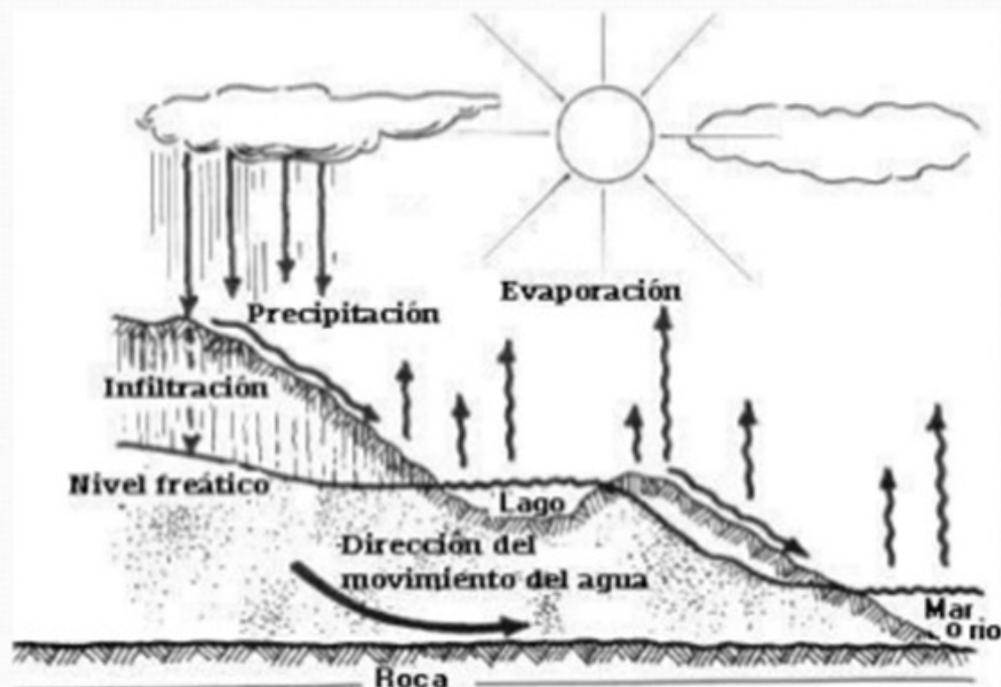


PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL SUELO

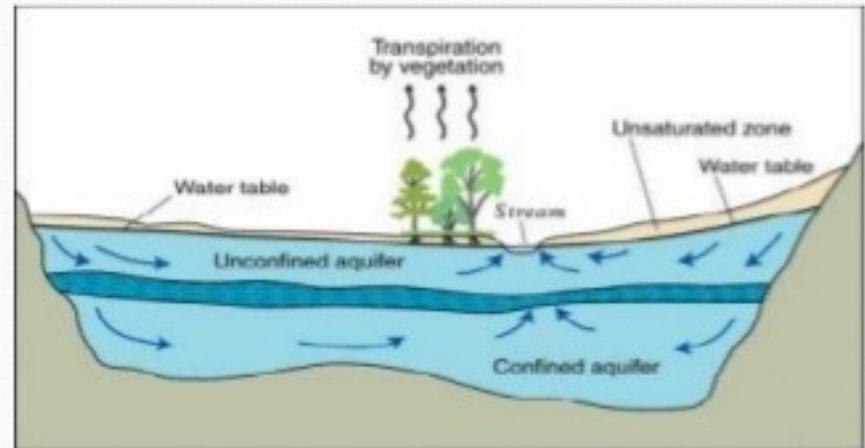
Ciclo Hidrológico

*Se denomina **Ciclo Hidrológico** al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea.*



Acuífero

- **Acuífero (del latín *fero*, llevar).**- Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad.
- Ejemplos: Arenas, Gravas. También granito u otra roca compacta con una fracturación importante.

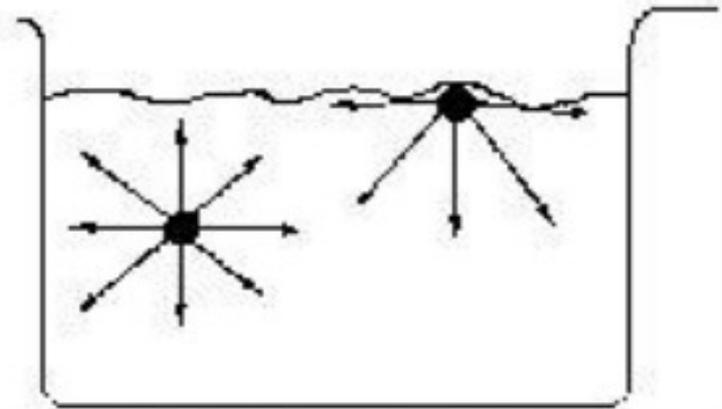


EXPLANATION

- High hydraulic-conductivity aquifer
- Low hydraulic-conductivity confining unit
- Very low hydraulic-conductivity bedrock
- Direction of ground-water flow

Tensión Superficial

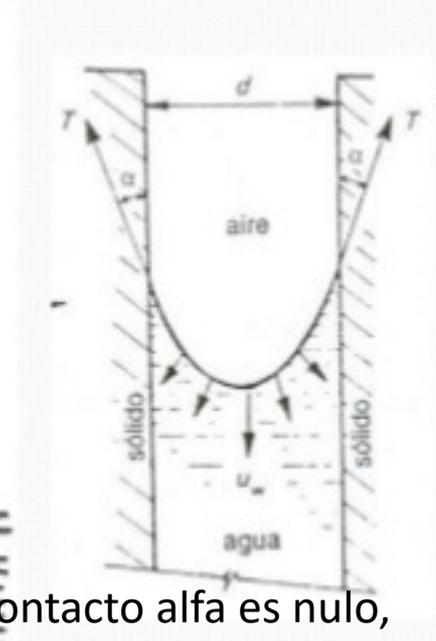
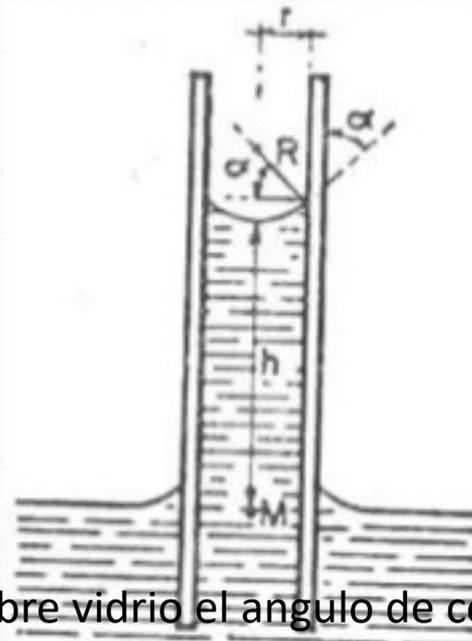
- En el interior de un líquido una molécula es atraída por todas las que le rodean (fuerzas de cohesión), de manera que el efecto total es nulo.
- Pero en la superficie las fuerzas que atraen a las moléculas hacia abajo no pueden ser neutralizadas por las moléculas superiores porque no existen.
- Esto origina un estado de tensión en toda la superficie libre del líquido, denominado **tensión superficial T_s** .



Generación de la tensión superficial.

Efectos Capilares

- Entre los fenómenos causados por la tensión superficial, uno de los de mayor importancia práctica es el de la ascensión capilar.
- Un suelo seco succiona agua por sobre el nivel freático.
- La altura h de la columna de agua que un suelo mantiene de esta forma se denomina altura o carga capilar.



Sobre vidrio el ángulo de contacto α es nulo, por lo que la fórmula puede escribirse:

$$h = \frac{2T_s \cos \alpha}{r \gamma_w}$$

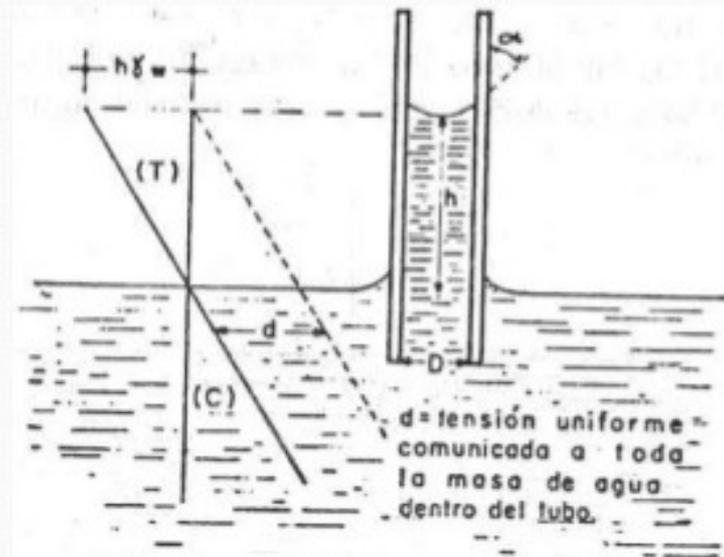
$$T_s = 73 \frac{\text{dinas}}{\text{cm}} = 0,074 \frac{\text{gf}}{\text{cm}}$$

$$h = \frac{0,3}{D}$$

Efectos Capilares

- El esfuerzo de tensión en cualquier punto de la columna esta dado por el producto de la distancia vertical del punto a la superficie libre del liquido y el peso especifico del mismo.
- Esfuerzo de tensión u en el liquido inmediatamente abajo del menisco es:

$$u = h\gamma_w = \frac{2T_s \cos\alpha}{r} = \frac{2T_s}{R}$$



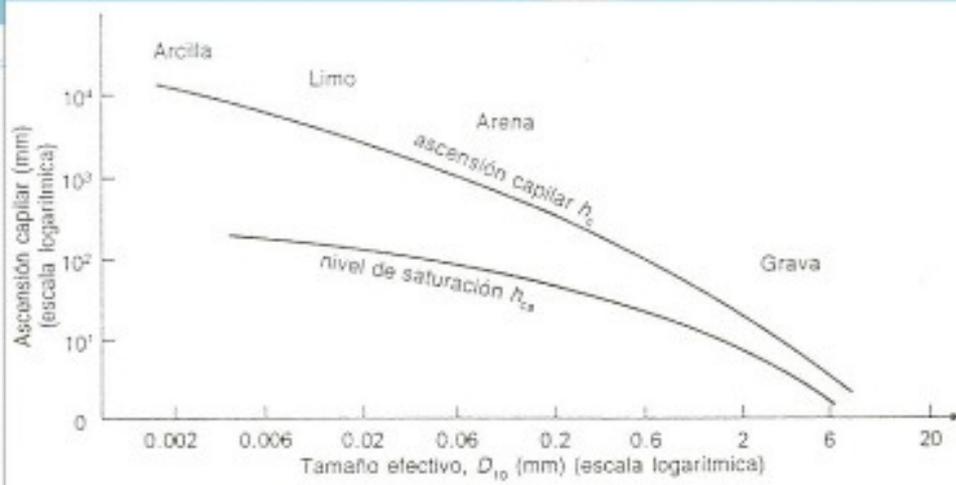


Figura 4.5 Relación aproximada entre la ascensión capilar y el tipo de suelo

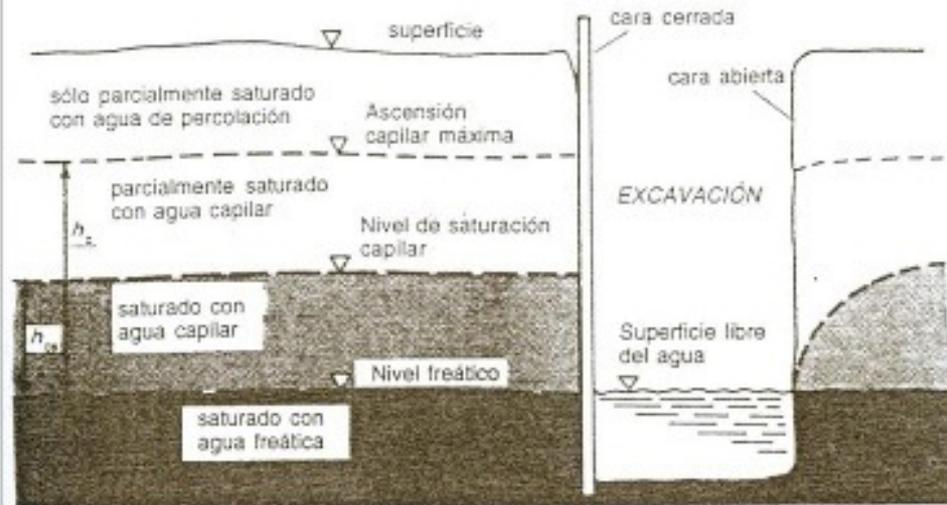
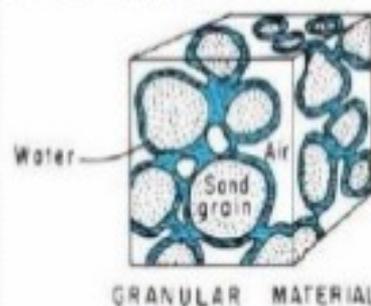


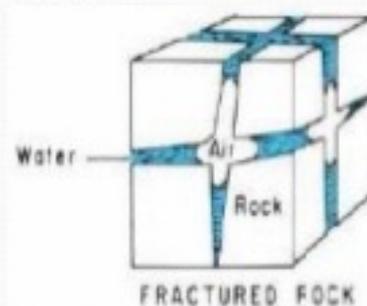
Figura 4.6 Zonas de las aguas subterráneas

Permeabilidad del Suelo

- En el estudio de la mecánica de suelos un material es considerado permeable si contiene poros interconectados, grietas u otras salidas a través de las cuales el agua o gas pueda fluir.
- En mecánica de suelos se debe saber cuanta agua fluye a través del suelo en un tiempo unitario.
- Este conocimiento se requiere para diseñar presas de tierra, determinar la cantidad de infiltración bajo estructuras hidráulicas y para desaguar durante antes y durante la construcción de cimentaciones.



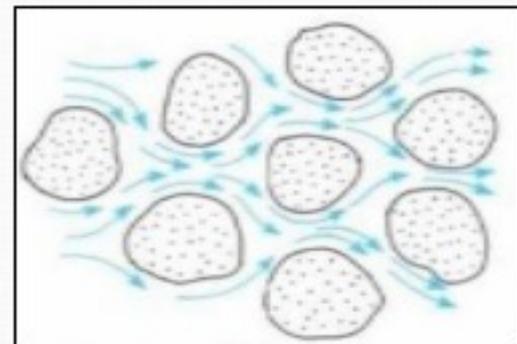
Water retained as a film on rock surfaces and in capillary-size openings after gravity drainage.



Flujo Unidimensional del Suelo

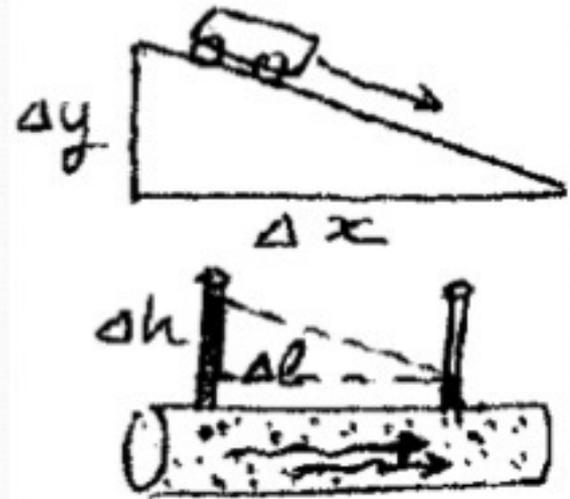
Flujo Laminar y turbulento

- En los problemas relativos a líquidos se puede hablar de dos grupos principales según el tipo de flujo.
- Laminar: líneas de flujo permanecen sin juntarse entre si en toda su longitud
- Turbulento: ocurre cuando las líneas de flujo no son paralelas entre si.
- A bajas velocidades (como ocurre en los suelos) el flujo ocurre en forma laminar.



Gradiente

- *Gradiente es el incremento de una variable entre dos puntos del espacio, en relación con la distancia entre esos dos puntos. Si la variable considerada fuera la altitud de cada punto, el gradiente sería la pendiente entre los dos puntos considerados.*
- Si entre dos puntos situados a 2 metros de distancia existe una diferencia de temperatura de 8°C , diremos que hay entre ellos un gradiente térmico de $4^{\circ}\text{C}/\text{metro}$. Cuanto mayor sea ese gradiente térmico, mayor será el flujo de calorías de un punto a otro.



El Gradiente Hidráulico

- Bernoulli da la carga total que actúa en un punto bajo agua bajo en movimiento.

$$h = \frac{p}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + z$$

- Donde:

h = carga total

p = carga de presión

g = aceleración de la gravedad

v = velocidad

γ_w = peso específico del agua



El Gradiente Hidráulico

- La velocidad de infiltración es pequeña pues el flujo es laminar generalmente. No es así en el caso de enrocados (flujo turbulento). Por tanto la carga total en cualquier punto estará dada por:

$$h = \frac{p}{\gamma_w} + z$$

El Gradiente Hidráulico

- La pérdida de carga entre dos puntos A y B esta dada por:

$$\Delta h = h_A - h_B = \left(\frac{p_A}{\gamma_w} + Z_A \right) - \left(\frac{p_B}{\gamma_w} + Z_B \right)$$

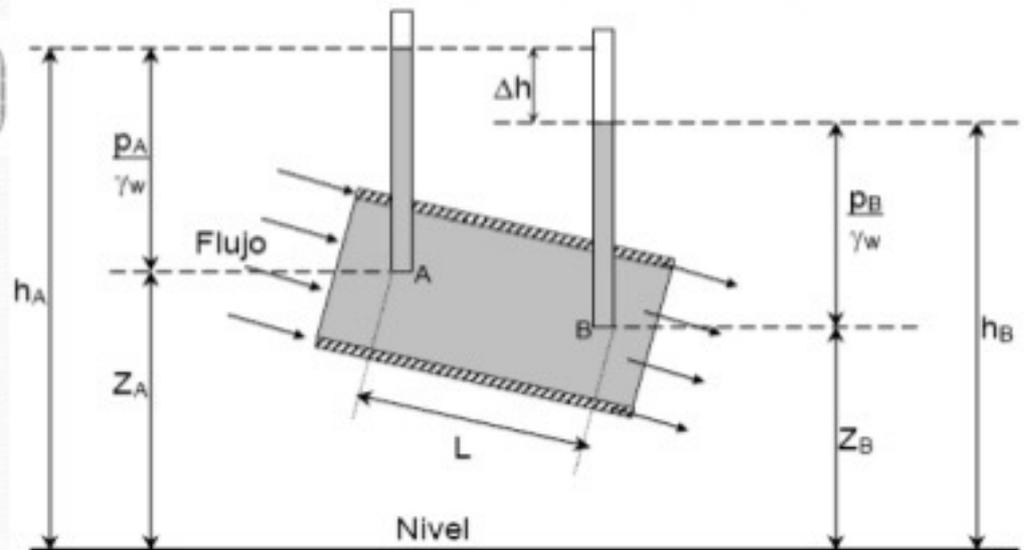
- La pérdida de carga Δh puede ser expresado en la forma unidimensional como:

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

- Donde:

i = gradiente hidráulico

L = distancia entre A y B, esto es la longitud del flujo sobre la cual la pérdida de carga ocurre.



Presión, elevación y fuerza total del flujo en el suelo

Ley de Darcy

- Darcy, estudió las propiedades de un flujo de agua a través de un lecho de arena variando la longitud de la muestra y la presión del agua en los planos superior e inferior del lecho y midiendo, además, el caudal que circulaba a través del mismo.

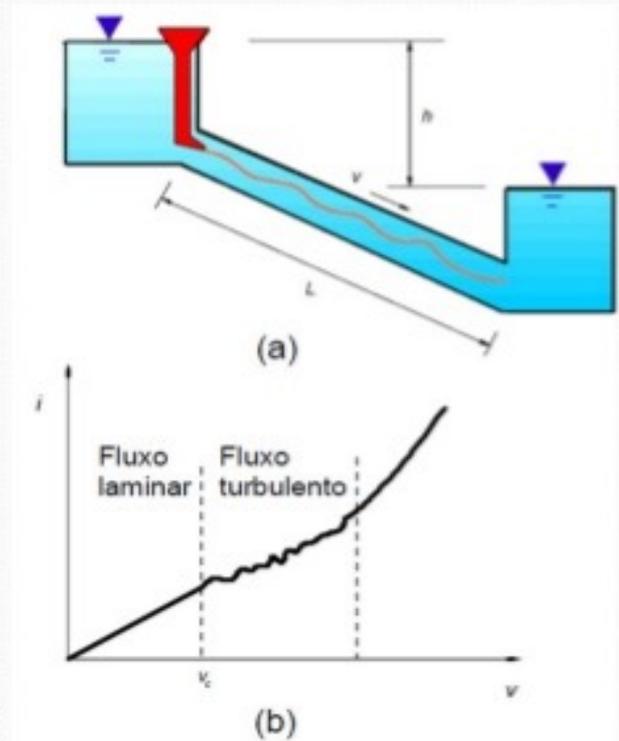
- Darcy en 1856 publicó una ecuación para suelos saturados.

$$v_x = k_x \frac{\Delta H}{L} = k_x i$$

- Donde:

v = Velocidad de descarga, la cual es la cantidad de agua fluyendo en unidades de tiempo a través de un corte seccional de área en ángulo recto a la dirección del flujo.

k = Coeficiente de permeabilidad.



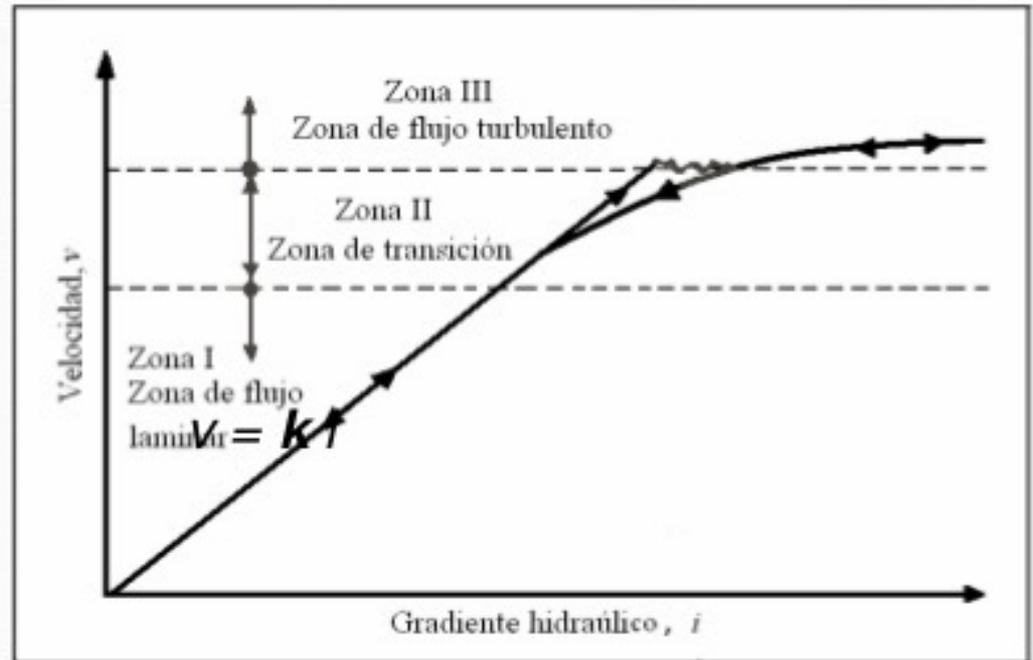
Ley de Darcy

- La velocidad media, v es para el área de la sección transversal normal a la dirección de flujo, sin embargo el flujo a través de los suelos, se produce sólo a través de los vacíos interconectados.
- La velocidad a través de los espacios vacíos se llama velocidad de filtración (v_s) y se obtiene dividiendo la velocidad promedio por la porosidad del suelo (n):

$$v_s = \frac{k_j}{n} i$$

Ley de Darcy

El flujo de agua a través de los suelos es gobernado por la ley de Darcy, que establece que la velocidad media de flujo es proporcional al gradiente hidráulico.



Naturaleza de la variación de v con el gradiente hidráulico i .

En piedras, grava y arenas gruesas el flujo puede ser turbulento. En ese caso la relación no es lineal.

Ley de Darcy

Para que se cumpla la ley de Darcy se deben dar las siguientes condiciones:

- El medio a través del que se produce el flujo debe ser poroso.
- Flujo con régimen laminar (numero de Reynolds menor que 2,100), no siendo válido un régimen turbulento. suele cumplirse excepto en escolleras y grandes áridos.
- Suelo saturado. Si está semisaturado puede quedar aire ocluido que reduzca la sección de paso y por tanto la conductividad hidráulica.

Coeficiente de Permeabilidad (k)

- El coeficiente de proporcionalidad en la ley de Darcy se llama conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad (k).
- El coeficiente de permeabilidad tiene las mismas unidades que la velocidad.

Tipo de suelo	Coeficiente de permeabilidad k (cm/s)
Grava media a gruesa	$> 10^{-1}$
Arena gruesa a fina	10^{-1} a 10^{-3}
Arena fina, arena limosa	10^{-3} a 10^{-5}
Limo, limo arcilloso, arcilla limosa	10^{-4} a 10^{-6}
Arcillas	$< 10^{-7}$

Valores orientativos del coeficiente de permeabilidad k para diferentes suelos.

Coeficiente de Permeabilidad (k)

TABLE 6.1 Hydraulic Conductivity for Common Soil Types

Soil type	k_z (cm/s)	Description	Drainage
Clean gravel (GW, GP)	> 1.0	High	Very good
Clean sands, clean sand and gravel mixtures (SW, SP)	$1.0 \text{ to } 10^{-3}$	Medium	Good
Fine sands, silts, mixtures comprising sands, silts, and clays (SM-SC)	$10^{-3} \text{ to } 10^{-5}$	Low	Poor
Weathered and fissured clays			
Silt, silty clay (MH, ML)	$10^{-5} \text{ to } 10^{-7}$	Very low	Poor
Homogeneous clays (CL, CH)	$< 10^{-7}$	Practically impervious	Very poor

- Las arcillas homogéneas son prácticamente impermeables, pueden ser usadas en la construcción de presas de tierra.
- Las gravas y arenas limpias son permeables, pueden ser usadas como materiales para drenaje o filtros del suelo.

Relaciones Empíricas para el Calculo de k

ARENAS

Hazen

- En 1930 propuso una relación empírica para arenas uniformes (C_u pequeño) y arenas de filtro limpias.

$$k \text{ (cm/seg)} = C D_{10}^2$$

- Donde:
C = constante que varía de 0.40 a 1.40
 D_{10} = tamaño efectivo en mm.

Relaciones Empíricas para el Calculo de k

ARENAS GRUESAS Y GRAVAS

Kenny, Lau y Ofoegbu

- En 1984 trabajaron con arenas gruesas y gravas (0.074 a 25.4 mm), bajo condiciones de flujo laminar y con D_r de 80% o mas.

$$k \text{ (cm / seg)} = (0.05 \text{ a } 1.00) D_5$$

- Donde:
 D_5 = diámetro correspondiente al 5% que pasa

Relaciones Empíricas para el Calculo de k

ARCILLAS

Samarasinghe, Huang y Drnevich

- En 1982 sugirieron para arcillas normalmente consolidadas.

$$k = C_3 \frac{e^n}{1+e}$$

- Donde:

C_3 y n = son constantes a ser determinados.

e = relación de vacios.

Conclusiones Sobre el uso de Correlaciones Empíricas

- Cualquier relación empírica sirve solo para estimaciones.
- La magnitud de k es un parámetro altamente variable.
- k en realidad depende de muchos factores.
- Los mejores valores de k vienen de pruebas in-situ.

Factores que Influyen en el Coeficiente de Permeabilidad (k)

El valor de k está influenciada por:

- ✓ la relación de vacíos
- ✓ el tamaño de los poros
- ✓ el espacio de poros interconectados
- ✓ la distribución de tamaño de las partículas
- ✓ la homogeneidad de la masa de suelo
- ✓ de las propiedades del fluido de poro
- ✓ de la cantidad de gas no disuelto en el fluido de poro.

Factores que Influyen en el Coeficiente de Permeabilidad (k)

- Factores intrínsecos al fluido:
 - Viscosidad (cuanto mayor viscosidad, menor k).
 - Temperatura (a mayor temperatura, mayor k).
- Factores intrínsecos al suelo:
 - Granulometría (a mayor tamaño de partícula, mayor k).

Determinación del Coeficiente de Permeabilidad

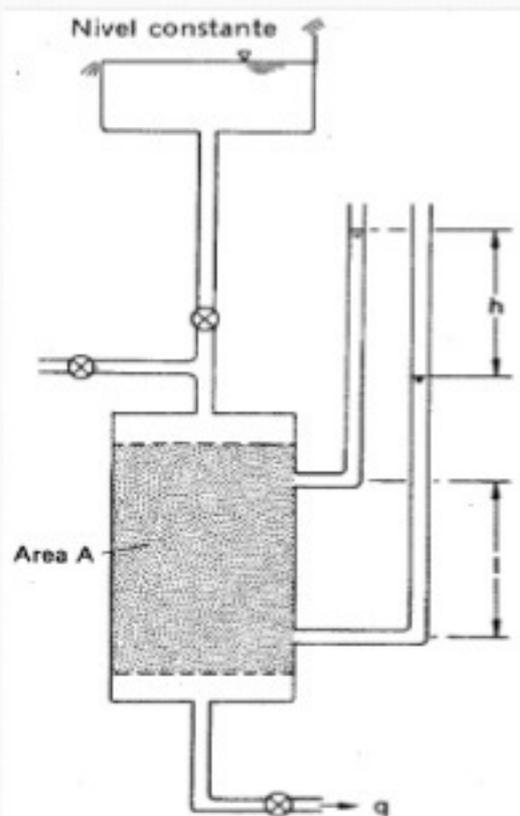
- La determinación del coeficiente de permeabilidad se puede realizar mediante dos tipos de ensayo:
- **Ensayos de laboratorio:**
 1. Permeámetro de carga constante (suelos de textura gruesa).
 2. Permeámetro de carga variable (suelos de textura fina).

- **Ensayos de campo**

En la realización de los ensayos de laboratorio es necesaria la toma de muestras inalteradas. Una muestra inalterada es la que conserva la humedad y densidad del suelo natural, aunque no existen muestras inalteradas perfectas.

Ensayos de laboratorio

Permeámetro de Carga Constante



$$Q = \frac{V}{t} = k i A$$

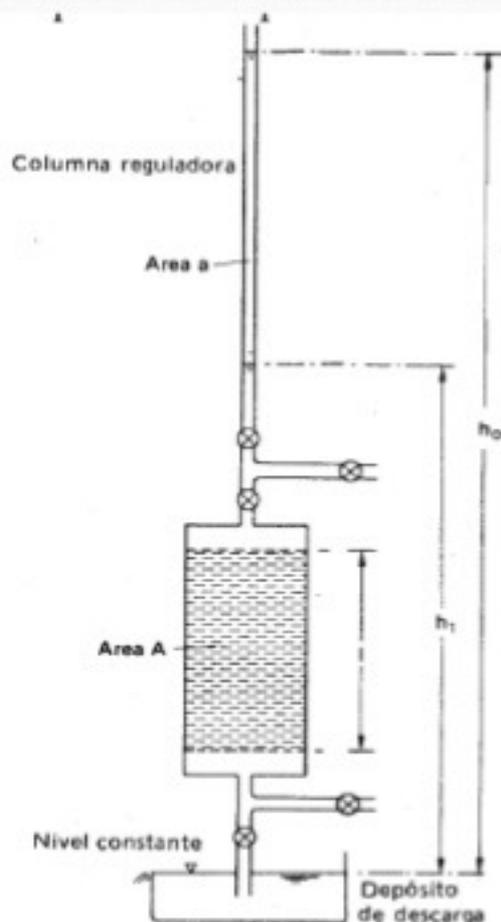
$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

$$k = \frac{V}{i A t}$$

- El valor de k se obtiene aplicando la ley de Darcy.
- Los pasos a seguir son:
 - 1º. Saturar la muestra para medir el coeficiente de permeabilidad en saturación.
 - 2º. Medir los volúmenes de agua drenados cada cierto intervalo de tiempo (Δt).
 - 3º. Cuando se compruebe que los volúmenes drenados son proporcionales al tiempo transcurrido ($Q = \text{cte.}$) se podrá dar por finalizado el ensayo.

Ensayos de laboratorio

Permeámetro de Carga Variable



$$-a \frac{dh}{dt} = k \frac{h}{L} A$$

$$-a \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = \frac{k A}{L} \int_{t_0}^{t_1} dt$$

$$k = \frac{L \cdot a}{A(t_1 - t_0)} \ln \frac{h_0}{h_1}$$

- Los pasos a seguir son:
 - 1º. Saturar la muestra y tomar lectura de la altura inicial h_0 que alcanza el agua en el tubo que suministra agua a la muestra y que se corresponde con la altura piezométrica en la sección superior de la muestra. En ese momento también hay que tomar lectura del tiempo inicial t_0 .
 - 2º. Transcurrido un cierto tiempo se vuelve a tomar lectura de la altura del agua y del tiempo que serán h_1 y t_1 .

PRACTICA DE PERMEABILIDAD IN SITU PALA, BARRA TUBO 4", FELXÓMETRO



LIMPIAMOS EL LUGAR



REALIZAMOS LA EXCAVACIÓN



COLOCAMOS EL TUBO



PONEMOS AGUA Y DEJAMOS FILTRAR
PARA QUE SE SATURE EL SUELO



LUEGO DE FILTRADO COLOCAMOS NUEVAMENTE AGUA



MEDIMOS DESPUES DE 10 MINUTOS



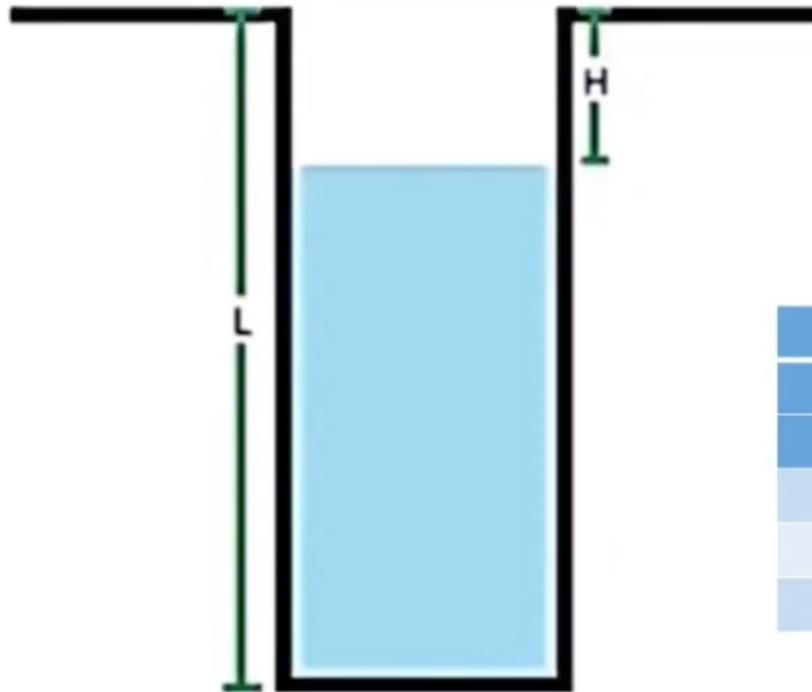
10 MINUTOS #1

NUEVAMENTE MEDIMOS HASTA QUE LAS MEDIDAS SEAN SIMILARES



CALCULAMOS EL k CON LOS DATOS OBTENIDOS:

Datos Obtenidos



Datos de la Tubería	
Longitud (cm)	Diámetro (cm)
L	D
70	10,16

Datos Adquiridos en el Campo	
Tiempo (s)	Perdida de Carga Hidráulica(cm)
t	H
600	12,7
600	12,5
600	12,4

CALCULOS

Fórmula para el calculo del coeficiente de permeabilidad

$$k = \frac{V * L}{H * A * t}$$

Donde:

- V = Volumen Promedio Drenado
- L = Longitud del Tubo empleado en el ensayo
- H = Perdida Promedio de Carga Hidráulica
- A = Área de la Sección Transversal del Tubo

CALCULOS:

Cálculos Realizados

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (10,16)^2}{4} = 81,07 \text{ cm}^2$$

$$H_{Prom} = \frac{\sum H}{n} = \frac{12,7 + 12,5 + 12,4}{3} = 12,53 \text{ cm}$$

$$V = A * H_{Prom} = 81,07 \text{ cm}^2 * 12,53 \text{ cm} = 1016,12 \text{ cm}^3$$

$$k = \frac{V * L}{H * A * t} = \frac{1016,12 \text{ cm}^3 * 70 \text{ cm}}{12,53 \text{ cm} * 81,07 \text{ cm}^2 * 600 \text{ s}} = 0,117 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

CON EL VALOR OBTENIDO PODEMOS DETERMINAR EL TIPO DE SUELO:

TABLA I: Valores de k en 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. ^d								
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.											

• 2.3. Flujo Bidimensional

El flujo a través del suelo es descrita por la ecuación de Laplace

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

Donde H es la energía total y K_x y K_z son las conductividades hidráulicas en las direcciones del eje x y z

Hipótesis

- Medio continuo saturado y fijo
- Flujo laminar lento (ley de Darcy)



- **2.3. Flujo Bidimensional**

Resolución de la ecuación de Laplace

- Método gráfico (redes de filtración)
 - Curvas equipotenciales
 - Líneas de corriente
 - Condiciones de borde
 - Relación de lados

Redes de flujo

La ecuación de continuidad [ecuación(7.5)] en un medio isotrópico representa dos familias de curvas ortogonales: las líneas de flujo y las líneas equipotenciales. Una línea de flujo es una línea a lo largo de la cual una partícula de agua se desplazará desde el lado aguas arriba hacia el lado aguas abajo en un medio de suelo permeable.

Ec. 7.5

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

Red de flujo

Una línea equipotencial es una línea a lo largo de la cual el potencial de carga en todos los puntos es igual.

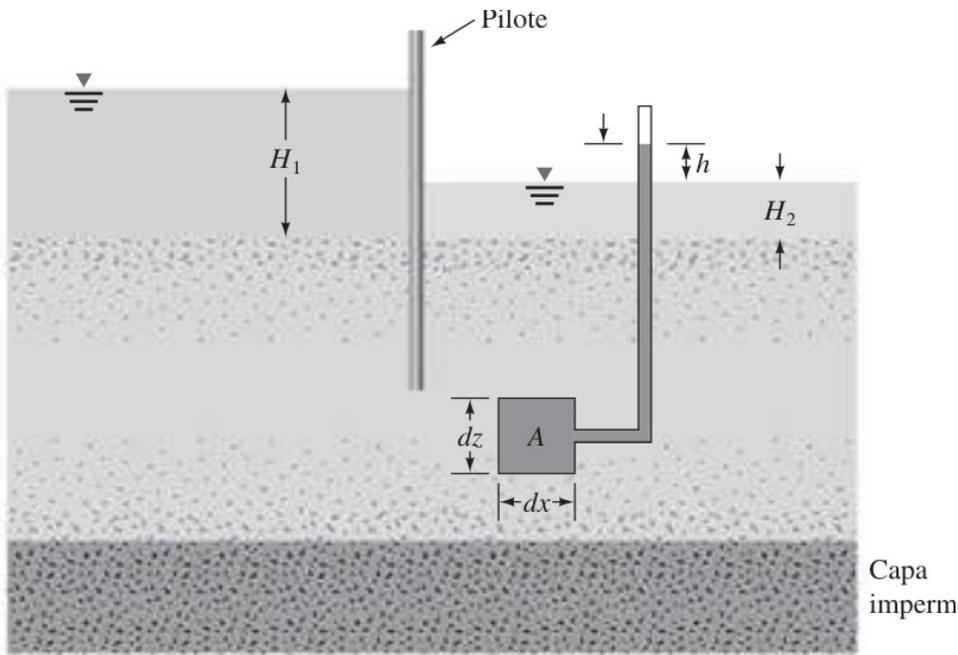
Por lo tanto, si se colocan piezómetros en diferentes puntos a lo largo de una línea equipotencial, el nivel de agua subirá a la misma elevación en todos ellos.

La figura 7.2a muestra la definición de flujo y líneas equipotenciales para el flujo de la capa de suelo permeable alrededor de la fila de pilotes mostradas en la figura 7.1 (para $k_x = k_z = k$).

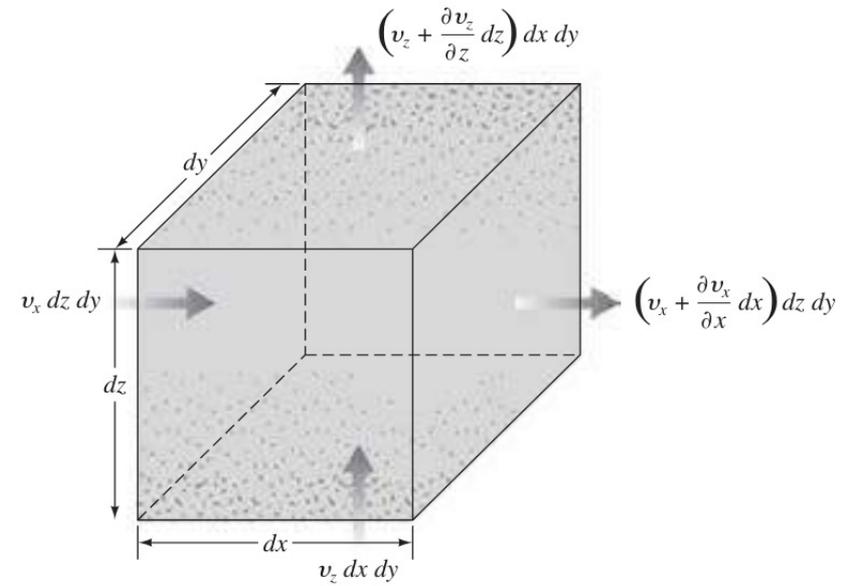
Fig 7.1 a y b

a) Pilotes en una sola fila clavados en una capa permeable.

b) Flujo en A



(a)

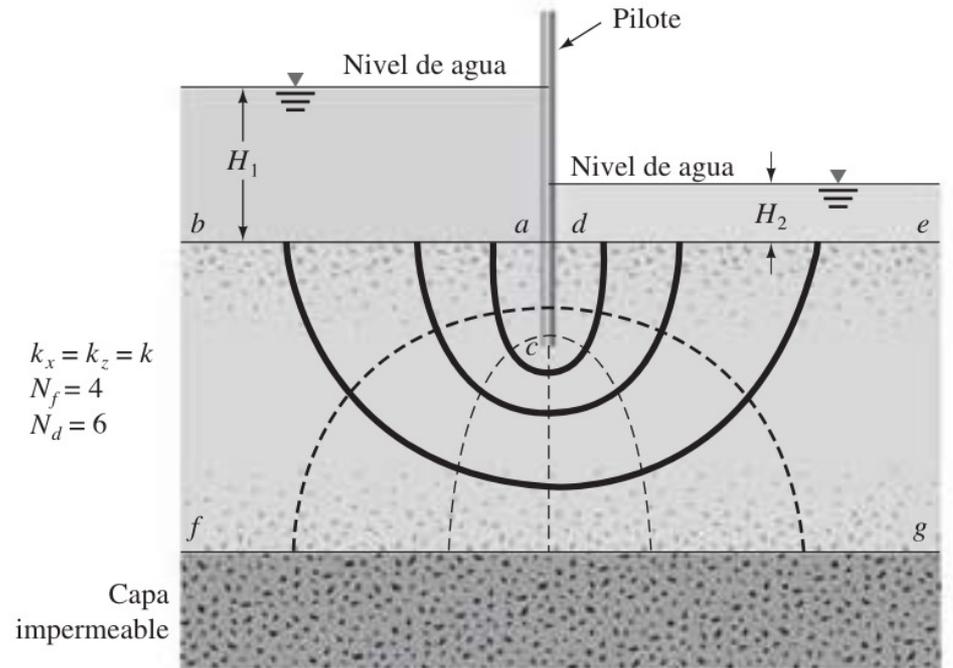
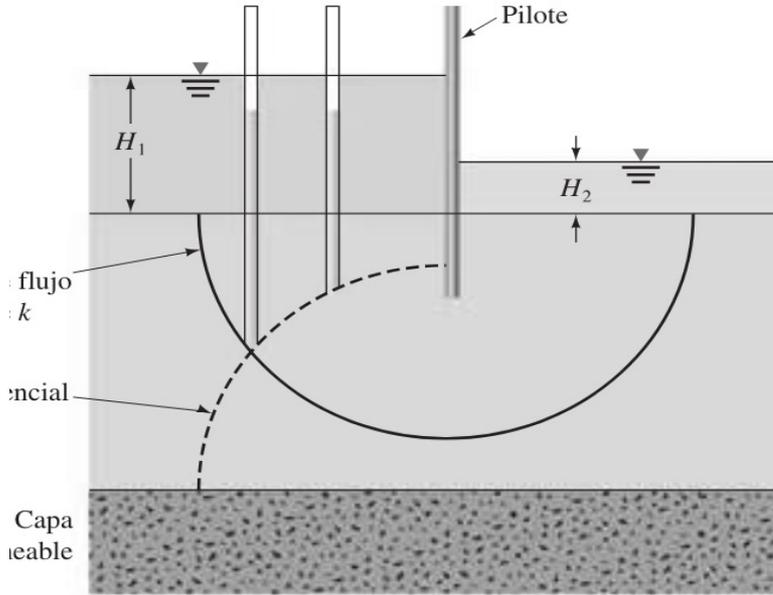


(b)

Figura 7.2 a y b

a) Definición de líneas de flujo y líneas equipotenciales

b) red de flujo



$N_f = \text{No. De canales}$

$N_d = \text{No. De cuadros} = \text{No. De caidas de potencia}$

Red de flujo

A la combinación de un número de líneas de flujo y líneas equipotenciales se le llama red de flujo.

Las redes de flujo se construyen para calcular el flujo de las aguas subterráneas en el medio.

Para completar la construcción gráfica de una red de flujo se debe dibujar el flujo y las líneas equipotenciales, de tal manera que las líneas equipotenciales intersecten a las líneas de flujo en ángulo recto y los elementos de flujo formados son cuadrados aproximados.

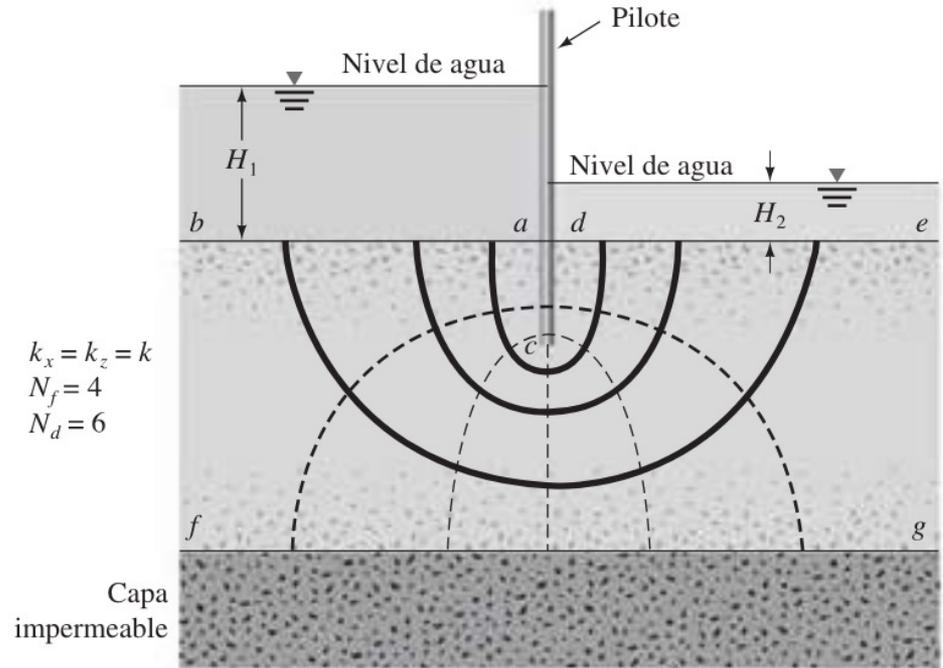
La figura 7.2b muestra un ejemplo de una red de flujo completa.

Otro ejemplo de una red de flujo en una capa permeable isotrópica se muestra en la figura 7.3.

En estas figuras, N_f es el número de canales de flujo en la red y N_d es el número de caídas de potencial (definido más adelante en este capítulo).

Dibujar una red de flujo que tome varios ensayos. Mientras se construye la red de flujo, deben mantenerse las condiciones de contorno en mente. Para la red de flujo mostrada en la figura 7.2b, se aplican las cuatro condiciones de contorno siguientes:

1. Las superficies de aguas arriba y aguas abajo de la capa permeable (líneas ab y de) son líneas equipotenciales.
2. Debido a que ab y de son líneas equipotenciales, todas las líneas de flujo se intersectan en ángulo recto.
3. El límite de la capa impermeable, es decir, la línea fg, es una línea de flujo y también lo es la superficie del pilote impermeable, la línea acd.
4. Las líneas equipotenciales intersectan a las líneas acd y fg en ángulo recto.



N_f = No. De canales
 N_d = No. De cuadros = No. De caídas de potencia

Cálculo de la filtración a partir de una red de flujo

En toda red de flujo, la franja entre dos líneas de flujo adyacentes se llama canal de flujo. La figura 7.4 muestra un canal de flujo con las líneas equipotenciales formando elementos cuadrados. Sean $h_1, h_2, h_3, h_4, \dots, h_n$ los niveles piezométricos correspondientes a las líneas equipotenciales. La tasa de filtración a través del canal de flujo por unidad de longitud (perpendicular a la sección vertical a través de la capa permeable) se puede calcular de la siguiente manera: debido a que no hay flujo a través de las líneas de flujo,

$$\Delta q_1 = \Delta q_2 = \Delta q_3 = \dots = \Delta q$$

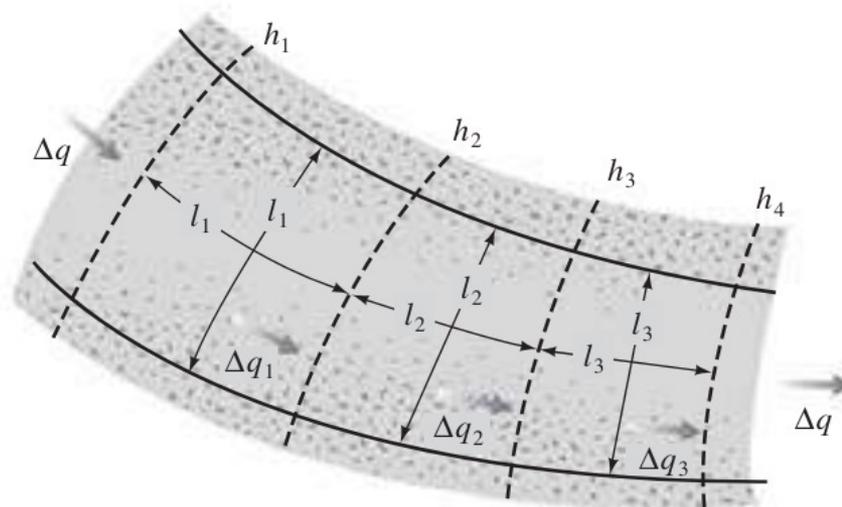


Figura 7.4 Filtración a través de un canal de flujo con elementos cuadrados

A partir de la ley de Darcy, la velocidad de flujo es igual a kiA . Por lo tanto, la ecuación (7.6) se puede escribir como

$$\Delta q = k\left(\frac{h_1 - h_2}{l_1}\right)l_1 = k\left(\frac{h_2 - h_3}{l_2}\right)l_2 = k\left(\frac{h_3 - h_4}{l_3}\right)l_3 = \dots \quad (7.7)$$

La ecuación (7.7) muestra que si los elementos de flujo se dibujan como cuadrados aproximados, entonces la caída en el nivel piezométrico entre dos líneas equipotenciales adyacentes es la misma. Esto se conoce como *caída de potencial*. Por lo tanto,

$$h_1 - h_2 = h_2 - h_3 = h_3 - h_4 = \dots = \frac{H}{N_d} \quad (7.8)$$

y

$$\Delta q = k\frac{H}{N_d} \quad (7.9)$$

donde

H = diferencia de carga entre el lado de aguas arriba y el de aguas abajo

N_d = número de caídas de potencial

En la figura 7.2b los elementos de flujo son cuadrados aproximados. Para cualquier canal de flujo, $H = H_1 - H_2$ y $N_d = 6$.

Si el número de canales de flujo en una red de flujo es igual a N_f , el caudal total a través de todos los canales por unidad de longitud puede ser dado por

$$q = k \frac{HN_f}{N_d} \quad (7.10)$$

Aunque dibujar los elementos cuadrados para una red de flujo es conveniente, no siempre es necesario. Alternativamente, se puede dibujar una malla rectangular para un canal de flujo, como se muestra en la figura 7.5, a condición de que las razones de anchura a longitud para todos los elementos rectangulares en la red de flujo sea la misma. En este caso, la ecuación (7.7) para el caudal a través del canal puede ser modificada para

$$\Delta q = k \left(\frac{h_1 - h_2}{l_1} \right) b_1 = k \left(\frac{h_2 - h_3}{l_2} \right) b_2 = k \left(\frac{h_3 - h_4}{l_3} \right) b_3 = \dots \quad (7.11)$$



Figura 7.5 Filtración a través de un canal de flujo con elementos rectangulares

Si $b_1/l_1 = b_2/l_2 = b_3/l_3 = \dots = n$ (es decir, los elementos no son cuadrados), las ecuaciones (7.9) y (7.10) pueden ser modificadas:

$$\Delta q = kH \left(\frac{n}{N_d} \right) \quad (7.12)$$

o

$$q = kH \left(\frac{N_f}{N_d} \right) n \quad (7.13)$$

La figura 7.6 muestra una red de flujo de filtraciones en torno a una sola fila de pilotes. Tenga en cuenta que los canales de flujo 1 y 2 tienen elementos cuadrados. Por lo tanto, el caudal a través de estos dos canales se puede obtener de la ecuación (7.9):

$$\Delta q_1 + \Delta q_2 = k \frac{H}{N_d} + k \frac{H}{N_d} = 2k \frac{H}{N_d}$$

Sin embargo, el flujo del canal 3 tiene elementos rectangulares. Estos elementos tienen una relación entre anchura y longitud de alrededor de 0.38, por lo que, de la ecuación (7.12), tenemos

$$\Delta q_3 = kH \left(\frac{0.38}{N_d} \right)$$

Así, la tasa total de la filtración se puede dar como

$$q = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 = 2.38 \frac{kH}{N_d}$$

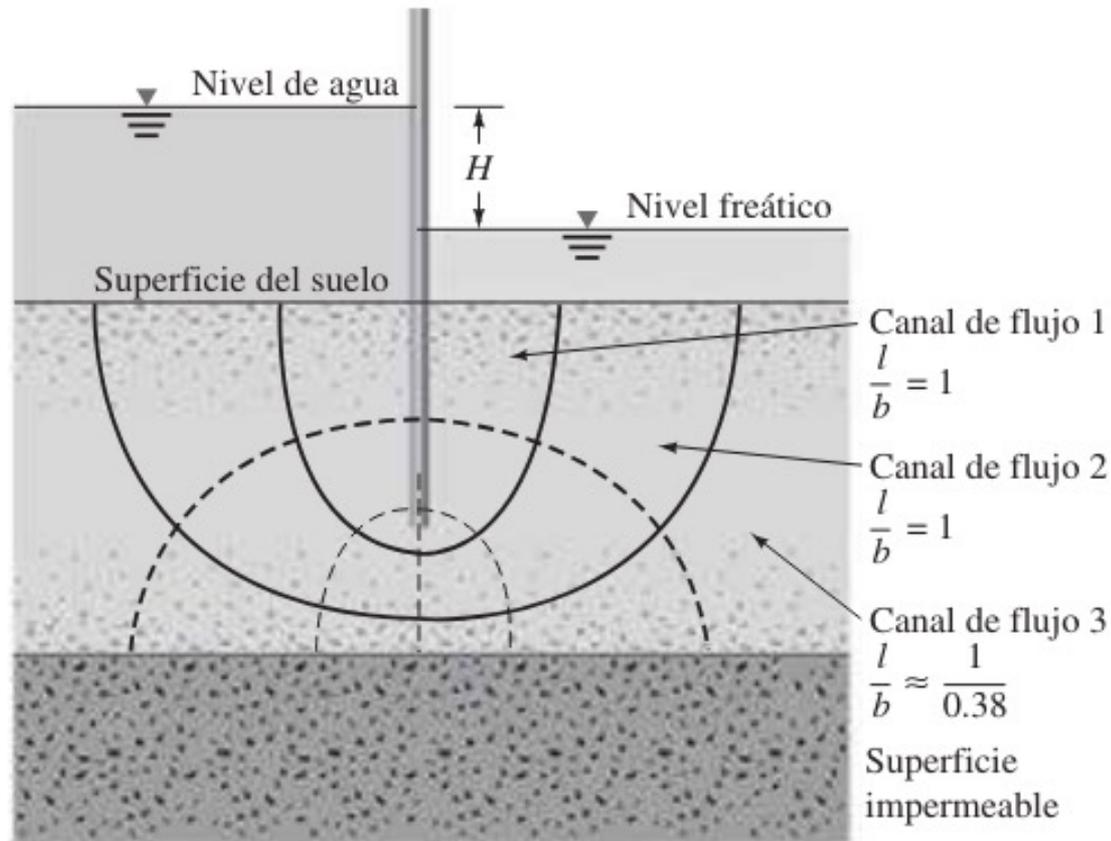


Figura 7.6 Red de flujo para filtración en torno a una sola fila de pilotes

EJERCICIO:

En la figura 7.7 se muestra una red de flujo para el flujo en torno de una sola fila de pilotes en una capa de suelo permeable. Tenemos que $k_x = k_z = k = 5 \times 10^{-3}$ cm/s.

- ¿Qué tan alto (por encima de la superficie del suelo) crecerá el agua si se colocan piezómetros en los puntos a , b , c y d ?
- ¿Cuál es la tasa de filtración a través de canal de flujo II por unidad de longitud (perpendicular a la sección mostrada)?

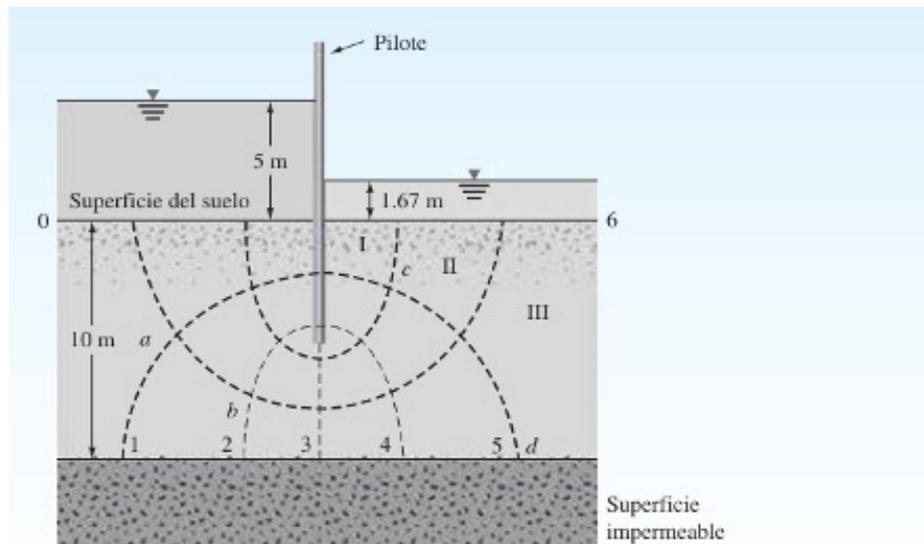


Figura 7.7 Red de flujo para el flujo en torno a una fila de pilotes en una capa de suelo permeable

Solución

- a. En la figura 7.7 vemos que $N_f = 3$ y $N_d = 6$. La diferencia de carga entre el lado de aguas arriba y aguas abajo es 3.33 m, por lo que la pérdida de carga por cada gota es $3.33/6 = 0.555$ m. El punto a está situado en la línea equipotencial 1, lo que significa que la caída de potencial en a es 1×0.555 m. El agua en el piezómetro en a subirá a una elevación de $(5 - 0.555) = 4.445$ m por encima de la superficie del suelo. Del mismo modo, podemos calcular el resto de los niveles piezométricos:

$$b = (5 - 2 \times 0.555) = 3.89 \text{ m por encima de la superficie del suelo}$$

$$c = (5 - 5 \times 0.555) = 2.225 \text{ m por encima de la superficie del suelo}$$

$$d = (5 - 5 \times 0.555) = 2.225 \text{ m por encima de la superficie del suelo}$$

- b. De la ecuación (7.9), tenemos

$$\Delta q = k \frac{H}{N_d}$$

$$k = 5 \times 10^{-3} \text{ cm/s} = 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$\Delta q = (5 \times 10^{-5})(0.555) = 2.775 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s/m}$$

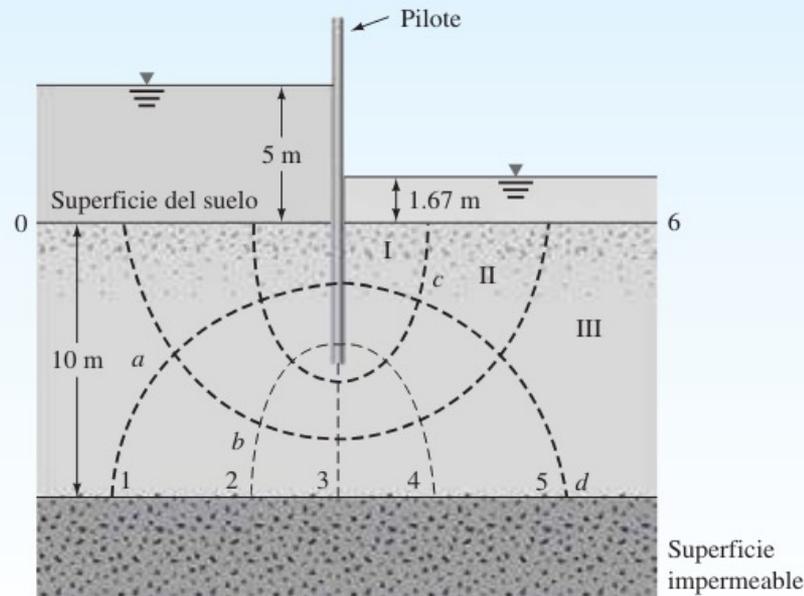
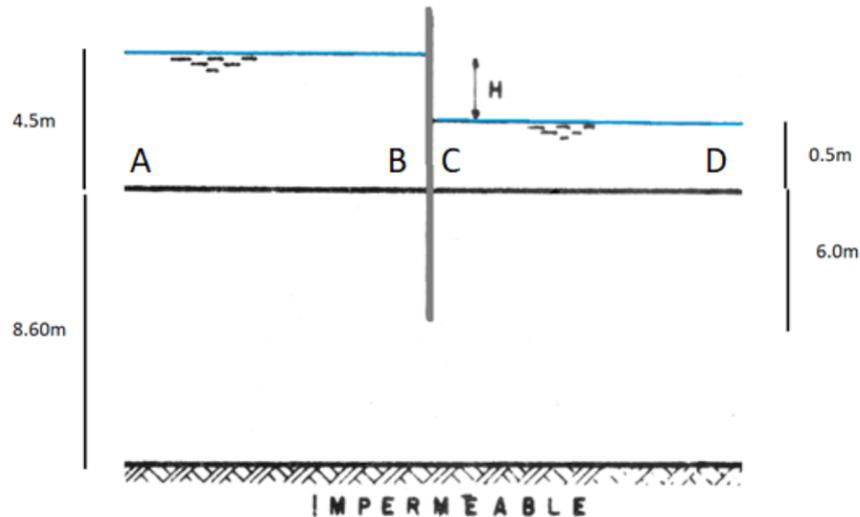


Figura 7.7 Red de flujo para el flujo en torno a una fila de pilotes en una capa de suelo permeable

• 2.3. Flujo Bidimensional

Ejercicio:

En la figura se presenta un tablaestacado colocado para la excavación de un canal. La tablaestaca tiene 10.5 metros de altura y se encuentra en una arena limpia con un peso unitario saturado de 20 kN/m^3 , la permeabilidad es de $k = 4.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}$ y tiene un espesor de 8.6 m. Los sondeos indicaron que bajo la arena se encontró un estrato impermeable. Determinar la tasa de flujo que se infiltra de un lado a otro y la energía total en la línea equipotencial AB y CD.



stigos

• 2.3. Flujo Bidimensional

ΔH = Pérdida de energía total, diferencia entre cota de nivel superior e inferior de superficie libre de agua, m

Δh = Pérdida de energía entre dos líneas equipotenciales consecutivas, m

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

N_d = Número total de caídas de líneas equipotenciales

En un piezómetro la altura total de energía en cualquier punto se puede calcular con la relación /

$$h_p = \frac{n_d}{N_d} \Delta H$$

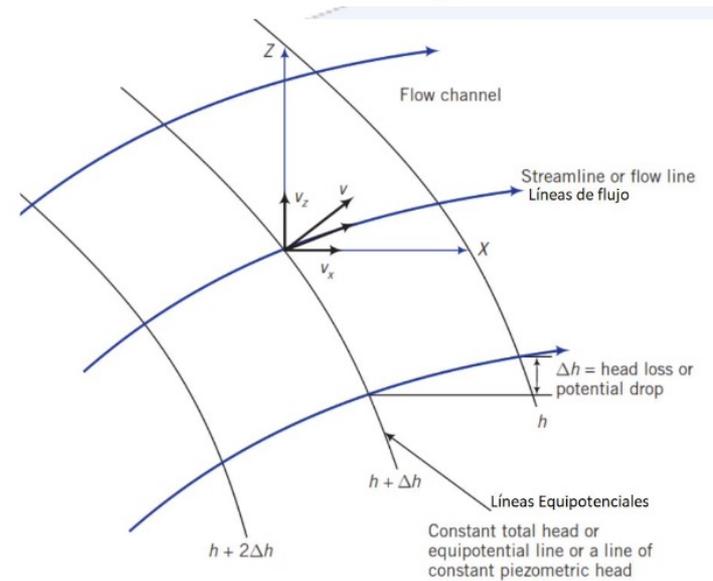
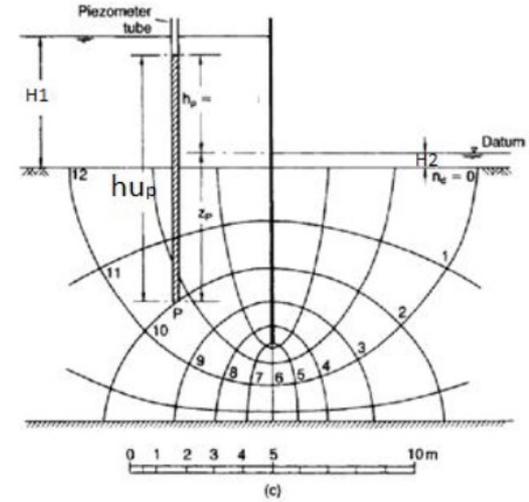
n_d = Número de caída equipotenciales a partir de equipotencia de frontera de borde

$$q = \text{tasa de flujo, } \frac{m^3}{s}$$

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

N_f = Número de canales de flujo (Número de líneas de flujo - 1)

$\frac{N_f}{N_d}$ = Relación de forma. No varía considerablemente si se define más la malla.



stration of flow terms.

OS • 2.3. Flujo Bidimensional

$i = \text{Gradiente hidráulico}$

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

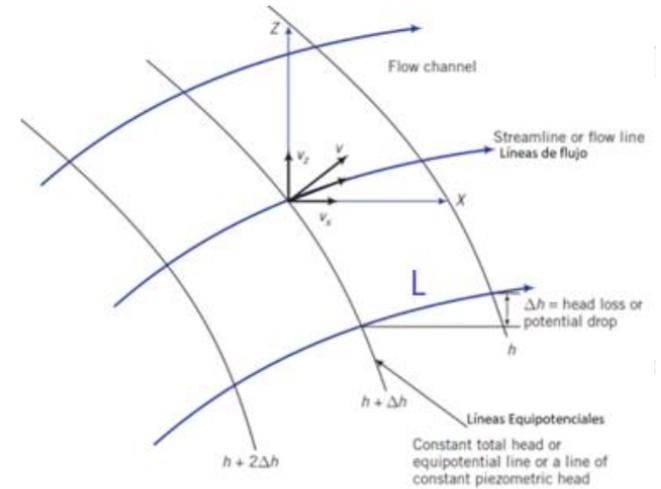
$i_{max} = \text{Gradiente hidráulico máximo}$

$$i_{max} = \frac{\Delta h}{L_{min}}$$

$L_{min} = \text{Mínima longitud de la celdas dentro de la red de flujo. Ubicados usualmente en los puntos de salida o esquinas.}$

$i_{crit} = \text{Gradiente hidráulico crítico, límite en el cual los esfuerzos de filtración se equilibran con los esfuerzos verticales y produce licuación estática.}$

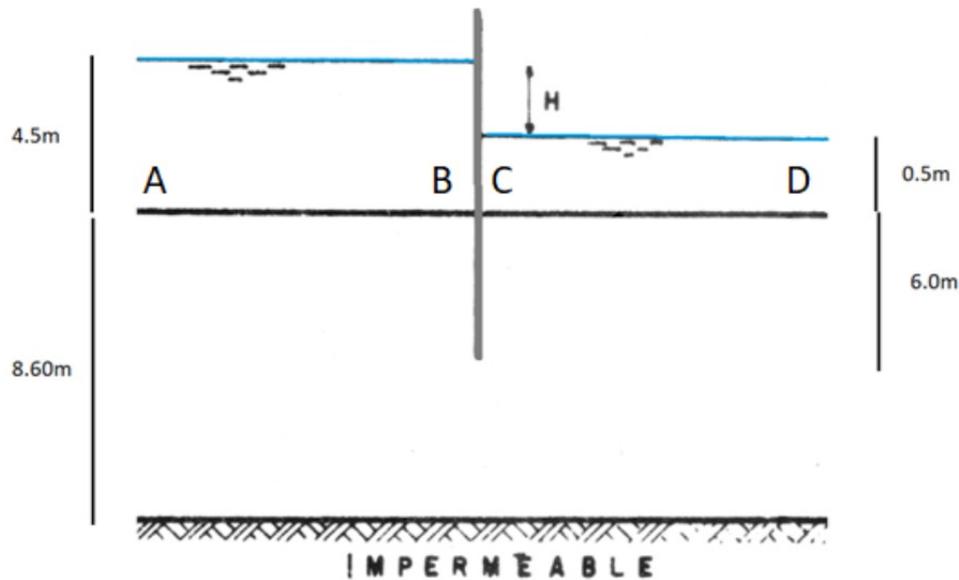
$$i_{crit} = \frac{Gs - 1}{1 + e}$$



• 2.3. Flujo Bidimensional

Ejercicio:

En la figura se presenta un tablaestacado colocado para la excavación de un canal. La tablaestaca tiene 10.5 metros de altura y se encuentra en una arena limpia con un peso unitario saturado de 20 kN/m^3 , la permeabilidad es de $k = 4.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}$ y tiene un espesor de 8.6 m . Los sondeos indicaron que bajo la arena se encontró un estrato impermeable. Determinar la tasa de flujo que se infiltra de un lado a otro y la energía total en la línea equipotencial AB y CD.



FIN