



INTERACCION SUELO AGUA

PARTE 2 - FLUJO

Área de Geotecnia.

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA



INTERACCION SUELO AGUA

PARTE 2 - FLUJO

CONTENIDO TEMÁTICO

- Trazado de redes de flujo
- Cálculo de caudales filtrados.
- Conceptos de filtros y drenes naturales.

REFERENCIAS

- Fundamentos de ingeniería geotécnica. Cuarta edición. BRAJA M. DAS. Capítulo 7 Filtración, página 142
- Soil Mechanics in Engineering Practice. 3° Edición. Terzaghi, K.; Peck, R. y Mesri, G. Chapter 4. Hydarulic of soils. Pag 213.

Área de Geotecnia.

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA



2.REDES DE FILTRACION

Condiciones de Filtración.

Aspectos básicos:

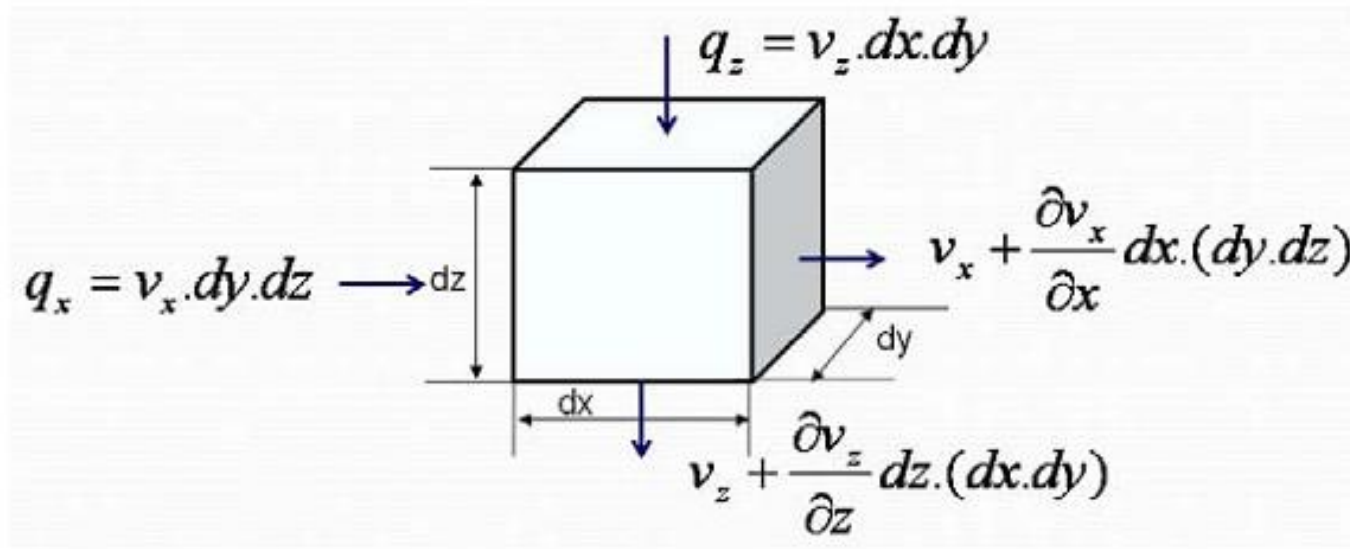
- Caracterización del medio → geometría
- Ecuación de comportamiento → Ley de Darcy
- Condiciones de frontera (contorno):
 - Ingreso y egreso
 - Contornos “impermeables”
 - Contacto con estructuras externas
 - Línea de saturación.
- Consecuencia
 - Líneas de corriente → cuadal



2.REDES DE FILTRACION

Condiciones de Filtración.

Filtración en elemento diferencial



Condiciones:

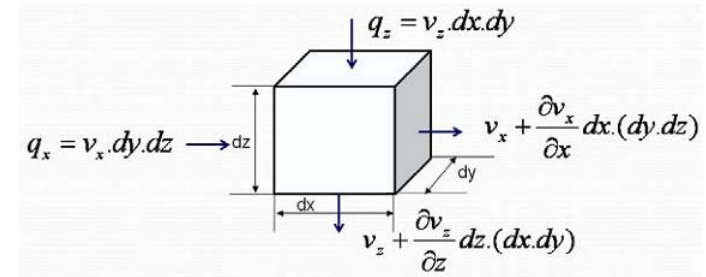
- El régimen es establecido \rightarrow constante en el tiempo
- El suelo está saturado \rightarrow no hay flujo si el suelo no está saturado
- El agua y las partículas sólidas son incompresibles.
- El flujo no modifica la estructura del suelo en ninguna forma.
- No hay fuentes o sumideros de agua



2.REDES DE FILTRACION

Condiciones de Filtración.

Filtración en elemento diferencial



Sistema equilibrado

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} \right) (dx \cdot dy \cdot dz) + \left(\frac{\partial v_y}{\partial y} \right) (dx \cdot dy \cdot dz) + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} \right) (dx \cdot dy \cdot dz) = 0$$

Considerando

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial v_y}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = 0 \quad v_x = k_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad v_y = k_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad v_z = \frac{\partial h}{\partial z}$$

Ecuación diferencial

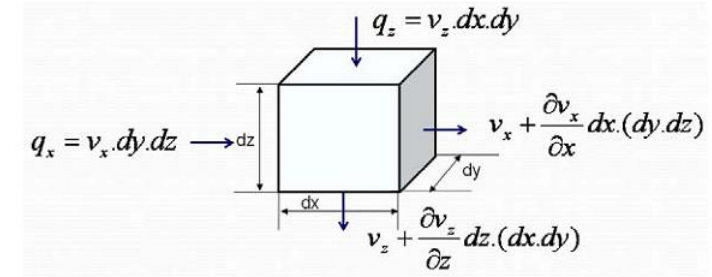
$$k_x \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right) + k_y \left(\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + k_z \left(\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) = 0$$



2.REDES DE FILTRACION

Ecuación diferencial

$$k_x \left(\frac{\partial h^2}{\partial x^2} \right) + k_y \left(\frac{\partial h^2}{\partial y^2} \right) + k_z \left(\frac{\partial h^2}{\partial z^2} \right) = 0$$



Observaciones:

- La ecuación diferencial tiene como solución una función que derivada en la forma correspondiente permite satisfacer la igual planteada
- La función solución tiene como variables independientes x, y, z. La variable dependiente es la presión hidráulica “h”.
- La solución que se busca es independiente del tiempo (no incluye la variable “t”).
- La solución se aplica para un medio anisótropo, depende de k_x ; k_y y k_z , que pueden ser distintos entre sí.
- El problema es tri dimensional

Función solución $\rightarrow h = f(x,y,z)$

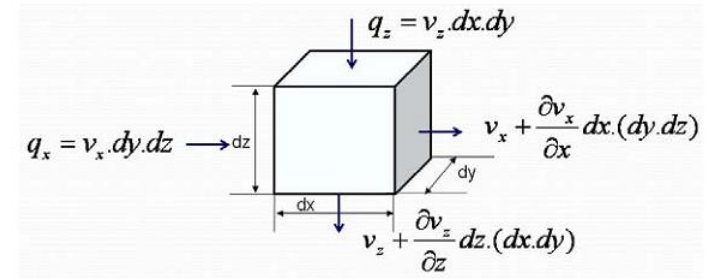
\rightarrow No se acostumbra a buscar la función analítica



2.REDES DE FILTRACION

Ecuación de Laplace:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$



Problema bi-dimensional

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Suelo isotrópico

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

2.REDES DE FILTRACION

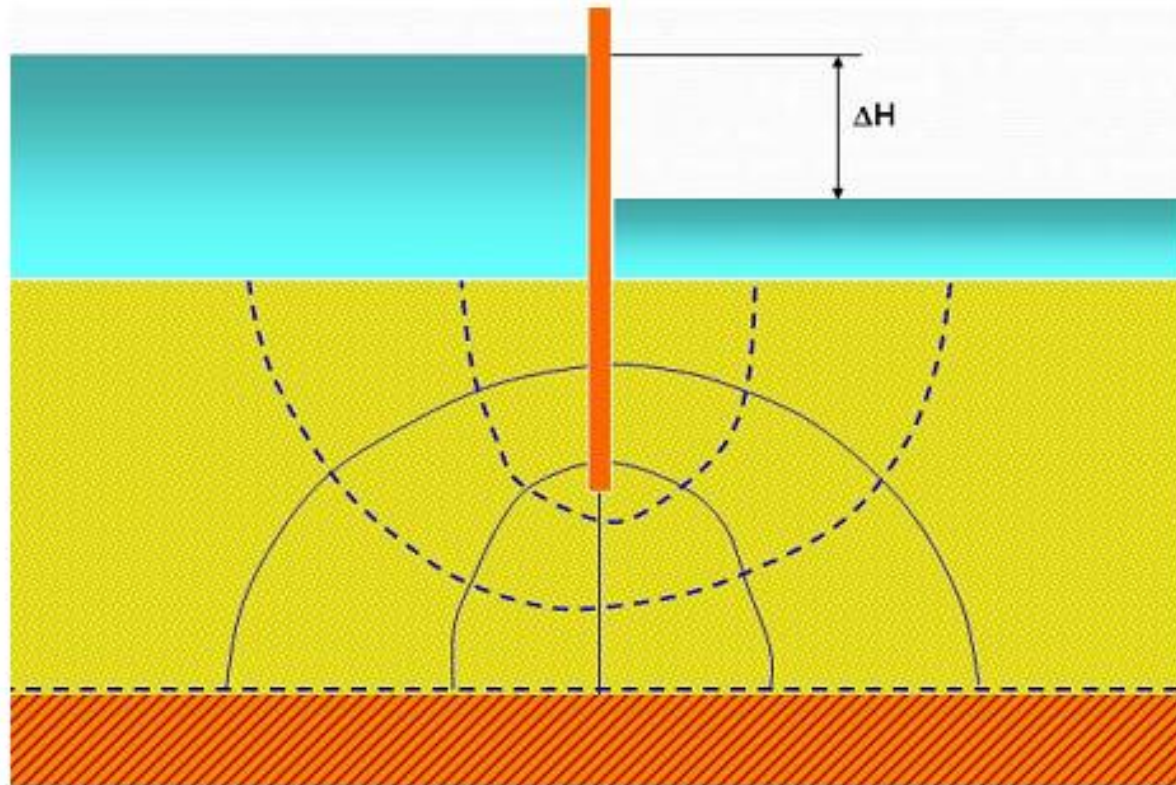
Ecuación de Laplace:

Suelo isotrópico

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Líneas

———— Equipotenciales
----- de Flujo





2.REDES DE FILTRACION

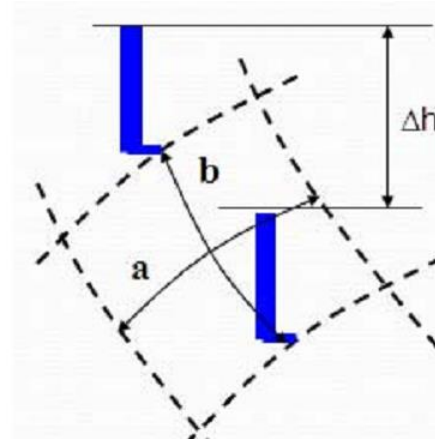
Flujo a través de un tubo de flujo.

$$\Delta q = \frac{q}{N_t}$$

Pérdida de carga entre 2 equipotenciales.

$$\Delta h = \frac{\Delta H}{N_e}$$

Caudal en un tubo y entre 2 equipotenciales



$$\Delta q = k \cdot a \cdot 1 \cdot \frac{\Delta h}{b}$$

Caudal total para Nf tubos de flujo

$$\Delta q = k \cdot a \cdot 1 \cdot \frac{\Delta H}{N_e} \cdot \frac{1}{b} \cdot N_f$$

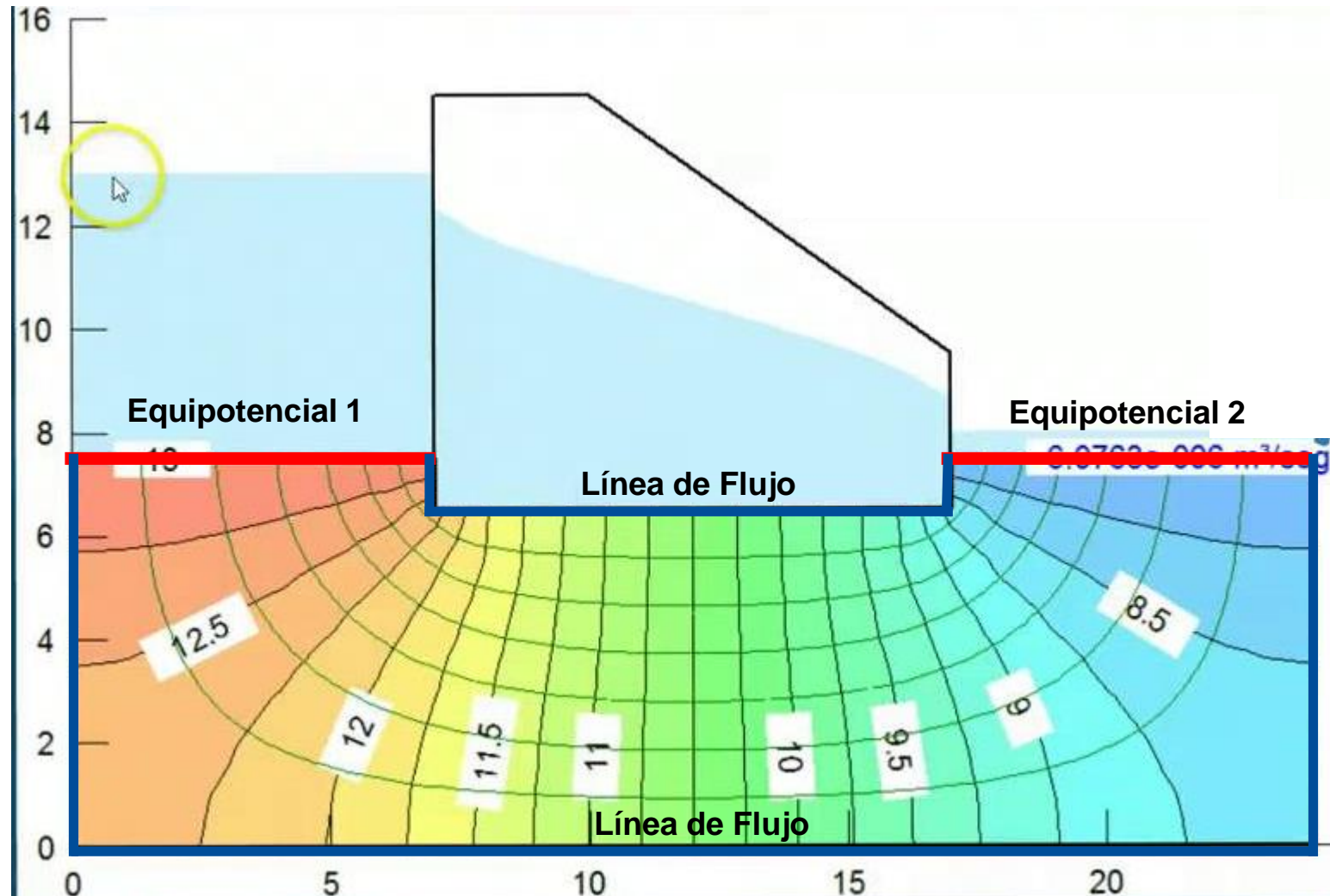
Red de flujo con elementos cuadrangulares a=b

$$\Delta q = k \frac{N_f}{N_e} \Delta H$$



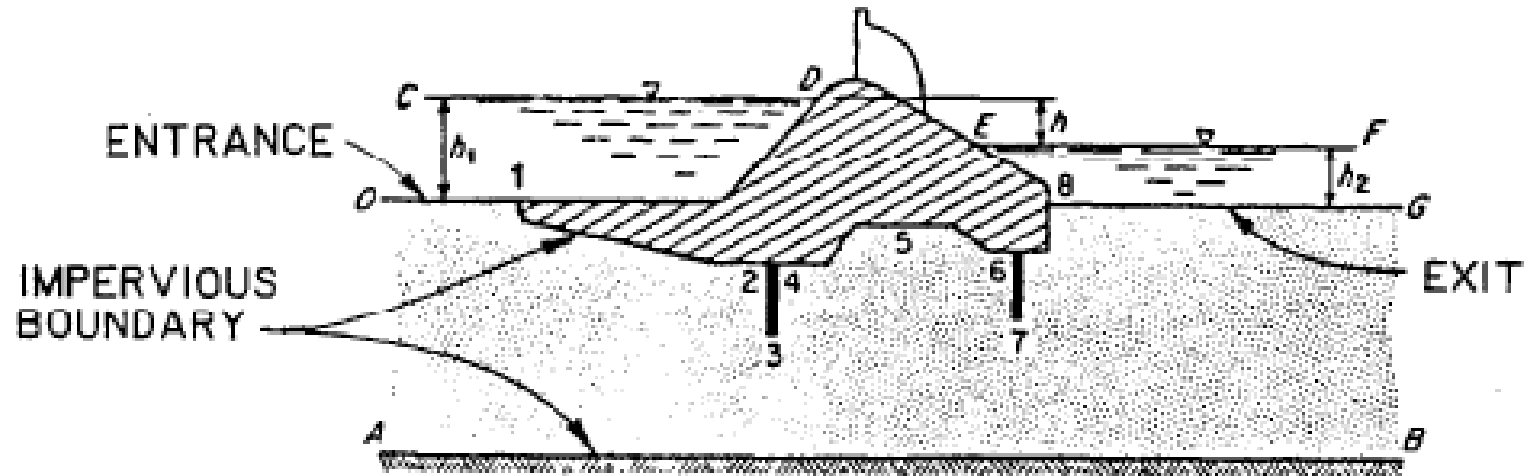
2.REDES DE FILTRACION

Condiciones de Filtración.

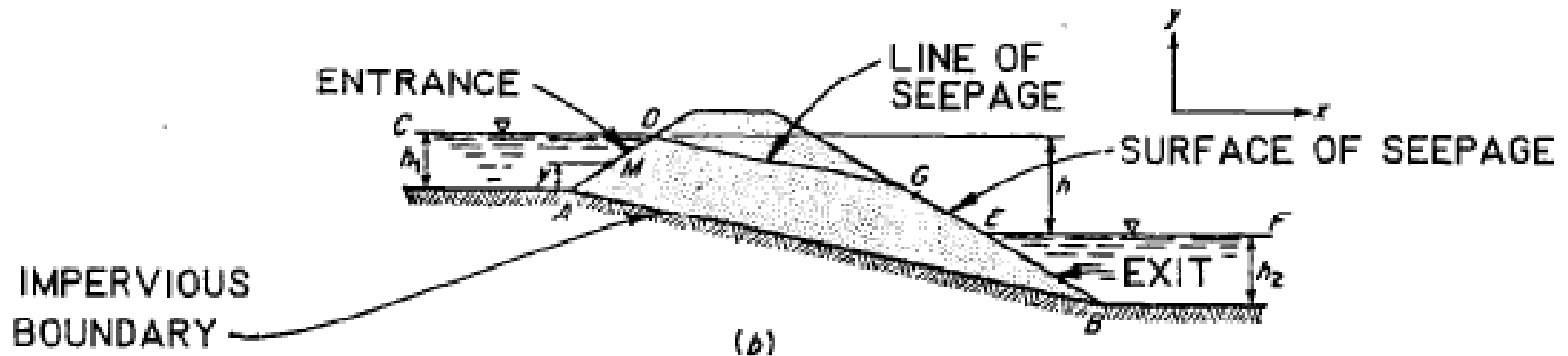


2. REDES DE FILTRACION

Condiciones de Filtración.



(a)



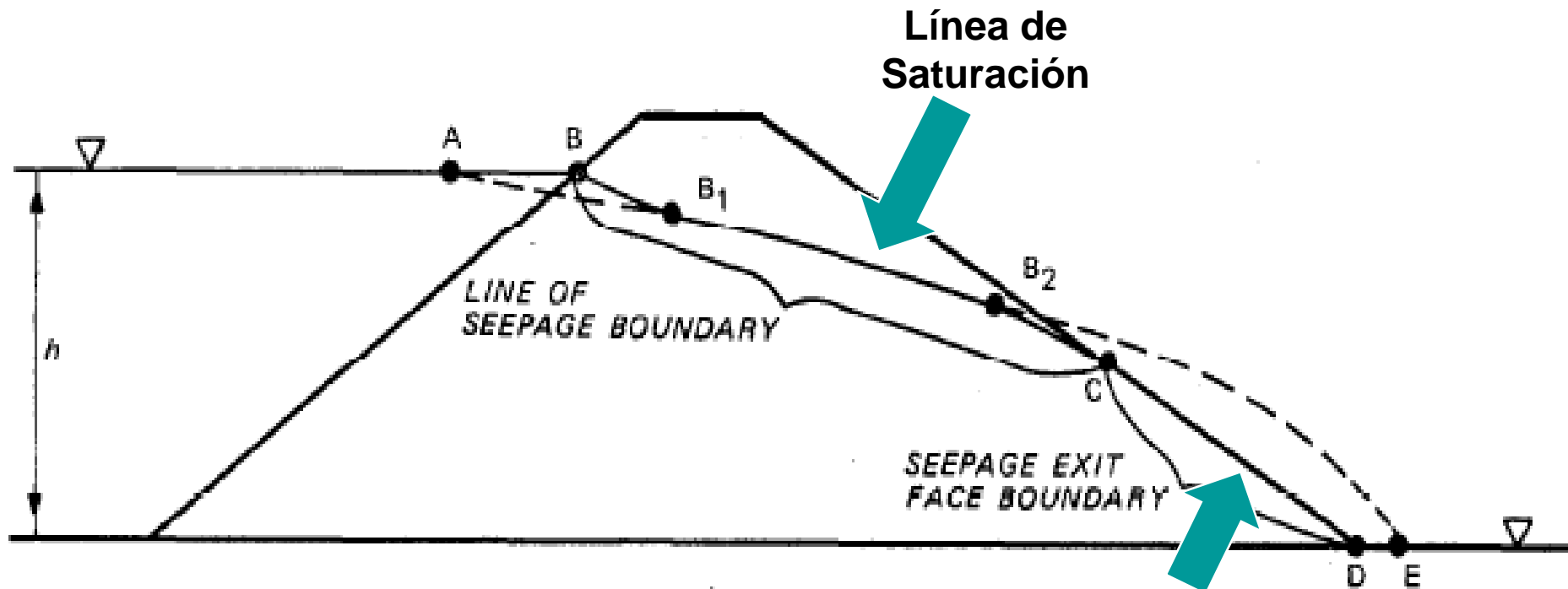
(b)



2. REDES DE FILTRACION

Redes de Flujo en el Cuerpo de Presa

Método de diseño de red flujo según Casagrande

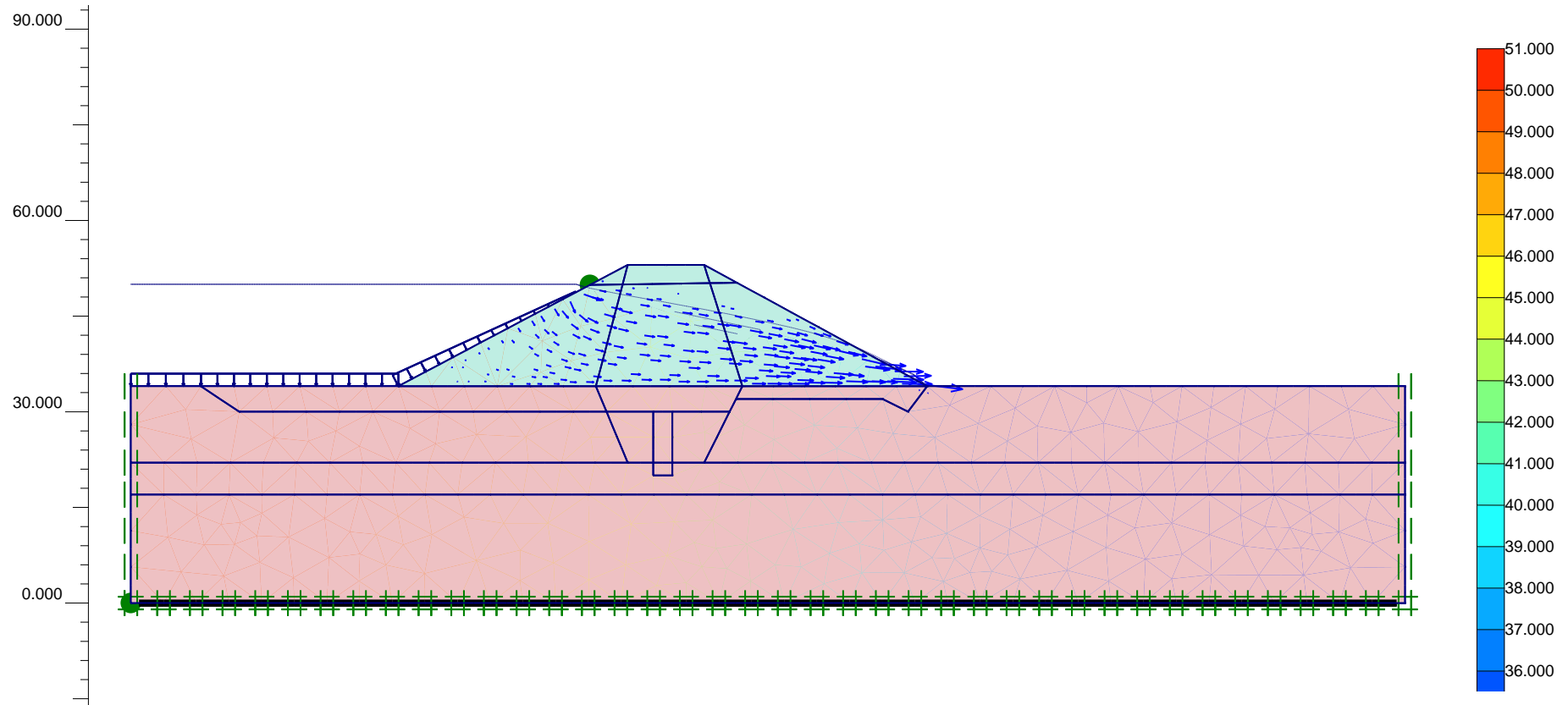


Sector singular:

La presión de movimiento del agua, entre C y D, puede superar a la presión entre partículas



2.REDES DE FILTRACION



Condiciones de Trazado:

Redes de Flujo. Ejemplo 2. Fundación menos permeable



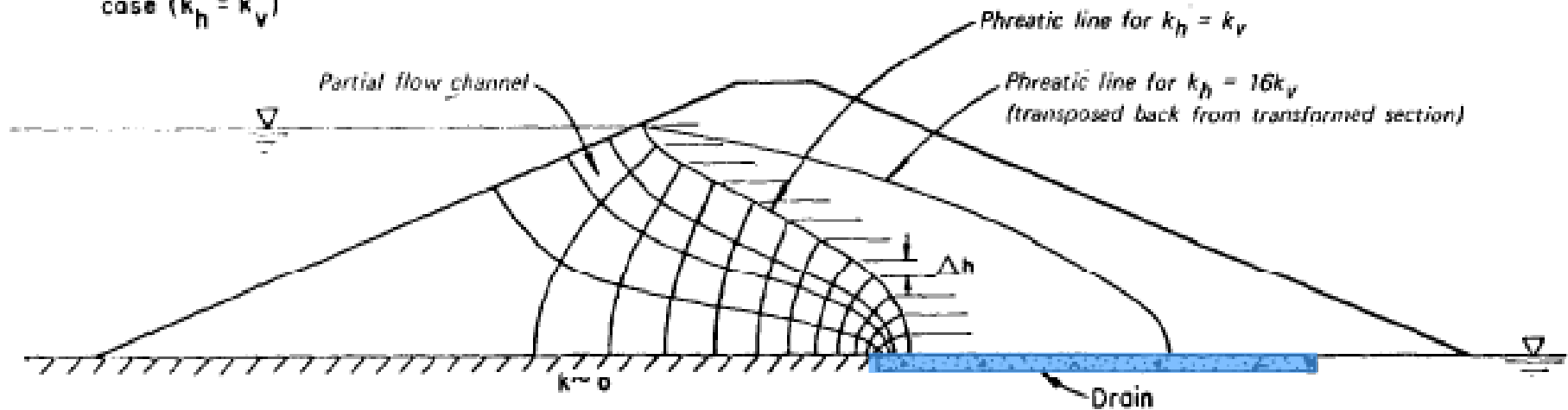
2. REDES DE FILTRACION

DREN PARA MODIFICAR POSICION DE LINEA DE SATURACIÓN

Redes de Flujo en el Cuerpo de Presa.

Efectos de los Drenes Horizontales

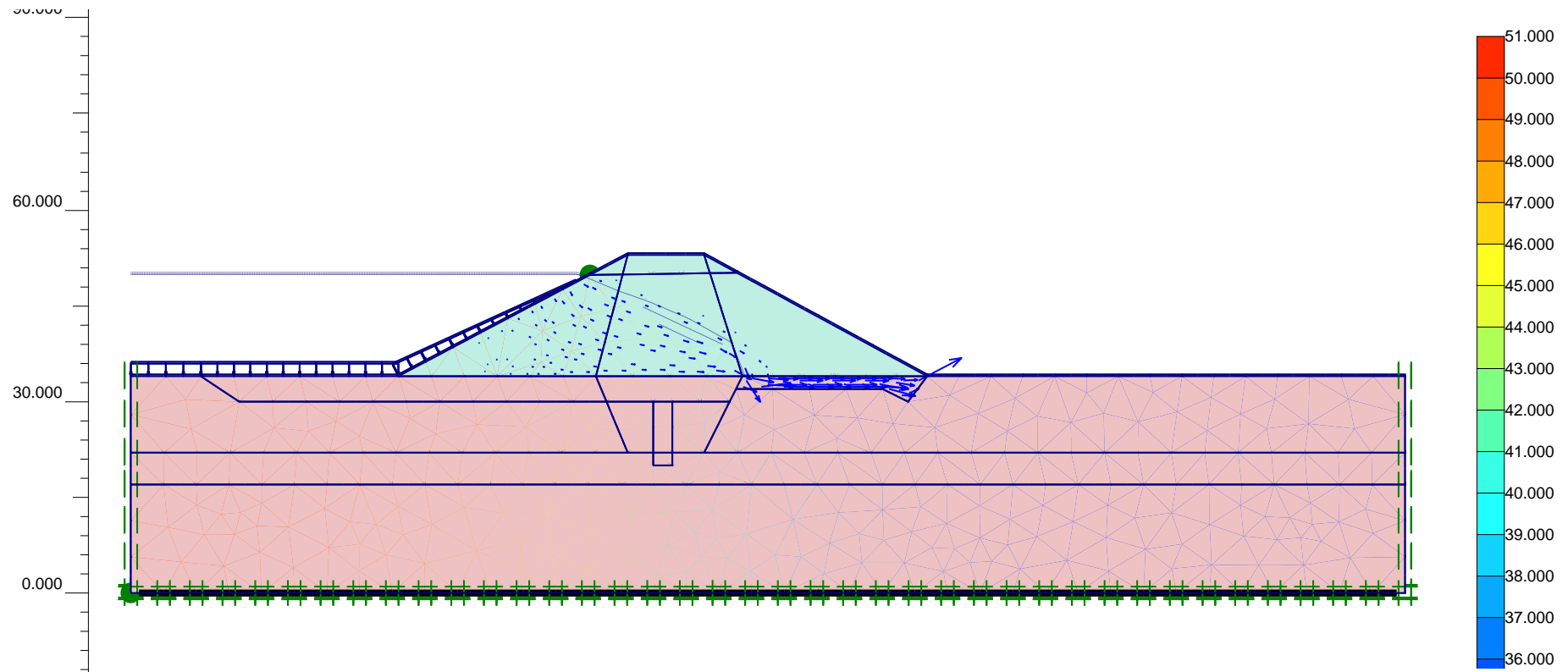
Note: Flow net is for isotropic case ($k_h = k_v$)





2.REDES DE FILTRACION DRENES

Modelo Numérico



Redes de Flujo en el Cuerpo de Presa.

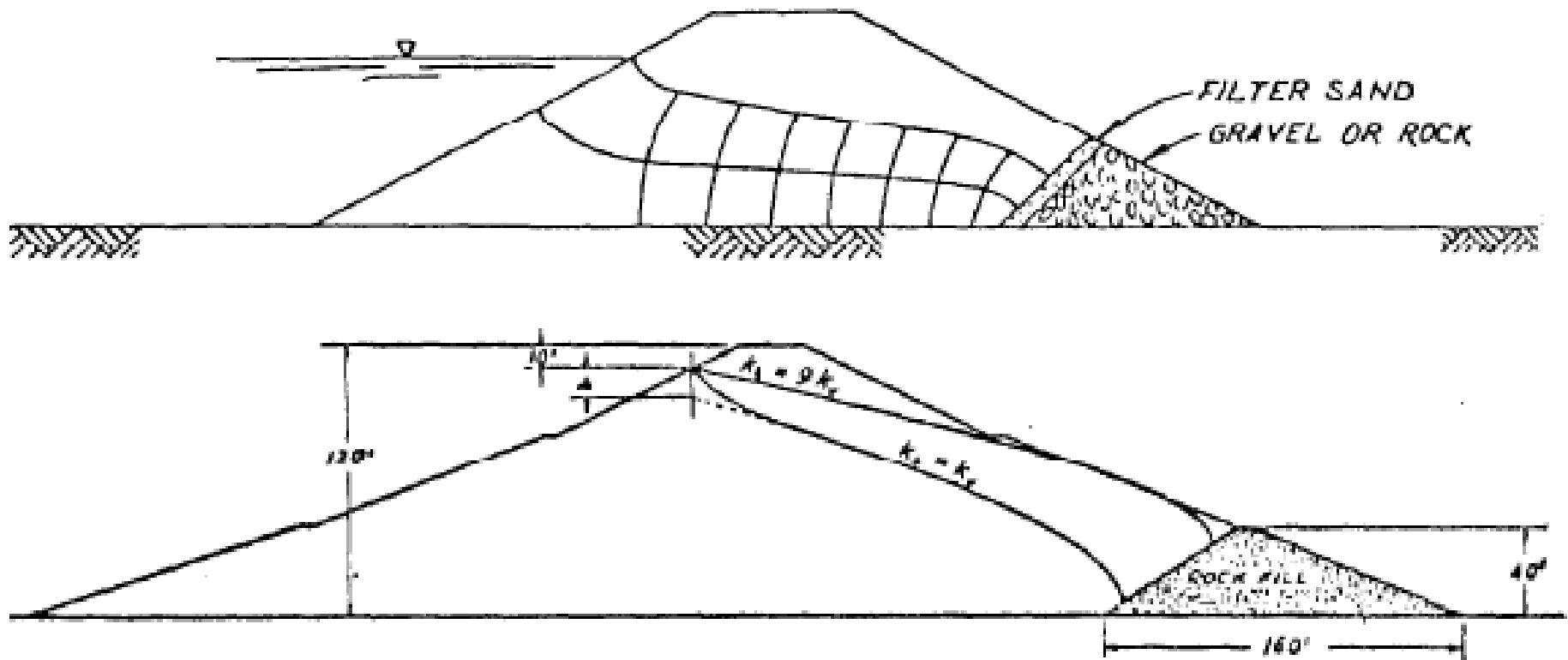


2.REDES DE FILTRACION

DREN PARA MODIFICAR POSICION DE LINEA DE SATURACIÓN

Redes de Flujo en el Cuerpo de Presa.

Efectos de los Drenes de Pie

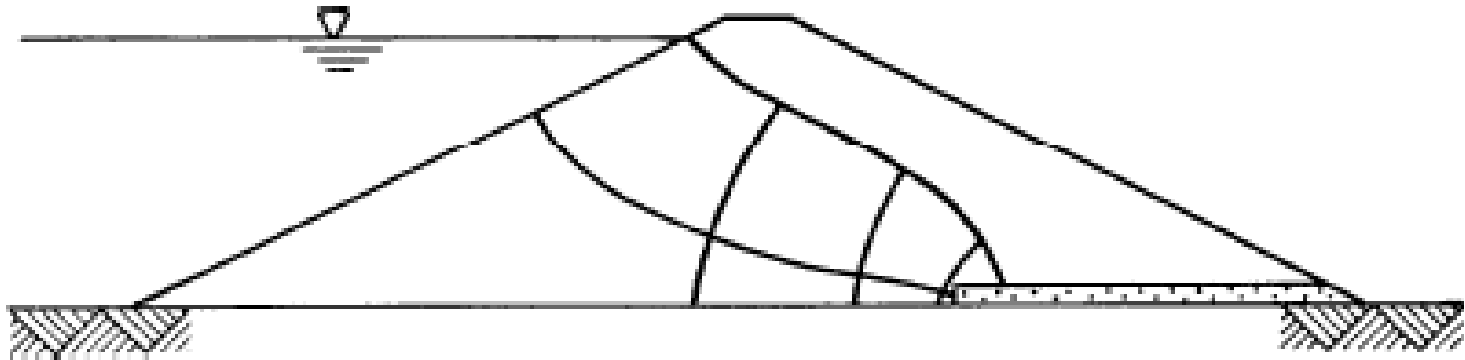




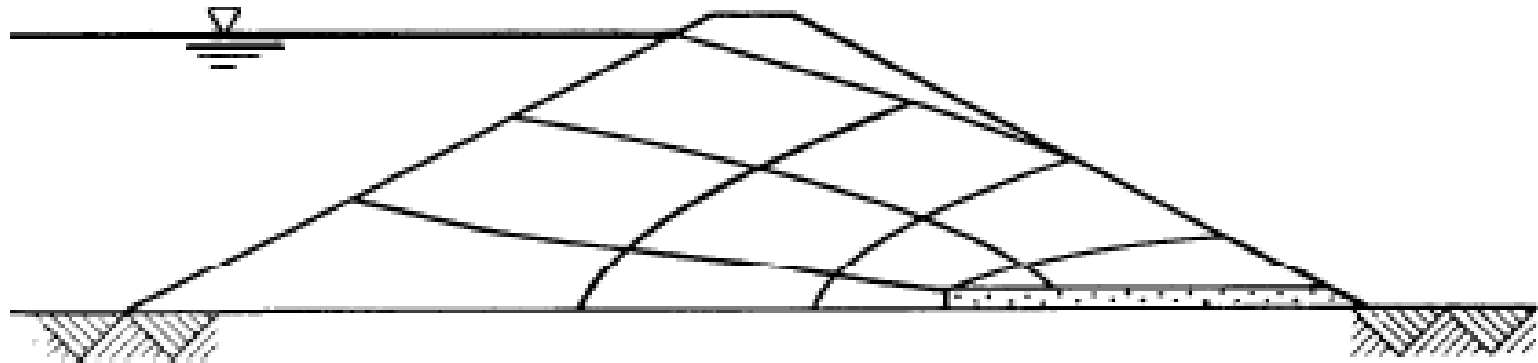
2.REDES DE FILTRACION

DREN PARA MODIFICAR POSICION DE LINEA DE SATURACIÓN

Sistemas de drenes – Efecto de la Anisotropía



$$K_H = K_V$$



$$K_H = 9K_V$$



2.REDES DE FILTRACION

CONSTRUCCION DE REDES DE FILTRACION

Elementos a considerar en el trazado de la red:

- 1. Identificar con claridad la dirección de circulación en el medio poroso.**
- 2. Establecer las condiciones de frontera en la zona de drenaje:**
 - a. Las líneas de ingreso y egreso de agua suelen ser líneas equipotenciales.**
 - b. Las líneas de contacto del suelo con elementos externos (construcciones) suelen ser líneas de flujo**
- 3. Respetar a condición de cruce entre líneas equipotenciales y de flujo → deben ser perpendiculares**
- 4. Respetar la condición de simplificación de la ecuación de cálculo de caudal → $a=b$, elementos “cuadrangulares”**



EJERCICIOS