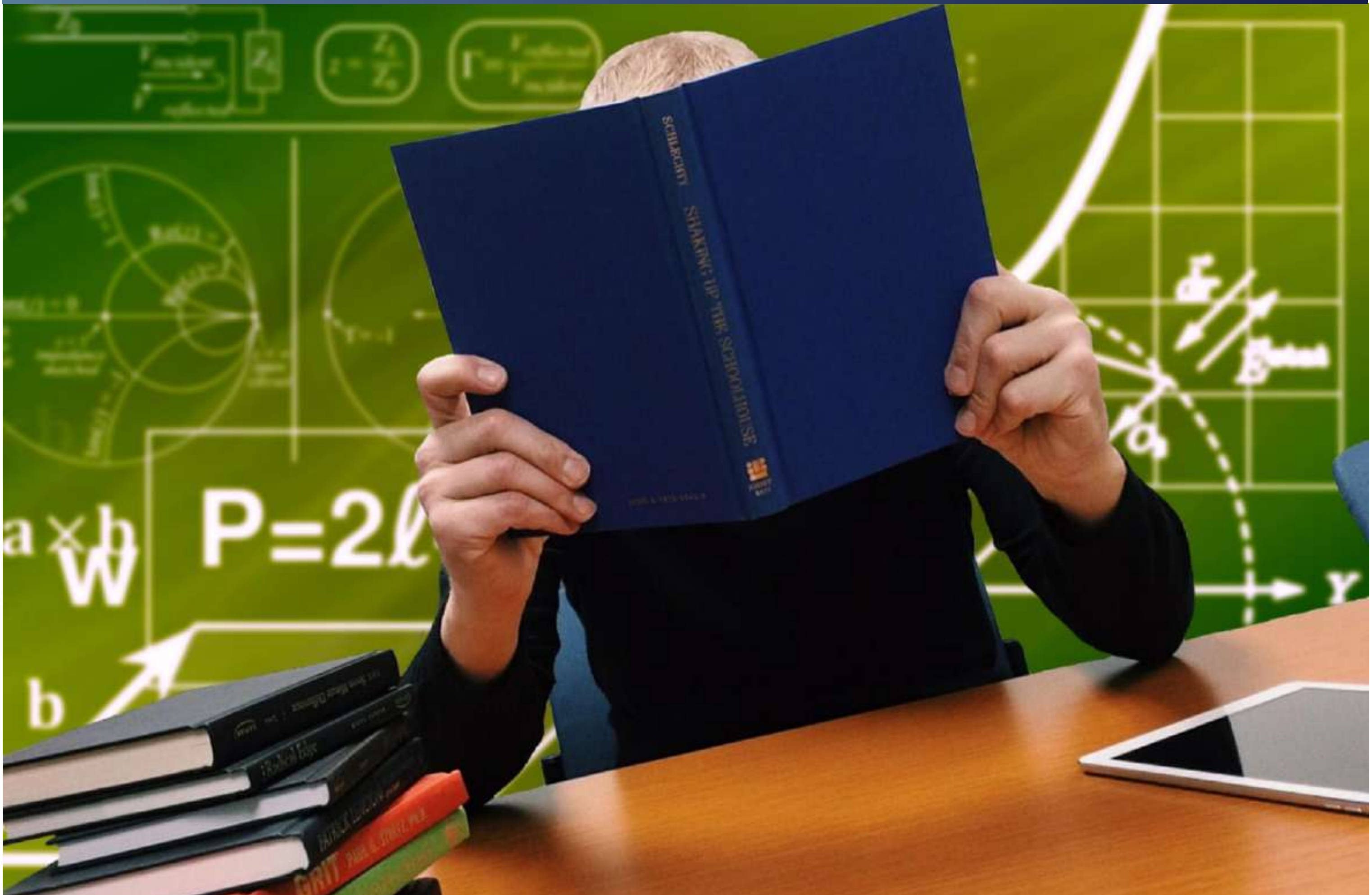
Ejercicios y Talleres



puedes enviarlos a
klasesdematematicasymas@gmail.com

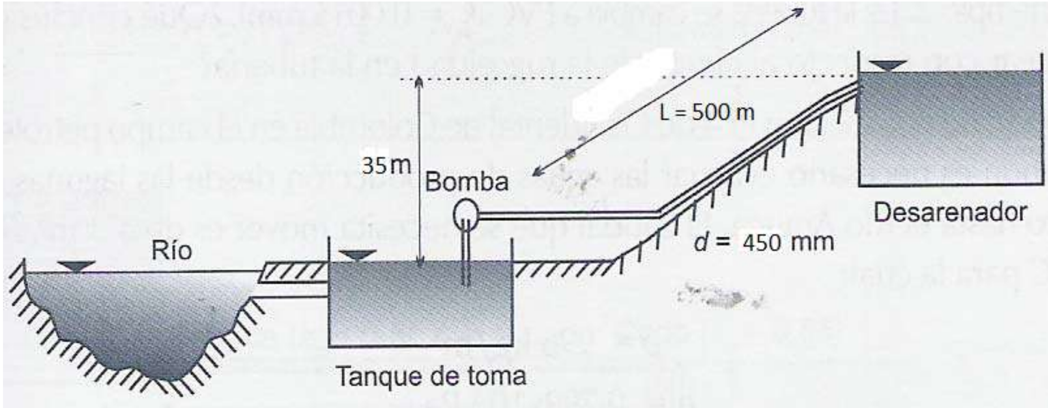
Taller No. 2

Para los siguientes problemas, los diámetros nominales comerciales de las tuberías se pueden suponer como los diámetros reales. La base de diámetros es: 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 y 720 mm. A no ser que se especifiqué un fluido diferente, se debe trabajar con agua a 15ºC, con las siguientes características: ρ = 999,10 kg/m3, μ = 1,14 x 10^-3 Pa.s, v = 1,141 x 10 ^-6 m2/s

Tuberías Simples

1. Una tubería de acero de XX cm de diámetro y rugosidad absoluta de 0,3 mm conecta un tanque elevado con una piscina. El tanque produce una altura de 22 m por encima de la piscina, en donde el flujo sale como chorro libre, es decir, a presión atmosférica. La longitud total de la tubería es de 200 m y tiene un coeficiente global de perdidas menores de 10,6. Calcule el caudal de agua que fluye por la tubería. ***(El valor de XX es los dos últimos dígitos de su código, si es 00 escoja 10)***

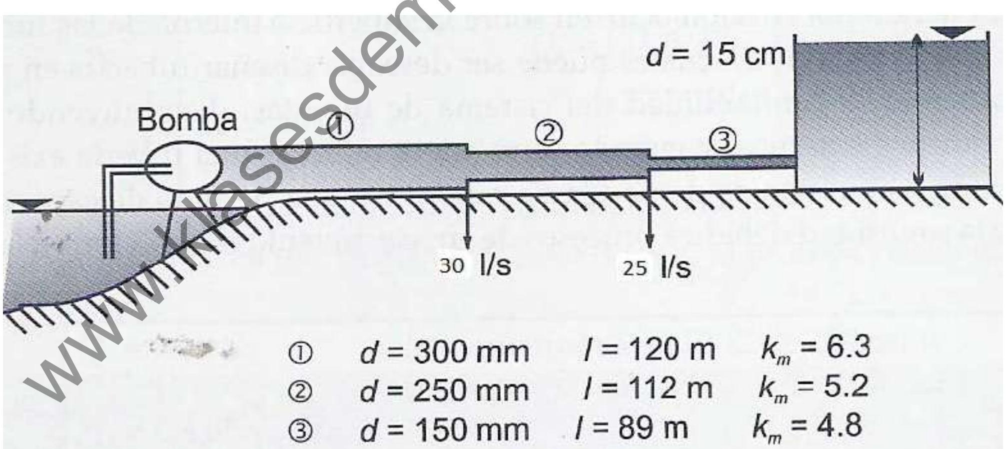
2. El sistema de toma de un acueducto municipal incluye una estación de bombeo que envía el agua hacia un tanque desarenador localizado en la cima de una colina. El caudal demandado por la población es de 5XX l/s, el cual es bombeado a través de una tubería de acero de 450 mm (ks = 0,046mm). La tubería tiene una longitud total de 500 m y un coeficiente global de perdidas menores de 9,4. Calcule la potencia requerida en la bomba si su eficiencia es del 75%. ***(El valor de XX es los dos últimos dígitos de su código, si es 00 escoja 10)***



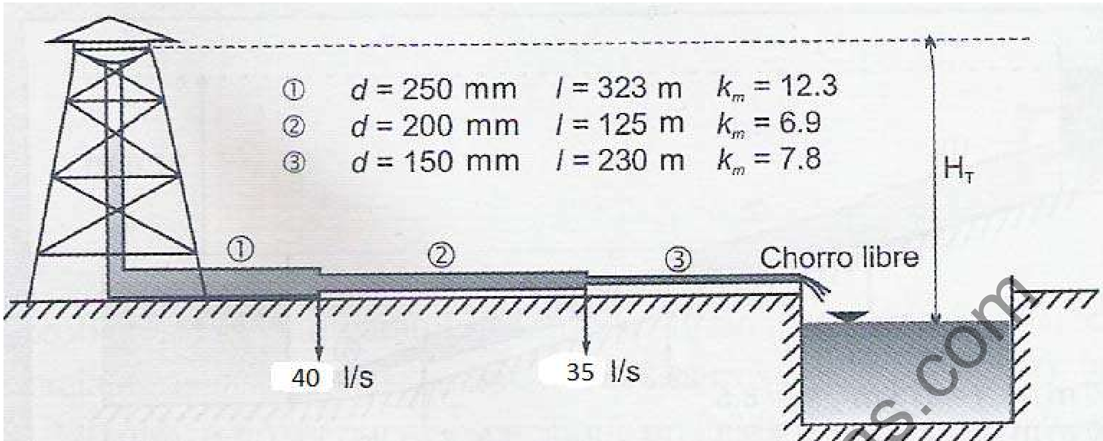
3. De acuerdo con el diseño agronómico de un sistema de riego localizado de alta frecuencia, para un cultivo de mango es necesario transportar un caudal de 1XX l/s entre la bocatoma, sobre una quebrada cercana a la finca, y la estación de fertirrigación. Con el fin de que el agua sea movida por gravedad, la bocatoma se localiza 1000 m aguas arriba de la estación generándose de esta forma una diferencia de niveles de 25,2 m entre estos dos puntos. ¿Qué diámetros en PVC se requiere? La rugosidad absoluta es: 0.0015 mm, respectivamente. La viscosidad cinemática del agua es 1,14 x 10^{-6} m^2/s. El coeficiente global de pérdidas menores es 15,9. ***(El valor de XX es los dos últimos dígitos de su código, si es 00 escoja 10)***

Tuberías en Serie

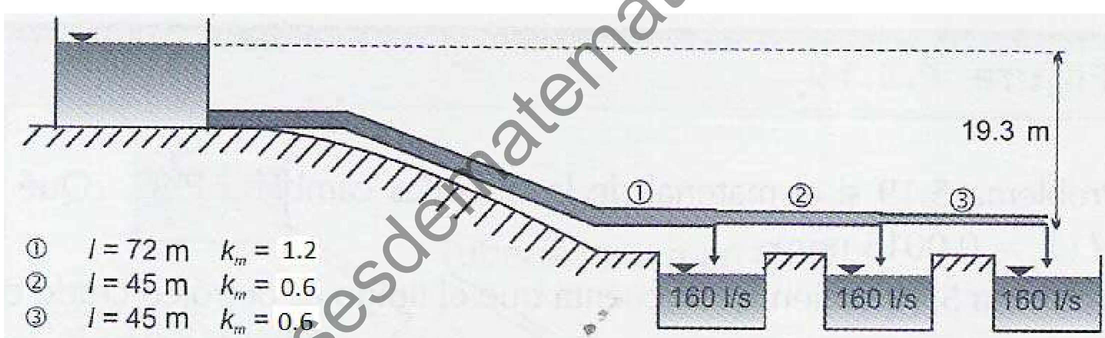
4. Una bomba transmite una altura total de XX m al flujo de agua en una serie de tres tuberías, tal como se muestra en la figura. Las tres tuberías están elaborados en PVC (ks = 1,5x $10^{\wedge-6}$). ¿Cuál es el caudal que llega al tanque ubicado aguas abajo? ***(El valor de XX es los dos últimos dígitos de su código, si es 00 escoja 10)***



5. Calcule la altura H del tanque mostrado en la figura teniendo en cuenta que el caudal que debe llegar a la piscina es de XX l/s. El material de las tuberías es hierro galvanizado, (ks = 0,15mm). ***(El valor de XX es los dos últimos dígitos de su código, si es 00 escoja 10)***

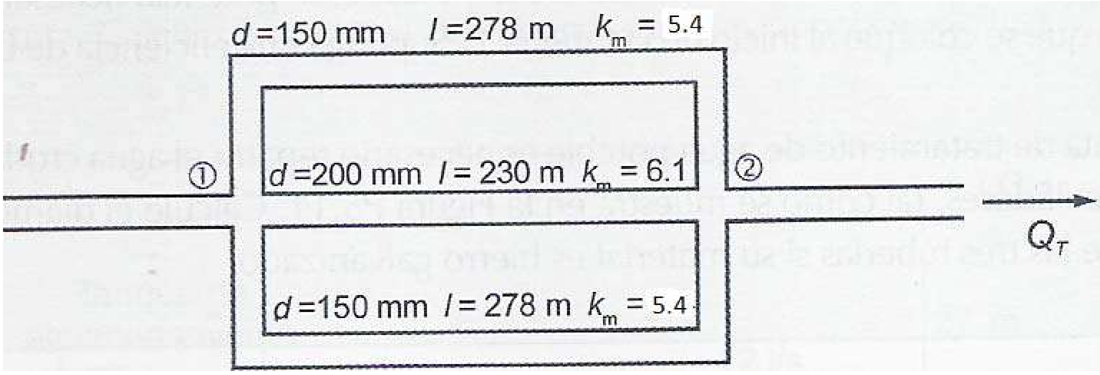


6. En una planta de tratamiento de agua potable es necesario repartir el agua cruda a tres tanques floculadores, tal como se muestra en la figura. Calcule el diámetro de casa una de las tuberías si su material es PVC. (ks = 1,5 x 10^-6mm).

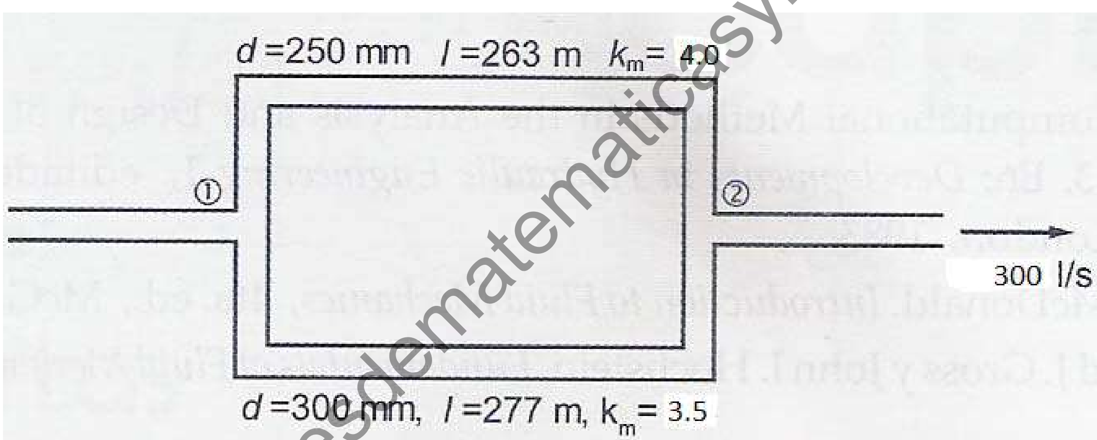


Tuberías en Paralelo

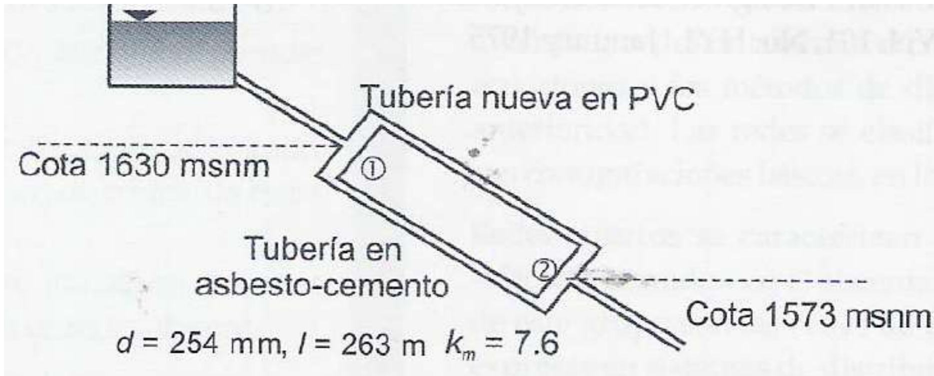
7. Calcule el caudal total que fluye por el sistema en paralelo mostrado en la figura. La presión en el nodo de entrada es de 4XX kPa y en el nodo de salida es de 100 kPa, ambas manométricas. Las tuberías son en PVC. (ks = 1,5 x 10^-6mm). ***(El valor de XX es los dos últimos dígitos de su código, si es 00 escoja 10)***



8. En la red matriz del sistema de distribución de agua potable del sistema de agua de Pereira, se tiene el sistema paralelo mostrado en la figura. El caudal total que debe pasar por éste es de 3XX l/s y la presión en el nodo inicial es de 243 kPa. El material de ambas tuberías es en PVC. ¿Cuál es la presión en el nodo final? ¿Cuáles son los caudales por cada tubería? ***(El valor de XX es los dos últimos dígitos de su código, si es 00 escoja 10)***

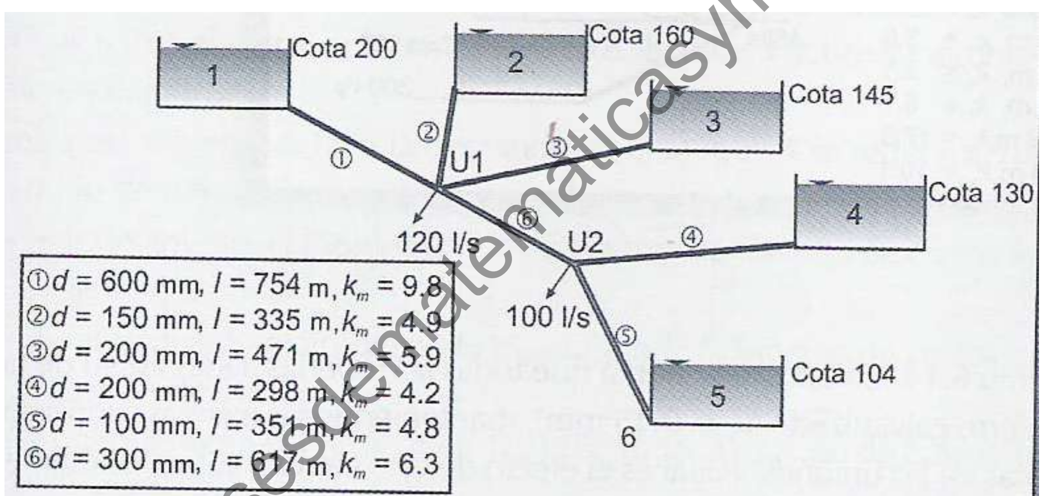


9. En el subsistema de distribución de agua potable de Pereira, que parte del tanque Matecaña, se tiene una tubería con las características mostradas en la figura. El caudal máximo que puede fluir por esta tubería es de 200 l/s. La presión en el nodo de entrada equivale a 35,3 m de agua y la del nodo final es de 27,6 m de agua. Si se quieres que el caudal aumente a 4XX l/s ¿Cual deberá ser el diámetro de la nueva tubería si su longitud y coeficiente de perdidas menores son iguales a los de la tubería original y el material es PVC. ¿Cuáles son los caudales finales en cada uno de las tuberías? ¿Cuál es la altura final en el nodo 2? ***(El valor de XX es los dos últimos dígitos de su código, si es 00 escoja 10)***

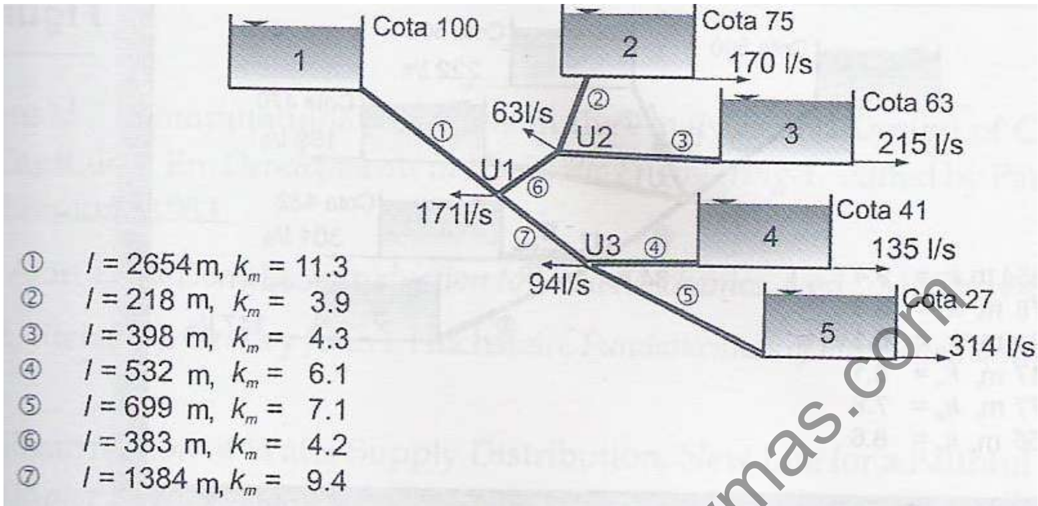


Redes Abiertas

10. Calcule los caudales de llegada a los cuatro embalses mostrados en la figura. Todas las tuberías son de PVC (ks = 0,0015mm). Las longitudes, los diámetros y los coeficientes globales de perdidas menores son los mostrados en la figura.



11. Diseñe la red abierta mostrada en la figura, teniendo en cuenta que el material de todas las tuberías es PVC (ks = 0,0015mm). En la figura se indican las longitudes y los coeficientes globales de perdidas menores de casa una de las tuberías, al igual que los caudales demandados en cada uno de los embalses.



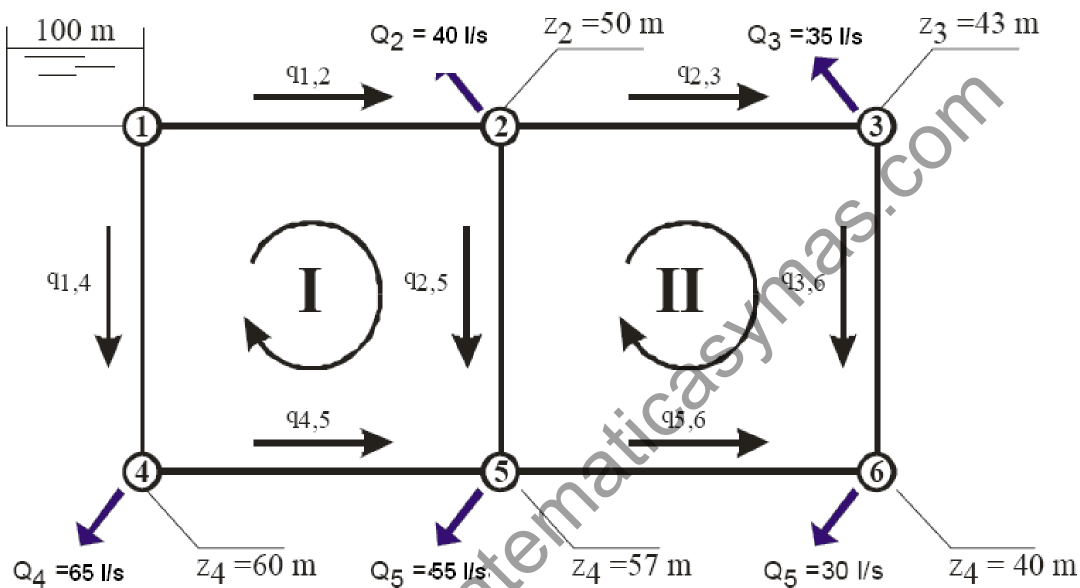
12. **REDES CERRADAS**

Problema 1:

Para la Red mallada de la figura, determinar la distribución de caudales en las tuberías y las presiones en los diferentes nodos consumo.

Resolver el problema mediante **Dos (2) diferentes metodologías** dentro de estas opciones:

(1) Método Hardy-Cross con Corrección de Caudales o Con Corrección Alturas
(2) Método de la Teoría Lineal
(3) Método del Gradiente



Datos Adicionales:

Nudos	1	2	3	4	5	6
Cota (m)	100	50	43	60	57	40
Presión (mca)						

Líneas	1-2	2-3	1-4	2-5	3-6	4-5	5-6
Longitud (m)	1500	1800	2200	1700	1600	1800	2300
Diámetro (mm)	300	200	350	200	150	250	150
ε (mm)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

Tipo de Fluido:
Agua 15 °C → **υ (m²/sg) = 1.141 E-6**

Notas:

- Con el objeto de simplificar el problema numérico, para el cálculo del factor de fricción en flujo turbulento podrá usar la ecuación empírica (explícita) de Swamee-Jain, aunque es preferible utilice la formulación de Colebrook-White:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2}$$

- Las tolerancias numéricas aceptadas para las ecuaciones deben ser menores a ± **0.001 m³/seg** para verificación de Caudales. En caso de corrección de energía la tolerancia debe ser menor a ± **0.25 m**.

Qué debe entregar?

Deberá entregar las tres simulaciones, demostrando los resultados obtenidos en las diferentes iteraciones e indicando en una tabla final los caudales resultantes en las líneas y presiones en los nodos. (**Ojo**: El proceso iterativo debe suspenderse una vez se superen las tolerancias indicadas)-Adicionalmente deberá entregar una tabla comparativa indicando el número de iteraciones requeridas en cada método, las ventajas y desventajas que ha encontrado para cada método en comparación con los otros.

Problema 2:

Para la Red mallada del problema anterior, ejecutar la simulación hidráulica en periodo estático usando el paquete gratuito **EPANET 2.0**.

EPANET es un programa de ordenador, desarrollado por la U.S. EPA, que realiza simulaciones en período extendido (o cuasiestático) del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. EPANET permite seguir la evolución del flujo del agua en las tuberías, de la presión en los nudos de demanda, del nivel del agua en los depósitos, y de la concentración de cualquier sustancia a través del sistema de distribución durante un período prolongado de simulación.
Además de las concentraciones, permite también determinar los tiempos de permanencia del agua en la red y su procedencia desde los distintos puntos de alimentación. El archivo

ejecutable de instalación de EPANET 2.0 así como el manual de usuario, lo puedes descargar en la página Web de la **U.S. Environmental Protection Agency – EPA**: http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html

Qué debe entregar?
- Dado que el método del Gradiente Conjugado es el algoritmo usado mayoritariamente por los programas comerciales (WaterCAD, H2OMap, EPANET, InfoWorks, etc), investigue acerca del planteamiento teórico que utiliza este método para la solución del problema numérico.

Plasme **sintéticamente** los pasos o metodología que plantea el método del gradiente describiendo en pasos el proceso iterativo. Lo anterior puede investigarlo en los manuales de los programas de software o en distintas fuentes bibliográficas.

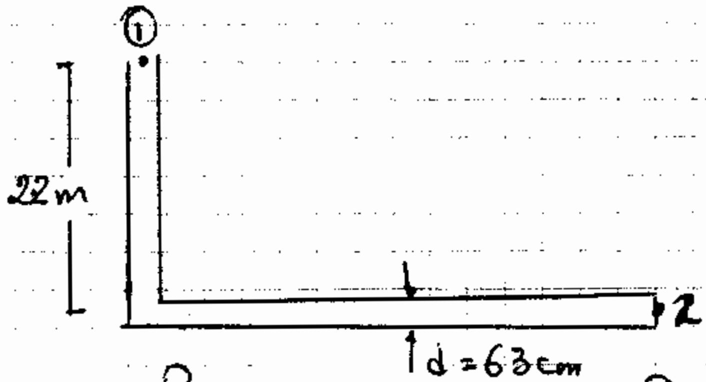
- Para el Modelo Hidráulico habiendo dibujado, configurado y simulado la Red; deberá entregar el archivo .INP (con los datos de entrada de su modelo) así como los valores generados en los reportes tabulares para Nodos (Nodes) y Líneas (Links) con los valores de presión y caudal respectivamente.

- Enumere 5 características que encuentre en el trabajo de modelación bajo EPANET, que le parezcan altamente ventajosas en términos de su trabajo y en comparación con los métodos manuales de resolución usados en el **Problema 1**.

$L = 200\ m$

$\nu = 1{,}141 \times 10^{-6}\ m^2/s$
$K = 10{,}6$

$$\epsilon/D = \frac{0{,}3\ mm}{630\ mm} = 4{,}76 \times 10^{-4} = 0{,}000476.$$



$$\cancel{\frac{P_1}{\rho g}}^{0} + z_1 + \cancel{\frac{\upsilon_1^2}{2g}}^{0} = \cancel{\frac{P_2}{\rho g}}^{0} + \cancel{z_2}^{0} + \frac{\upsilon_2^2}{2g} + K\frac{V^2}{2g} + f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

$$z_1 = \frac{\upsilon_2^2}{2g} + K\frac{V^2}{2g} + f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

$$22m = \frac{V_2^2}{2g} + 10{,}6\frac{V^2}{2g} + f \cdot \frac{200}{0{,}63}\frac{V^2}{2g}$$

$$22 = \frac{V^2}{2g}\left(1 + 10{,}6 + f \cdot \frac{200}{0{,}63}\right) \qquad 22 = \frac{V^2}{2g}\left(11{,}6 + 317{,}46 f\right)$$

la ecuación de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left[\frac{\epsilon}{3{,}7d} + \frac{2{,}51}{R_E\sqrt{f}}\right] \qquad R_E = \frac{VD}{\nu}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left[\frac{0{,}3}{3{,}7 \cdot 630} + \frac{2{,}51}{\frac{V \cdot 0{,}63}{1{,}141 \times 10^{-6}}\sqrt{f}}\right]$$

Iterando se tiene $f = 0{,}0229$ $V = 2{,}60\ m/s$.

Por tanto $Q = V \cdot A$

$$Q = 2{,}60\,\frac{m}{s} * \pi\left(\frac{0.63}{2}\right)^2 =$$

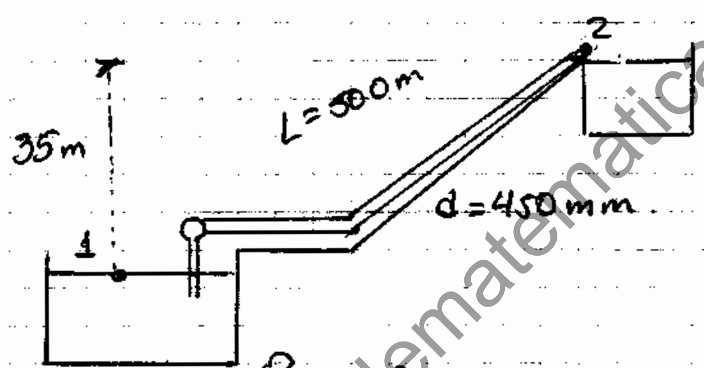
$$Q = 0{,}8105\ m^3/s.$$

2. $Q = 563\ l/s * \dfrac{1\ m^3}{1000\ l} = 0{,}563\ m^3/s.$

$\phi = 450\,mm$ $\quad ks = 0{,}046\ mm. \rightarrow$ rugosidad absoluta

$L = 500\ m.$

$K = 9.4 \quad e = 75\%$



$$H_B + \cancel{\frac{P_1}{\rho g}}^{0} + \cancel{z_1}^{0} + \cancel{\frac{V_1^2}{2g}}^{0} = \cancel{\frac{P_2}{\rho g}}^{0} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + K\frac{V^2}{2g} + f\,\frac{L}{D}\,\frac{V^2}{2g}.$$

$$H_B + 0 = 35 + \frac{V_2^2}{2g} + 9.4\,\frac{V^2}{2g} + f * \frac{500}{0{,}45}\,\frac{V^2}{2g}$$

$$H_B = \frac{V^2}{2g}\left(35 + 9.4 + f * \frac{500}{0.45}\right)$$

$$H_B = \frac{V^2}{2g}\left(44.4 + 1111{,}11\,f\right)$$

$Q = 0{,}563\ m^3/s \qquad Q = V \cdot A \qquad V = \dfrac{Q}{A} \qquad V = \dfrac{0{,}563}{\pi\left(\frac{0{,}45}{2}\right)^2}$

$V = 3{,}5399\ m/s.$

$$H_B = \frac{3{,}5399^2}{2 * 9.8}\left(44{,}4 + 1111{,}11\,f\right) \qquad H_B = 28{,}38 + 710{,}37\,f$$

De la ecuación de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,869 \ln\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.523}{R_e\sqrt{f}}\right)$$

$\nu = 1,141 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ $\qquad R_e = \frac{VD}{\nu} = \frac{3.5399 \times 0.45}{1,141 \times 10^{-6}}$

$R_e = 1396104,29$

$$\varepsilon/D = \frac{0,000046}{0,45} = 0,0001022$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \ln\left(\frac{0.0001022}{3.7} + \frac{2.523}{1396104,29 \times \sqrt{f}}\right)$$

Despejando f se tiene. $f = 0,0131$

Por tanto $\quad H_B = 28,38 + 710,37 \times 0,0131$

$H_B = 37,68 \text{ m}$

$P = \frac{\gamma Q H_B}{\eta}$ $\qquad \eta = 75\% = 0,75$

$P = \frac{9791,18 \times 0,563 \times 37,68}{0,75}$ $\quad \gamma = \rho g = 999,10 \times 9.8 = 9791,18 \text{ N/m}^3$

$P = 276944,70 \text{ W}$

$P = 277 \text{ kW}$

3. $Q = 163 \text{ l/s} = 0,163 \text{ m}^3/\text{s}$

$L = 1000 \text{ m} \qquad \Delta H = 25,2 \text{ m}. \qquad$ diámetro = ?

$\varepsilon = 0,0015 \text{ mm} \qquad \nu = 1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \qquad k = 15,9.$

$$\cancelto{0}{\frac{P_1}{\rho g}} + z_1 + \cancelto{0}{\frac{V_1^2}{2g}} = \cancelto{0}{\frac{P_2}{\rho g}} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} +$$

$$z_1 - z_2 = \frac{V_2^2}{2g} + k\frac{V_2^2}{2g} + f\frac{L}{D} \times \frac{V_2^2}{2g}.$$

$z_1 - z_2 = \Delta H = 25,2$

$$25,2 = \frac{V_2^2}{2g} + 15,9 * \frac{V_2^2}{2g} + f * \frac{1000}{D} * \frac{V_2^2}{2g}$$

$Q = V \cdot A \quad V = \frac{Q}{A} \quad V = \frac{Q}{D^2/4} \quad V = \frac{4Q}{D^2} \quad V^2 = \frac{16Q^2}{D^4}$

$$25,2 = \frac{\frac{16Q^2}{D^4}}{2g} + 15,9 * \frac{\frac{16Q^2}{D^4}}{2g} + f * \frac{1000}{D} * \frac{\frac{16Q^2}{D^4}}{2g}$$

$$25,2 = \frac{16Q^2}{D^4}\left(\frac{1}{2g} + \frac{15,9}{2g} + f * \frac{1000}{D} * \frac{1}{2g}\right)$$

$Q = 0,163\ m^3/s$

$$25,2 = \frac{0,4251}{D^4}\left(\frac{16,9}{2g} + f * \frac{1000}{D} * \frac{1}{2g}\right)$$

$$25,2 = \frac{0.4251}{D^4}\left(0,8622 + f * \frac{51,02040}{D}\right) \quad (1)$$

$$R_E = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{\frac{4Q}{D^2} \cdot D}{\nu} = \frac{4Q}{D\nu} = \frac{4 * 0,163}{D * 1,14 * 10^{-6}}$$

$$R_E = \frac{57193}{D}$$

Fórmula de Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \ln\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.523}{R_E \cdot \sqrt{f}}\right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \ln\left(\frac{\frac{0.0000015}{D}}{3.7} + \frac{2,523}{\frac{571,93}{D} \cdot \sqrt{f}}\right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \ln\left(\frac{4,05 * 10^{-7}}{D} + \frac{0,004411\, D}{\sqrt{f}}\right) \quad (2)$$

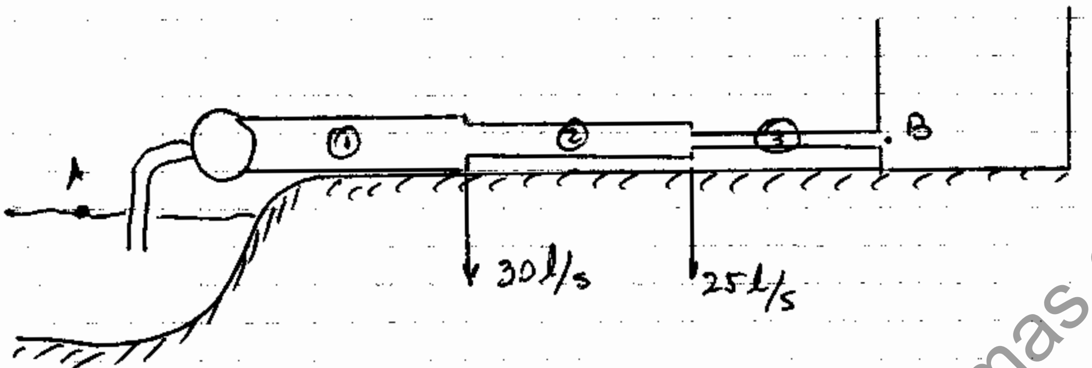
Trabajando con 1 y 2, realizando iteraciones sucesivas para encontrar D y f se tiene.

$D = 0,2028\ m \qquad f = 0,04439$

Tomando la base de diámetros dada $D = 200\ mm$

4) $H_{Bo} = 63\,m$ $K_s = 1{,}5 \times 10^{-6}$

① $d_1 = 300\,mm$ $L_1 = 120\,m$ $Km = 6.3$
② $d_2 = 250\,mm$ $L_2 = 112\,m$ $Km = 5.2$
③ $d_3 = 150\,mm$ $L_3 = 89\,m$ $Km = 4.8$ $Q = ?$



Aplicamos bernoulli entre A y B.

$$H_{Bo} + \cancel{\frac{P_A}{\rho g}}^{0} + \cancel{Z_A}^{0} + \cancel{\frac{V_A^2}{2g}}^{0} = \cancel{\frac{P_B}{\rho g}}^{0} + \cancel{Z_B}^{0} + \frac{V_B^2}{2g} + \underbrace{\sum h_f}_{\text{Pérdidas Por fricción}} + \sum h_k$$

Pérdidas menores.

Además $Q_2 = Q_1 - 30\,l/s$ $\quad Q_2 = Q_1 - 0.03$

$Q_3 = Q_2 - 25\,l/s$ $\quad Q_3 = Q_2 - 0.025$

$Q_3 = Q_1 - 0.055$

$Q = V \cdot A \qquad Q = V \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

$Q_2 = V_2 \pi \frac{d_2^2}{4} \qquad Q_1 = V_1 \pi \frac{d_1^2}{4} \qquad Q_3 = V_3 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}$

$$V_2 \cdot \pi \frac{d_2^2}{4} = V_1 \cdot \pi \frac{d_1^2}{4} - 0.03 \qquad ①$$

$$V_3 \cdot \pi \frac{d_3^2}{4} = V_1 \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} - 0.055 \qquad ②$$

Para la primera iteración suponemos $f = 0.02$ (Para las tres tuberías

$$H_{Bo} = \frac{V_B^2}{2g} + f \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} + f \frac{L_2}{d_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g} + f \frac{L_3}{d_3} \frac{V_3^2}{2} + K_{m_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} + K_{m_2} \frac{V_2^2}{2g}$$

$$+ K_{m_3} \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

Reemplazando se tiene.

con $V_B = V_3$

$$63 = \frac{V_3^2}{2 \cdot g} + 0.02 * \frac{120}{0.3} \frac{V_1^2}{2g} + 0.02 * \frac{112}{0.25} * \frac{V_2^2}{2g} + 0.02 * \frac{89}{0.15} * \frac{V_3^2}{2g}$$

$$+ 6.3 * \frac{V_1^2}{2g} + 5.2 * \frac{V_2^2}{2g} + 4.8 * \frac{V_3^2}{2g} \qquad (3)$$

Solucionamos el sistema 3 x 3 utilizando herramientas de computo.

$V_1 = 2{,}6487 \qquad V_2 = 3{,}2030 \qquad V_3 = 7{,}48$

Tomamos como punto de partida $V_1 = 2{,}6487\ m/s$.

$$Q_1 = V_1 \cdot A = 2{,}64 * \pi \frac{* 0.3^2}{4} = 0.1866\ m^3/s$$

$$Q_2 = Q_1 - 0.03 = 0.1566\ m^3/s$$

$$h_{f_1} = f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} = 0{,}012 * \frac{120}{0.3} * \frac{2{,}6487^2}{2 * g} = 1{,}77\ m.$$

f_1 se obtiene de la fórmula de Colebrook $f = 0.012$

$$V_2 = \frac{Q_2}{A} = \frac{0.1566}{\frac{\pi \cdot 0.25^2}{4}} = 3{,}19\ m/s.$$

$$Re = \frac{V_2 \cdot d_2}{\nu} = \frac{3{,}19 * 0.25}{1{,}141 * 10^{-6}} = 6{,}99 * 10^5$$

De colebrook $f_2 = 0{,}0125$

$$h_{f_2} = f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} = 0.0125 * \frac{112}{0.25} * \frac{3.19}{2 * g} = 2{,}90\ m$$

$$h_{K_2} = K_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} = 5.2 * \frac{3.19^2}{2g} = 2{,}70\ m.$$

$$h_{K_1} = K_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} = 6.3 * \frac{2{,}64^2}{2g} = 2{,}24\ m.$$

$$Q_3 = Q_2 - 0.025 = 0.1316\ m^3/s.$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{A_3} = \frac{0.1316}{\frac{\pi * 0.15^2}{4}} = 7{,}44\ m/s.$$

$$R = \frac{V_3 \cdot d_3}{\nu} = \frac{7.44 * 0.15}{1,141 * 10^{-6}} = 9,79 * 10^5$$

De colebrook se obtiene $f_3 = 0.01190$

$$h_{f_3} = f_3 \cdot \frac{l_3}{d_3} \cdot \frac{V_3^2}{2g} = 0.0119 * \frac{89}{0.15} * \frac{7.44^2}{2 \cdot 9.8} = 19.99 \ m$$

$$h_{k_3} = k_3 \frac{V_3^2}{2g} = 4.8 * \frac{7.44^2}{2 * 9.8} = 13,58 \ m.$$

Realizando iteraciones, Partiendo de las tres ecuaciones e introduciendos los valores de f, obtenidos en la fórmula de colebrook se tiene.

V_1 (m/s)	f_1	V_2 (m/s)	f_2	V_3 (m/s)	f_3	
2,6487	0.012	3,20	0.0124	7,48	0.0118	
2,9713	0.0122	3,66	0,0122	8,77	0,0116	
2,9860	0.0122	3,68	0,0122	8,83	0,0115	
2,9866	0.0122	3,68	0,0121	8,83	0,0115	Llegamos a la solución
2,9866	0.0122	3,68	0,0121	8,83	0,0115	

Solución

$V_1 = 2,9866 \ m/s$ $\quad f_1 = 0,0122$ $\quad V_2 = 3,68 \ m/s$ $\quad f_2 = 0,0121$

$V_3 = 8,83 \ m/s$ $\quad f_3 = 0.0115$

las pérdidas

$h_{f_1} = 2,2282 \ m$ $\quad h_{f_2} = 3,7962 \ m$ $\quad h_{f_3} = 27,40 \ m$

$h_{k_1} = 2,86 \ m$ $\quad h_{k_2} = 3,61 \ m$ $\quad h_{k_3} = 19,11 \ m$

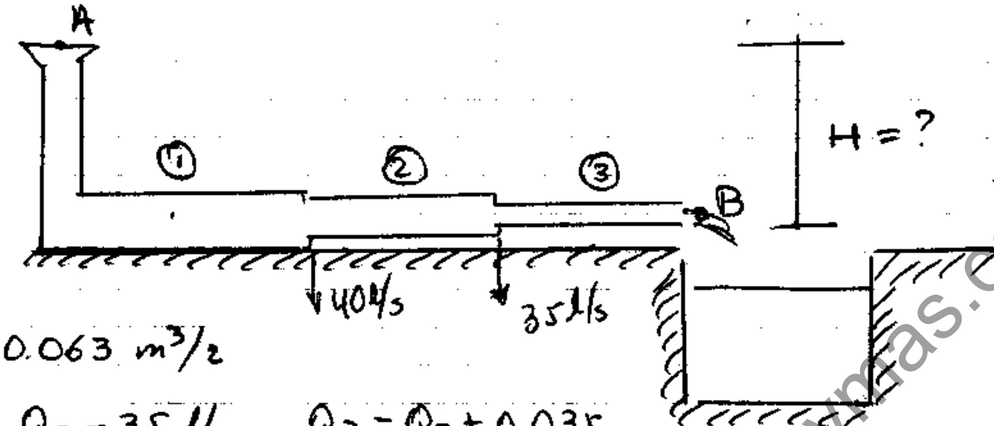
Al tanque le llega q_3

$q_1 = 0.211 \ m^3/s$ $\quad q_2 = 0.1811 \ m^3/s$ $\quad q_3 = 0.1561 \ m^3/s$

Por tanto al tanque llegan $0.1561 \ m^3/s$.

5) $H=?$ $Q = 63\ l/s$ $Q = 0{,}063\ m^3/s$ $Ks = 0.15\ mm$

① $d_1 = 250\ mm$ $L_1 = 323\ m$ $K_m = 12.3$
② $d_2 = 200\ mm$ $L_2 = 125\ m$ $K_m = 6.9$
③ $d_3 = 150\ mm$ $L_3 = 230\ m$ $K_m = 7.8$



$Q_3 = 0.063\ m^3/s$

$Q_3 = Q_2 - 35\ l/s$ $Q_2 = Q_3 + 0.035$
$Q_2 = 0.098\ m^3/s$

$Q_2 = Q_1 - 40\ l/s$ $Q_1 = Q_2 + 0.040$
$Q_1 = 0{,}138\ m^3/s$

$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{0.138}{\frac{\pi \cdot 0.25^2}{4}} = 2{,}81\ m/s \quad R_E = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{2{,}81 * 0.25}{1{,}141 \times 10^{-6}} = 615687{,}99$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{0.098}{\frac{\pi * 0.20^2}{4}} = 3{,}1194\ m/s \quad R_E = \frac{3{,}1194 * 0.2}{1{,}141 \times 10^{-6}} = 546783$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{A_3} = \frac{0.063}{\frac{\pi * 0.15^2}{4}} = 3.5650\ m/s \quad R_E = \frac{3.5650 * 0.15}{1{,}141 \times 10^{-6}} =$$

$$R_E = 468667{,}78$$

Encontramos usando la fórmula de Colebrook el valor de cada coeficiente de fricción.

$f_1 = 0{,}0126$ $f_2 = 0{,}0129$ $f_3 = 0{,}0133$

Ahora se pueden determinar las pérdidas

$$h_{f_1} = f_1 \frac{L_1}{D} \frac{V_1^2}{2g} = 0.0126 * \frac{323}{0.25} * \frac{2{,}81^2}{2 * 9.8} = 6{,}5582\ m$$

$$h_{f2} = f_2 \frac{L_2}{D_2}\frac{V_2^2}{2g} = 0.0129 * \frac{125}{0.20} * \frac{3,1194^2}{2*9.8} = 4,00 \text{ m}$$

$$h_{f3} = f_3 \frac{L_3}{D_3} \cdot \frac{V_3^2}{2g} = 0.0133 * \frac{230}{0.15} * \frac{3.5650^2}{2*9.8} = 13,22 \text{ m.}$$

$$h_{k1} = k_{m1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} = 12.3 * \frac{2.81^2}{2*9.8} = 4,95$$

$$h_{k2} = k_{m2} \cdot \frac{V_2^2}{2g} = 6.9 * \frac{3.11^2}{2*9.8} = 3,40$$

$$h_{k3} = k_{m3} \cdot \frac{V_3^2}{2g} = 7.8 * \frac{3.5^2}{2*9.8} = 5,04$$

Aplicando Bernoulli entre A y B.

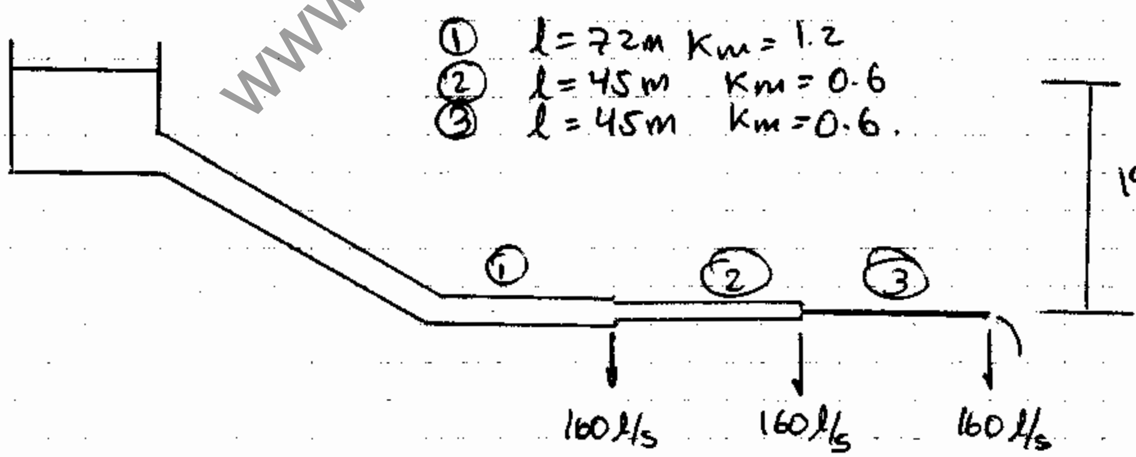
$$\cancel{\frac{P_A}{\rho g}}^{0} + Z_A + \cancel{\frac{V_A^2}{2g}}^{0} = \cancel{\frac{P_B}{\rho g}}^{0} + \cancel{Z_B}^{0} + \frac{V_B^2}{2g} + \sum h_{fi} + \sum h_{ki}$$

$$H = \frac{3.5650^2}{2*9.8} + 6.55 + 4.00 + 13.22 + 4,95 + 3.40 + 5.04$$

$$H = 37,80 \text{ m.}$$

La altura del tanque debe ser de 37,80 m para entregar a la piscina 63 l/s.

6) $k_s = 1,5 * 10^{-6}$ m.



$Q_2 = Q_1 - 160\ l/s$ $\qquad$ $Q_3 = Q_2 - 160\ l/s$

$Q_2 = Q_1 - 0.16\ m^3/s$ $\qquad$ $Q_3 = Q_2 - 0.16\ m^3/s$

$Q_3 = 0.160\ m^3/s$ $\qquad$ $Q_2 = 0.32\ m^3/2$

$Q_1 = 0.48\ m^3/s$

Aplicando Bernoulli entre los puntos A y B

$$H_A + \cancel{\frac{P_A}{\rho g}}^{0} + \cancel{\frac{V_A^2}{2g}}^{0} = \cancel{H_B}^{0} + \cancel{\frac{P_B}{\rho g}}^{0} + \frac{V_B^2}{2g} + \Sigma h_f + \Sigma h_k$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{A} = \frac{0.48}{\frac{\pi D_1^2}{4}} = \frac{1.92}{\pi D_1^2} \qquad V_2 = \frac{0.32}{\frac{\pi D_2^2}{4}} = \frac{1.28}{\pi D_2^2}$$

$$V_3 = \frac{0.16}{\frac{\pi D_3^2}{4}} = \frac{0.64}{\pi D_3^2} = V_B$$

$$h_{f1} = f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{1.92^2}{\pi^2 \cdot D_1^4 \cdot 2 \cdot g}$$

$$h_{f2} = f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{1.28^2}{\pi^2 \cdot D_2^4 \cdot 2 \cdot g}$$

$$h_{f3} = f_3 \cdot \frac{L_3}{D_3} \cdot \frac{0.64^2}{\pi \cdot D_3^4 \cdot 2 \cdot g}$$

$$h_{k1} = k_{m1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} = k_{m1} \cdot \frac{1.92^2}{\pi^2 \cdot D_1^4 \cdot 2 \cdot g}$$

$$h_{k2} = k_{m2} \cdot \frac{V_2^2}{2g} = k_{m2} \cdot \frac{1.28^2}{\pi^2 \cdot D_2^4 \cdot 2 \cdot g}$$

$$h_{k3} = k_{m3} \cdot \frac{V_3^2}{2g} = k_{m3} \cdot \frac{0.64^2}{\pi^2 \cdot D_3^4 \cdot 2 \cdot g}$$

Si $f_1 = f_2 = f_3 = 0.02$

$$h_{f1} = \frac{0.0274}{d_1^4} \qquad h_{f2} = \frac{0.0076}{d_2^4} \qquad h_{f3} = \frac{0.0019}{d_3^4}$$

$$h_{k_1} = \frac{0.0228}{d_1^4} \qquad h_{k_2} = \frac{0.0050}{d_2^4} \qquad h_{k_3} = \frac{0.0012}{d_3^4}$$

Reemplazando en la ecuación de Bernoulli

$$19.3 = \left(\frac{0.64}{\pi D_3^2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2g} + \frac{0.0274}{d_1^4} + \frac{0.0076}{d_2^4} + \frac{0.0019}{d_3^4} + \frac{0.0228}{d_1^4} + $$

$$+ \frac{0.0050}{d_2^4} + \frac{0.0012}{d_3^4}$$

Realizando iteraciones se encuentran que para los diametros comerciales

$$d_1 = 300 \text{ mm} \quad d_2 = 250 \text{ mm} \quad y \quad d_3 = 200 \text{ mm}$$

Se cumple que

$V_3 = 3{,}66$ m/s $\quad V_2 = 6{,}51$ m/s $\quad V_1 = 6{,}79$ m/s

$f_1 = 0{,}01073 \quad f_2 = 0{,}0111 \quad f_3 = 0{,}0111$

$h_{f_1} = 6{,}05 \quad h_{f_2} = 4{,}34 \quad h_{f_3} = 3{,}32$

$h_{k_1} = 2{,}82 \quad h_{k_2} = 1{,}30 \quad h_{k_3} = 0{,}79$

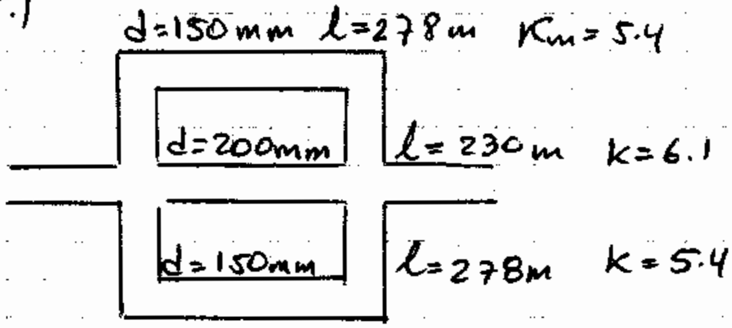
En Bernoulli se cumple que

$$19.3 = \frac{3.66^2}{2 * 9.8} + 6.05 + 4.34 + 3.32 + 2.82 + 1.30 + 0.39.$$

$$19.3 = 19.33$$

El desfase es de 0.03 m.

7.)



$k_s = 1.5 \times 10^{-6}\ m.$ $P_A = 463\ kPa$ $P_B = 100\ kPa.$

Tuberías 1, 2 y 3.

$$\frac{P_A}{\rho g} + \cancel{Z_A}^{0} + \cancel{\frac{V_A^2}{2g}} = \frac{P_B}{\rho g} + \cancel{Z_B}^{0} + \cancel{\frac{V_B^2}{2g}}^{0} + h_f + h_k$$

$V_A = V_B$ Porque la tubería no cambió

$$\frac{P_A}{\rho g} = \frac{P_B}{\rho g} + h_f + h_k$$

$$\frac{P_A - P_A}{\rho g} = h_f + h_k$$

$$\frac{(463-100)\ kPa}{999{,}10 * 9.81} = h_f + h_k$$

$$37{,}03 = h_f + h_k$$

la suma de h_f y h_k cambia para cada tubería

Tubería 1.

$$h_f = f \cdot \frac{L_1}{D_1}\frac{V_1^2}{2g} = f * \frac{278}{0.15} * \frac{V_1^2}{2g}.$$

$$h_k = k\,\frac{V_1^2}{2g} = 5.4 * \frac{V_1^2}{2g}.$$

$$37{,}0363 = f * \frac{278}{0.15} * \frac{V_1^2}{2g} + 5.4 * \frac{V_1^2}{2g} \quad (1)$$

Con la fórmula de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 * \ln\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.523}{Re\sqrt{f}}\right)$$

$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$ (2) $$\frac{1}{\sqrt{F}} = -0.869 * \ln\left(\frac{1.5 * 10^{-6}}{3.7 * 0.15} + \frac{2.523}{\frac{V_1 * 0.15}{1{,}141 * 10^{-6}}\sqrt{f}}\right)$$

Solucionando el sistema 2x2 se tiene

$f_1 = 0.0126$ $V_1 = 5{,}00\ m/s$

Para la tubería 2.

$$37{,}0363 = f * \frac{230}{0.2} * \frac{V_2^2}{2g} + 6.1 * \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 * \ln\left(\frac{1.5*10^{-6}}{3.7*0.2} + \frac{2.523}{\frac{V_2 * 0.2}{1{,}141*10^{-6}}\sqrt{f}}\right)$$

$f_2 = 0{,}0116 \qquad V_2 = 6{,}09\ m/s$.

Para la tubería 3

$$37{,}0363 = f * \frac{278}{0.15} * \frac{V_3^2}{2g} + 5.4\ \frac{V_3^2}{2g}$$

Por ser la tubería 1 y 3 idénticas entonces.

$f_1 = 0.0126 \qquad V_1 = 5{,}00\ m/s$.

Caudales $Q_1 = V_1 \cdot A_1 = 5 * \pi * \frac{0.15^2}{4} = 0.08835\ m^3/s$

$Q_2 = V_2 \cdot A_2 = 6{,}09 * \pi * \frac{0.2^2}{4} = 0{,}19132\ m^3/s$

$Q_3 = Q_1 = 0{,}08835\ m^3/s$

Caudal total $= Q_1 + Q_2 + Q_3$

$= 0.08835 + 0{,}19132 + 0.08835 = 0{,}36802\ m^3/s$

8) $Q_T = 363 \quad P_A = 243\ kPa \quad k_s = 1{,}5*10^{-6}\ m. \quad P_B = ?$

$Q_1 = ? \quad Q_2 = ?$

① $d = 250\ mm \quad l = 263\ m \quad k_m = 4.0$
② $d = 300\ mm \quad l = 277\ m \quad k_m = 3.5$

Bernoulli para las dos tuberías

$$\frac{P_A}{\rho g} + \cancel{Z_A} + \cancel{\frac{V_A^2}{2g}} = \frac{P_B}{\rho g} + \cancel{Z_B} + \cancel{\frac{V_B^2}{2g}} + h_f + h_K$$

$$\frac{P_A - P_B}{\rho g} = h_f + h_K$$

Tubería 1

$$\frac{243000 - P_B}{999{,}1 * 9.8} = f_1 * \frac{263}{0.25} * \frac{V_1^2}{2g} + 4 * \frac{V_1^2}{2g} \quad (1)$$

Ecuación de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 * \ln\left(\frac{1.5*10^{-6}}{3.7*0.25} + \frac{2{,}523}{\frac{V_1*0.25}{1{,}141*10^{-6}} * \sqrt{f}}\right) \quad (2)$$

Tubería 2

$$\frac{243000 - P_B}{999{,}1 * 9.8} = f_2 * \frac{277}{0.3} * \frac{V_2^2}{2g} + 3.5 * \frac{V_2^2}{2g} \quad (3)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 * \ln\left(\frac{1.5*10^{-6}}{3.7*0.3} + \frac{2.523}{\frac{V_2*0.3}{1{,}141*10^{-6}}\sqrt{f}}\right) \quad (4)$$

Además $Q_1 + Q_2 = 363\ l/s$

$$V_1 * \frac{\pi d_1^2}{4} + V_2 * \frac{\pi d_2^2}{4} = 0{,}363$$

$$V_1 * \pi * \frac{0.25^2}{4} + V_2 * \frac{\pi * 0.3^2}{4} = 0{,}363 \quad (5)$$

Para la primera iteración: Asumimos $V_1 = V_2$

$$V_1 * \pi * \frac{0.25^2}{4} + V_1 * \pi * \frac{0.3^2}{4} = 0.363$$

$V_1 = 3{,}03\ m/s$

$f_1 = 0.01261$

$P_B = 163.8071$ $\quad V_2 = 3{,}29$ $\quad f_2 = 0{,}012$

Continuamos iterando Pero $V_1 * \pi * \frac{0.25^2}{4} + 3{,}2930 * \frac{\pi * 0.3^2}{4} = 0{,}363$

$V_1 = 2{,}6529$

De colebrook $f_1 = 0.0129$ Por tanto $P_B = 181214{,}5$ Pa.

$f_2 = 0{,}01231$ $\quad V_2 = 2{,}8841$

Repetimos iteraciones y encontramos:

$P_b = 170600$ Pa con $V_1 = 2{,}88\ m/s$ $\quad V_2 = 3{,}13\ m/s$

$f_1 = 0{,}0127$ $\quad f_2 = 0{,}0121$

9) $Q = 200\ l/s = 0{,}2\ m^3/s$

$P_A = 35{,}3 \qquad P_B = 27{,}6\ m$

Tubería 1 $\quad d_1 = 254mm. \quad l_1 = 263\ m \quad K_m = 7.6$

$Q_{final} = 463\ l/s = 0{,}463\ m^3/s$

Tubería 2 $\quad l_2 = 263m \quad K_m = 7.6.$

Aplicando Bernoulli

$$\frac{P_A}{\rho g} + z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + z_B + \frac{V_B^2}{2g} + h_f + h_k$$

$\frac{P_A}{\rho g} = 35{,}3\,m \qquad \frac{P_B}{\rho g} = 27{,}6m.$

$$35{,}3 + 1630 + \frac{V_A^2}{2g} = 27{,}6 + 1573 + \frac{V_B^2}{2g} + h_f + h_k$$

$$1665{,}3 + \frac{V_A^2}{2g} = 1600{,}6 + \frac{V_B^2}{2g} + h_f + h_k$$

En cada tubería $V_A = V_B$

$$1665{,}3 - 1600{,}6 = h_f + h_k$$

$$64.7 = h_f + h_k$$

Tubería 1 - En asbesto-cemento $\quad K_s = 0.025\ mm$

$$64.7 = f \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} + K_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g}.$$

$$64.7 = f \cdot \frac{263}{0.254} \cdot \frac{V_1^2}{2g} + 7.6 \cdot \frac{V_1^2}{2g}.$$

$$64.7 = 52{,}8282\, f \cdot V_1^2 + 0.3877 \cdot V_1^2$$

Con la ecuación de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869\ ln\left(\frac{Ks/d}{3.7} + \frac{2.523}{R_E \cdot \sqrt{f}}\right)$$

$$R_E = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{V_1 \times 0.254}{1.141 \times 10^{-6}}$$

Encontramos $f_1 = 0.0128$ $V_1 = 7.7870$

Por tanto el caudal por esta tubería es:

$$Q = V \cdot A = 7.7870 * \frac{\pi \cdot 0.254^2}{4} = 0.394573 \ m^3/s$$

Por tanto, faltan $0.463 - 0.394573 = 0.06842688 \ m^3/s$

$$Q = V \cdot A \qquad 0.068426 = V_2 \cdot \frac{\pi d_2^2}{4}$$

Además $$64.7 = f \cdot \frac{263}{d_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g} + 7.6 * \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \cdot \ln\left(\frac{0.015 * 10^{-3}}{3.7 * d} + \frac{2.523}{R_E \sqrt{f}} \right)$$

$$V_2 = \frac{4 * 0.068426}{d_2^2 * \pi} = \frac{0.08712268}{d_2^2}$$

Reemplazando en las otras ecuaciones

$$64.7 = f \cdot \frac{263}{d_2} \cdot \left(\frac{0.08712268}{d_2^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g} + 7.6 * \left(\frac{0.087122}{d_2^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g}$$

$$R_E = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{0.08712268}{d_2^{\cancel{2}}} \cdot \frac{\cancel{d_2}}{1.141 * 10^{-6}} = \frac{76356.43}{d_2}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_2}} = -0.869 * \ln\left(\frac{0.015 * 10^{-3}}{3.7 * d_2} + \frac{2.523}{\frac{76356.43}{d_2} \sqrt{f_2}} \right)$$

Iniciamos con las iteraciones

Si $f = 0.02$ $d_2 = 0.0375$ $V_2 = 2.9319$

Seguimos iterando y se encuentra

$f = 0.01434$ $d = 0.122 m$ $V_2 = 5.7520 \ m/s$

Si la tubería de ser comercial se debe colocar de diámetro $d = 155$ mm.

10) ① $d = 600mm$ $l = 754\ m$ $K_m = 9.8$
② $d = 150mm$ $l = 335\ m$ $K_m = 4.9$
③ $d = 200mm$ $l = 471\ m$ $K_m = 5.9$
④ $d = 200mm$ $l = 298m$ $K_m = 4.2$
⑤ $d = 100\ mm$ $l = 351\ m$ $K_m = 4.8$
⑥ $d = 300\ mm$ $l = 617\ m$ $K_m = 6.3$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + 120\ l/s + 100\ l/s.$$

$K_s = 0.0015\ mm$

Entre tanque 1 y 2

$$\cancel{\frac{P_A}{\rho g}}^{0} + Z_A + \cancel{\frac{V_A^2}{2g}}^{0} = \cancel{\frac{P_B}{\rho g}}^{0} + Z_B + \cancel{\frac{V_B^2}{2g}}^{0} + \sum h_f + \sum h_k$$

$$200 = 160 + \sum h_f + \sum h_k$$
$$40 = \sum h_f + \sum h_k$$
$$40 = h_{f_1} + h_{k_1} + h_{f_2} + h_{k_2}$$
$$40 = f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} + K_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g} + K_2 \frac{V_2^2}{2g}$$
$$40 = f_1 \cdot \frac{754}{0.6} \cdot \frac{V_1^2}{2g} + 9.8 \cdot \frac{V_1^2}{2g} + f_2 \cdot \frac{335}{0.15} \cdot \frac{V_2^2}{2g} + 4.9 \cdot \frac{V_2^2}{2g}.$$

① $$40 = 64{,}1156 V_1^2 f_1 + 0.5 V_1^2 + 113{,}94 f_2 \cdot V_2^2 + 0.25 V_2^2$$

Entre tanque 1 y 3

$$200 - 145 = 64{,}1156 V_1^2 \cdot f + 0.5 V_1^2 + f_3 \cdot \frac{471}{0.2} \cdot \frac{V_3^2}{2g} + 5.9 \cdot \frac{V_3^2}{2g}$$

② $$55 = 64{,}1156 V_1^2 \cdot f_1 + 0.5 V_1^2 + 120\ f_3 V_3^2 + 0{,}3010 V_3^2$$

Entre tanque 1 y 4

$$200 - 130 = 64{,}1156 V_1^2 \cdot f_1 + 0.5 V_1^2 + f_6 * \frac{617}{0.3} * \frac{V_6^2}{2g} +$$
$$+ 6.3 * \frac{V_6^2}{2g} + f_4 * \frac{298}{0.2} * \frac{V_4^2}{2g} + 4.2 * \frac{V_4^2}{2g}$$

③ $$70 = 64.1156 V_1^2 \cdot f_1 + 0.5 V_1^2 + 104\ f_6 V_6^2 + 0.32 V_6^2 +$$
$$+ 76{,}02 V_4^2 \cdot f_4 + 0.2124 V_4^2$$

Entre tanque 1 y 5

$$200-104 = 64.1156 f_1 \cdot V_1^2 + 0.5 V_1^2 + 104.9 f_6 V_6^2 + 0.32 V_6^2 + f_5 \cdot \frac{351}{0.1} \cdot \frac{V_5^2}{2g} + 4.8 \cdot \frac{V_5^2}{2g}$$

(4) $$96 = 64.1156 f_1 V_1^2 + 0.5 V_1^2 + 104.93 f_6 V_6^2 + 0.32 V_6^2 + 179 V_5^2 \cdot f_5 + 0,2448 V_5^2$$

$Q_1 = V_1 \cdot A_1$ $\quad Q_1 = V_1 \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} = 0.282743 V_1$

$Q_2 = 0.01767 V_2$

$Q_3 = 0.03141 V_3$

$Q_4 = 0.03141 V_4$

$Q_5 = 0.00785 V_5$

$Q_6 = 0.07068 V_6$

$Q_6 = Q_1 - Q_2 - Q_3 - 0.12$

$Q_6 = Q_4 + Q_5 + 0,1$

(5) $0.07068 V_6 = 0.282743 V_1 - 0.01767 V_2 - 0.03141 V_3 - 0.12$

(6) $0.07068 V_6 = 0.03141 V_4 + 0.00785 V_5 + 0.1$

Ademas $\quad \epsilon = 0.00015 \times 10^{-3}\ m. \quad Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$

$$f_1 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{\epsilon}{3.7 D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2}$$

(7) $$f_1 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.00015 \times 10^{-3}}{3.7 \times 0.6} + \frac{5.74}{\left(\frac{V_1 \times 0.6}{1,14 \times 10^{-6}}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

(8) $$f_2 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.00015 \times 10^{-3}}{3.7 \times 0.15} + \frac{5.74}{\left(\frac{V_2 \times 0.15}{1,14 \times 10^{-6}}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

(9) $$f_3 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.00015 * 10^{-3}}{3.7 * 0.2} + \frac{5.74}{\left(\frac{V_3 * 0.2}{1,14 * 10^{-6}}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

(10) $$f_4 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.00015 * 10^{-3}}{3.7 * 0.2} + \frac{5.74}{\left(\frac{V_4 * 0.2}{1,14 * 10^{-6}}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

(11) $$f_5 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.00015 * 10^{-3}}{3.7 * 0.1} + \frac{5.74}{\left(\frac{V_5 * 0.1}{1,14 * 10^{-6}}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

(12) $$f_6 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.00015 * 10^{-3}}{3.7 * 0.3} + \frac{5.74}{\left(\frac{V_6 * 0.3}{1,14 * 10^{-6}}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

Al solucionar el sistema 12 x 12 (Se utilizó SOLVER en EXCEL)

$f_1 = 0{,}0048$ $\quad f_2 = 0{,}0057$ $\quad f_3 = 0{,}0055$ $\quad f_4 = 0{,}0055$

$f_5 = 0{,}0061$ $\quad f_6 = 0{,}0052$

$V_1 = 2{,}3612$ $\quad V_2 = 6{,}2402$ $\quad V_3 = 7{,}2110$ $\quad V_4 = 4{,}8617$

$V_5 = 5{,}5160$ $\quad V_6 = 7{,}6080$

Por tanto los caudales son.

$Q_1 = 0{,}6676\ m^3/s$ $\quad Q_2 = 0{,}1102\ m^3/s$ $\quad Q_3 = 0{,}2265\ m^3/s$

$Q_4 = 0.1527\ m^3/s$ $\quad Q_5 = 0{,}0433\ m^3/s$ $\quad Q_6 = 0{,}5377\ m^3/s$.

Tanque 2: 110,2 l/s

Tanque 3. 226,5 l/s

Tanque 4. 152,7 l/s

Tanque 5 43,3 l/s.

11) ① $\ell = 2654\ m$ $k_m = 11.3$
② $\ell = 218\ m$ $k_m = 3.9$
③ $\ell = 398\ m$ $k_m = 4.3$
④ $\ell = 532\ m$ $k_m = 6.1$
⑤ $\ell = 699\ m$ $k_m = 7.1$
⑥ $\ell = 383\ m$ $k_m = 4.2$
⑦ $\ell = 1384\ m.$ $k_m = 9.4$

$k_s = 0.0015\ mm$.

$Q_1 = Q_6 + Q_7 + 171$ $Q_6 = Q_2 + Q_3 + 63\ l/s.$

$Q_7 = 94\ l/s + Q_4 + Q_5$

$Q_2 = 170\ l/s$ $Q_3 = 215\ l/s$

$Q_6 = 170 + 215 + 63 = 448\ l/s.$ $Q_6 = 448\ l/s.$

$Q_5 = 314\ l/s$ $Q_4 = 135\ l/s.$

$Q_7 = 94 + 314 + 135 = 543\ l/s.$ $Q_7 = 543\ l/s.$

$Q_1 = 448 + 543 + 171 = 1162\ l/s.$

$Q = V \cdot A$ $V = \frac{Q}{A}$ $V = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi d^2}$

$V_1 = \frac{4 * 1{,}162}{\pi\ d_1^2}$ $V_1 = \frac{1{,}4795}{d_1^2}$ $V_2 = \frac{4 * 0{,}17}{\pi d_2^2} = \frac{0{,}21645}{d_2^2}$

$V_3 = \frac{4 * 0{,}215}{\pi d_3^2} = \frac{0{,}27374}{d_3^2}$ $V_4 = \frac{4 * 0{,}135}{\pi \cdot d_4^2} = \frac{0{,}1718}{d_4^2}$

$V_5 = \frac{4 * 0.314}{\pi d_5^2} = \frac{0{,}39979}{d_5^2}$ $V_6 = \frac{4 * 0.448}{\pi \cdot d_6^2} = \frac{0.57041}{d_6^2}$

$V_7 = \frac{4 * 0{,}543}{\pi\ d_7^2} = \frac{0{,}69136}{d_7^2}$

Aplicamos Bernoulli para cada par de tanques

Tanque 1 - Tanque 2.

$$\cancel{\frac{P_A}{\rho g}}^{0} + z_A + \cancel{\frac{V_A^2}{2g}}^{0} = \cancel{\frac{P_B}{\rho g}}^{0} + z_B + \cancel{\frac{V_B^2}{2g}}^{0} + \sum h_{fi} + \sum h_{ki}$$

Tanque 1- Tanque 5

$$100-27 = f_1 \frac{L_1}{D_1}\frac{V_1^2}{2g} + K_1\frac{V_1^2}{2g} + f_7 \frac{L_7}{D_7}\cdot\frac{V_7^2}{2g} + K_7\cdot\frac{V_7^2}{2g} + f_5\cdot\frac{L_5}{D_5}\cdot\frac{V_5^2}{2g} + K_5\cdot\frac{V_5^2}{2g}$$

$$73 = f_1 * \frac{2654}{d_1}\cdot\frac{V_1^2}{2g} + 11.3 * \frac{V_1^2}{2g} + f_7 * \frac{1384}{d_7} * \frac{V_7^2}{2g} + 9.4 * \frac{V_7^2}{2g} + f_5 * \frac{699}{d_5} * \frac{V_5^2}{2g} + 7,1 * \frac{V_5^2}{2g}$$

Además se tienen las ecuaciones de f

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{3.7 D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$Re_1 = \frac{V_1 \cdot d_1}{\nu} = \frac{\left(1,4795/d_1^2\right)\cdot d_1}{1,141 * 10^{-6}} = 1296669,5/d_1$$

$$Re_2 = \frac{V_2 \cdot d_2}{\nu} = \frac{\left(0.21645/d_2^2\right)\cdot d_2}{1,141 * 10^{-6}} = \frac{189658,19}{d_2}$$

$$Re_3 = \frac{V_3 \cdot d_3}{\nu} = \frac{\left(0.2737/d_3^2\right)\cdot d_3}{1,141 * 10^{-6}} = \frac{239877,3}{d_3}$$

$$Re_4 = \frac{V_4 \cdot d_4}{\nu} = \frac{\left(0.1718/d_4^2\right)\cdot d_4}{1,141 * 10^{-6}} = \frac{150569,67}{d_4}$$

$$Re_5 = \frac{V_5 \cdot d_5}{\nu} = \frac{\left(0.3997/d_5^2\right) d_5}{1,141 * 10^{-6}} = \frac{350306,74}{d_5}$$

$$Re_6 = \frac{V_6 \cdot d_6}{\nu} = \frac{\left(0.5704/d_6^2\right)\cdot d_6}{1,141 * 10^{-6}} = \frac{499912,35}{d_6}$$

$$Re_7 = \frac{V_7 \cdot d_7}{\nu} = \frac{\left(\frac{0.6913}{d_7^2}\right) d_7}{1,141 \times 10^{-6}} = \frac{605872,04}{d_7}$$

$$f_1 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.0000015}{3.7 d_1} + \frac{5.74}{\left(\frac{129669,5}{d_1}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f_2 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.0000015}{3.7 d_2} + \frac{5.74}{\left(\frac{189658,19}{d_2}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f_3 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.0000015}{3.7 * d_3} + \frac{5.74}{\left(\frac{239877,3}{d_3}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f_4 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.0000015}{3.7 * d_4} + \frac{5.74}{\left(\frac{150569,67}{d_4}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f_5 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.0000015}{3.7 * d_5} + \frac{5.74}{\left(\frac{350306,74}{d_5}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f_6 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.0000015}{3.7 * d_6} + \frac{5.74}{\left(\frac{499912,35}{d_6}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f_7 = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.0000015}{3.7 * d_7} + \frac{5.74}{\left(\frac{605872,04}{d_7}\right)^{0.9}}\right)\right]^2}$$

Utilizando SOLVER como herramienta de cómputo se tiene.

$d_1 = 0,683$ m	$f_1 = 0,0095$	$V_1 = 3,168$ m/s
$d_2 = 1,063$ m	$f_2 = 0,0090$	$V_2 = 0,19$
$d_3 = 0,280$ m	$f_3 = 0,0106$	$V_3 = 3,49$
$d_4 = 1,00$ m	$f_4 = 0,0091$	$V_4 = 0,1686$
$d_5 = 0,355$ m	$f_5 = 0,0103$	$V_5 = 3,16$
$d_6 = 0,964$ m	$f_6 = 0,0091$	$V_6 = 0,613$
$d_7 = 0,418$ m	$f_7 = 0,0104$	$V_7 = 3,945$