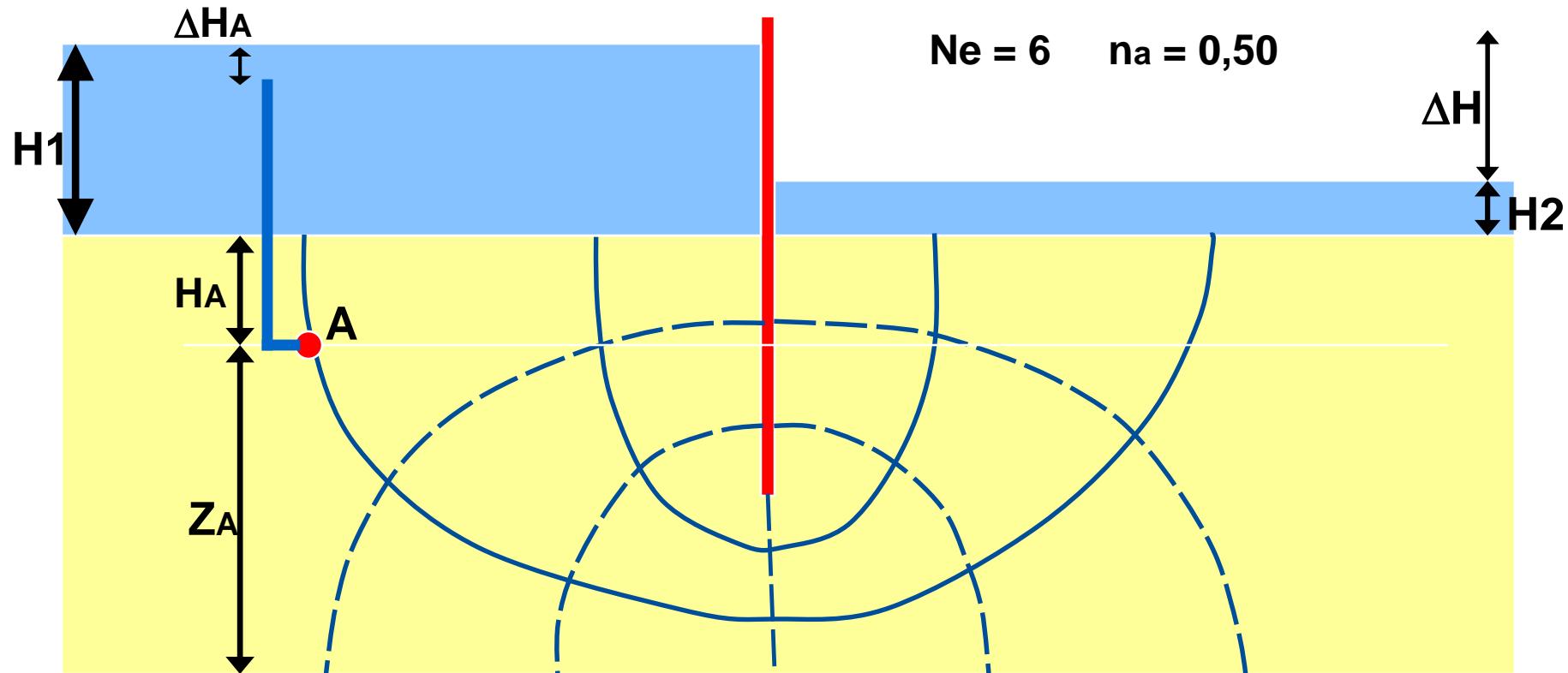


# PRESIONES HIDRODINAMICAS

$$u_A = \gamma_w (H_1 + H_A - n_a/N_e \Delta H)$$

$$\Delta H_A = \Delta H \times (n_a / N_e)$$

$$N_e = 6 \quad n_a = 0,50$$

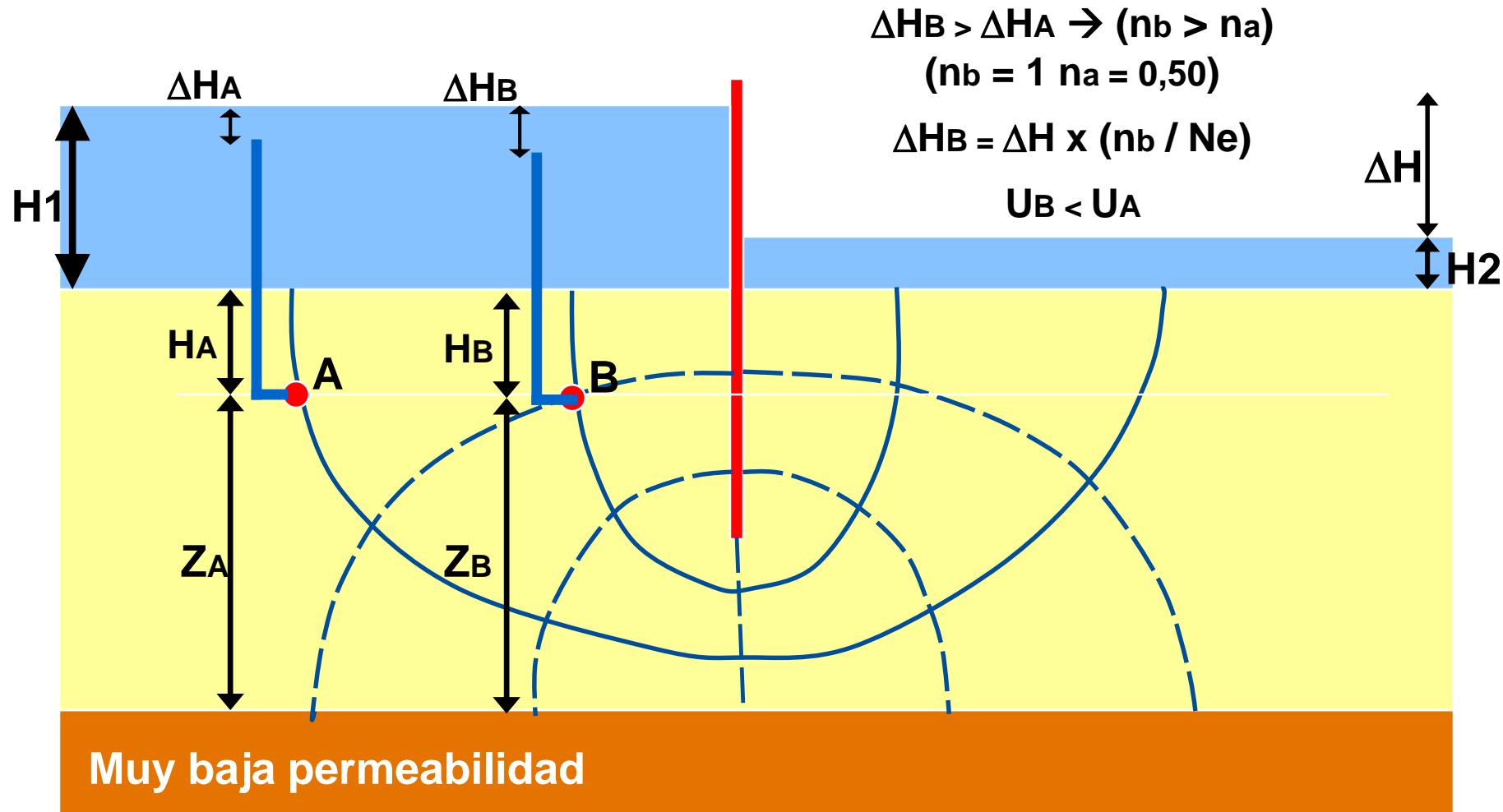


Muy baja permeabilidad



# PRESIONES HIDRODINAMICAS

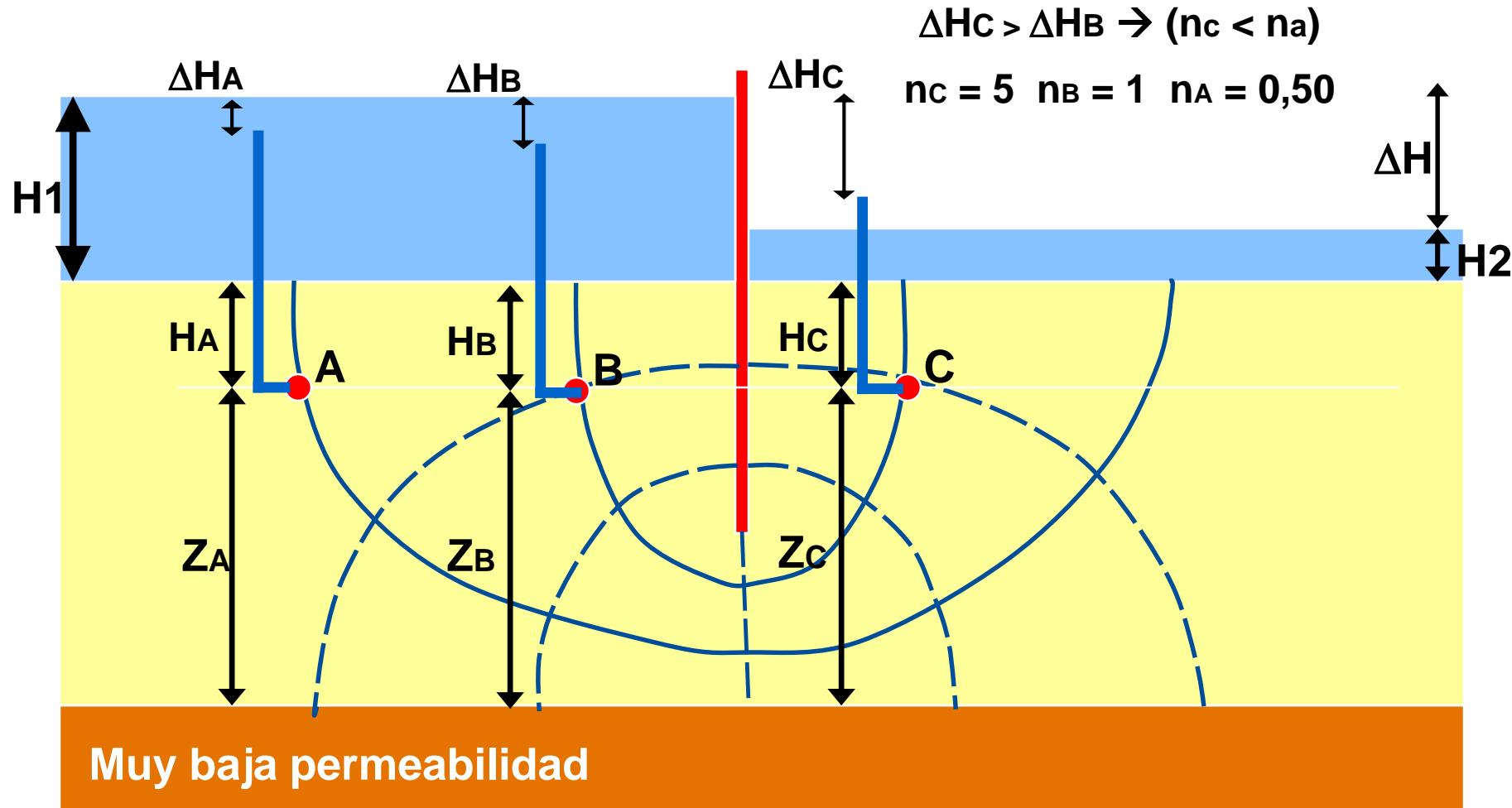
$$U_B = \gamma_w (H_1 + H_B - n_b/N_e \Delta H)$$





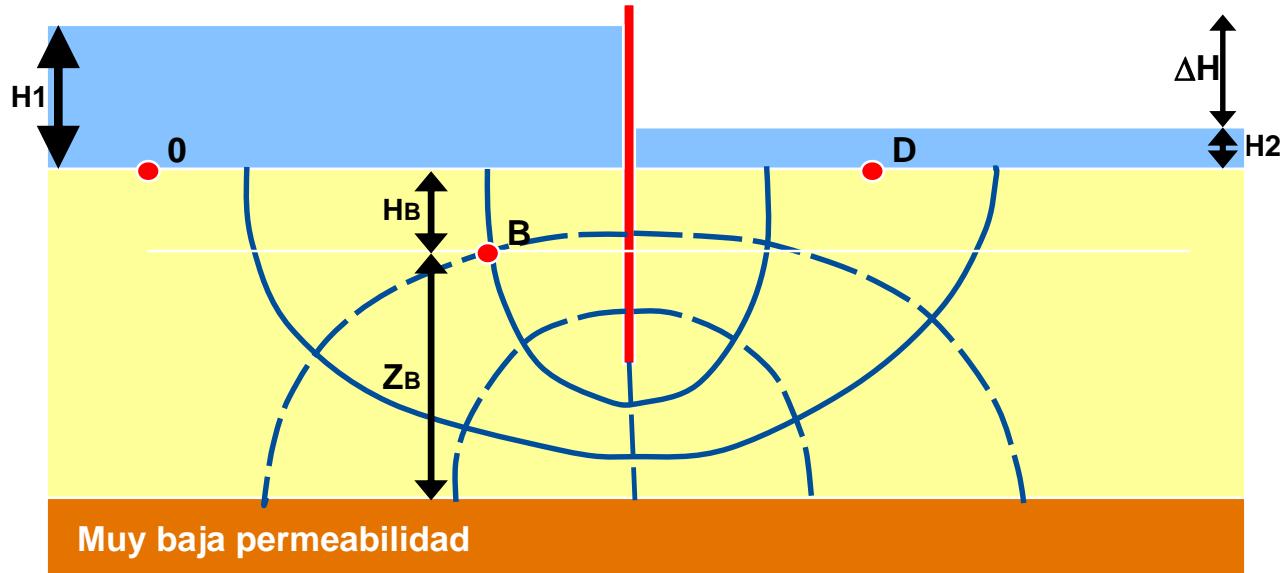
# PRESIONES HIDRODINAMICAS

$$u_c = \gamma_w (H_1 + H_c - n_c/N_e \Delta H)$$





# PRESIONES HIDRODINAMICAS



## P. HIDRODINAMICA (Total)

$$u_o = \gamma_w (H_1 + 0 - 0/N_e \Delta H) = \gamma_w H_1$$

$$u_B = \gamma_w (H_1 + H_B - 1/N_e \Delta H)$$

$$u_D = \gamma_w (H_1 + 0 - 6/N_e \Delta H) = \gamma_w H_2$$

## P. FILTRACION (Efectiva)

$$u_o = \gamma_w (\Delta H - 0/N_e \Delta H) = \gamma_w \Delta H$$

$$u_B = \gamma_w (\Delta H - 1/N_e \Delta H) = 5/6 \gamma_w \Delta H$$

$$u_c = \gamma_w (\Delta H - 6/N_e \Delta H) = 0$$



# Ejercicio: Presiones Hidrodinámicas

Datos:

$$\gamma_{SAT} = 1,80 \text{ t/m}^3; h_C = 4,00 \text{ m}; \Delta H = 6,00 \text{ m}; H_2 = 3,5 \text{ m}$$

Presiones totales en C

$$\sigma_C = (1,0 \text{ t/m}^3 \cdot 3,50 \text{ m}) + (1,80 \text{ t/m}^3 \cdot 4,00 \text{ m}) = 10,7 \text{ t/m}^2$$

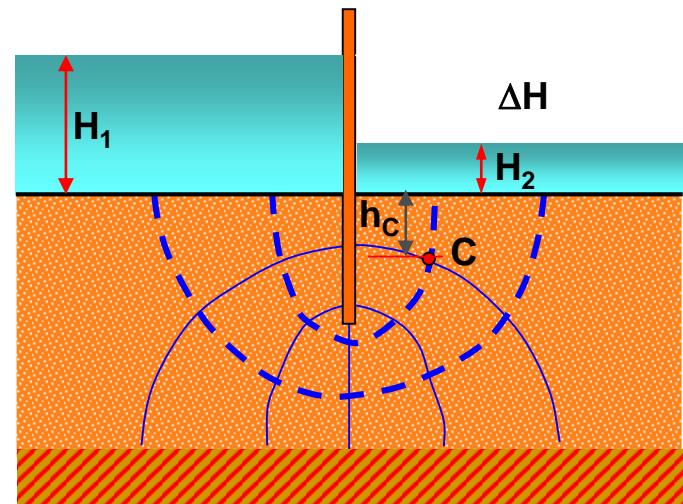
Presión del agua (hidrodinámica) en C

$$u_C = \gamma_w [H_1 + h_C - n_C \cdot (\Delta H / N_e)]$$

$$u_C = 1,00 \text{ t/m}^3 [9,50 \text{ m} + 4,00 \text{ m} - 5 \cdot (6,0 \text{ m} / 6)] = 8,50 \text{ t/m}^2$$

Presión efectiva en C

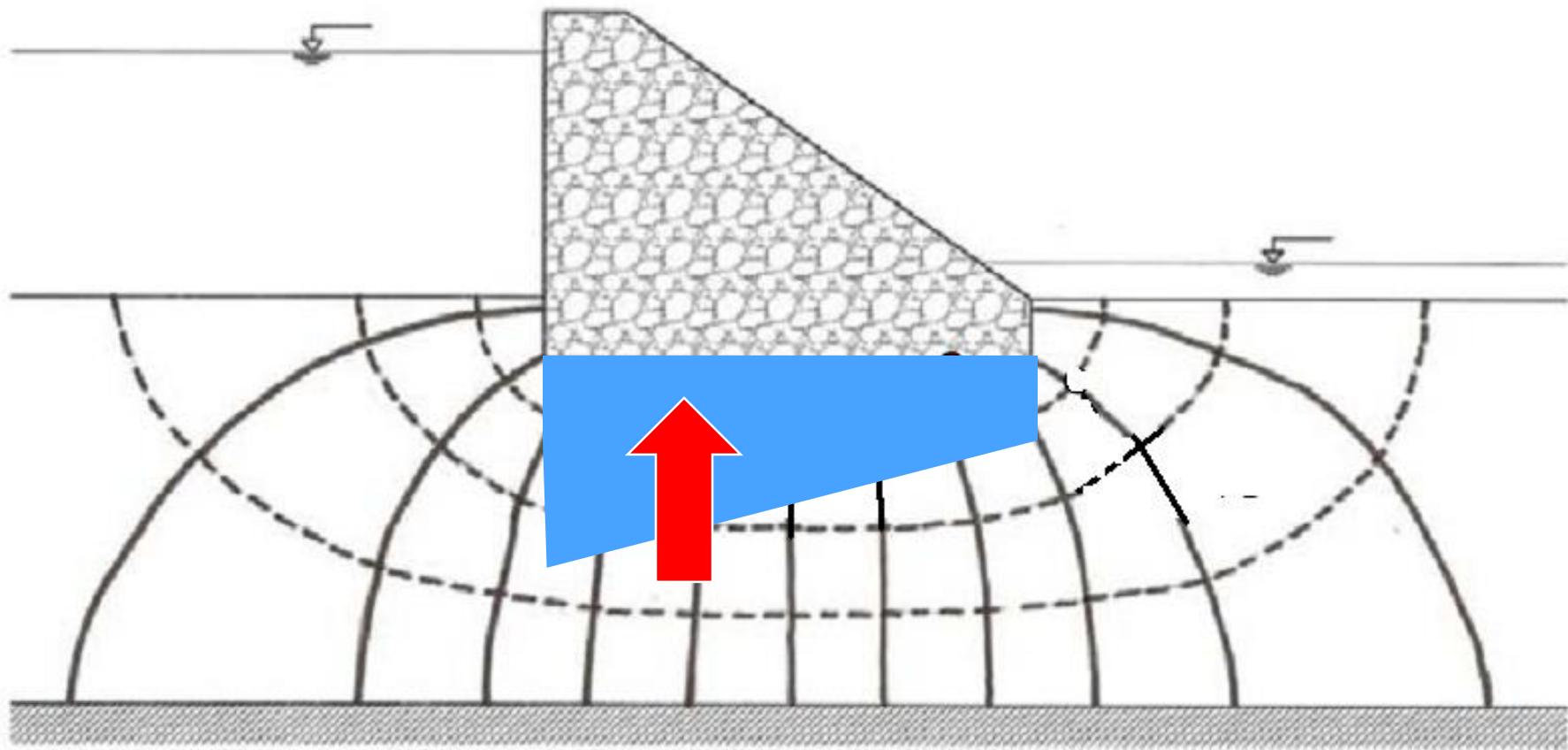
$$\sigma'_C = 10,7 \text{ t/m}^2 - 8,5 \text{ t/m}^2 = 2,2 \text{ t/m}^2$$



No hay sifonaje en el C, porque las presiones efectivas son mayores a "0" ( $\sigma'_C > 0$ )



# PRESIONES HIDRODINAMICAS

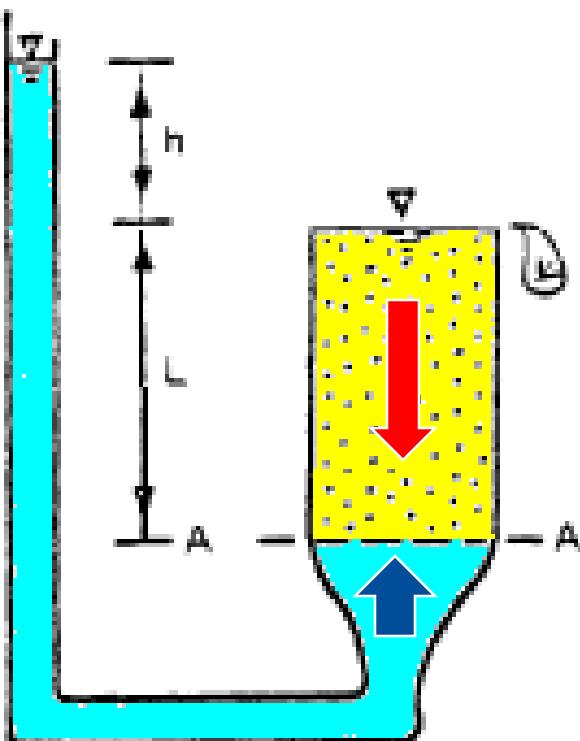


- El diagrama de presiones hidrodinámicas, integrado, genera una fuerza perpendicular a la losa de fondo del azud.
- Tiende a levantarla



# EROSION POR SIFONAMIENTO

## Fuerzas del Sistema



P Total Suelo

$$F_d = \gamma_{sat} \cdot L \cdot A$$

P Hidrodinámica

$$F_a = (h + L) \cdot \gamma_w \cdot A$$

Equilibrio

$$\gamma_{sat} \cdot L \cdot A = (h + L) \cdot \gamma_w \cdot A$$

$$\frac{h}{L} = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_w} - 1 = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_w}$$

$$\frac{h}{L} = i_{crit} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

**Gradiente Crítico  
(Hazar, 1935)**

$$F_s = \frac{i_{cr}}{i_{exit}}$$



# EROSION POR SIFONAMIENTO

## Relación de Tensiones (Terzaghi, 1922)

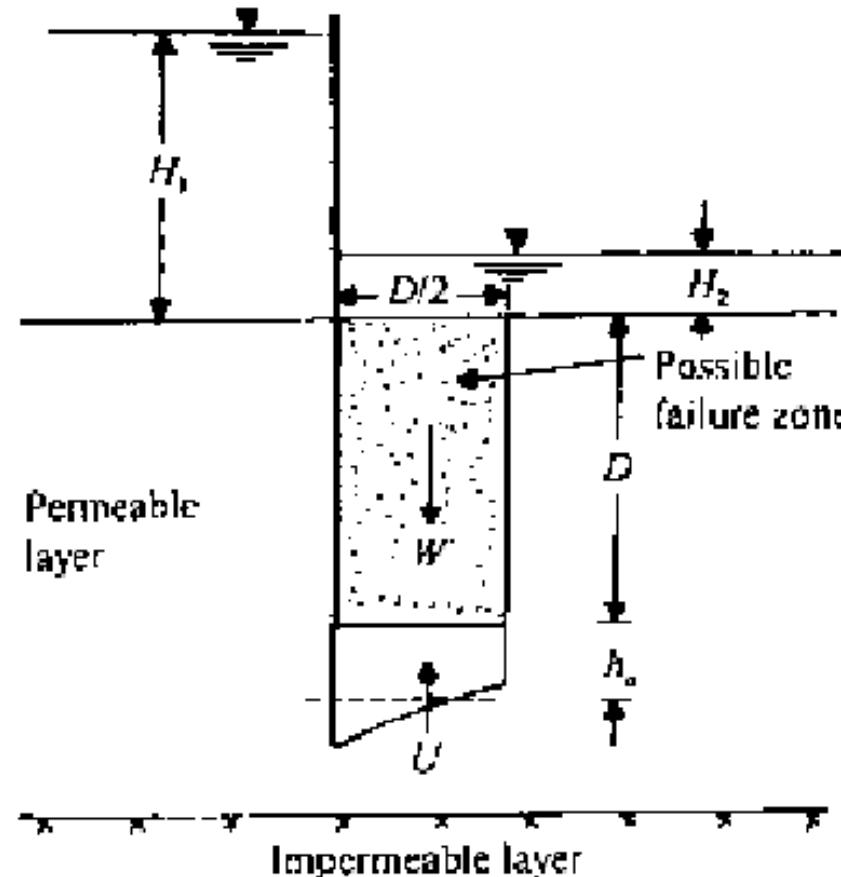
### Equilibrio de Esfuerzos

**Fuerza Ascendente**  $U = \frac{1}{2} \gamma_w D h_a$

ha Presión de filtración

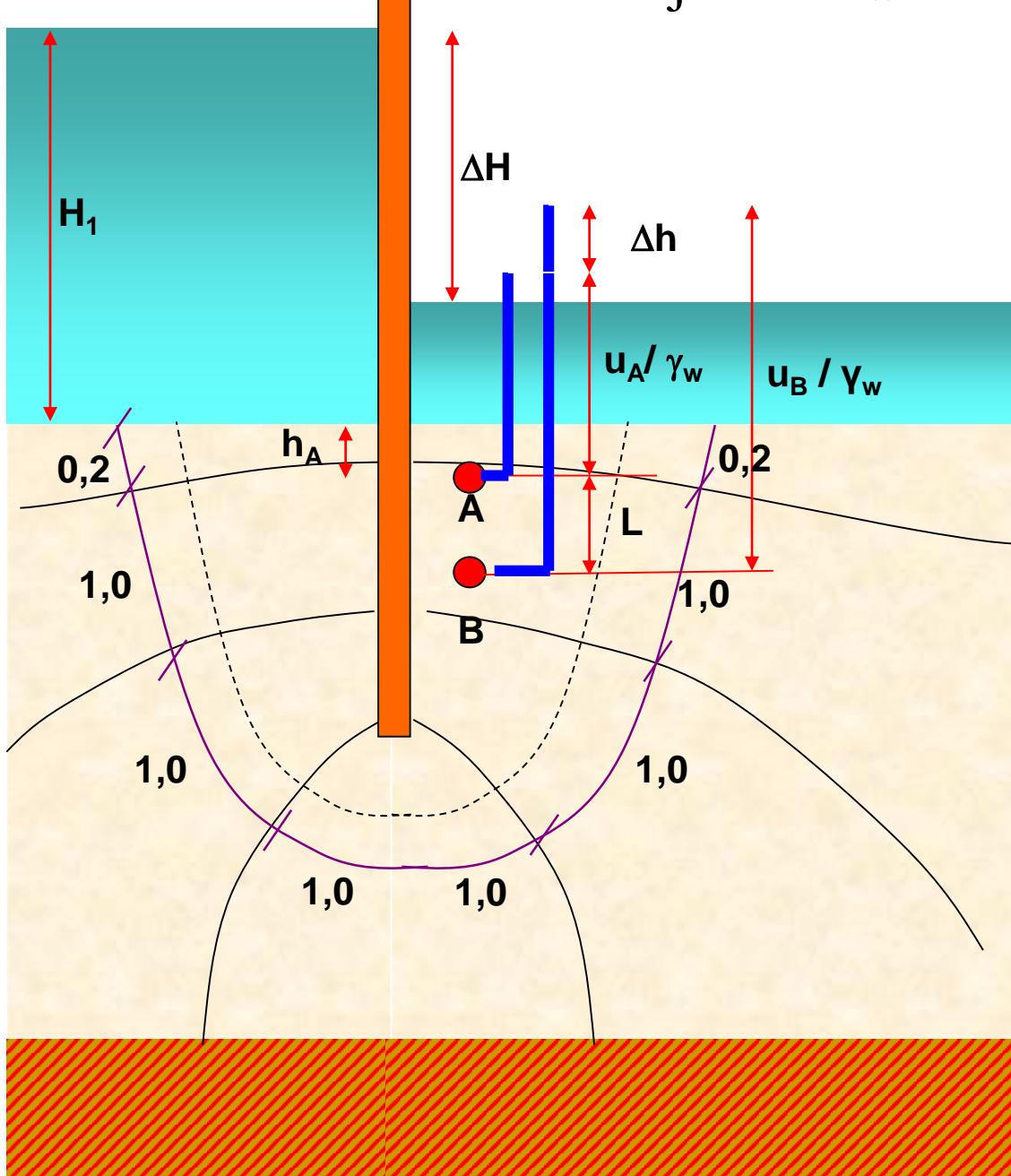
**Fuerza Descendente**  $W' = \frac{1}{2} \gamma' D^2$

$$F_s = \frac{W'}{U} = \frac{\frac{1}{2} \gamma' D^2}{\frac{1}{2} \gamma_w D h_a} = \frac{D \gamma'}{h_a \gamma_w}$$





# Ejercicio: Sifonaje



## Presión total

$$\sigma_A = \dots$$

$$\sigma_B = \dots$$

## Presión de poros

$$u_A = (H_1 + h_A - n_A \cdot \Delta H / N_e) \cdot \gamma_w$$

$$u_B = (H_1 + h_B - n_B \cdot \Delta H / N_e) \cdot \gamma_w$$

## Espacios equipotenciales

$$N_e = 3 + 3 + 0,2 + 0,2 = 6,4$$

$N_e$  = número de espacios equipotenciales total

$$n_B = 0,2 + 3 + 2 + 0,2 = 5,4$$

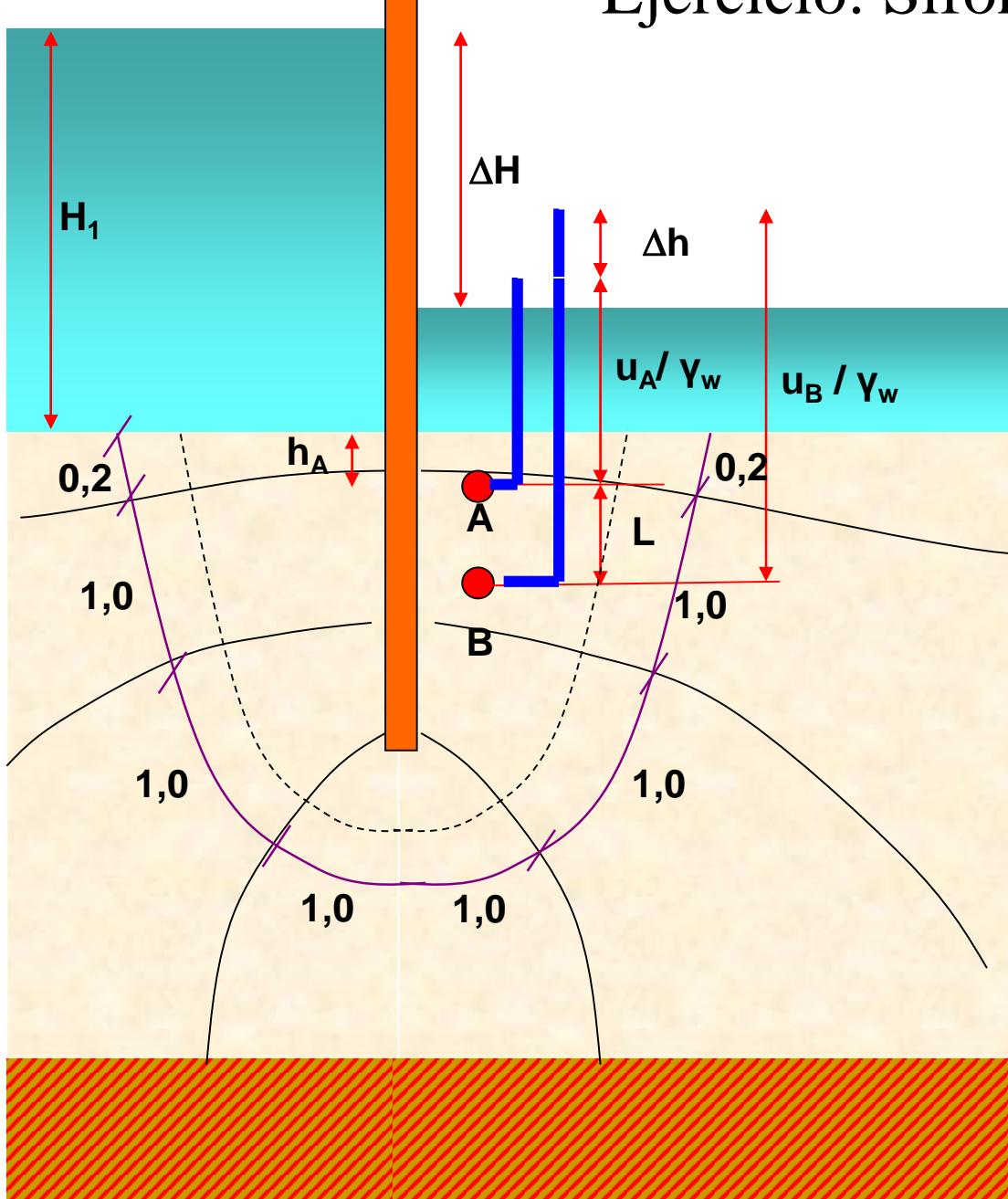
$n_B$  = número de espacios equipotenciales hasta el punto B

$$n_A = 6,2$$

$n_A$  = número de espacios equipotenciales hasta el punto A



# Ejercicio: Sifonaje



## Pérdida de Carga

$$\Delta h = u_B / \gamma_w - u_A / \gamma_w$$

## Gradiente hidráulico en AB

$$i = \Delta h / L$$

## Gradiente crítico

$$i_c = \gamma' / \gamma_w$$

## Coeficiente de seguridad al sifonaje

$$F.S._{sifonaje} = \frac{\gamma'}{\frac{\gamma_w}{\frac{\Delta h}{L}}}$$



# EROSION POR SIFONAMIENTO

## Distancia de Filtración (Lane, 1935)

**Longitud de recorrido ponderada**

**Creep ponderado** =  $\frac{L_w}{H_1 - H_2}$

Table 5.4 Safe values for the weighted creep ratio

Material	Safe weighted creep ratio
Very fine sand or silt	8.5
Fine sand	7.0
Medium sand	6.0
Coarse sand	5.0
Fine gravel	4.0
Coarse gravel	3.0
Soft to medium clay	2.0–3.0
Hard clay	1.8
Hard pan	1.6

$$L_w = \frac{\sum L_h}{3} + \sum L_v$$

