



Laboratorio  
de Hidráulica  
Ing. David  
Hernández Huéramo



## NOMBRE DE LA PRÁCTICA

### RED DE FLUJO EN UN DIQUE DE MATERIAL HOMOGÉNEO

#### OBJETIVO (S)

Una vez desarrollada la práctica, orientada a visualizar, medir y comprender, el alumno será capaz de:

1. Trazar una red de flujo en un medio poroso, mediante la visualización de líneas de corriente formadas por el flujo a través de un dique de material homogéneo, como una aplicación de la ley de Darcy a estructuras hidráulicas.
2. Identificar donde es aplicable trazar una red de flujo para conocer el gasto descargado aguas abajo.

#### ENCUADRE TEÓRICO

##### Red de Flujo

Es la representación gráfica de las líneas de flujo o corriente y las líneas equipotenciales usadas en el estudio de fenómenos de filtración en diferentes medios porosos. Para el caso de las cortinas de presas deben ser estables y tan impermeables como sea posible.

##### Teoría de redes de flujo

La ecuación de Laplace queda resuelta por dos familias de curvas ortogonales entre sí, que son las líneas de corriente (LC) y las líneas equipotenciales (LE). De la teoría de las redes de flujo se desprende el *método de las redes de flujo* para resolver problemas de un modo sencillo y puramente gráfico.

##### Línea de corriente

También llamada línea de flujo, es la trayectoria seguida por las moléculas de agua al fluir por un medio poroso.

##### Línea equipotencial

Es aquella que une los puntos donde se tiene el mismo potencial hidráulico.

### Celda de flujo

Es el espacio comprendido entre dos líneas equipotenciales vecinas y dos líneas de corriente vecinas.

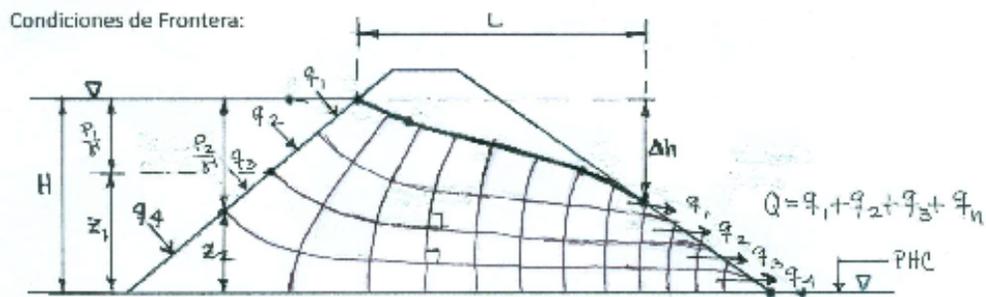
### Tubo de corriente

Es el espacio comprendido entre líneas de corriente vecinas.

### Red de flujo

En el caso del trazo de redes de flujo deben considerarse las siguientes condiciones:

1. Las líneas de corriente no deben intersectarse.
2. Las líneas equipotenciales no deben intersectarse.
3. La intersección de las LC con las LE debe ocurrir a  $90^\circ$ .



**Figura 3.1** Red de flujo en sección de cortina de material homogéneo

Las razones de lo anterior son:

- i. Por qué pasaría de flujo laminar a turbulento.
- ii. Significaría que en el punto de intersección de dos líneas equipotenciales la partícula de agua tendría simultáneamente dos potenciales hidráulicos y se generaría un vórtice y el flujo dejaría de ser laminar.

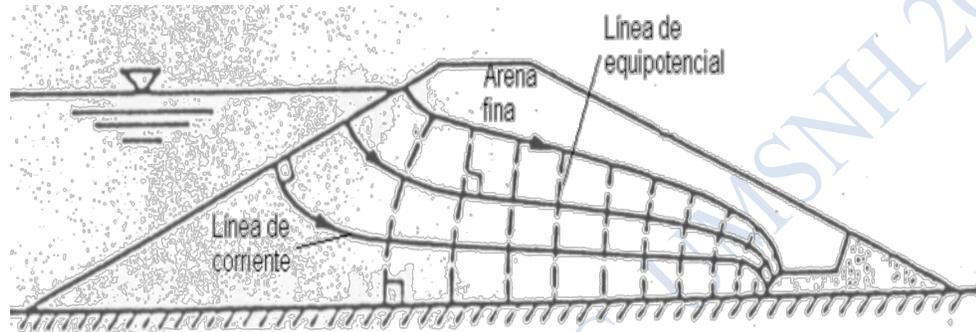
Para demostrar que la intersección entre una línea de corriente y una equipotencial debe ocurrir a  $90^\circ$  es conveniente recordar:

- a. La dirección del vector velocidad de una partícula de agua debe ser en cada

punto tangente a la trayectoria, o sea, a la línea de corriente.

- b. Para que haya flujo de agua, o sea, para que exista velocidad en el agua es necesario que se tenga una diferencia de potencial hidráulico.

Para determinar las pérdidas de agua por infiltración es necesario contar con la red de flujo en la que  $N_t$  y  $N_p$ , corresponden al número de tubos de flujo y caídas de equipotencial respectivamente.



**Figura 3.2** Red de flujo en un dique de material homogéneo

Con esto en mente y de acuerdo con la ley de Darcy, se obtiene que:

$$q = K H \frac{N_t}{N_p}$$

Donde:

$q$  = Gasto (caudal) por unidad de ancho [ $m^2/s$ ]

$K$  = Coeficiente de permeabilidad [ $m/s$ ]

$H$  = Carga hidráulica [ $m$ ]

$N_t$  = Número de tubos de flujo [adimensional]

$N_p$  = Número de caídas de equipotencial [adimensional]

El gasto total será:

$$Q = q b$$

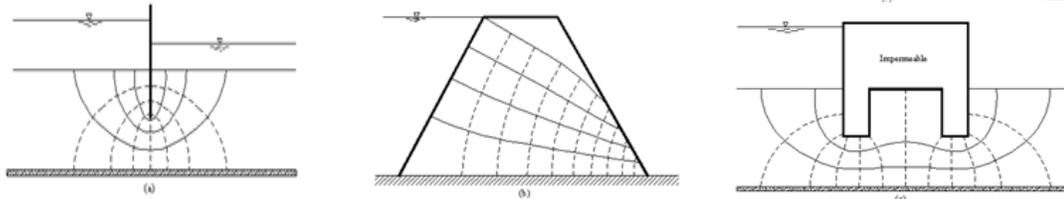
Donde:

$Q$  = Gasto (caudal) total [ $m^3/s$ ]

$b$  = Ancho de la cortina [ $m$ ]

### Aplicaciones

- Diferentes tipos de diques: Naturales y Artificiales
- Diques artificiales: Diques de contención y Diques Rompeolas.
- Cortinas de presas: Materiales homogéneos o Materiales graduados.



**Figura 3.3** Ejemplo de aplicación de redes de flujo

### EQUIPO O DISPOSITIVO

Aparato de permeabilidad

### MATERIALES

- Regla graduada o flexómetro
- Cronómetro
- Probeta graduada de 1 l de capacidad

### PROCEDIMIENTO

La práctica se desarrollará en una etapa, acorde con la siguiente secuencia de pasos:

#### **Etapa I.**

1. Construir en el interior del modelo de permeabilidad el dique de material homogéneo. Aguas arriba el dique tendrá un talud 2 a 1 (ángulo de inclinación menor de  $30^\circ$ ) y aguas abajo tendrá talud 5 a 1 (o bien un ángulo menor al de fricción interna del material saturado), la corona del dique tendrá 10 cm de largo, para la construcción realícese en capas y compáctese hasta darle la forma citada, auxíliese del trazo en el cristal posterior.
2. Abrir la válvula (azul) de suministro ubicada en la parte posterior izquierda del aparato y mantener cerrada la válvula (roja).
3. Verificar que la válvula del sumidero, en la parte central del dispositivo, se halla completamente cerrada antes de encender las bombas.
4. Arrancar la bomba con el variador de velocidad en ceros y abrir

lentamente.

5. Se hará lecturas en los piezómetros necesarios para trazar la línea superior de saturación dentro del dique.
6. Se inyecta tinta fluorescente (orange) con una jeringa sobre el paramento de aguas arriba donde se desea trazar líneas de corriente.
7. Trazadas sobre el cristal con marcador de agua se trazan las líneas equipotenciales.
8. El laboratorista explica a los alumnos las condiciones de frontera en el dique.
9. Una vez uniformizada la red de flujo se procede a medir el gasto que está pasando a través del dique homogéneo, de manera volumétrica, en el vertedor situado en la parte inferior del modelo, para comprobar el cálculo del gasto total obtenido por la ecuación presentada en ésta práctica.
10. Una vez aforado el gasto, se apaga la bomba y se deja que drene poco a poco el agua en ambos tubos de drenaje, con la finalidad de evitar que se licue el material, una vez drenado toda el agua del modelo se cierra la válvula del depósito izquierdo y se baja el tubo de reborde al nivel inicial.

**REGISTRO DE MEDICIONES**

**ETAPA 1**

**Tabla 3.1** secuela de cálculo

b = \_\_\_\_\_ [m]  
K = \_\_\_\_\_ [m/s]

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
<i>Carga</i>	<i>H</i>	<i>Nt</i>	<i>Np</i>	<i>t</i>	<i>q</i>	<i>Q</i>	<i>Vol</i>	<i>t</i>	<i>Q aforo</i>
	(m)	(adim)	(adim)	(s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> )	(s)	(m <sup>3</sup> /s)
1									

Nota 1: Las unidades no son estándar, pero se trabajan como están indicadas para facilitar su uso en las ecuaciones indicadas por la literatura.

Nota 2: Considere las siguientes expresiones, las cuales corresponden al modelo utilizado en la practica, para calcular el coeficiente de permeabilidad.

**Tabla 3.2** Perfil de la superficie libre de saturación

<i>Piezómetro No</i>	(1) <i>x</i> (cm)	(2) <i>h<sub>i</sub></i> (cm)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		

**ACTIVIDADES**

**ETAPA 1**

1. Traza el perfil de la superficie libre de saturación utilizando los valores de la Tabla 3.2
2. Obtener el gasto unitario, utilizando el coeficiente de permeabilidad (K) obtenido en las prácticas anteriores, el cual es aplicable, ya que se trata del mismo material.
3. Realizar una medición volumétrica del gasto descargado por el talón del dique.
4. Compara el gasto volumétrico con el gasto calculado.
5. Realiza un croquis de la sección transversal del dique a escala; de manera que se pueda trazar en una hoja de papel tamaño carta.
6. Sobre la sección anterior traza la red de flujo que quedó dibujada sobre el cristal.

**INSTRUCCIONES**

1. Redacta una conclusión de la práctica.