2. SISTEMAS DE TUBERÍAS

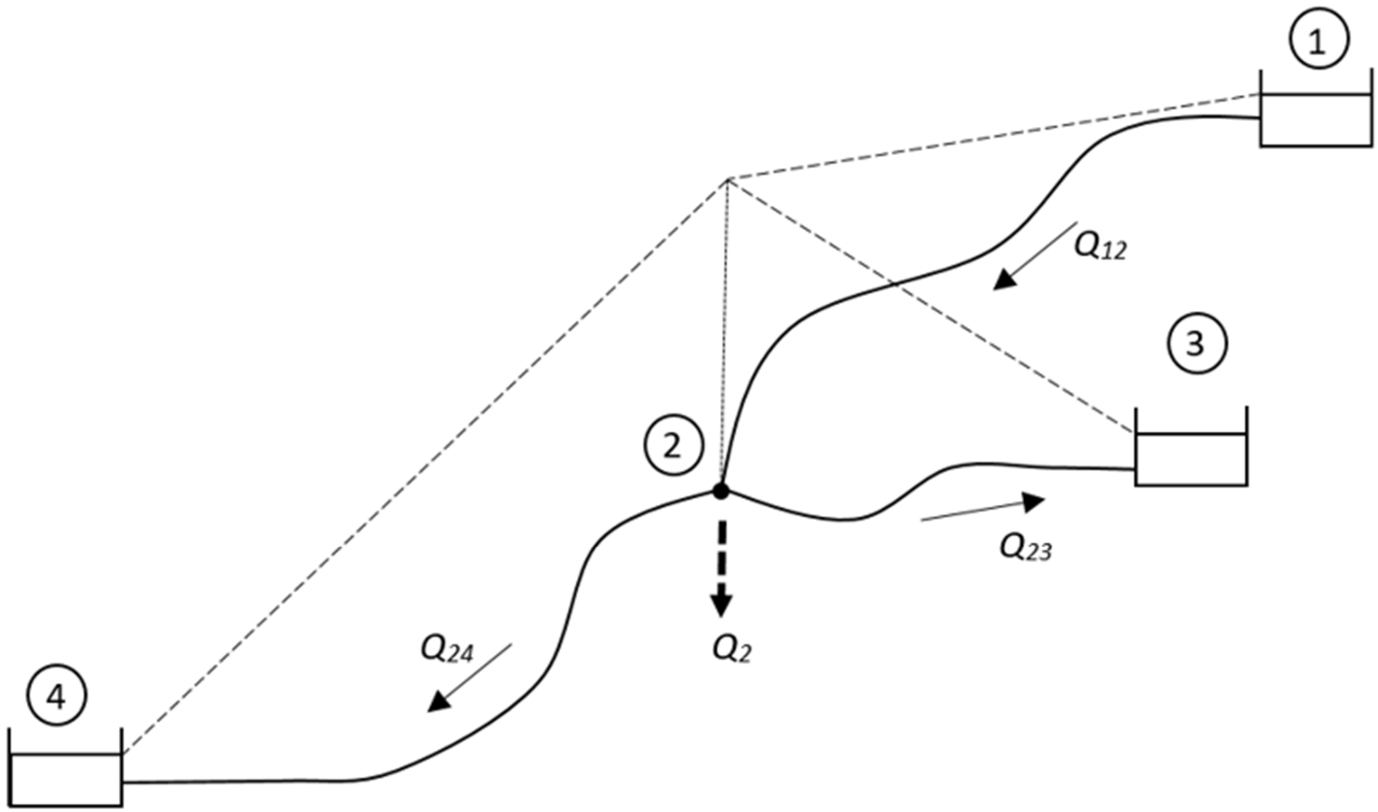
Objetivo: En este tema se darán las bases para el análisis hidráulico de redes de tuberías.

Redes de tuberías

- **Abiertas**: En una red abierta las tuberías se ramifican a partir de uno o más puntos de origen hacia uno o más puntos de destino
- **Cerradas**: En una red cerrada los tubos, al ramificarse, llegan a interconectarse entre si formando circuitos

Redes abiertas

Imaginemos la red abierta a gravedad como la mostrada en la figura.



Para el análisis de una red abierta se deben satisfacer, en forma simultánea, siguientes ecuaciones:

Ec. de la energía para cada tramo de tubería:

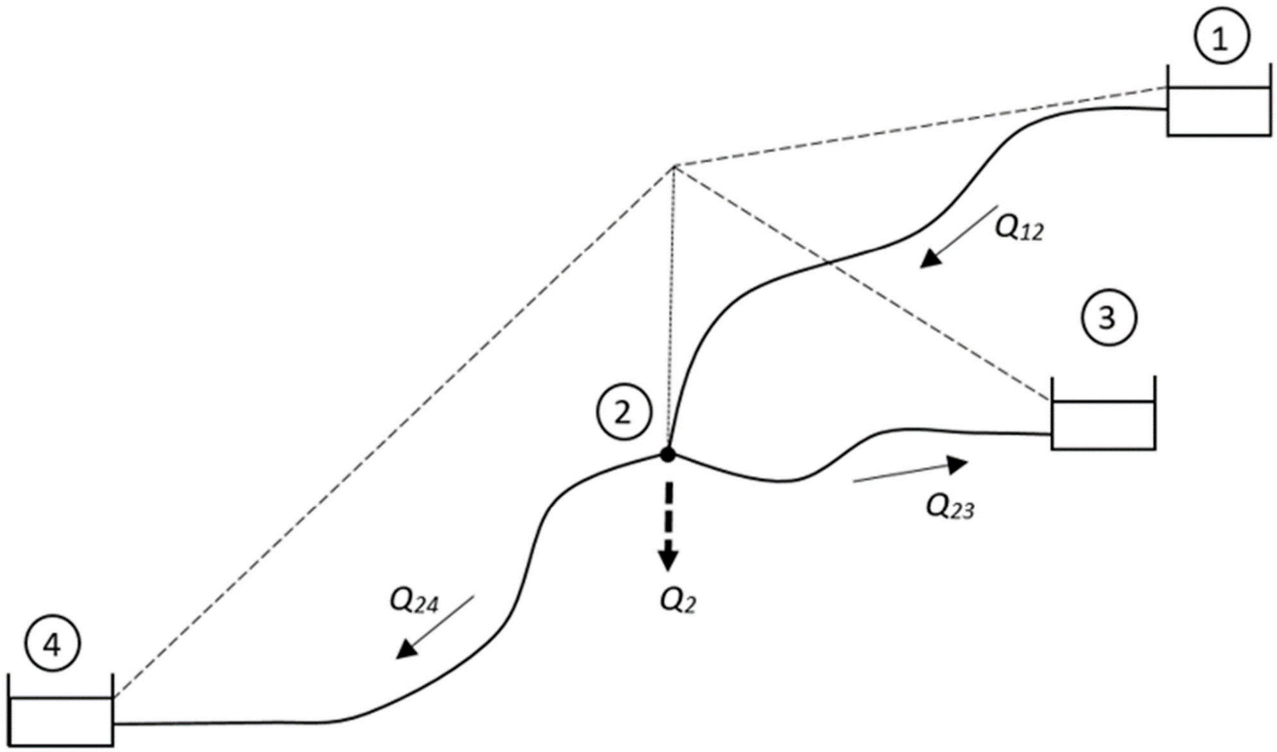
$$H_i = H_j + hr_{ij}$$

Ec. de continuidad en los nudos interiores:

$$\Sigma\, Q_{ij} + Q_i = 0$$

Convención de signos: $-Q$ entrada y $+Q$ salida

Nota: (Q_{ij}) gastos que entran o salen del nudo por una tubería
(Q_i) demandas (extracción) o aportaciones directa en el nudo



$$-Q_{12} + Q_{23} + Q_{24} + Q_2 = 0$$

$$Q_{12} = Q_{23} + Q_{24} + Q_2$$

$$H_1 = H_2 + hr_{12}$$

$$H_2 = H_3 + hr_{23}$$

$$H_2 = H_4 + hr_{24}$$

Es importante recordar que $$h_r = h_f + h_l = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} + \sum k\frac{V^2}{2g}$$

Por lo tanto, las pérdidas de carga se pueden escribir como $$hr = \left(f\frac{L}{D}\frac{1}{2gA^2} + \sum k\frac{1}{2gA^2}\right) Q^2$$

O simplemente $$hr = K\,Q^2$$

Entonces el sistema de ecuaciones puede representarse de la forma:

$$Q_{12} = Q_{23} + Q_{24} + Q_2$$

$$H_1 = H_2 + K_{12}\,Q_{12}{}^2$$

donde; $$K_{ij} = \left[f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}} + \left(\sum k\right)_{ij}\right]\frac{1}{2gA_{ij}^2}$$

$$H_2 = H_3 + K_{23}\,Q_{23}{}^2$$

$$H_2 = H_4 + K_{24}\,Q_{24}{}^2$$

Desde el punto de vista de los análisis hidráulicos existen dos tipos de problemas:

- **Revisión**: toda la geometría es conocida y por lo tanto todos los valores de K_{ij}, así como las elevaciones en los nudos exteriores.

  En nuestro ejemplo de revisión hay cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas, ¿cuáles son esas incógnitas?

  ____

  ____

  ____

  ____

- **Diseño**: se resuelven como sucesivos problemas de revisión a partir de un diseño preliminar, por lo tanto, el problema fundamental es el de revisión

- El flujo entre los nudos 2 y 3 depende de las carga en estos puntos, por lo que la ecuación de continuidad y la de la energía podrían cambiar, así como los correspondientes valores de K_{ij}

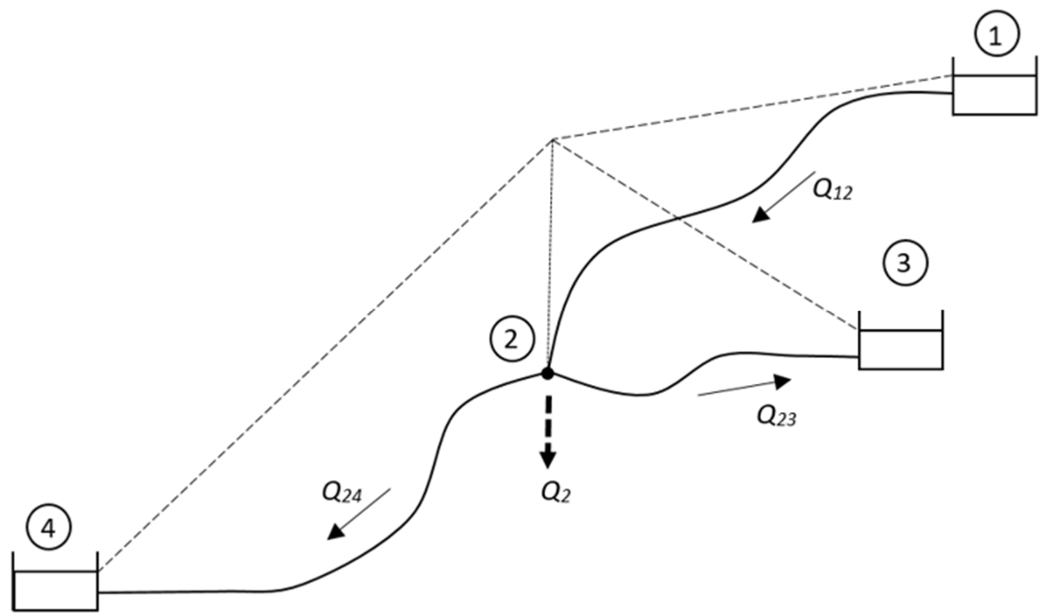
- Un sistema tan sencillo como el del ejemplo puede resolverse si de cada ecuación de la energía se despeja el gasto y se sustituye en la ecuación de continuidad, resolviéndola para H_2

$$Q_{12} = Q_{23} + Q_{24} + Q_2$$

$$H_1 = H_2 + K_{12}\, Q_{12}^{\,2}$$

$$H_2 = H_3 + K_{23}\, Q_{23}^{\,2}$$

$$H_2 = H_4 + K_{24}\, Q_{24}^{\,2}$$



- Puede también resolverse por aproximaciones sucesivas. Por ejemplo se puede suponer un valor inicial para la carga (H_2), determinar los gastos de las ecuaciones de la energía y, finalmente, verificar que se cumpla continuidad en el nudo interior

Si $Q_{12} > Q_{23} + Q_{24} + Q_2$ se debe aumentar H_2. En caso contrario, se debe disminuir repitiendo el procedimiento hasta que se verifique la ecuación de continuidad.

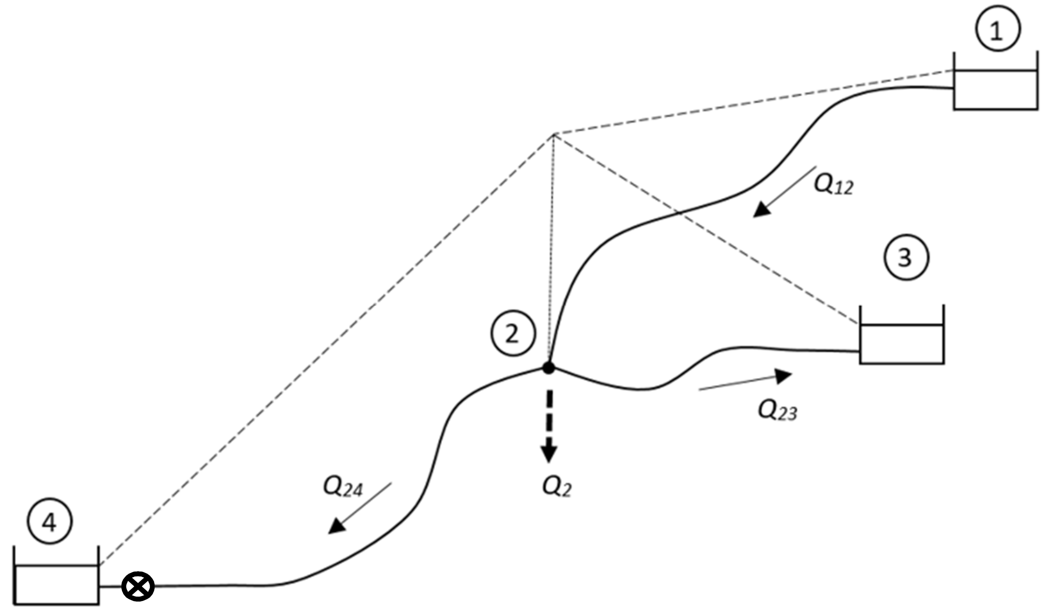
$$Q_{12} = Q_{23} + Q_{24} + Q_2$$

$$H_1 = H_2 + K_{12}\, Q_{12}^{\,2}$$

$$H_2 = H_3 + K_{23}\, Q_{23}^{\,2}$$

$$H_2 = H_4 + K_{24}\, Q_{24}^{\,2}$$

$$K_{ij} = \left[f_{ij} \frac{L_{ij}}{D_{ij}} + \left(\sum k \right)_{ij} \right] \frac{1}{2gA_{ij}^2}$$



Ejemplo

Considere la red abierta mostrada anteriormente, con las características mostradas en la siguiente tabla:

Tubo (i,j)	L (m)	D (m)	f *
1,2	1,000	0.20	0.015
2,3	300	0.10	0.019
2,4	500	0.15	0.016

Accesorio	k	Ubicación
Entrada	0.5	tanque 1
Salida	1	tanques 3 y 4
Válvula	2	tubo 2 - 4

* Los valores de f corresponden en promedio a: $\varepsilon = 0.02$ mm (Epanet)

Las elevaciones en los tanques son: $H_1 = 38.6$ m, $H_3 = 20$ m y $H_4 = 10$ m

La demanda en el nudo interior es: $Q_2 = 10$ lps

Solución

Con los datos del problema se pueden determinar los valores de K_{ij}.

$\boldsymbol{Tubo\ (i,j)}$	$\boldsymbol{fL/D}$	$\boldsymbol{\Sigma k}$	$\boldsymbol{A\ (m^2)}$	$\boldsymbol{K_{ij}(s^2/m^5)}$
1,2				
2,3				
2,4				

$$K_{ij} = \left[f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}} + \left(\sum k\right)_{ij}\right]\frac{1}{2gA_{ij}^2}$$

El sistema a resolver es:

$$Q_{12} = Q_{23} + Q_{24} + Q_2 \qquad i$$

$$H_1 = H_2 + K_{12}{Q_{12}}^2 \qquad ii$$

$$H_2 = H_3 + K_{23}{Q_{23}}^2 \qquad iii$$

$$H_2 = H_4 + K_{24}{Q_{24}}^2 \qquad iv$$

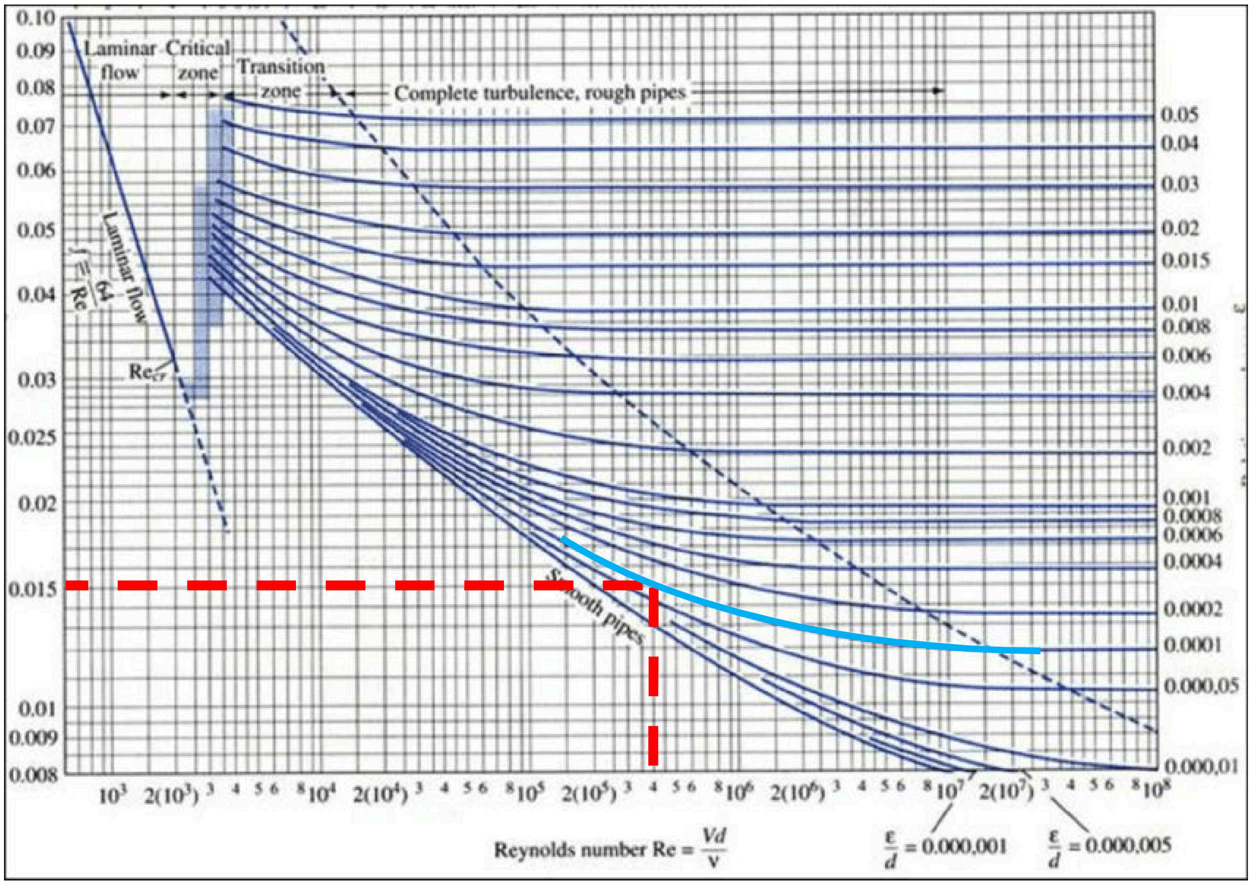
$$Q_{12} = \sqrt{(38.6 - H_2)/K_{12}} \qquad ii$$

$$Q_{23} = \sqrt{(H_2 - 20)/K_{23}} \qquad iii$$

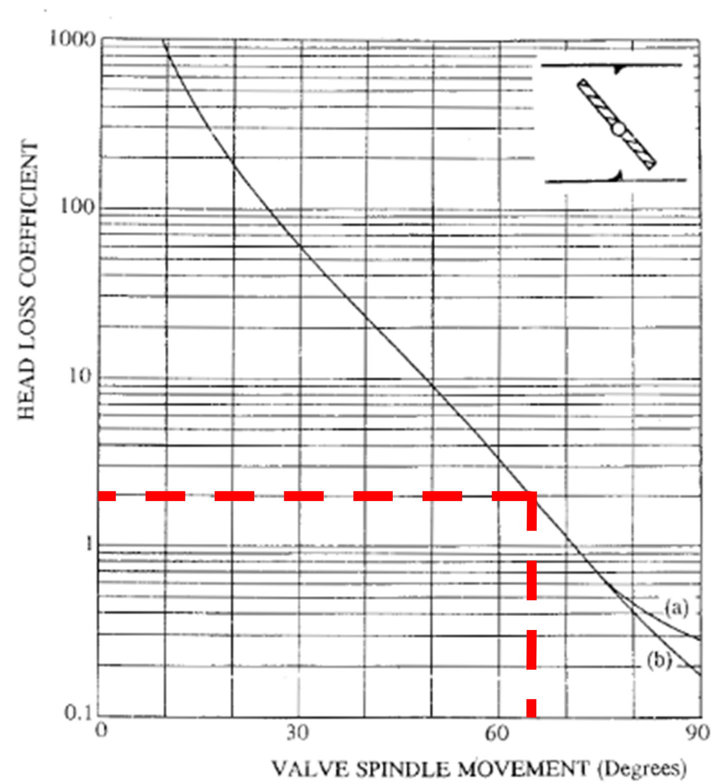
$$Q_{24} = \sqrt{(H_2 - 10)/K_{24}} \qquad iv$$

$$Q_{12} = Q_{23} + Q_{24} + 0.010 \qquad i$$

$\boldsymbol{H_2}$ $(\boldsymbol{m})$	$\boldsymbol{Q_{12}}$ $(\boldsymbol{m^3/s})$	$\boldsymbol{Q_{23}}$ $(\boldsymbol{m^3/s})$	$\boldsymbol{Q_{24}}$ $(\boldsymbol{m^3/s})$	$\boldsymbol{Q_{12} = Q_{23} + Q_{24} + 0.010}$ $(\boldsymbol{m^3/s})$



Laminar flow
Critical zone
Transition zone
Complete turbulence, rough pipes
Laminar flow $f = \frac{64}{Re}$
Re_{cr}
Smooth pipes
Reynolds number $Re = \frac{Vd}{\nu}$
$\frac{\varepsilon}{d} = 0.000,001$
$\frac{\varepsilon}{d} = 0.000,005$



HEAD LOSS COEFFICIENT
VALVE SPINDLE MOVEMENT (Degrees)
(a)
(b)

Escribe las ecuaciones para el análisis la red mostrada.