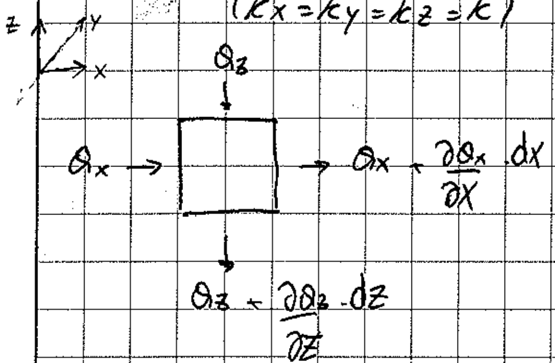
Golder Associates

Prof: Ricardo Moffat
Aux: Viviana González

Auxiliar N° 8: Geotecnia – Primavera 2011

Flujo Bidimensional → Red de flujo.

- → Regimen permanente (zona saturada estable)
- → flujo en 2 direcciones
- → fluido y suelo incompresible ⟺ continuidad del caudal (Ec. de continuidad)
- → Suelo homogeneo e isótropo
  ($k_x = k_y = k_z = k$)



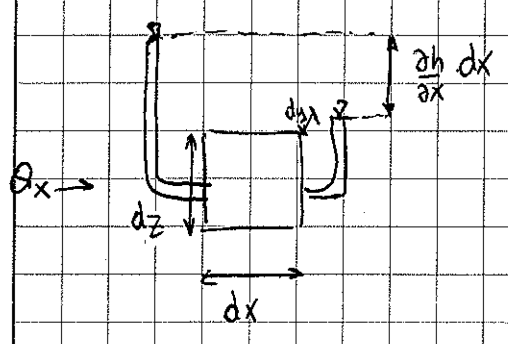
Por continuidad:

$$Q_{ENTRA} = Q_{SALE}$$

$$Q_x + Q_z = Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} \cdot dx + Q_z + \frac{\partial Q_z}{\partial z} \cdot dz$$

$$\Rightarrow \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx + \frac{\partial Q_z}{\partial z} \cdot dz = 0 \quad (*)$$

Por otro lado:



$$Q_x = v_x \cdot A = k_x \cdot i_x \cdot A = k_x \frac{\frac{\partial h}{\partial x} \cdot dx}{dx} \cdot dz\, dy$$

$$\Rightarrow Q_x = k_x \frac{\partial h}{\partial x} \cdot dy\, dz$$

$$\Rightarrow \frac{\partial Q_x}{\partial x} = k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} dy\, dz$$

reemplazamos en (*)

$$\left(k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) dx\, dy \cdot dz = 0 \qquad (\text{Suelo isótropo } k_x = k_y = k_z = k)$$

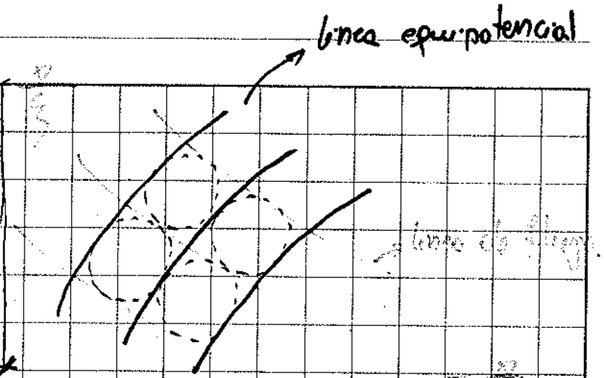
$$\Rightarrow \boxed{\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \nabla^2 h = 0} \qquad \text{Ec. laplace}$$

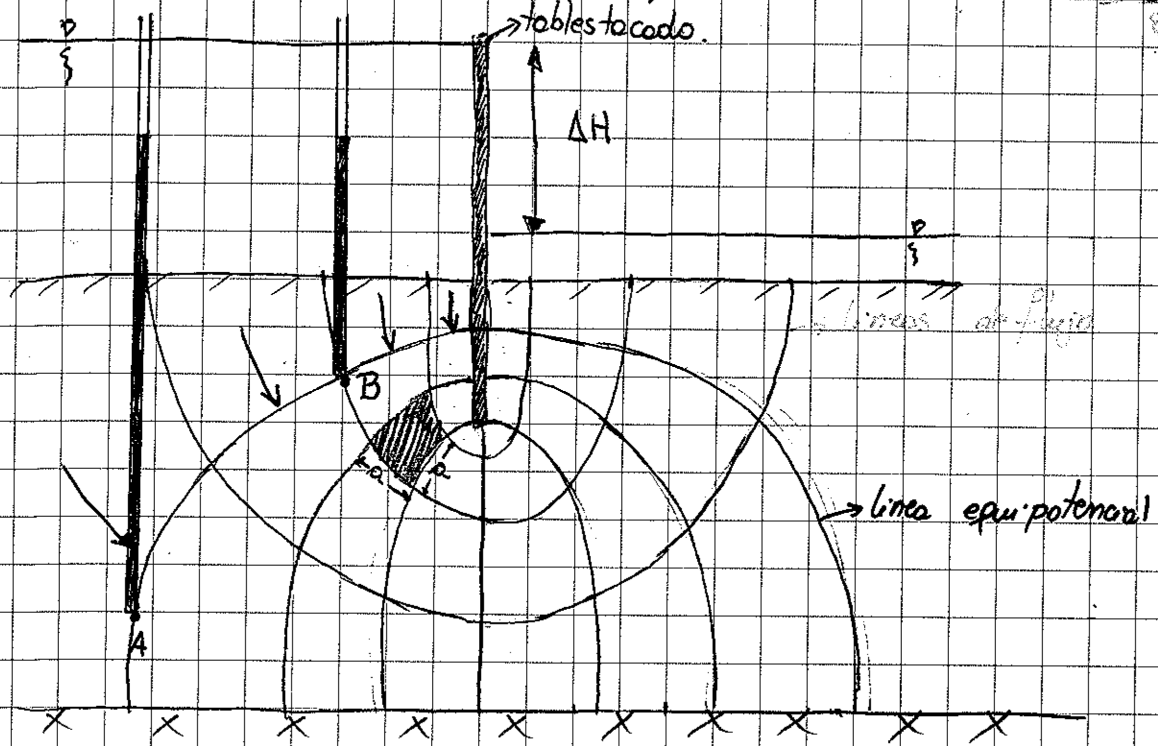
Golder Associates

Sol. de ec. de laplace:

→ líneas de flujo $\Psi(X,Z)$ ΔH

→ líneas equipotenciales $\phi(X,Z)$





$h_{T_A} = h_{TB}$ En una equipotencial, se tiene igual carga total ($h_T = h_e + h_p$)

Sea N_f: N° de canales de flujo
$= n°$ de líneas de flujo -1

N_e: N° de caídas de potencial
$= n°$ de líneas equipotenciales -1

Golder Associates

Se considera el elemento "cuadrado" de lado a.

- $\Delta h = \dfrac{\Delta H}{Ne}$: Caída de potencial entre 2 líneas equipotenciales.

- Caudal a través de un canal de flujo:

$$q = V \cdot A = v \cdot a \cdot 1 \quad \text{(unitario en profundidad)}$$
$$= k \cdot i \cdot a$$
$$= k \cdot \frac{\Delta h}{\cancel{a}} \cancel{a}$$
$$\boxed{q = k \cdot \frac{\Delta H}{Ne}}$$

N_f: N° de canales de flujo.

El caudal total corresponde a: $\boxed{Q = k \cdot \Delta H \dfrac{N_f}{Ne}}$

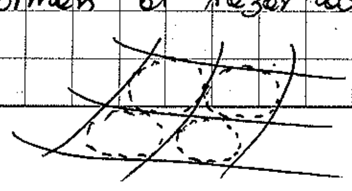
Es importante calcular:
→ Caudal
→ Presión de poro.

Construcción de redes de flujo

① Ubicar condiciones de borde.
→ Dibujar líneas de flujo y equipotenciales de contorno.

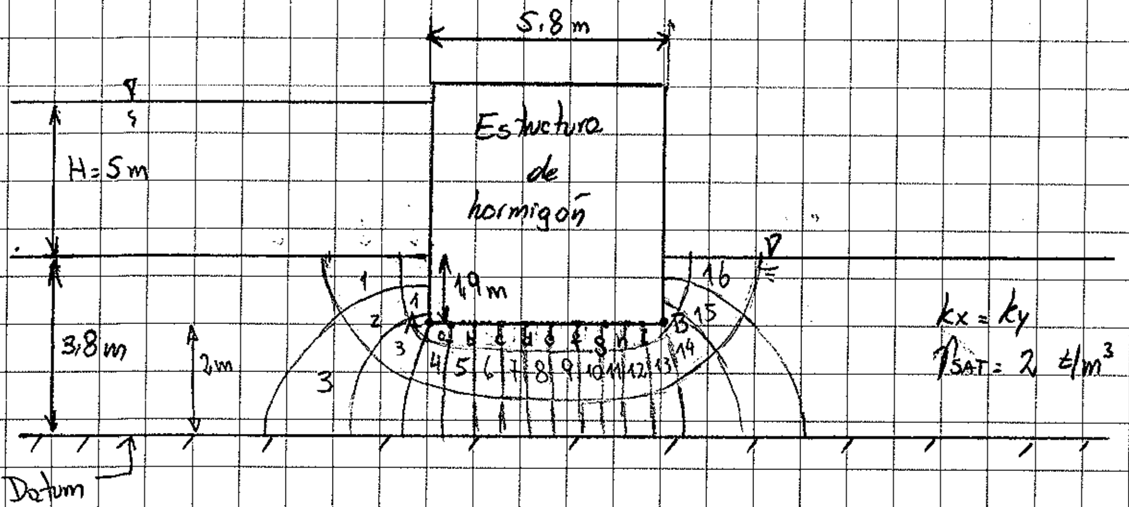
② Definir n° de líneas de flujo (entre 2 o 3)
→ Dibujar estas líneas imaginandose como se desplazaría el agua.

③ Se dibujan las equipotenciales a partir de las líneas de flujo.
→ las equipotenciales son ⊥ a las líneas de flujo.
→ Imaginar círculos circunscritos en los cuadrados que se formen al trazar las equipotenciales.



Golder Associates

P1) En la estructura de hormigón semi-enterrada que se indica, calcular la distribución de presiones de poros a lo largo de la base de esta.



Sol/

$N_f = 3$

$N_e = 16$

$\Delta H = 5\ m$

$H_T = h_e + h_p$

$\Delta h = \dfrac{\Delta H}{N_e} = 0{,}3125$

H_T = Altura − pérdidas

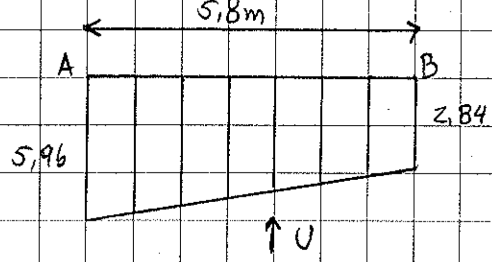
H_T = Altura − $\Delta h \cdot \#$

Distribución de presiones de poro.

Pto	hc(m)	H_T(m)	hp(m)	u (t/m^2)
a	1,9	8,8 − 4 · 0,3125 = 7,55	5,65	5,65
b	1,9	7,2375	5,3375	5,3375
c	1,9	6,925	5,025	5,025
d	1,9	6,6125	4,7125	4,7125
e	1,9	6,3	4,4	4,4
f	1,9	5,9875	4,0875	4,0875
g	1,9	5,675	3,775	3,775
h	1,9	5,3625	3,4625	3,4625
i	1,9	5,05	3,15	3,15
A	1,9	7,8625	5,9625	5,9625
B	1,9	4,7375	2,8375	2,8375

Se calcula por diferencia $H_T - h_c$

Golder Associates



Notar que se podía calcular las presiones directamente como:

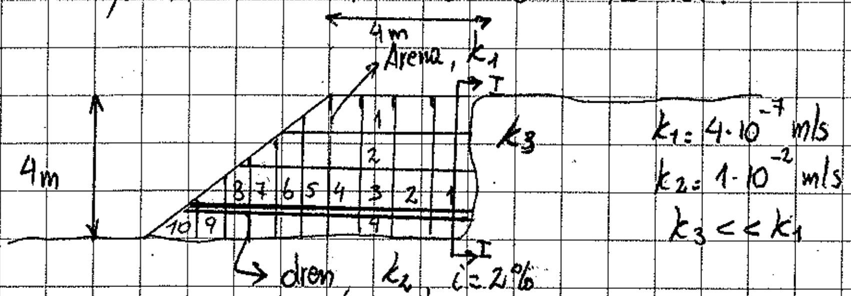
$$u_A = \gamma_w \left(H' - 3 \cdot \frac{\Delta H}{16} \right) = 5 + 1,9 - 3 \cdot \frac{5}{16} = 5,96 \ t/m^2$$

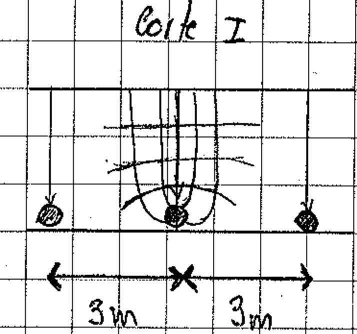
$$u_B = \gamma_w \left(H' - 13 \cdot \frac{\Delta H}{16} \right) = 5 + 1,9 - 13 \cdot \frac{5}{16} = 2,84 \ t/m^2$$

Subpresion total sobre la base de la estructura de hormigón:

$$U = \left(\frac{5,96 + 2,84}{2} \right) \cdot 5,8 = 25,52 \ t/ml$$

P2) En la figura se muestra un talud homogéneo, en el cual se colocarán drenes en su base con el objeto de evacuar las aguas que percolan a través de él. Calcular el área de los drenes si se requiere que ante una lluvia no se produzca nivel freático al interior del talud.





Sol)

$N_f = 10$
$N_e = 4$

$$\frac{Q}{L} = k \cdot \Delta H \cdot \frac{N_f}{N_e} = 4 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot \frac{10}{4} = 4 \cdot 10^{-6} \ m^3/s/ml$$

Como la distancia entre los drenes son 3 m ⇒ el ancho colaborante para cada dren es igual a 3 m.

$$\Rightarrow Q = 3m \cdot 4 \cdot 10^{-6} \ m^3/s/ml = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \ m^3/s$$

Cada dren debe ser capaz de evacuar $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ m³/s.

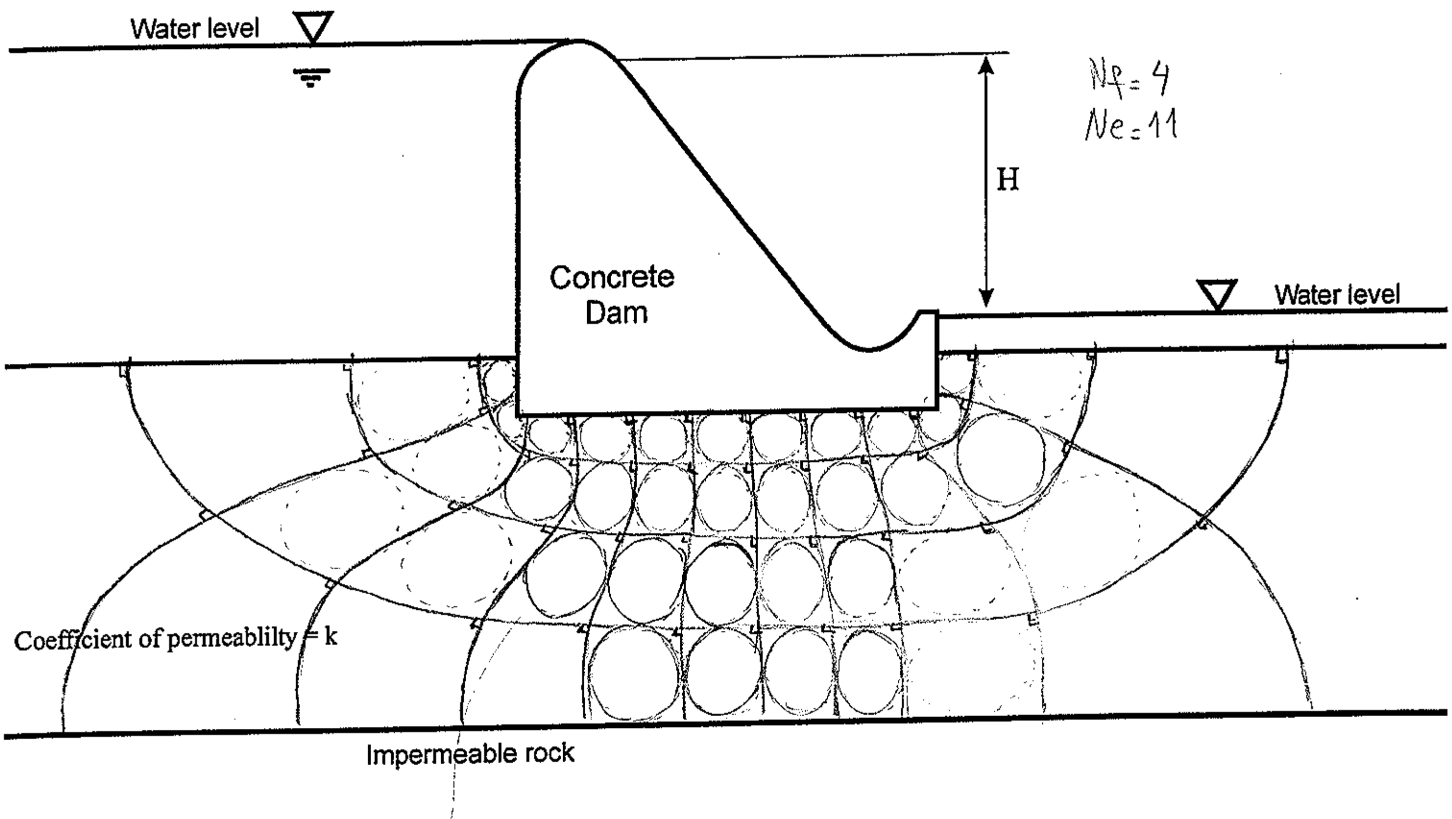
Ahora evaluamos la capacidad del dren.

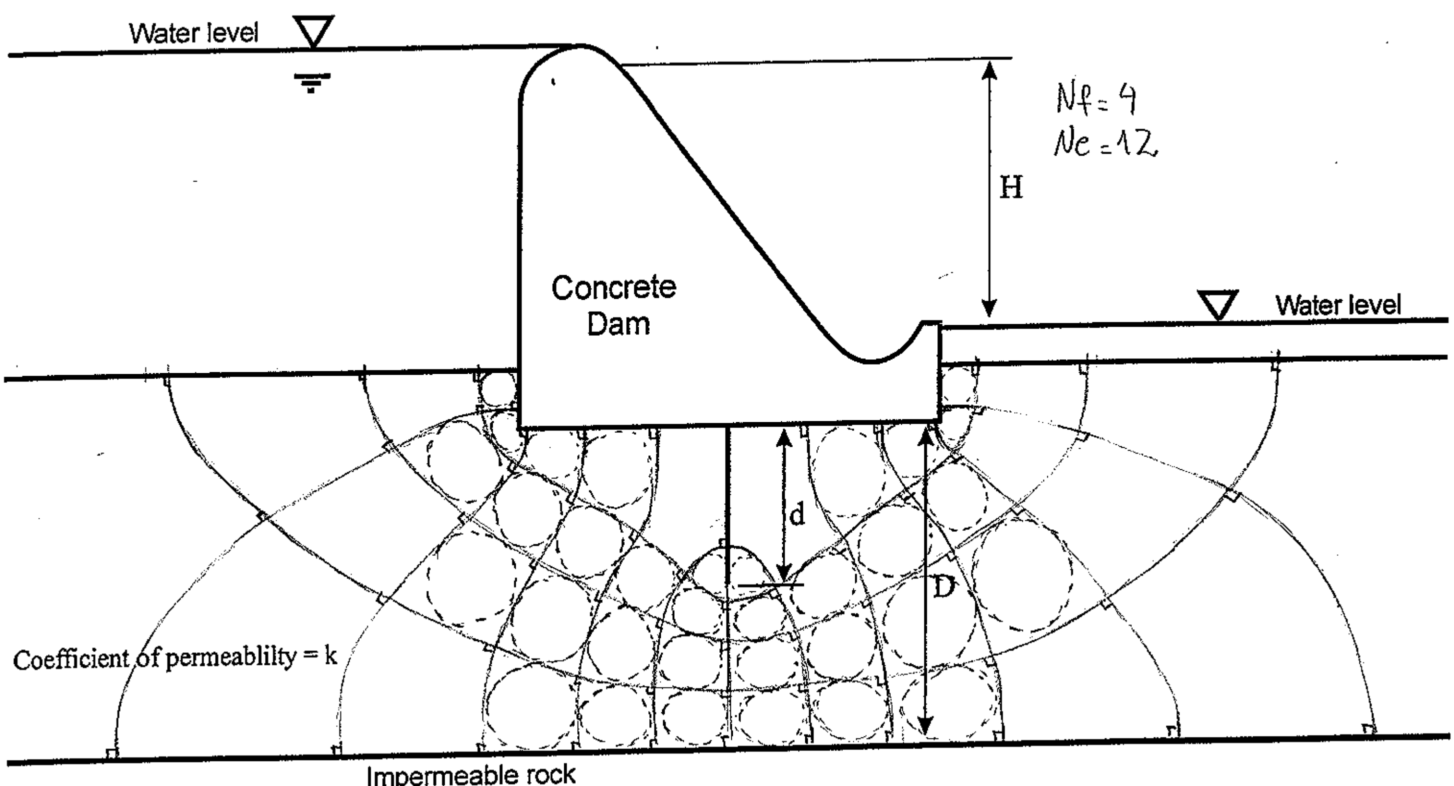
(Por Darcy se tiene) $v = k \cdot i$

$$\Rightarrow v = 1 \cdot 10^{-2} \ m/s \cdot \frac{2}{100} = 2 \cdot 10^{-4} \ m/s$$

Finalmente se calcula el área del dren:

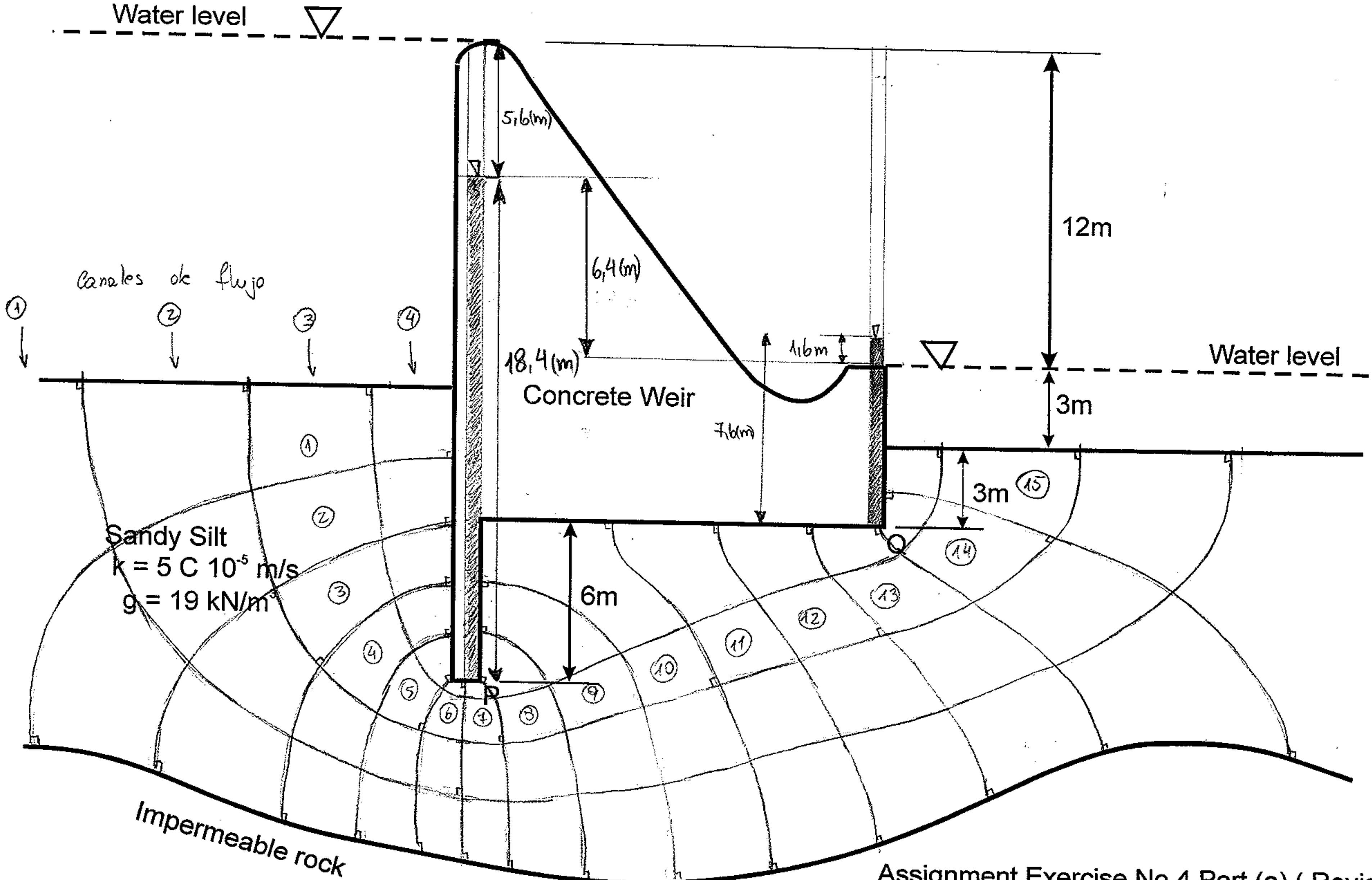
$$A = \frac{Q}{v} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 10^{-4}} = 0{,}06 \ m^2$$


Water level
Concrete Dam
H
Water level
Nf = 4
Ne = 11
Coefficient of permeablilty = k
Impermeable rock


Water level
Concrete Dam
H
Water level
Nf = 4
Ne = 12
d
D
Coefficient of permeablilty = k
Impermeable rock

d/D = 0.50

$N_f = 4$
$N_e = 15$



Assignment Exercise No 4 Part (a) (Revision)
Sketch a flow net and determine the
pore pressure at Points P and Q

Caudal total: $Q = k \cdot \Delta H \cdot \frac{N_f}{N_e} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 12 \cdot \frac{4}{15} = 1{,}6 \cdot 10^{-4} \left(\frac{m^3}{s}\right)$

$N_e = 15$ (Número de caídas de potencial)

$\Rightarrow \quad \Delta h = \frac{\Delta H}{N_e} = \frac{12}{15} = 0{,}8\ (m)$

a) Presión de poro en el punto "P"

→ Hasta el punto P, hay 7 caídas de potencial.

⇒ Pérdida de potencial hasta P es: $7 \cdot \Delta h = 7 \cdot 0{,}8 = 5{,}6\ m$

⇒ Por lo tanto la carga total hasta llegar al punto P es:

$H_P = 24(m) - 5{,}6(m) = \underline{\underline{18{,}4(m)}}$ (Dato d/r al punto P de altura de elevación)

También se puede calcular la energía total en P partiendo desde el nivel de agua inferior (lado derecho de la red de flujo).
En este caso se cuenta las caídas de potencial que se van "ganando" hasta llegar a P.

En este caso se "ganan" $\underline{\underline{8}}$ caídas de potencial hasta llegar a "P".

Por lo tanto la carga hidráulica en P es:

$$H_P = \underbrace{12\ m}_{\text{altura elevación}} + \underbrace{\Delta h \cdot 8}_{\underbrace{0{,}8 \cdot 8}_{6{,}4}} = 12\ m + 6{,}4\ m = \underline{\underline{18{,}4\ (m)}}$$

"energía que gana hasta llegar a "P"."

→ Finalmente la presión de poros en P:

$H_{T_P} = 18{,}4\ (m) \quad \Rightarrow \quad U_P = 18{,}4(m) \cdot \gamma_w = 18{,}4\ (m) \cdot 9{,}8\ \frac{kN}{m^3} = 180{,}32\ (kPa)$

b) Para el punto Q :

→ Caídas de potencial hasta Q = 13 (contando desde la izq.)
→ Caídas de potencial "ganadas" hasta Q = 2 (contando desde la derecha)

Si trabajamos desde la derecha, el punto Q ganó $2 \cdot \Delta h = 2 \cdot 0{,}8 = 1{,}6$ (m) de altura de agua.

⇒ La presión de poros en Q:

$$H_{T_Q} = h_e + h_p = 6m + 7{,}6\,m = 13{,}6\,m \qquad (\text{Datum c/r a } P)$$

$$\Rightarrow \quad u_p = 7{,}6m \cdot 9{,}8 \frac{kN}{m^3} = 74{,}48\ kPa$$ //

▶ Example 18.3

For the dams shown in Fig. E18.3, determine the quantity of seepage, the uplift pressure at point A, and the maximum exit gradient.

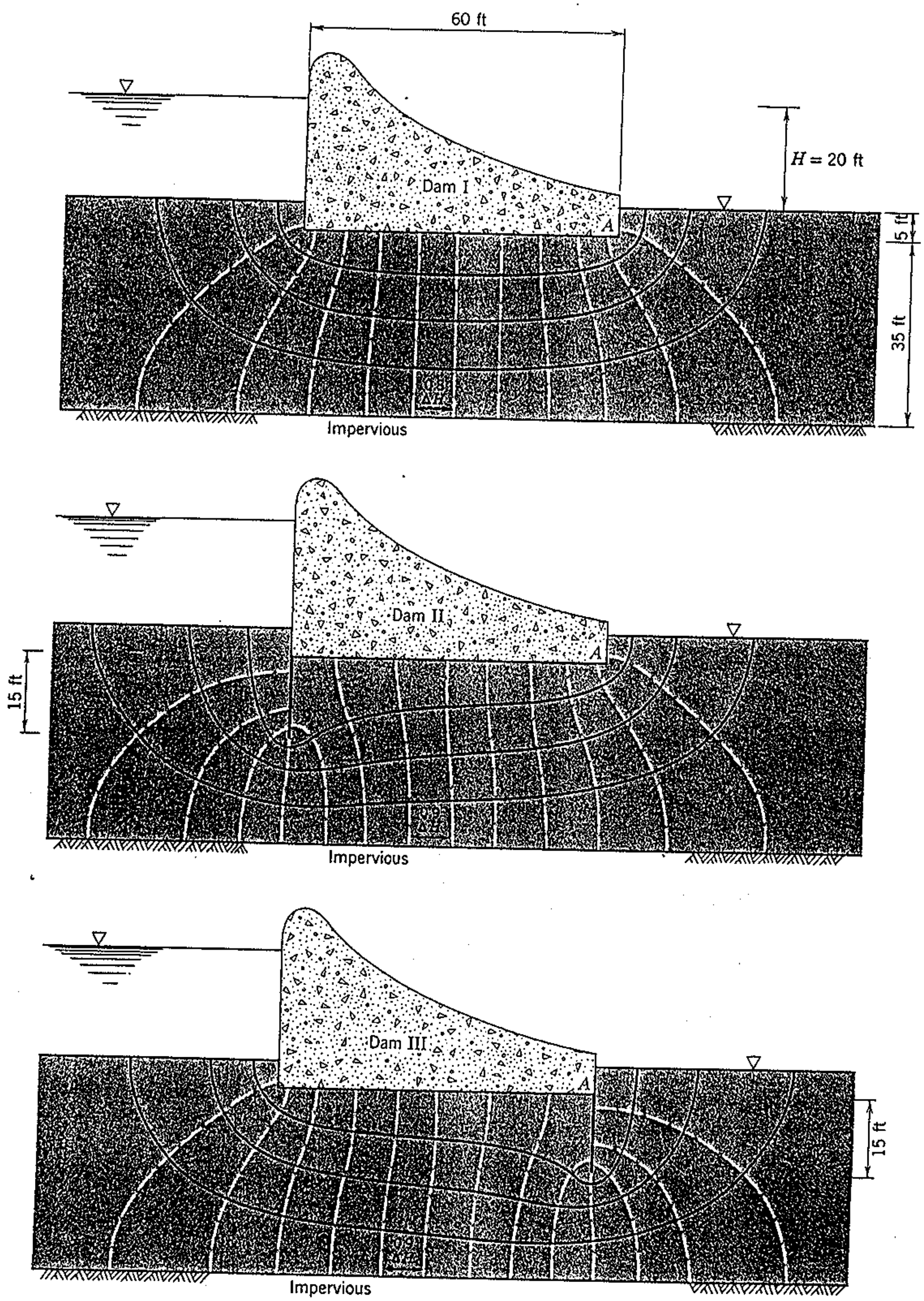


Fig. E18.3 Flow under three dams.

diagram on the sheet pile wall in Example 18.1 and the uplift diagram on the concrete dam in Example 18.2. The computation for water pressure along the curved line can be facilitated by using the fact that the pressure head on each equipotential where it intersects the boundary flow line is zero. In other words, the water pressure at any point on an equipotential is merely the difference in elevation between the point under consideration and the point where the equipotential intersects the top flow line. This characteristic was employed to draw the pressure diagram in Example 18.4. Proper design of internal drains will reduce the pore pressures within the downstream portion of the dam, and hence will help prevent a shear rupture.

▸ Example 18.2

Given: Flow net in Fig. E18.2

Find: Pressure heads at points A to H; quantity of seepage; gradient in X

Solution: The pressure heads are shown in Fig. E18.2.

Seepage:

$$n_f = 4 \qquad n_d = 12.6 \qquad k = 0.1 \text{ ft/min} \qquad \$ = \frac{n_f}{n_d} = 0.317$$

$$\frac{Q}{L} = kH\$ = 0.1 \text{ ft/min} \times 26 \text{ ft} \times 0.317 = 0.825 \text{ (ft}^3\text{/min)/ft}$$

Gradient in X:

$$i_X = \frac{\Delta h}{l} = \frac{2.06}{11} = 0.19$$

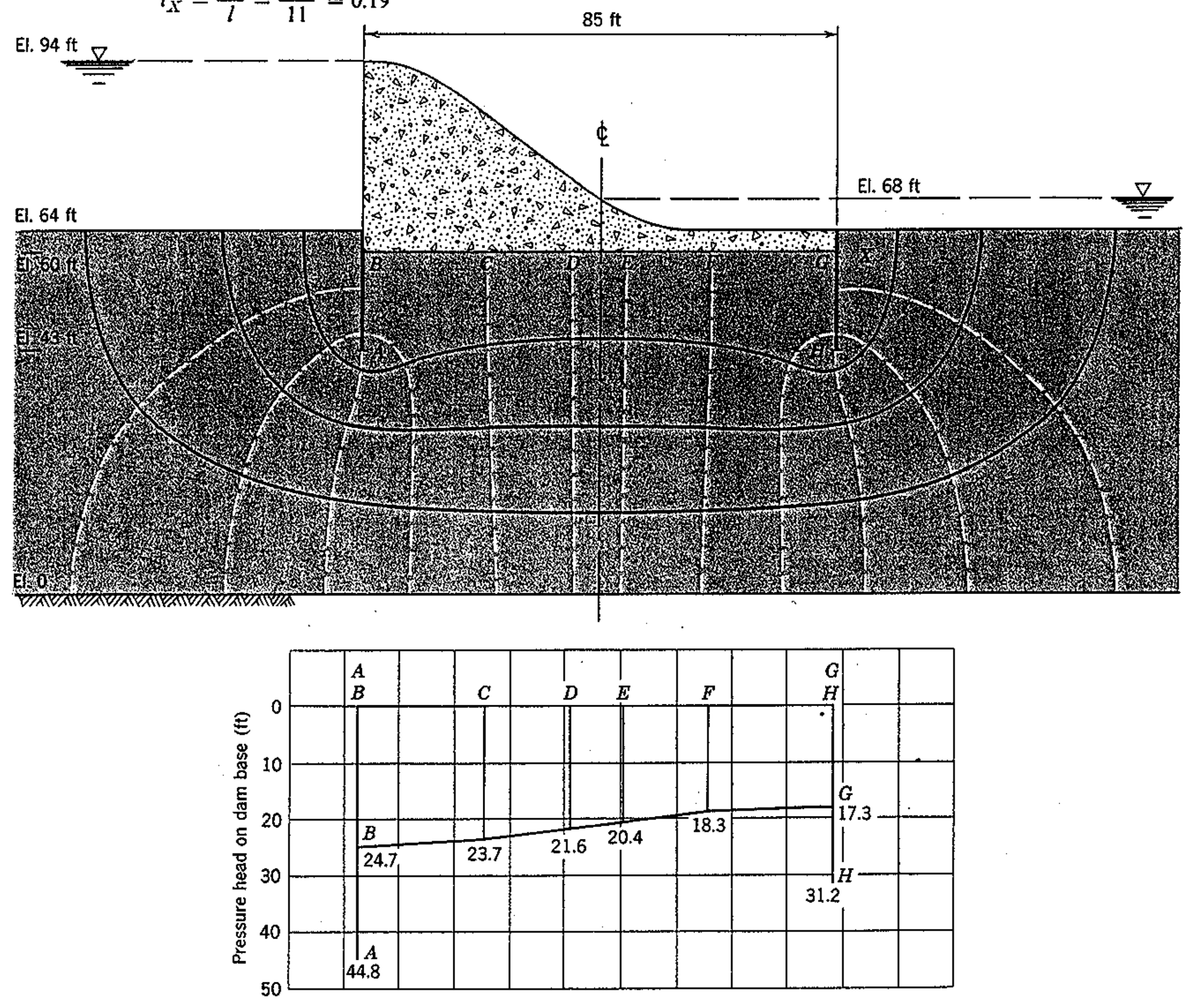


Fig. E18.2 Flow under dam. ◂