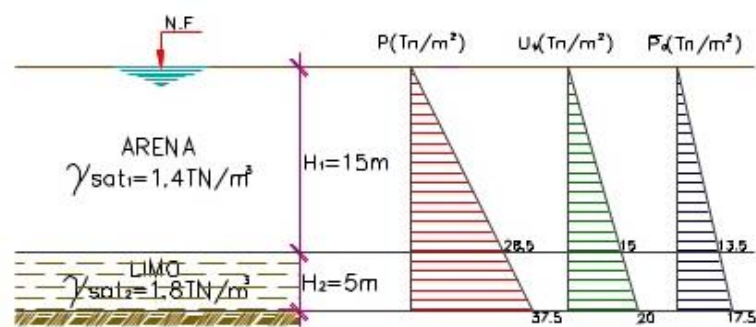


# EL AGUA EN LOS SUELOS



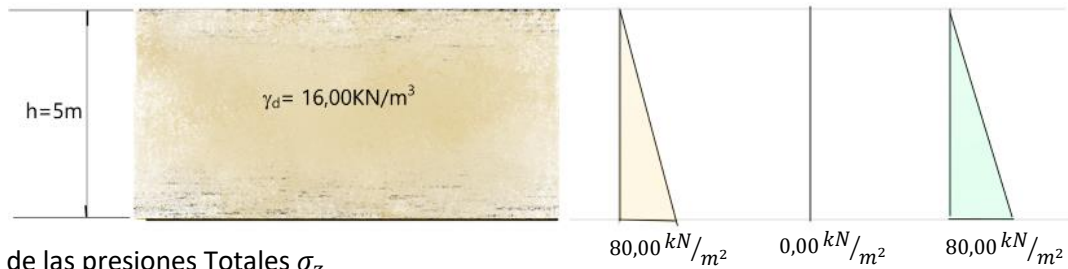
**Índice:**

Ejercicio N° 1. ....	2
Ejercicio N° 2. ....	5
Ejercicio N° 3. ....	6
Ejercicio N° 4. ....	7
Ejercicio N° 5. ....	8
Ejercicio N° 6. ....	8
Ejercicio N° 7. ....	12
Ejercicio N° 8. ....	13
Ejercicio N° 9. ....	14
Ejercicio N° 10. ....	15
Ejercicio N° 11. ....	16
Ejercicio N° 12. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

**Ejercicio N° 1.**

Dibujar el diagrama de presiones efectiva, neutra y total de los siguientes perfiles geológico:

a) Suelo sin presencia del nivel freático (suelo seco)



Cálculo de las presiones Totales  $\sigma_z$

$$\sigma_0 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_5 = \gamma_d \times h =$$

$$\sigma_5 = 16,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 5,00\text{m} = 80,00 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo de las Presiones neutras  $\mu_\omega$

$$\mu_{\omega 0} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

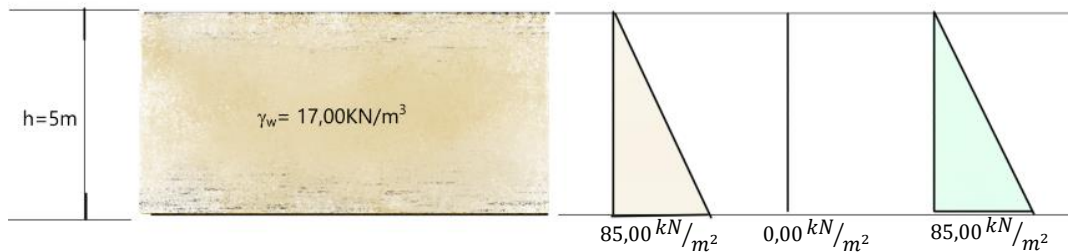
$$\mu_{\omega 5} = \gamma_\omega \times 0,00\text{m} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo de las Presiones Efectivas  $\bar{\sigma}_z$

$$\bar{\sigma}_0 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_5 = \sigma_5 - \mu_{\omega 5} = 80,00 - 0,00 = 80,00 \text{ kN/m}^2$$

b) Suelo con humedad



Cálculo de las presiones Totales  $\sigma_z$

$$\sigma_0 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_5 = \gamma_w \times h =$$

$$\sigma_5 = 17,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 5,00\text{m} = 85,00 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo de las Presiones neutras  $\mu_\omega$

$$\mu_{\omega 0} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

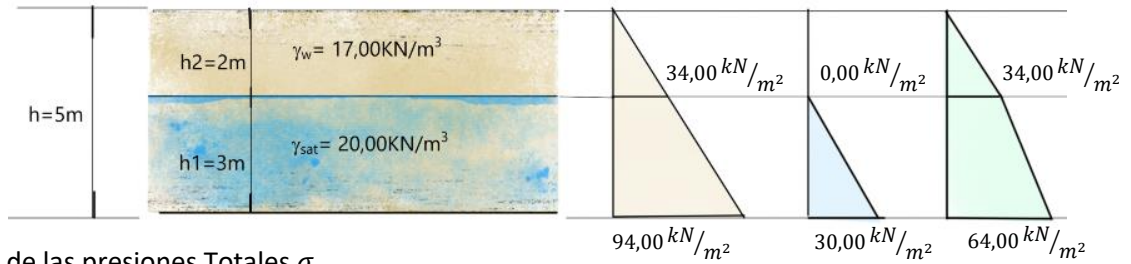
$$\mu_{\omega 5} = \gamma_\omega \times 0,00\text{m} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo de las Presiones Efectivas  $\bar{\sigma}_z$

$$\bar{\sigma}_0 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_5 = \sigma_5 - \mu_{\omega 5} = 85,00 - 0,00 = 85,00 \text{ kN/m}^2$$

c) Suelo con presencia de nivel freático – suelo húmedo sobre nivel freático.



Cálculo de las presiones Totales  $\sigma_z$

$$\sigma_0 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = \gamma_w \times h_2 = 17,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 2,00\text{m} = 34,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_5 = \gamma_{\text{sat}} \times h_1 + \gamma_w \times h_2 = 20,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 3,00\text{m} + 34,00 \text{ kN/m}^2 =$$

$$\sigma_5 = 60,00 \text{ kN/m}^2 + 34,00 \text{ kN/m}^2 = 94,00 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo de las Presiones neutras  $\mu_\omega$

$$\mu_{\omega 0} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_{\omega 2} = \gamma_w \times 0,00\text{m} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_{\omega 5} = \gamma_w \times 3,00\text{m} = 10,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 3,00\text{m} = 30,00 \text{ kN/m}^2$$

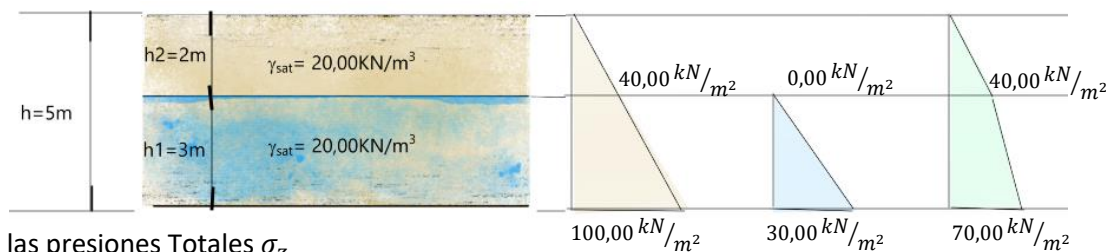
Cálculo de las Presiones Efectivas  $\bar{\sigma}_z$

$$\bar{\sigma}_0 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_2 = \sigma_2 - \mu_{\omega 2} = 34,00 \text{ kN/m}^2 - 0,00 \text{ kN/m}^2 = 34,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_5 = \sigma_5 - \mu_{\omega 5} = 94,00 \text{ kN/m}^2 - 30,00 \text{ kN/m}^2 = 64,00 \text{ kN/m}^2$$

d) Suelo con presencia de nivel freático – suelo saturado sobre nivel freático.



Cálculo de las presiones Totales  $\sigma_z$

$$\sigma_0 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = \gamma_{\text{sat}} \times h_2 = 20,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 2,00\text{m} = 40,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_5 = \gamma_{\text{sat}} \times h_1 + \gamma_{\text{sat}} \times h_2 = 20,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 3,00\text{m} + 40,00 \text{ kN/m}^2 =$$

$$\sigma_5 = 60,00 \text{ kN/m}^2 + 40,00 \text{ kN/m}^2 = 100,00 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo de las Presiones neutras  $\mu_\omega$

$$\mu_{\omega 0} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_{\omega 2} = \gamma_w \times 0,00\text{m} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_{\omega 5} = \gamma_{\omega} \times 3,00m = 10,00 \frac{KN}{m^3} \times 3,00m = 30,00 \text{ kN}/m^2$$

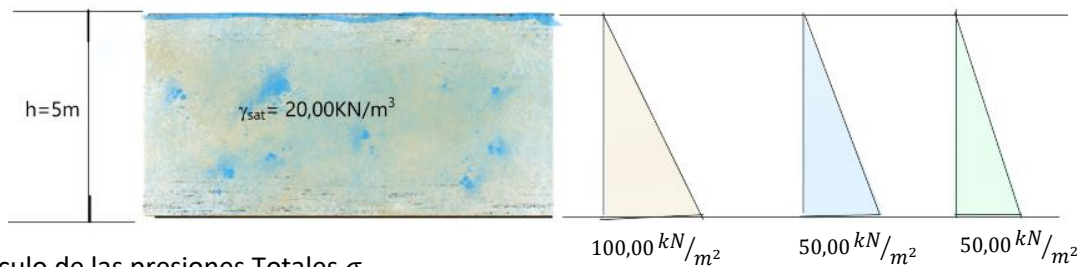
Cálculo de las Presiones Efectivas  $\bar{\sigma}_z$

$$\bar{\sigma}_0 = 0,00 \text{ kN}/m^2$$

$$\bar{\sigma}_2 = \sigma_2 - \mu_{\omega 2} = 40,00 \text{ kN}/m^2 - 0,00 \text{ kN}/m^2 = 40,00 \text{ kN}/m^2$$

$$\bar{\sigma}_5 = \sigma_5 - \mu_{\omega 5} = 100,00 \text{ kN}/m^2 - 30,00 \text{ kN}/m^2 = 70,00 \text{ kN}/m^2$$

e) Suelo con nivel freático en superficie



Cálculo de las presiones Totales  $\sigma_z$

$$\sigma_0 = 0,00 \text{ kN}/m^2$$

$$\sigma_5 = \gamma_{sat} \times h = 20,00 \frac{KN}{m^3} \times 5,00m = 100,00 \text{ kN}/m^2$$

Cálculo de las Presiones neutras  $\mu_{\omega}$

$$\mu_{\omega 0} = 0,00 \text{ kN}/m^2$$

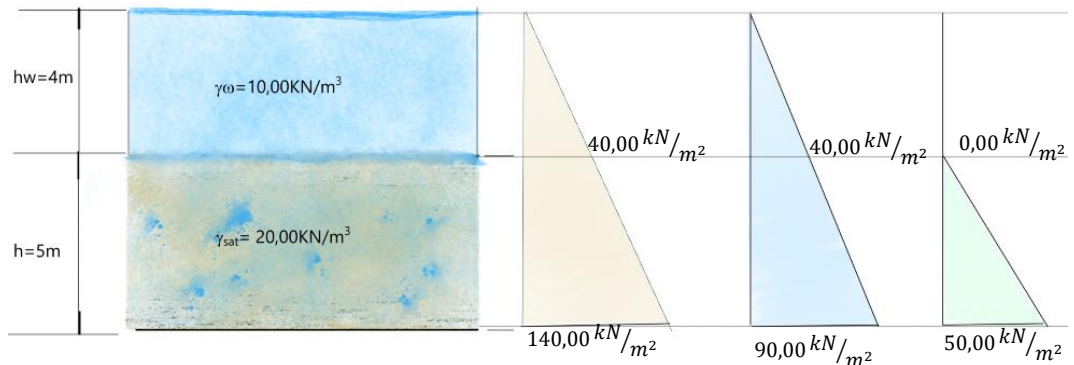
$$\mu_{\omega 5} = \gamma_{\omega} \times 5,00m = 10,00 \frac{KN}{m^3} \times 5,00m = 50,00 \text{ kN}/m^2$$

Cálculo de las Presiones Efectivas  $\bar{\sigma}_z$

$$\bar{\sigma}_0 = 0,00 \text{ kN}/m^2$$

$$\bar{\sigma}_5 = \sigma_5 - \mu_{\omega 5} = 100,00 \text{ kN}/m^2 - 50,00 \text{ kN}/m^2 = 50,00 \text{ kN}/m^2$$

f) Nivel freático por encima del nivel de terreno.



Cálculo de las presiones Totales  $\sigma_z$

$$\sigma_0 = 0,00 \text{ kN}/m^2$$

$$\sigma_4 = \gamma_{\omega} \times h_{\omega} = 10,00 \frac{KN}{m^3} \times 4,00m = 40,00 \text{ kN}/m^2$$

$$\sigma_9 = \gamma_{sat} \times h + \gamma_{\omega} \times h_{\omega} = 20,00 \frac{KN}{m^3} \times 5,00m + 10,00 \frac{KN}{m^3} \times 4,00m = 140,00 \text{ kN}/m^2$$

Cálculo de las Presiones neutras  $\mu_\omega$

$$\mu_{\omega 0} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_{\omega 4} = \gamma_\omega \times 4,00\text{m} = 10,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 4,00\text{m} = 40,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_{\omega 9} = \gamma_\omega \times 5,00\text{m} + 40,00 \text{ kN/m}^2 =$$

$$\mu_{\omega 9} = 10,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 5,00\text{m} + 40,00 \text{ kN/m}^2 = 90,00 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo de las Presiones Efectivas  $\bar{\sigma}_z$

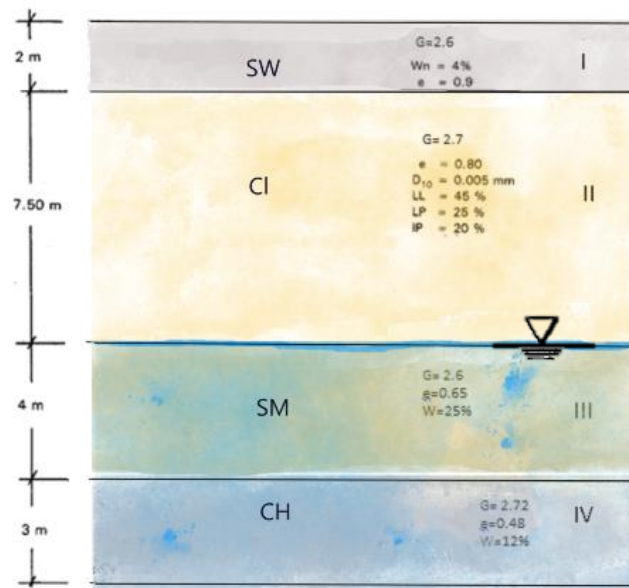
$$\bar{\sigma}_0 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_4 = \sigma_4 - \mu_{\omega 4} = 40,00 \text{ kN/m}^2 - 40,00 \text{ kN/m}^2 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_9 = \sigma_9 - \mu_{\omega 9} = 140,00 \text{ kN/m}^2 - 90,00 \text{ kN/m}^2 = 50,00 \text{ kN/m}^2$$

## Ejercicio N° 2.

Determinar la altura por ascensión capilar que se producirá a partir del nivel freático que se encuentra a una profundidad de 9,50m en el plano B que muestra la figura. Tome sé cómo dato  $C=0,3\text{Cm}^2$ .



Para determinar la altura por ascensión capilar se empleará la siguiente ecuación Hazen:

$$h_c = \frac{C}{e \cdot D_{10}} =$$

Por lo tanto, la ascensión capilar máxima será:

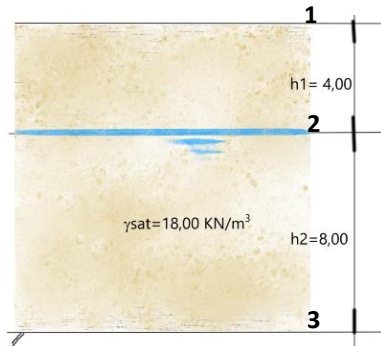
$$h_c = \frac{C}{e \cdot D_{10}} = \frac{30}{0,80 \times 0,005} = 750\text{cm}$$

Esto indica que todo el estrato II se encuentra saturado por capilaridad.

### Ejercicio N° 3.

Un depósito de arena muy fina tiene 12m de profundidad, el nivel freático se encuentra a 4 m medidos desde la superficie, pero sobre él la arena. Determinar si se encuentra saturada por capilaridad. El peso específico de la arena saturada es  $18 \text{ KN/m}^3$  y el peso específico de la arena húmeda es  $17 \text{ KN/m}^3$ .

¿Cuál es la presión efectiva vertical sobre un plano horizontal a la profundidad de 12 m.?



Para determinar la altura por ascensión capilar se empleará la siguiente ecuación Hazen:

$$h_c = \frac{C}{e \cdot D_{10}} =$$

$$C = 10$$

$$D_{10} = 0,15 \text{ mm}$$

$$e = 0,78$$

Por lo tanto, la ascensión capilar máxima será:

$$h_c = \frac{C}{e \cdot D_{10}} = \frac{10}{0,78 \times 0,15} = 85 \text{ cm}$$

Como la altura capilar es baja, de manera conservadora, se despreciará a fines del cálculo de presiones efectivas.

Cálculo de las presiones Totales  $\sigma_z$

$$\sigma_1 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = (\gamma_{hum}) \times h_{hum} + (\gamma_{sat}) \times h_{sat} =$$

$$\sigma_2 = \left(17,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}\right) \times 3,15 \text{ m} + \left(18,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}\right) \times 0,85 \text{ m} = 68,85 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_3 = (\gamma_{hum}) \times h_{hum} + (\gamma_{sat}) \times h_{sat} + (\gamma_{sat}) \times h_2 =$$

$$\sigma_3 = 68,85 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} + \left(18,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}\right) \times 8,00 \text{ m} = 212,85 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo de las Presiones neutras  $\mu_\omega$

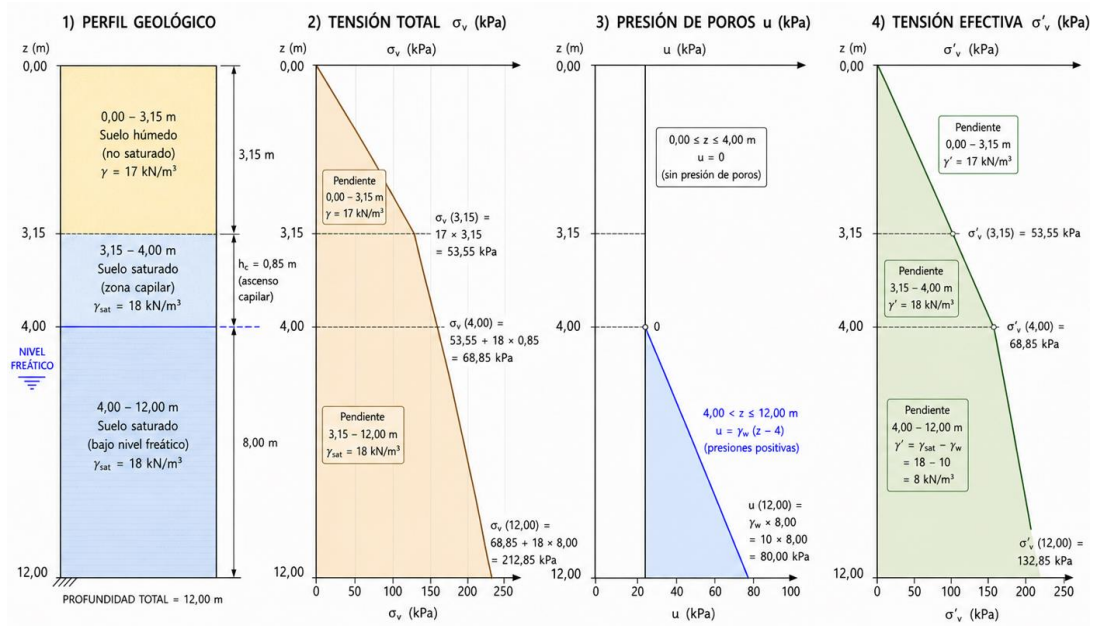
$$\mu_{\omega 3} = \gamma_\omega \times 8,00 \text{ m} = 10,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 8,00 \text{ m} = 80,00 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo de las Presiones Efectivas  $\bar{\sigma}_z$

$$\bar{\sigma}_1 = 0,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$\bar{\sigma}_2 = \sigma_2 - \mu_{\omega 2} = 68,85 \text{ kN/m}^2 - 0,00 \text{ kN/m}^2 = 68,85 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_3 = \sigma_3 - \mu_{\omega 3} = 212,85 \text{ kN/m}^2 - 80,00 \text{ kN/m}^2 = 132,85 \text{ kN/m}^2$$



### Ejercicio N° 4

El permeámetro de la figura tiene las siguientes dimensiones:  $h = 28 \text{ cm}$ ;  $z = 24 \text{ cm}$  y  $L = 50 \text{ cm}$ . El área de la sección transversal del permeámetro es de:  $530 \text{ cm}^2$ . Se ha determinado que el peso unitario de la arena es de  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ . Manteniendo una carga hidráulica constante, pasa a través de la arena un volumen de  $100 \text{ cm}^3$  en 18 segundos. Determine el coeficiente de permeabilidad de la arena.

1) Determinación del gradiente hidráulico:

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

Siendo  $h = 28 \text{ cm}$  (pérdida de carga)

Siendo  $L = 50 \text{ cm}$

$$i = \frac{28}{50} = 0,50$$

2) Determinación del caudal que circula:

$$q = \frac{Q}{t}$$

$$Q = 100 \text{ cm}^3$$

$$t = 18 \text{ seg}$$

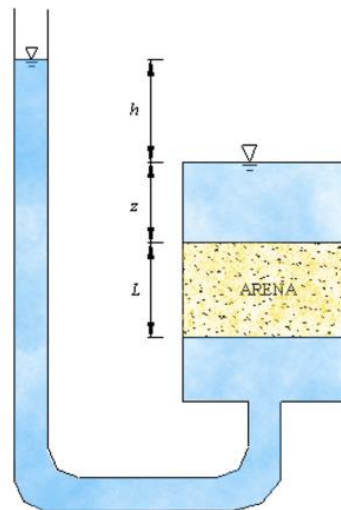
$$q = \frac{100}{18} = 5,55 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

3) Determinación del coeficiente de permeabilidad:

$$q = k \cdot i \cdot A$$

$$5,55 = k \times 0,56 \times 530$$

$$k = 1,86 \times 10^{-2} \text{ cm}/\text{seg}$$



### Ejercicio N° 5

En una muestra representativa de suelo, se ha realizado un ensayo de permeabilidad de carga constante. La tabla que sigue muestra los resultados de tres ensayos que se realizaron con ésta muestra de suelo de laboratorio. Calcule el coeficiente de permeabilidad del suelo.

Nro. Ensayo		1	2	3
Cantidad de flujo	cm <sup>3</sup>	305	375	395
Temperatura del agua	°C	60	60	60
Tiempo de recolección	seg	25	25	25
Diferencia de carga	cm	60	70	80
Diámetro del espécimen	cm	6.35	6.35	6.35
Longitud del espécimen	cm	13.2	13.2	13.2
Área del espécimen	cm <sup>2</sup>	31.67	31.67	31.67

1) Determinación del coeficiente de permeabilidad:

$$k_1 = \frac{Q_1 \times L}{\Delta h_1 \times A \times t} = \frac{305 \times 13.2}{60 \times 31.67 \times 25} = 8.5 \times 10^{-2} \text{ cm/seg}$$

$$k_2 = \frac{Q_2 \times L}{\Delta h_2 \times A \times t} = \frac{375 \times 13.2}{70 \times 31.67 \times 25} = 8.9 \times 10^{-2} \text{ cm/seg}$$

$$k_3 = \frac{Q_3 \times L}{\Delta h_3 \times A \times t} = \frac{395 \times 13.2}{80 \times 31.67 \times 25} = 8.2 \times 10^{-2} \text{ cm/seg}$$

2) Determinación del coeficiente de permeabilidad promedio:

$$k = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} = \frac{8.5 \times 10^{-2} + 8.9 \times 10^{-2} + 8.2 \times 10^{-2}}{3}$$

$$k = 8.5 \times 10^{-2} \text{ cm/seg}$$

### Ejercicio N° 6

En una muestra representativa de suelo, se ha realizado un ensayo de permeabilidad con un permeámetro de carga variable, del cual se obtuvieron los siguientes datos mostrados en la siguiente tabla. Calcule el coeficiente de permeabilidad

Nro. Ensayo	1	2	3
Diámetro del espécimen [cm]	6,35	6,35	6,35
Longitud del espécimen [cm]	13,2	13,2	13,2
Temperatura del agua [°C]	25	25	25
Diferencia de carga inicial [cm]	85	76	65
Diferencia de carga final [cm]	24	20	20
Duración del ensayo [s]	15,4	15,3	14,4
Área del espécimen [cm <sup>2</sup> ]	31,67	31,67	31,67
Volumen de agua que atraviesa el espécimen [cm <sup>3</sup> ]	64	58	47

1) Determinación del área del tubo de carga:

$$Q = a \times (h_1 - h_2)$$

$$a = \frac{Q}{(h_1 - h_2)}$$

2) Determinación del coeficiente k:

$$k = \frac{a \times L \times \ln(h_1/h_2)}{A \times (t_2 - t_1)}$$

Donde reemplazando la expresión de **(a)** tenemos:

$$k = \frac{Q \times L \times \ln(h_1/h_2)}{(h_1 - h_2) \times A \times (t_2 - t_1)}$$

Tomando los datos de la tabla de ensayos y considerando que la duración del ensayo es

$(t_1 - t_2)$ :

$$k_1 = \frac{64 \times 13.2 \times \ln(85/24)}{(85 - 24) \times 31.67 \times (15.4)} = 3.59 \times 10^{-2} \text{ cm/seg}$$

$$k_2 = \frac{58 \times 13.2 \times \ln(76/20)}{(76 - 20) \times 31.67 \times (15.3)} = 3.77 \times 10^{-2} \text{ cm/seg}$$

$$k_3 = \frac{47 \times 13.2 \times \ln(65/20)}{(65 - 20) \times 31.67 \times (15.3)} = 3.56 \times 10^{-2} \text{ cm/seg}$$

La media aritmética será:

$$k = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} = \frac{3.59 \times 10^{-2} + 3.77 \times 10^{-2} + 3.56 \times 10^{-2}}{3}$$

$$k = 3.64 \times 10^{-2} \text{ cm/seg}$$

### Permeámetro de carga variable

En este tipo de permeámetro (Fig. IX-7) se mide la cantidad de agua que atraviesa una muestra de suelo, por diferencia de niveles en un tubo alimentador. En la Fig. IX-7 aparecen dos dispositivos típicos, el (a) usado en suelos predominantemente finos y el (b) apropiado para materiales más gruesos.

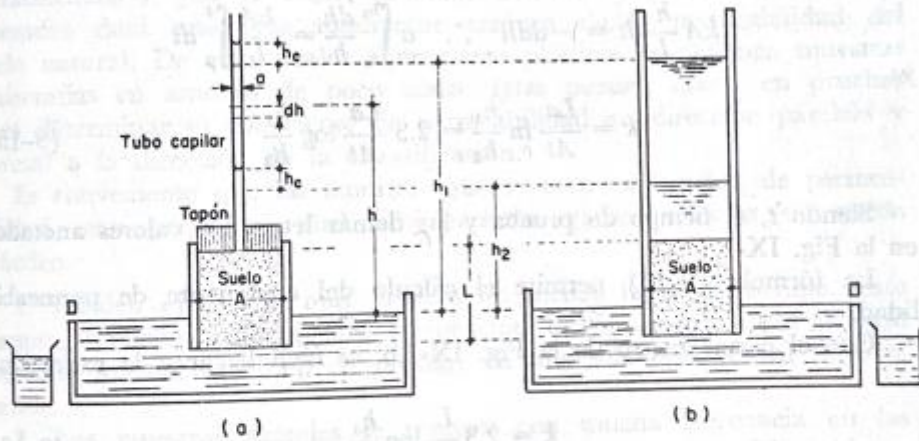


Figura IX-7. Esquemas del permeámetro de carga variable.

- a) Para suelos finos.
- b) Para suelos gruesos.

(Ver Anexo IX-a para un dispositivo más completo).

Al ejecutar la prueba se llena de agua el tubo vertical del permeámetro, observándose su descenso a medida que el agua atraviesa la muestra.

Con referencia a la Fig. IX-7.a, sea:

$a$  = Área del tubo vertical de carga.

$A$  = Área de la muestra.

$L$  = Longitud de la muestra.

- $h_1$  = Carga hidráulica al principio de la prueba.  
 $h_2$  = Carga hidráulica al final de la prueba.  
 $h_c$  = Altura de ascensión capilar, que debe deducirse de la lectura total del tubo de carga.  
 $t$  = Tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de  $h_1$  a  $h_2$ .

Considerando un tiempo  $dt$ , la cantidad de agua ( $\text{cm}^3$ ) que atraviesa la muestra será, según la ley de Darcy:

$$dV = kAidt = kA \frac{h}{L} dt \quad (9-13)$$

Al mismo tiempo, en el tubo vertical, el agua habrá tenido un descenso  $dh$  y el volumen del agua que atravesó la muestra en el tiempo  $dt$  podrá expresarse:

$$dV = -adh \quad (9-14)$$

Las cantidades (9-13) y (9-14) pueden igualarse, pues ambas se refieren a lo mismo:

$$kA \frac{h}{L} dt = -adh \quad \therefore \quad a \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h} = \frac{kA}{L} \int_0^t dt$$

y:

$$k = \frac{La}{At} \ln \frac{h_1}{h_2} = 2.3 \frac{La}{At} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (9-15)$$

Siendo  $t$ , el tiempo de prueba y las demás letras los valores anotados en la Fig. IX-7.

La fórmula (9-15) permite el cálculo del coeficiente de permeabilidad.

Con el permeámetro de la Fig. IX-7.b, es fácil llegar a la expresión:

$$k = 2.3 \frac{L}{t} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (9-16)$$

Cuando la caída de carga hidráulica sea pequeña en comparación con la carga media usada en la prueba, podrá usarse para el permeámetro de carga variable la fórmula (9-12), con la carga

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

considerando que tal carga obró durante todo el tiempo,  $t$ , de prueba.

El procedimiento de la prueba se menciona en el Anexo IX-c de este capítulo, pero algunos hechos de interés general se mencionan a continuación.

### Ejercicio N° 7

Para una muestra representativa de suelo, se ha realizado un ensayo con el permeámetro de carga constante que muestra la figura. Las dimensiones del permeámetro son:

$$L = 350 \text{ mm}$$

$$A = 125 \text{ cm}^2$$

$$\Delta h = 420 \text{ mm}$$

Además se sabe que el valor de la relación de vacíos es de 0,61 y el agua que recolecta el permeámetro en 3 minutos es de  $580 \text{ cm}^3$ . Determine: a) el coeficiente de permeabilidad de la arena en  $\text{cm}/\text{seg}$ , b) el caudal y la velocidad de descarga en  $\text{cm}/\text{seg}$ , c) la pérdida de carga necesaria para tener un caudal de  $5 \text{ cm}^3/\text{seg}$ .

1) Determinación del coeficiente k:

$$k = \frac{Q \times L}{\Delta h \times A \times t}$$

$$k = \frac{580 \times 35}{42 \times 125 \times 180} = 2,14 \times 10^{-2} \text{ cm}/\text{seg}$$

2) Determinación del gradiente hidráulico:

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

$$i = \frac{42}{35} = 1,2$$

3) Determinación del caudal de descarga:

$$q = k \times i \times A$$

$$q = 2,14 \times 10^{-2} \times 1,2 \times 125 = 3,21 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

4) Determinación de la velocidad de descarga:

$$v = k \times i$$

$$v = 2,14 \times 10^{-2} \times 1,2 = 2,56 \times 10^{-2} \text{ cm}/\text{seg}$$

5) Determinación de la porosidad:

$$n = \frac{e}{1 + e} = \frac{0,63}{1 + 0,63} = 0,38$$

6) Determinación de la velocidad de flujo:

$$v_s = \frac{v}{n} = 6,73 \times 10^{-2} \text{ cm}/\text{seg}$$

7) Pérdida de carga necesaria para un caudal de  $120 \text{ cm}^3/\text{seg}$ :

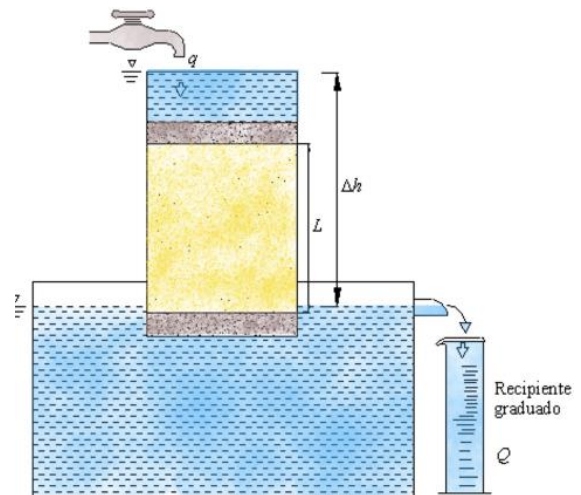
El caudal de descarga:

$$q = \frac{Q}{t}$$

Por condición del ejercicio  $q = 5 \text{ cm}^3/\text{seg}$

El coeficiente de permeabilidad para un ensayo de carga constante:

$$k = \frac{Q \times L}{\Delta h \times A \times t}$$



Donde  $Q/t = 5 \text{ cm}^3/\text{seg}$

$$2.14 \times 10^{-2} = \frac{35}{\Delta h \times A} \times 5$$

$$\Delta h = \frac{35}{A \times 2.14 \times 10^{-2}} \times 5 = \frac{35}{125 \times 2.14 \times 10^{-2}} \times 5 = 65,42 \text{ cm}$$

**Nota:** la velocidad de descarga es distinta a la velocidad de flujo. El flujo de agua que circula por el suelo tiene una velocidad de flujo y el flujo de agua que circula fuera del suelo tiene una velocidad de descarga. El caudal en cambio resulta ser el mismo en cualquier punto del sistema.

### Ejercicio N° 8

En un ensayo de laboratorio con el permeámetro de carga variable mostrado en la figura cuando la carga era  $h_1 = 65 \text{ cm}$ , se accionó un cronómetro. A los  $30 \text{ seg}$ , la carga era de  $h_2 = 35 \text{ cm}$ . Si  $L = 20 \text{ cm}$ ;  $A = 77 \text{ cm}^2$  y  $a = 1,2 \text{ cm}^2$ . Determine:

- El coeficiente de permeabilidad de suelo.
- En cuánto tiempo la carga hidráulica caería de  $65 \text{ cm}$  a  $50 \text{ cm}$ .

1) Determinación del coeficiente de permeabilidad:

$$k = \frac{a \times L \times \ln(h_1/h_2)}{A \times (t_2 - t_1)}$$

$$k = \frac{1,2 \times 20 \times \ln(65/35)}{77 \times 30} = 6,43 \times 10^{-3} \text{ cm/seg}$$

2) Aproximación del coeficiente de permeabilidad:

a) Gradiente hidráulico

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{50}{20} = 2,5$$

b) Caudal que circula en el sistema (cantidad de agua que se encuentra en el tubo de área "a"):

$$Q = (h_1 - h_2) \times a$$

$$Q = (65 - 35) \times 1,20 = 36 \text{ cm}^3$$

$$q = \frac{Q}{t} = \frac{36}{30} = 1,20 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

c) Determinación de  $k$  (según Darcy):

$$q = k \times i \times A$$

$$1,2 = k \times 2,5 \times 77$$

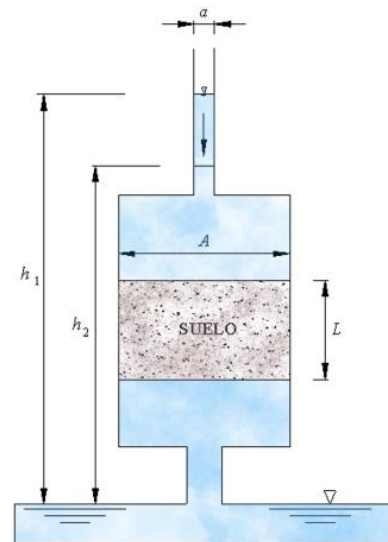
$$k = 6,23 \times 10^{-3} \text{ cm/seg}$$

3) Aproximación del tipo de suelo:

Según la tabla, para un coeficiente de permeabilidad  $k = 6,23 \times 10^{-3} \text{ cm/seg}$  corresponde un suelo de tipo: **ARENA LIMOSA**.

4) Tiempo que tarda la carga en descender de  $65 \text{ cm}$  a  $50 \text{ cm}$ .

$$k = \frac{a \times L \times \ln(h_1/h_2)}{A \times (t_2 - t_1)}$$



$$(t_2 - t_1) = \frac{a \times L \times \ln(h_1/h_2)}{k \times A}$$

$$(t_2 - t_1) = \frac{1.2 \times 20 \times \ln(65/50)}{6.23 \times 10^{-3} \times 77} = 12.71 \text{ seg}$$

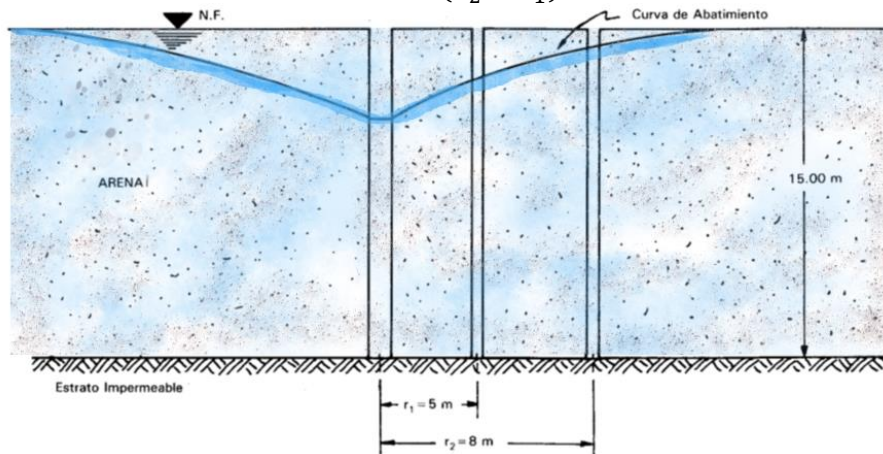
### Ejercicio N° 9

(Del Libro "Problemas resueltos de mecánica de suelos y cimentaciones" – Crespo Villalaz)

Se hizo un bombeo de prueba en una arena que tenía una profundidad de 15.00 m y descansaba sobre un estrato impermeable encontrado a esa profundidad. El nivel de agua freática o nivel acuífero inicialmente se encontraba al ras del terreno natural o sea en la superficie. A una distancia de 5 m y 8 m del pozo de prueba se hicieron dos pozos de observación, como se muestra en la figura. Un estado permanente se estableció en los pozos cuando la descarga era de 13 litros por minuto. El abatimiento del nivel del agua en los dos pozos de prueba era de 1.52 m en el más cercano al pozo de bombeo y de 0.335 m en el otro. Calcular el coeficiente de permeabilidad en la arena.

La ecuación que gobierna el fenómeno es:

$$k = \frac{q \times \ln(r_2/r_1)}{\pi \times (h_2^2 - h_1^2)}$$



$k$  = coeficiente de permeabilidad

$q$  = cantidad de flujo de agua

$h_1$  = altura del nivel freático medida desde el fondo del pozo a distancia  $r_1$

$h_2$  = altura del nivel freático medida desde el fondo del pozo a distancia  $r_2$

$$q = 13 \text{ litros/ minutos} = 0.013 \text{ m}^3/\text{minutos}$$

$$r_1 = 5 \text{ m}$$

$$r_2 = 8 \text{ m}$$

$$h_1 = 15 - 1.52 = 13.48 \text{ m}$$

$$h_2 = 15 - 0.335 = 14.665 \text{ m}$$

$$k = \frac{0.013 \times \ln(1.6)}{3.1416 \times (215.06 - 181.71)} = 0,000583 \text{ m}/\text{min}$$

## Ejercicio N° 10

(Ensayo **Lefranc** con nivel constante)

### Determinación de "k" en campo.

Pruebas de bombeo con pozos de observación (estado estacionario).

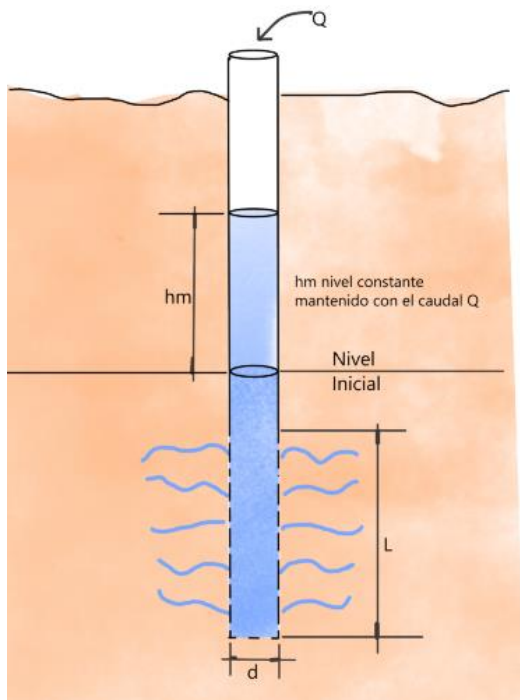
Las pruebas de bombeo implican la medición de la cantidad de agua bombeada de un pozo, y observaciones de nivel en otros pozos. Se alcanza un estado estacionario cuando, a flujo constante de bombeo, permanecen constantes también los niveles en los pozos de observación.

$$k = \frac{Q}{C \times h_m} = m/\text{día}$$

$$C = \frac{2\pi \times L}{\ln(2L/d)}$$

Donde C, es el coeficiente de forma de la cavidad.

En un sondeo de 9 cm de diámetro y una longitud de zona filtrante de 70 cm se mantiene constante el nivel a una altura de 3.85 m sobre el nivel estático inicial mediante la inyección de un caudal constante de 8 litros/minuto. Evaluar la permeabilidad.



Como la relación  $L/d > 4$ , para cálculo manual podemos utilizar la expresión simplificada de C:

$$C = \frac{2\pi \times L}{\ln(2L/d)} = \frac{2 \times \pi \times 0.7}{\ln(2 \times 0.7/0.09)} = 1.603$$

$$k = \frac{Q}{C \times h_m} = \frac{8 \times 1.44}{1.603 \times 3.85} = 1.87 \text{ m/día}$$

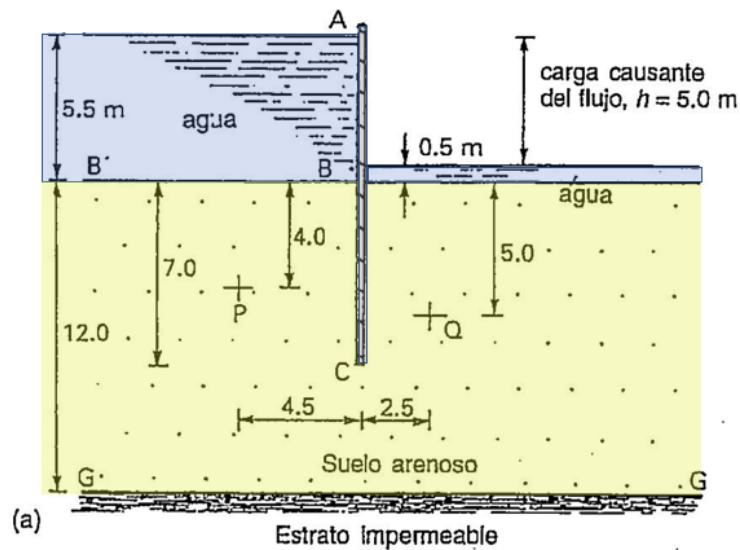
Nota: el 1.44 del numerador es para convertir litros/minutos en  $m^3/día$ , de manera tal de obtener K en  $m/día$ .

### Ejercicio N° 11

En la figura se muestra un sistema de flujo en dos dimensiones compuesto de una tablestaca en un perfil de suelo con un coeficiente de permeabilidad de  $7,20 \times 10^{-6} m/seg$ ;

- Dibuje la red de flujo del sistema;
- Determine el caudal que circula por el sistema;
- La presión de poros en los puntos P y Q;

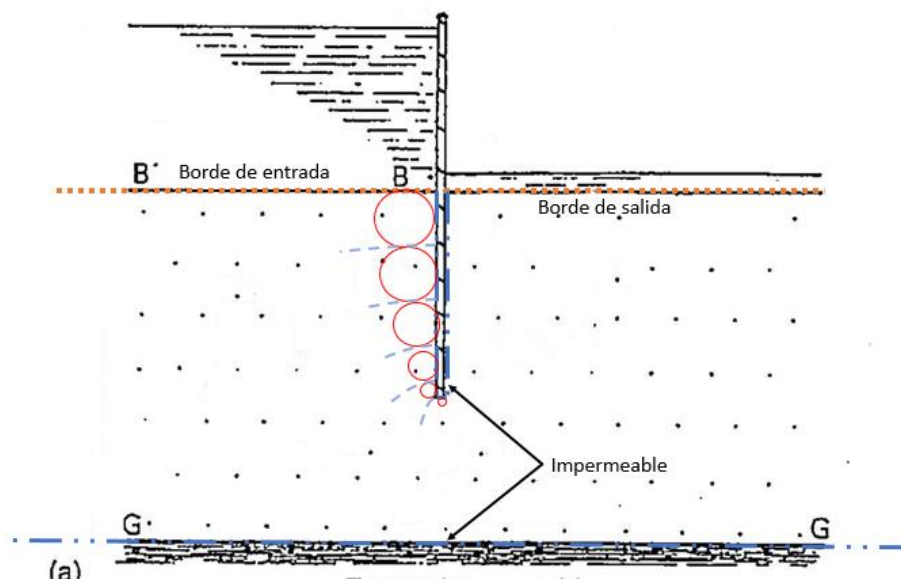
(Ejercicio tomado del libro – Fundamentos de Mecánica de Suelos (Roy Whitlow))



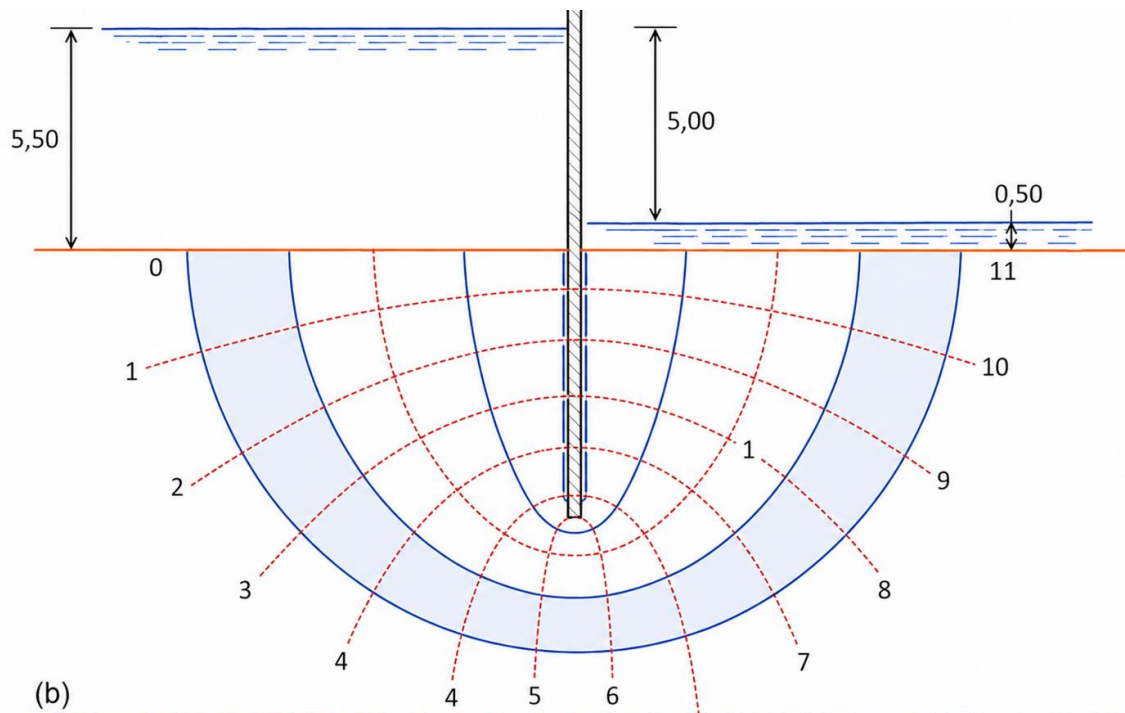
Red de Flujo del Sistema:

PASO 1: Identificación de las condiciones de borde del sistema.

Se dibuja a escala adecuada el sistema y se identifican las condiciones de borde del mismo.



PASO 2: Ubicación de las líneas de flujo y las líneas equipotenciales.



Determinación del caudal que circula por el sistema:

$$Q = k \cdot H \frac{n_f}{n_d}$$

$$k = 7,2 \times 10^{-6} \text{ m/seg}$$

$$H = 5,00 \text{ m}$$

$$n_f = 4,30$$

$$n_d = 11,00$$

$$Q = 14,07 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo de la Presión Neutra en P

*Carga total*

$$h_i = h_{pi} + z_i =$$

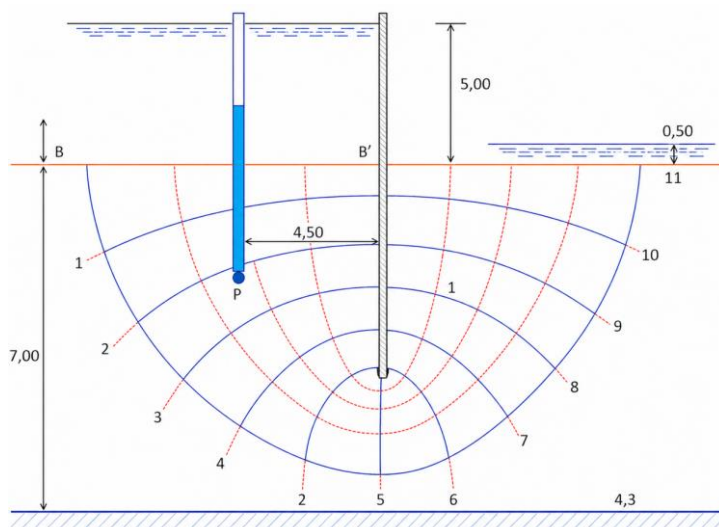
$$h_{B-B'} = 5,50 + 12,00 = 17,50 \text{ m}$$

$$\Delta h = \frac{H}{n_d} = \frac{5,00}{11,00} = 0,455$$

$$h_{totalP} = 17,50 - 1,75 \times 0,455 = 16,70 \text{ m}$$

$$h_p = 16,70 - 8,00 = 8,70 \text{ m}$$

$$\mu_{\omega P} = \gamma_{\omega} \times h_p = 10,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 8,70 \text{ m} = 87,00 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$



Para el punto Q

*Carga total*

$$h_i = h_{pi} + z_i =$$

$$h_{B-B'} = 5,50 + 12,00 = 17,50m$$

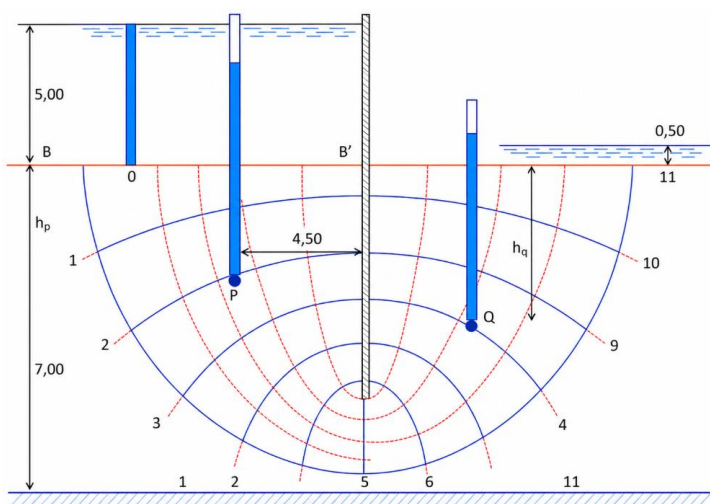
$$\Delta h = \frac{H}{n_d} = \frac{5,00}{11,00} = 0,455$$

$$h_{totalQ} = 17,50 - 8,40 * 0,455 = 13,68m$$

$$h_{p_q} = 13,68 - 7,00 = 6,68m$$

$$\mu_{\omega Q} = \gamma_{\omega} \times h_{p_q} =$$

$$\mu_{\omega Q} = 10,00 \frac{KN}{m^3} \times 6,60m = 66,00 \frac{KN}{m^2}$$



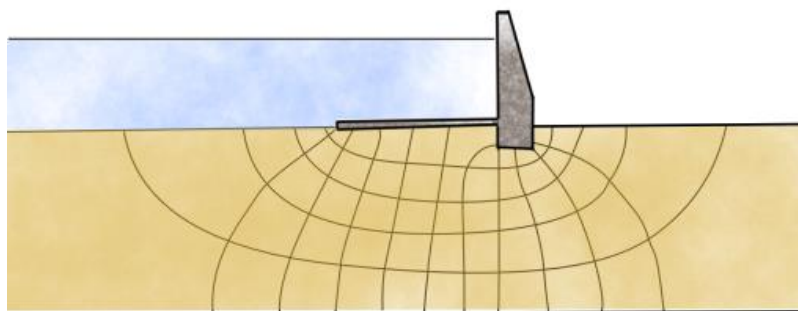
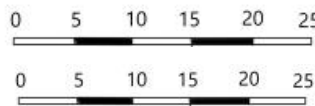
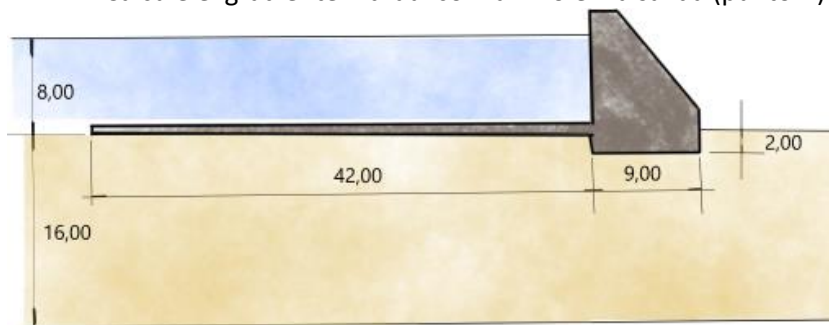
### Ejercicio N° 12

La Figura muestra un sistema de contención de agua, formado por una presa de hormigón y una losa del mismo material ubicado la superficie de aguas arribas.

El sistema se funda en una arena anisotropica con un coeficiente de permeabilidad  $k_x = 5,14 \times 10^{-5} m/s$  y  $k_z = 6,00 \times 10^{-6} m/s$

Se solicita:

- Dibujar la red de flujo del sistema;
- Determine el caudal que circula por el sistema;
- Calcule el gradiente hidráulico máximo en la salida (punto A)



Para poder realizar el trazado de la red de flujo y calcular el caudal, es necesario transformar las coordenadas horizontales

$$\text{con } x' = \sqrt{\frac{K_z}{K_x}} \cdot x$$

Para este caso se obtiene  $x' =$

$$\sqrt{\frac{6 \times 10^{-6}}{5,4 \times 10^{-5}}} \cdot x \rightarrow x' = \frac{1}{3} \cdot x$$

Se realiza el dibujo con la escala

vertical normal y la escala horizontal transformada  $x' = \frac{1}{3} \cdot x$  es decir que todas las dimensiones verticales permanecerán iguales y las horizontales se han de reducir en 1/3 de las medidas originales, obteniéndose el gráfico, sobre el que se traza la red de flujo.

Determinación del caudal que circula por el sistema:

$$Q = \sqrt{k_x \cdot k_z} \cdot H \cdot \frac{n_f}{n_d}$$

$$k_x = 5,14 \times 10^{-5} m/s$$

$$k_z = 6,00 \times 10^{-6} m/s$$

$$H = 8,00 m$$

$$n_f = 5,00$$

$$n_d = 11,00$$

$$Q = \sqrt{k_x \cdot k_z} \cdot H \cdot \frac{n_f}{n_d} = \sqrt{5,14 \times 10^{-5} \cdot 6,00 \times 10^{-6}} \cdot 8,00 \cdot \frac{5}{11} = 6,55 \times 10^{-5} m^3/s$$

## Cálculo de la subpresión

Para el punto 1*Carga total*

$$h_i = h_{pi} + z_i =$$

$$h_{B-B'} = 8,00 + 16,00 = 24,00m$$

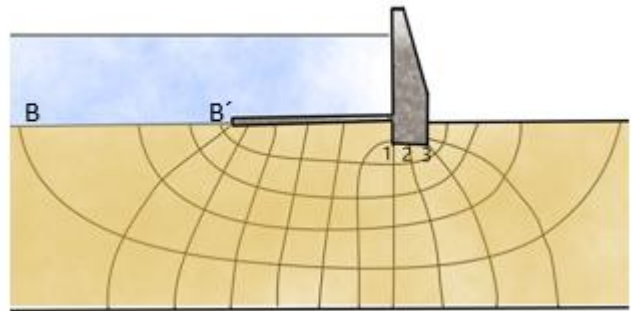
$$\Delta h = \frac{H}{n_d} = \frac{8,00}{11,00} = 0,727$$

$$htotal1 = 24,00 - 7,00 \cdot 0,727 = 18,91m$$

$$hp_1 = 18,91 - 14,00 = 4,91m$$

$$\mu_{\omega 1} = \gamma_{\omega} \times hp_1 =$$

$$\mu_{\omega 1} = 10,00 \frac{KN}{m^3} \times 4,91m = 49,10 \frac{KN}{m^2}$$

Para el punto 2*Carga total*

$$h_i = h_{pi} + z_i =$$

$$h_{B-B'} = 8,00 + 16,00 = 24,00m$$

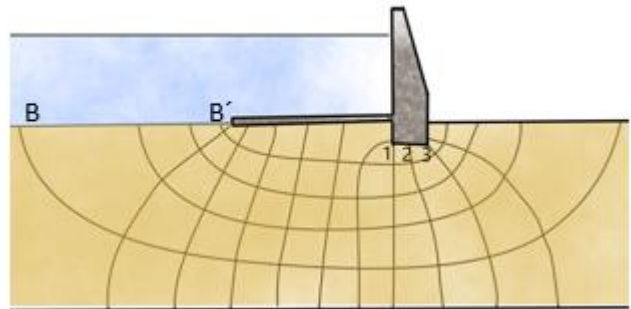
$$\Delta h = \frac{H}{n_d} = \frac{8,00}{11,00} = 0,727$$

$$htotal2 = 24,00 - 8,00 \cdot 0,727 = 18,18m$$

$$hp_2 = 18,18 - 14,00 = 4,18m$$

$$\mu_{\omega 2} = \gamma_{\omega} \times hp_2 =$$

$$\mu_{\omega 2} = 10,00 \frac{KN}{m^3} \times 4,18m = 41,8 \frac{KN}{m^2}$$

Para el punto 3*Carga total*

$$h_i = h_{pi} + z_i =$$

$$h_{B-B'} = 8,00 + 16,00 = 24,00m$$

$$\Delta h = \frac{H}{n_d} = \frac{8,00}{11,00} = 0,727$$

$$htotal3 = 24,00 - 9,00 \cdot 0,727 = 17,46m$$

$$hp_3 = 17,46 - 14,00 = 3,46m$$

$$\mu_{\omega 3} = \gamma_{\omega} \times hp_3 =$$

$$\mu_{\omega 3} = 10,00 \frac{KN}{m^3} \times 3,46m = 34,57 \frac{KN}{m^2}$$

