



CURSO: MECÁNICA DE FLUIDOS II

UNIDAD II

Sistema de tuberías

SEMANA 06

TEMAS :

- Sistema de tubería en serie.
- Sistema de tubería en paralelo.
- Sistema abierto y cerrado.

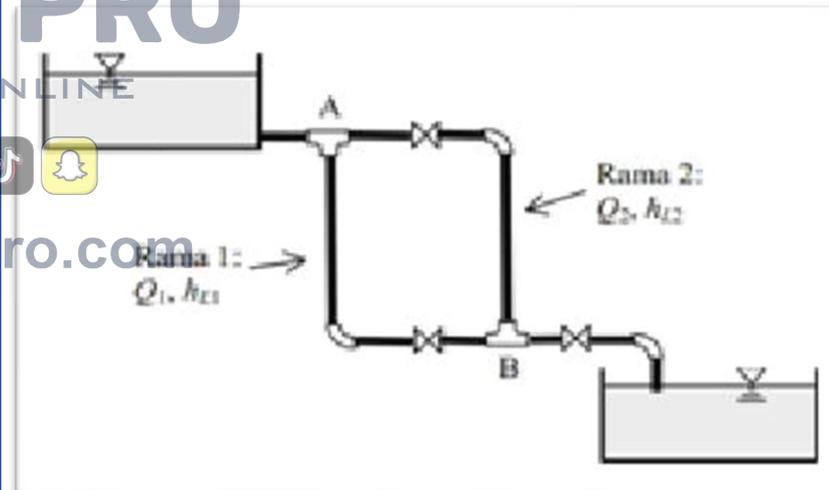
Docente: Ing. David Requena Machuca

GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE

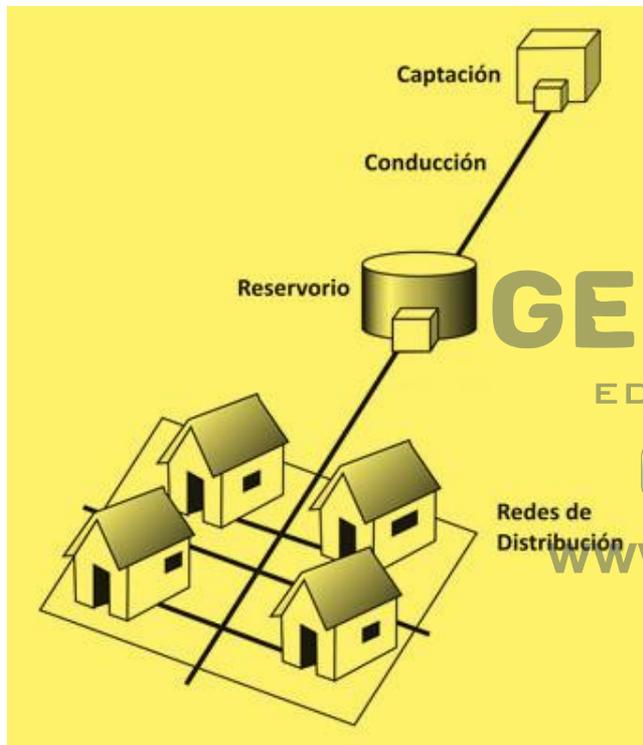


www.geniospro.com



Introducción

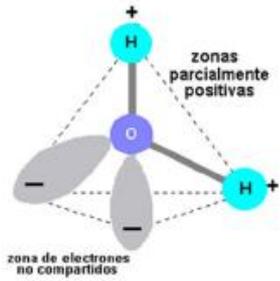
El punto de almacenamiento se encuentra distante de los puntos de utilización. La gran mayoría actúa como conductos a presión, a excepción de los desagües. Sistema de Tuberías: **“Conjunto de conductos cerrados destinados al transporte de fluidos, a una presión y temperatura dada”**.



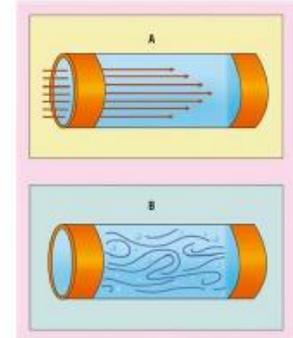
Sistema a presión



Sistema a gravedad



Propiedades de Fluidos



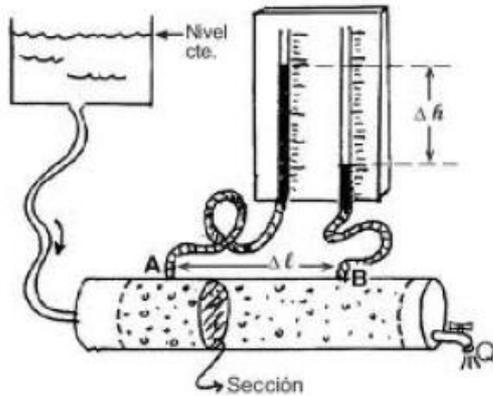
Régimen Laminar y Turbulento

MECÁNICA de FLUIDOS

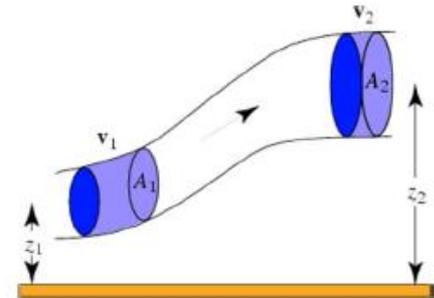
EDUCACIÓN ONLINE

Irving H. Shames

www.geniospro.com



Pérdida de carga



Conservación de la energía

6.- Sistema de tuberías

Por sistema de tuberías se debe entender cualquier conjunto de tuberías que operan bajo las mismas condiciones hidráulicas (Saldarriaga, 2007).

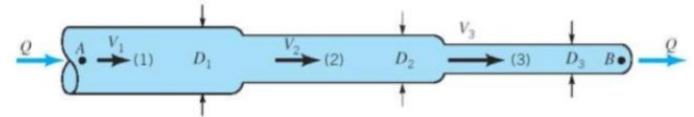


Ejemplos de estos sistemas son las tuberías en serie, las redes de distribución de agua potable, las redes de riego, entre otros.

6.- Sistemas de tuberías

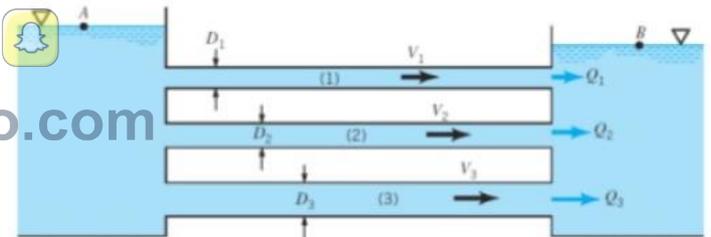
6.1.- Sistemas de tuberías en serie

- a).- Sin salida laterales.
- b).- Con salida laterales



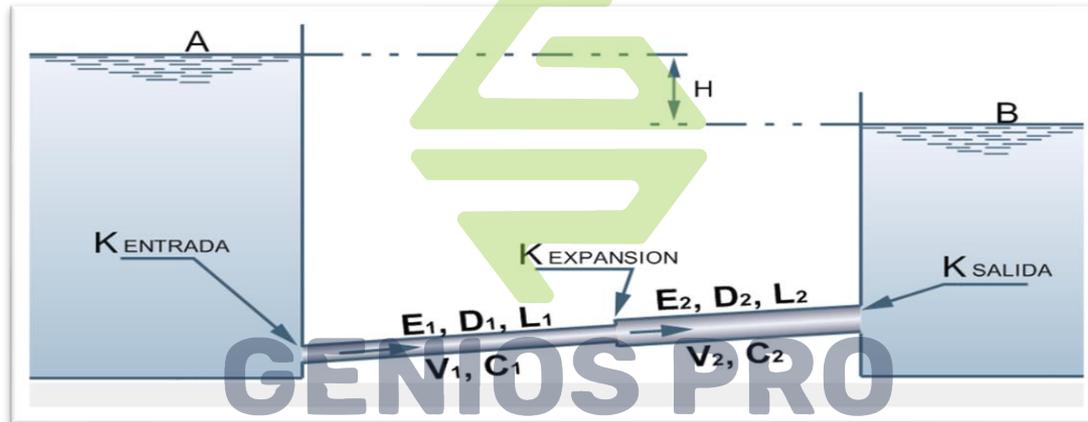
GENIOS PRO
EDUCACIÓN ONLINE

6.2.- Sistemas de tuberías en paralelo



6.1.- TUBERÍAS EN SERIE

Son dos o más tuberías diferentes colocadas una a continuación de la otra, las cuales pueden diferenciarse en **los diámetros o en las rugosidades** (es decir, estar hechas de materiales diferentes) o bien en ambas características físicas.



Para tuberías en serie, **la razón de flujo es la misma en cada tubería, y la pérdida de carga total es la suma de las pérdidas de carga en tuberías individuales.**

a).- Sin salida laterales

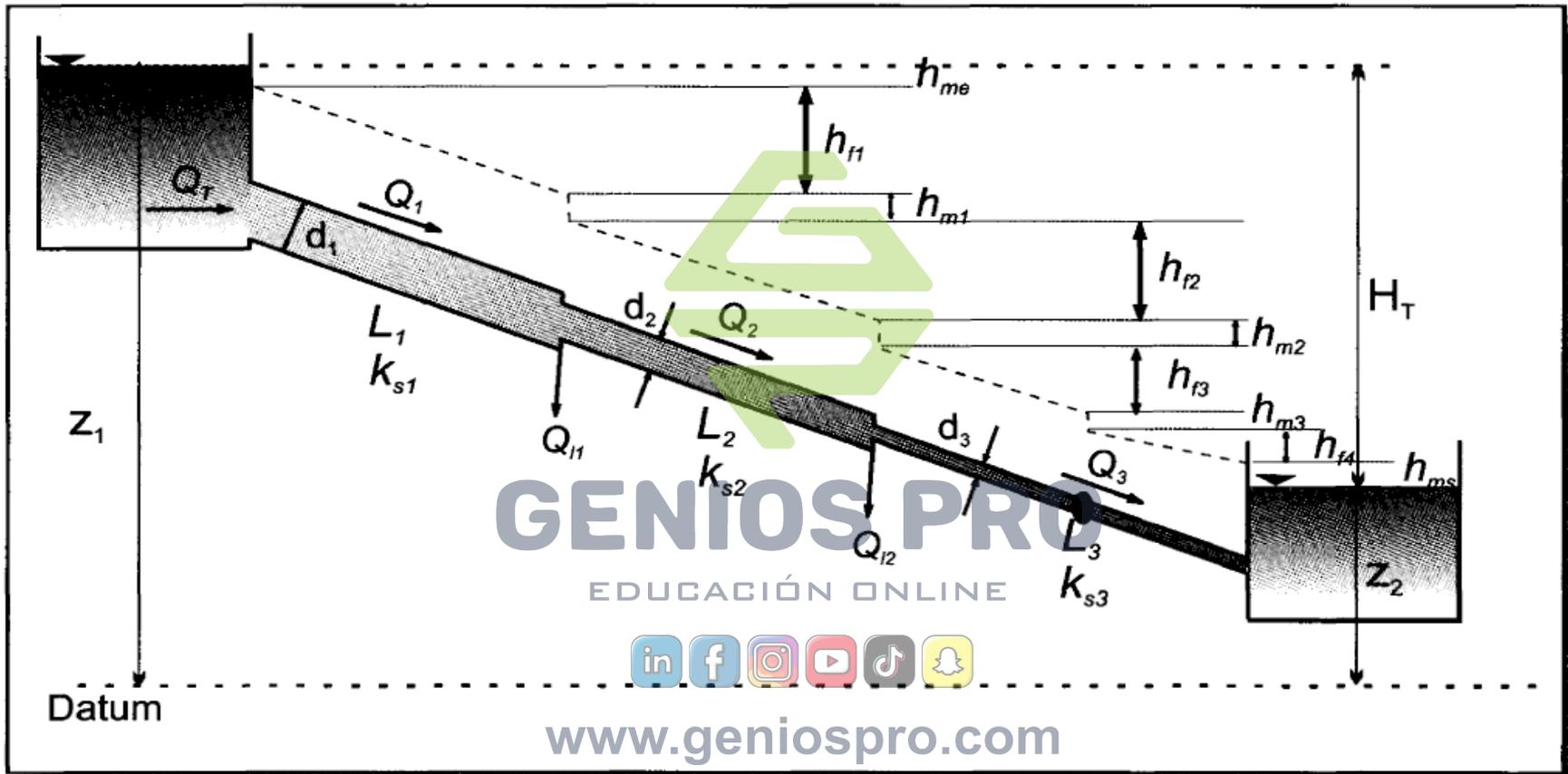
En símbolos

$$Q = cte.$$

$$H = \Delta J_1 + \Delta J_2 + \dots + \Delta J_n$$



b).- Con salita laterales



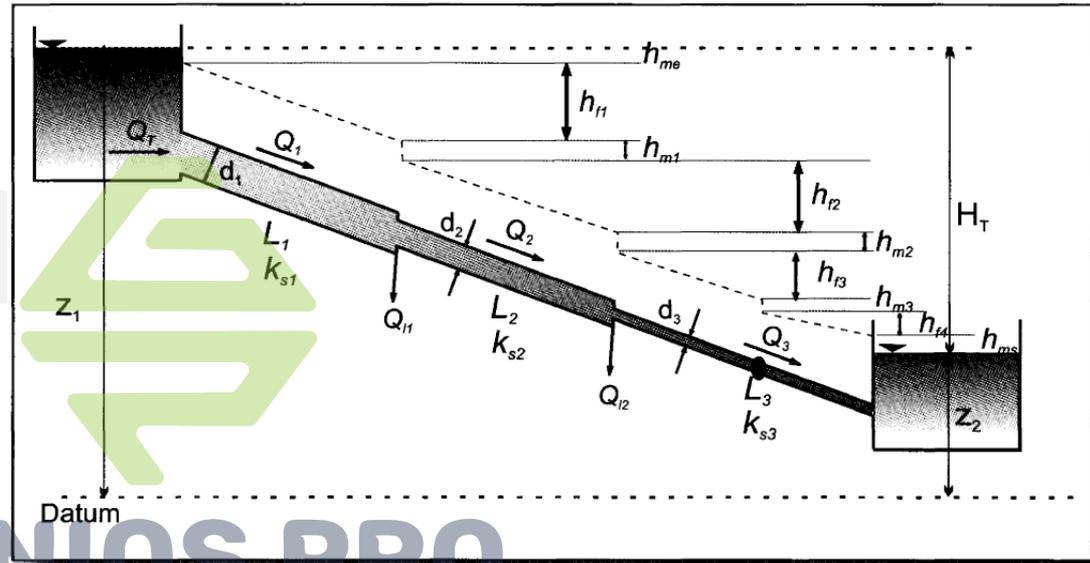
Tres tuberías en serie, conectando dos tanques. Q_{li} Y Q_{l2} representan caudales laterales que salen de las uniones entre las tuberías. La línea punteada representa la línea de gradiente hidráulico. Para cada tubería se indica su longitud, diámetro y rugosidad absoluta.

ANÁLISIS DE TUBERÍAS EN SERIE

Conservación de la energía

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_T$$

$$H_T = Z_1 - Z_2$$



$$H_T = h_e + h_{f1} + h_{m1} + h_{f2} + h_{m2} + h_{f3} + h_{m3} + h_s$$



Donde:

H_T = Diferencia de nivel entre dos tanques.

h_e = Perdidas menores de entrada.

h_{fi} = Perdidas por fricción en el tubo i .

h_{mi} = Perdidas menores en el accesorio i .

h_s = Pérdidas menores por salida

La ecuación de conservación de la energía puede generalizarse para cualquier sistema de tuberías en serie de la siguiente forma:

$$H_T = \sum_{i=1}^n h_{fi} + \sum_{i=1}^m h_{m1}$$

Donde:

n = número de tuberías que conforman la serie

m = número de accesorios que causan pérdidas menores en la serie

$$H_T = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \frac{L_i \cdot v_i^2}{D_i \cdot 2 \cdot g} + \sum_{i=1}^m k_{mi} \frac{v_i^2}{2 \cdot g}$$



Donde:

www.geniospro.com

V_i = velocidad media en la tubería i de la serie

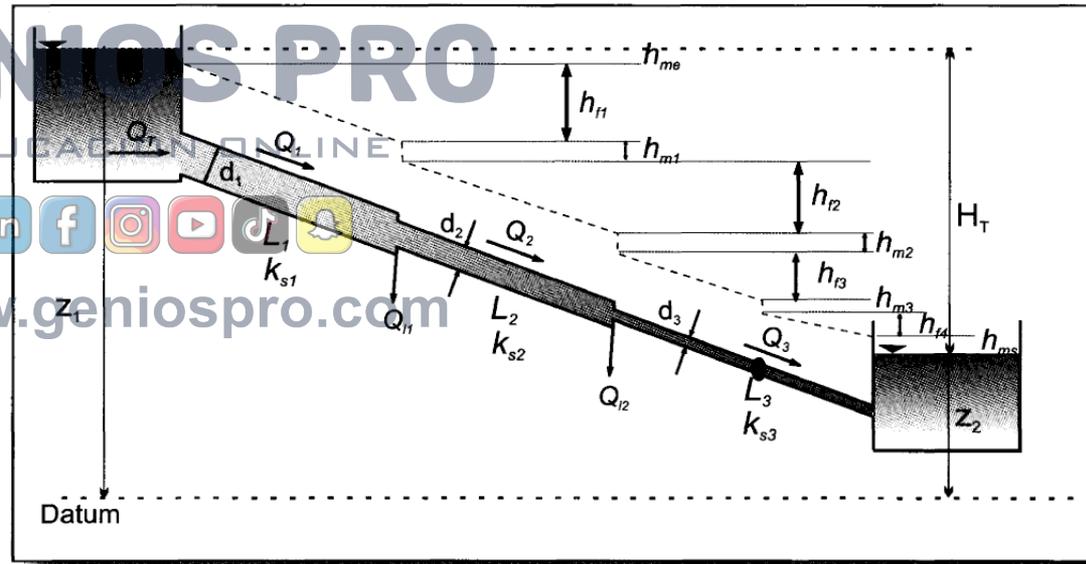
Mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, que también predice las pérdidas por fricción, se puede despejar el factor de fricción:

$$h_f = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

$$f = \frac{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}{L \cdot V^2}$$

$$\sqrt{f} = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}}{\sqrt{L} \cdot V}$$



$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{\sqrt{L.V}}{\sqrt{2.g.D.h_f}}$$

Al reemplazar la Ecuación anterior en la Ecuación de C-W se obtiene:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re} \cdot \frac{1}{\sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{\sqrt{L.V}}{\sqrt{2.g.D.h_f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re} \cdot \frac{\sqrt{L.V}}{\sqrt{2.g.D.h_f}} \right)$$

El número de Reynolds en esta última ecuación puede reemplazarse por:

$$Re = \frac{D * V}{\nu}$$

www.geniospro.com

Finalmente, si se despeja la velocidad se encuentra una ecuación explícita para esa variable:

Por consiguiente, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\sqrt{L} \cdot V}{\sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51 \cdot v \cdot \sqrt{L} \cdot V}{V \cdot D \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}} \right)$$

Finalmente, si se despeja la velocidad se encuentra una ecuación explícita para esa variable:

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}}{\sqrt{L}} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51 \cdot v \cdot \sqrt{L}}{D \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}} \right)$$

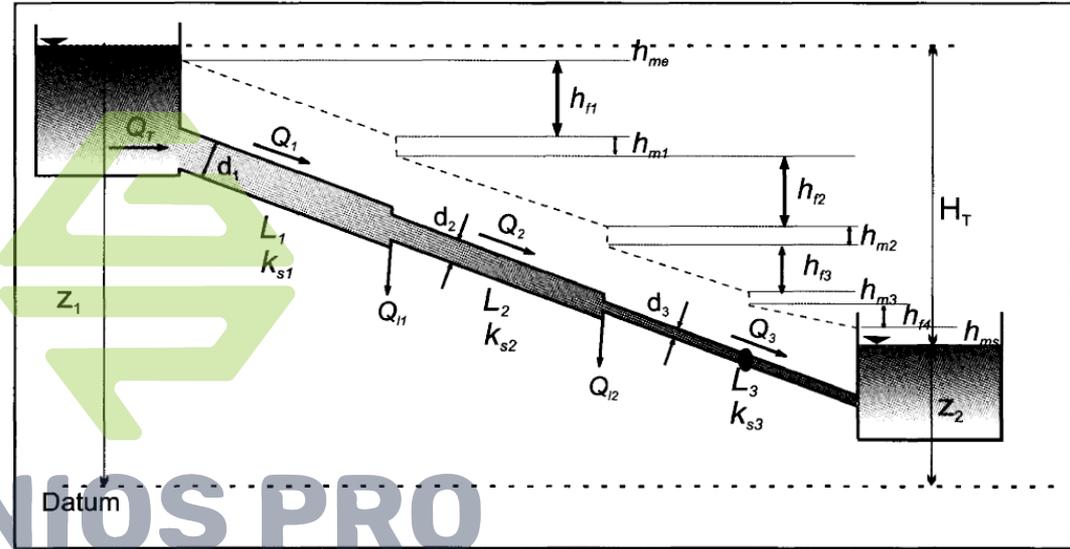
www.geniospro.com

Conservación de la masa (ecuación de continuidad)

$$Q_T = Q_1 = Q_2 + Q_{l1}$$

$$Q_T = Q_3 + Q_{l1} + Q_{l2}$$

Esta ecuación significa que el caudal total que pasa por el sistema es igual al caudal que pasa por cualquier tubería más todos los caudales laterales en las uniones localizadas aguas arriba de ésta.



EDUCACIÓN ONLINE



donde:

Q_α = Caudal en la tubería α de la serie de n tuberías.

Si en las uniones no existiera caudal lateral, la ecuación de conservación de la masa se simplificaría de la siguiente manera:

$$Q_T = Q_\alpha + \sum_{i=1}^{\alpha-1} Q_{Li}$$

Para cada una de las velocidades de las n tuberías de la serie se puede plantear una ecuación igual a la Ecuación

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}}{\sqrt{L}} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51 \cdot v \cdot \sqrt{L}}{D \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}} \right)$$

En esta última ecuación se tienen $2n$ incógnitas: n velocidades y n pérdidas por fricción. Las otras $n-1$ ecuaciones necesarias corresponden a las ecuaciones de continuidad para cada una de las tuberías:

Como última ecuación para resolver el sistema de $2n$ incógnitas, se tiene la ecuación de conservación de la energía:

$$H_T = \sum_{i=1}^n h_{fi} + \sum_{i=1}^m h_{m1}$$

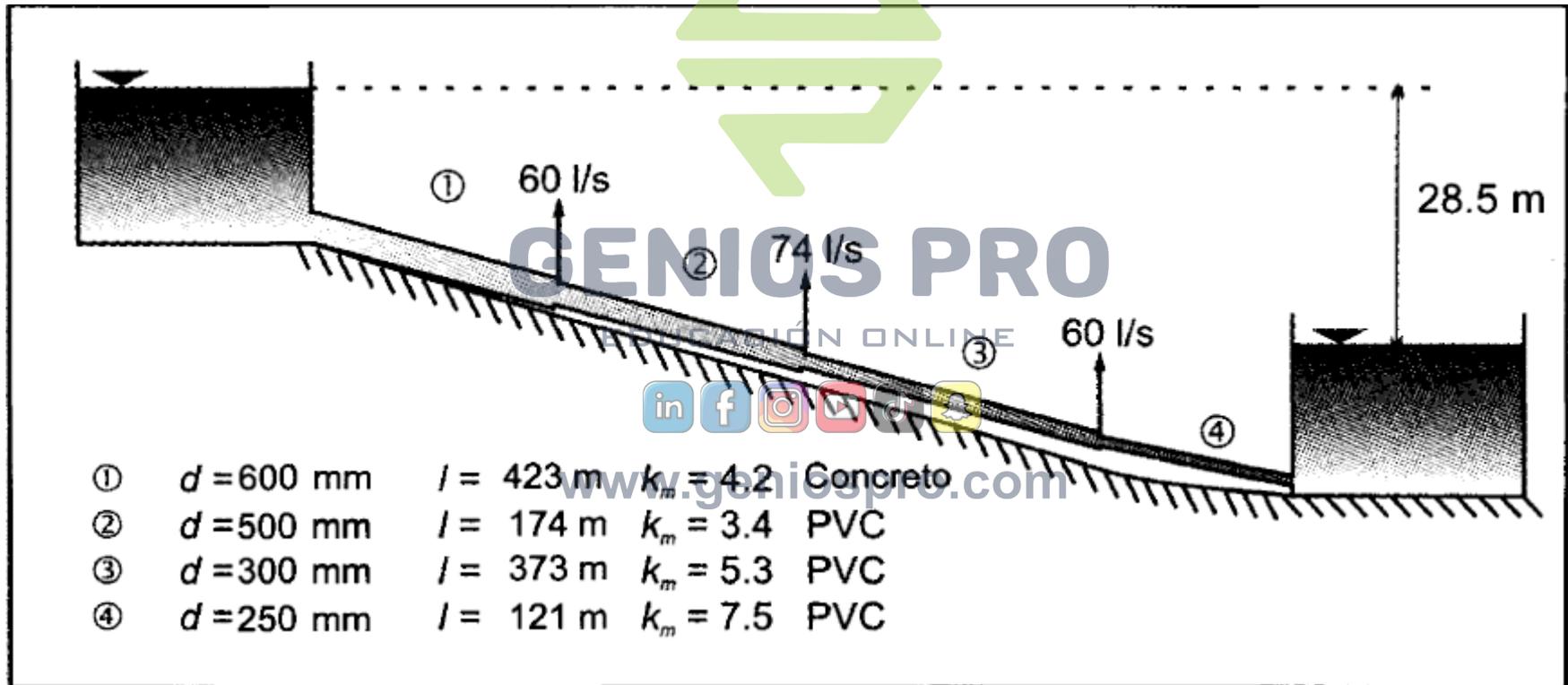


La siguiente ecuación para estimar dichas pérdidas arroja un valor que garantiza una rápida convergencia del proceso:

$$h_{f1} = H_T \frac{\frac{L_1}{D_1^5}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{D_i^5}}$$

6.1.- EJERCICIOS 01

Una serie de cuatro tuberías conecta dos tanques. La diferencia de altura entre los niveles de agua en los tanques es de 28.5 m. Calcular el caudal que llega al segundo tanque, temperatura del agua 15 °C.



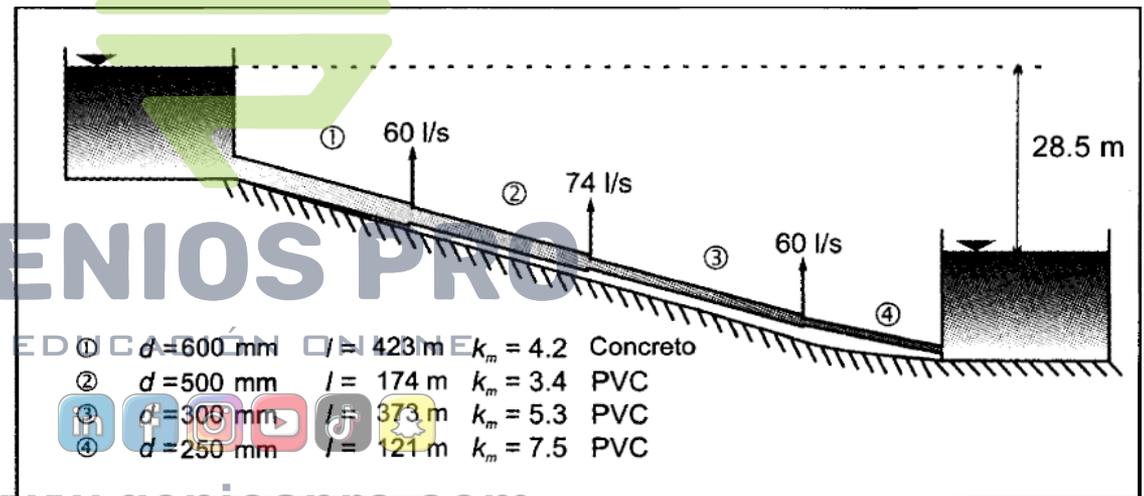
SOLUCIÓN

1.- Para el agua a 20 °C se tienen las siguientes características:

$$v = 1.15 * 10^{-6}$$

2.- Consideraciones iniciales, distribución de la pérdida local.

$$h_{f1} = H_T \frac{\frac{L_1}{D_1^5}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{D_i^5}}$$



www.geniospro.com

PRIMERA ITERACIÓN:

1.- Para la primera tubería

a.- Determinar el valor de pérdida local en la tubería.

$$h_{f1} = 28.5 \frac{\frac{423}{0.6^5}}{\frac{423}{0.6^5} + \frac{174}{0.5^5} + \frac{373}{0.3^5} + \frac{121}{0.25^5}}$$

$$h_{f1} = 0.5376 \text{ m}$$

b.- Determinar la velocidad en la tubería.

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}}{\sqrt{L}} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51 \cdot v \cdot \sqrt{L}}{D \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}} \right)$$



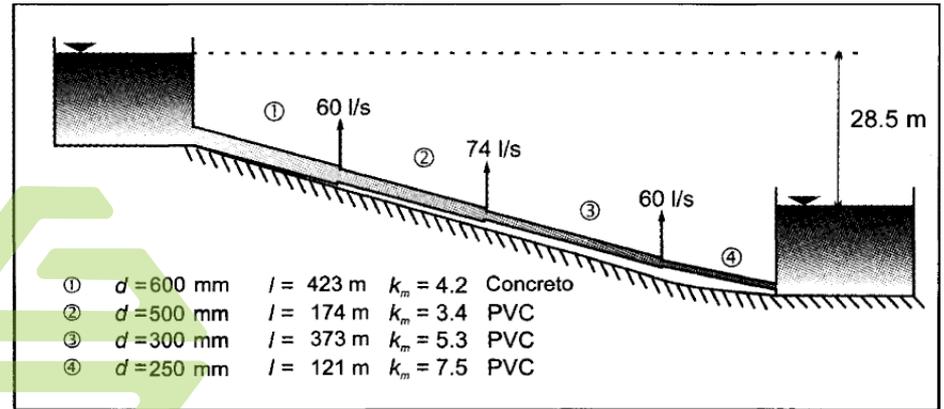
$$V = -2 \frac{\sqrt{2 * 9.807 * 0.6 * 0.5376}}{\sqrt{423}} * \log_{10} \left(\frac{0.0003}{3.7 * 0.6} + \frac{2.51 * 1.14 * 10^{-6} * \sqrt{423}}{0.6 * \sqrt{2 * 9.807 * 0.6 * 0.5376}} \right)$$

$$V = 0.9196 \text{ m/s}$$

c.- Determinar el caudal.

$$Q_1 = \frac{\pi}{4} * 0.6^2 * 0.9196$$

$$Q_1 = 0.26 \text{ m}^3/\text{s}$$



d.- Determinar la pérdidas menores:

$$h_{m1} = 4.2 * \frac{0.9196^2}{2 * 9.807}$$

$$h_{m1} = 0.181 \text{ m}$$

GENIOS PRO
EDUCACIÓN ONLINE



www.geniospro.com

1			
Hf	V	Q	Hm
0.5376	0.9196	0.2600	0.1810

2.- Para la segunda tubería

a.- Determinar el valor de pérdida local en la tubería.

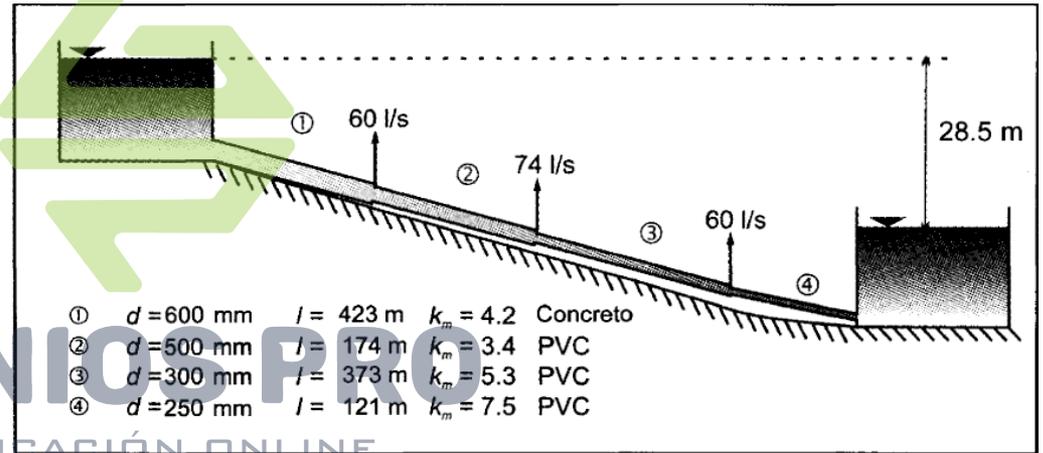
$$Q_2 = 0.26 \text{ m}^3/\text{s} - 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 0.20 \text{ m}^3/\text{s}$$

b.- Determinar el caudal.

$$V_2 = \frac{4}{\pi} * \frac{0.20}{0.5^2}$$

$$V_2 = 1.0186 \text{ m/s}$$



EDUCACIÓN ONLINE



c.- Pérdidas por fricción y pérdidas menores: utilizando la ecuación de Colebrook-White se obtiene:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re} \cdot \frac{1}{\sqrt{f}} \right)$$

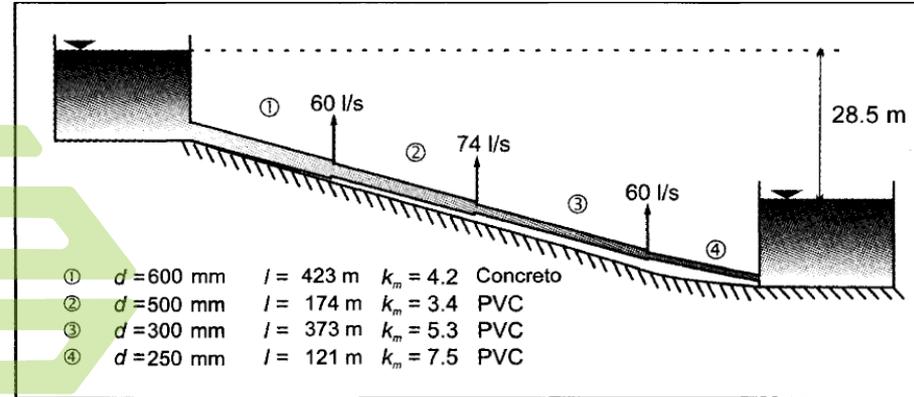
$$f_2 = 0.013$$

y con la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

$$h_{f2} = 0.013 * \frac{174 * 1.0186^2}{0.5 * 2 * 9.807}$$

$$h_{f2} = 0.2533 \text{ m}$$



d.- Determinar la pérdidas menores:

$$h_{m2} = 3.4 * \frac{1.0186^2}{2 * 9.807}$$

$$h_{m2} = 0.1798 \text{ m}$$

2				
Q	V	Re	Hf	Hm
0.2000	1.0186	446751.9547	0.2533	0.1798

3.- Para la tercera tubería

a.- Determinar el valor de pérdida local en la tubería.

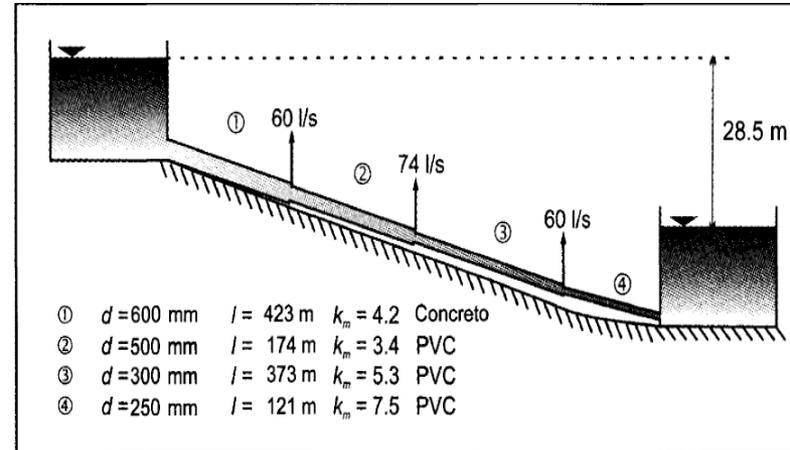
$$Q_3 = 0.26 \text{ m}^3/\text{s} - 0.06 \text{ m}^3/\text{s} - 0.074 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = 0.126 \text{ m}^3/\text{s}$$

b.- Determinar el caudal.

$$V_3 = \frac{4}{\pi} * \frac{0.126}{0.3^2}$$

$$V_3 = 1.7825 \text{ m/s}$$



- ① d=600 mm l= 423 m km= 4.2 Concreto
- ② d=500 mm l= 174 m km= 3.4 PVC
- ③ d=300 mm l= 373 m km= 5.3 PVC
- ④ d=250 mm l= 121 m km= 7.5 PVC

c.- Pérdidas por fricción y pérdidas menores: utilizando la ecuación de Colebrook-White se obtiene:

$$f_3 = 0.0132$$

$$h_{f3} = 0.0132 * \frac{373 * 1.7825^2}{0.3 * 2 * 9.807}$$

$$h_{f3} = 2.100 \text{ m}$$

d.- Determinar la pérdidas menores:

$$h_{m3} = 5.3 * \frac{1.7823^2}{2 * 9.807}$$

$$h_{m3} = 0.8563 \text{ m}$$

3				
Q	V	Re	Hf	Hm
0.1260	1.7825	469089.7645	2.9100	0.8583

4.- Para la cuarta tubería

a.- Determinar el valor de pérdida local en la tubería.

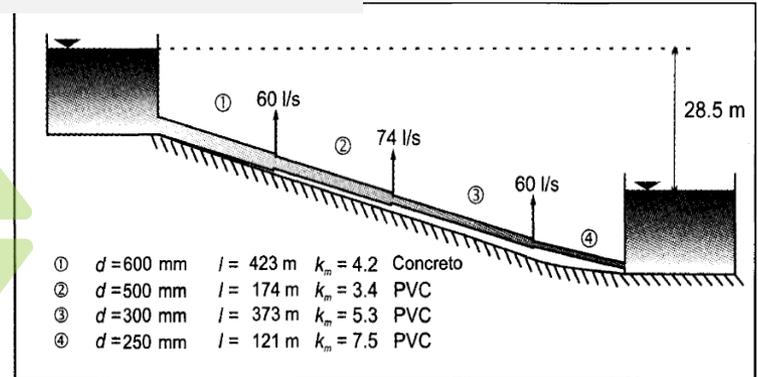
$$Q_4 = 0.26 \text{ m}^3/\text{s} - 0.06 \text{ m}^3/\text{s} - 0.074 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} - 0.060 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_4 = 0.066 \text{ m}^3/\text{s}$$

b.- Determinar el caudal.

$$V_4 = \frac{4}{\pi} * \frac{0.066}{0.25^2}$$

$$V_4 = 1.3445 \text{ m/s}$$



c.- Pérdidas por fricción y pérdidas menores: utilizando la ecuación de Colebrook-White se obtiene:

$$f_4 = 0.0142$$

d.- Determinar la pérdidas menores:

$$h_{f4} = 0.0142 * \frac{121 * 1.3445^2}{0.25 * 2 * 9.807}$$

$$h_{m4} = 7.5 * \frac{1.3445^2}{2 * 9.807}$$

$$h_{f4} = 0.7979 \text{ m}$$

$$h_{m4} = 0.6911 \text{ m}$$

4				
Q	V	Re	Hf	Hm
0.0660	1.3445	294856.1517	0.7979	0.6911

5.- Cálculo de la altura total:

1			
Hf	V	Q	Hm
0.5376	0.9196	0.2600	0.1810

2				
Q	V	Re	Hf	Hm
0.2000	1.0186	446751.9547	0.2533	0.1798

3				
Q	V	Re	Hf	Hm
0.1260	1.7825	469089.7645	2.9100	0.8583

4					
Q	V	Re	Hf	Hm	
0.0660	1.3445	294856.1517	0.7979	0.6911	

$$H = 0.5376 + 0.181 + 0.2533 + 0.1798 + 2.91 + 0.858 + 0.7979 + 0.6911 \text{ m}$$

$$H = 6.3286 \text{ m}$$

6.- Cálculo el error aceptable:

$$|H - H_T| < E$$

$$|H - H_T| = 6.3286 - 28.5 = 22.1714 < 10^3 \text{} \text{FALSO}$$

7.- Realizar la corrección para hf1:

$$h_{f1} = H_T \frac{\frac{L_1}{D_1^5}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{D_i^5}}$$

$$\Delta h_{f1} = (H_T - H) \frac{\frac{L_1}{D_1^5}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{D_i^5}}$$

$$\Delta h_{f1} = (28.5 - 6.3286) * \frac{\frac{423}{0.6^5}}{\frac{423}{0.6^5} + \frac{174}{0.5^5} + \frac{373}{0.3^5} + \frac{121}{0.25^5}}$$

$$\Delta h_{f1} = 0.4106 \text{ m}$$

Corregir el hf1:

$$h_{f1k} = h_{f1k-1} + \Delta h_{f1} \text{ m}$$

$$h_{f1k} = 0.538 + 0.4106 \text{ m}$$

$$h_{f1k} = 0.9486 \text{ m}$$

SEGUNDA ITERACIÓN:

8.- Iniciamos con la primera tubería:

a.- Determinar el valor de pérdida local en la tubería.

$$h_{f1} = 0.9486 \text{ m}$$

b.- Determinar la velocidad en la tubería.

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}}{\sqrt{L}} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51 \cdot v \cdot \sqrt{L}}{D \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}} \right)$$

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot 9.807 \cdot 0.6 \cdot 0.9486}}{\sqrt{423}} \log_{10} \left(\frac{0.0003}{3.7 \cdot 0.6} + \frac{2.51 \cdot 1.14 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{423}}{0.6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.807 \cdot 0.6 \cdot 0.9486}} \right)$$

$$V = 1.2418 \text{ m/s}$$

1			
Hf	V	Q	Hm
0.5376	0.9196	0.2600	0.1810
0.9486	1.2418	0.3624	0.3301
1.1136	1.3477	0.3933	0.3888
1.1656	1.3793	0.4026	0.4073
1.1808	1.3885	0.4052	0.4127
1.1851	1.3911	0.4060	0.4142
1.1864	1.3918	0.4062	0.4147
1.1867	1.3920	0.4063	0.4148
1.1868	1.3921	0.4063	0.4148
1.1868	1.3921	0.4063	0.4148
1.1869	1.3921	0.4063	0.4149
1.1869	1.3921	0.4063	0.4149

2				
Q	V	Re	Hf	Hm
0.2000	1.0186	446751.9547	0.2533	0.1798
0.3024	1.4922	664943.4002	0.4880	0.3859
0.3333	1.6446	732858.5890	0.5829	0.4687
0.3426	1.6902	753175.8242	0.6128	0.4951
0.3452	1.7034	759036.8252	0.6216	0.5028
0.3460	1.7071	760709.9289	0.6241	0.5050
0.3462	1.7082	761186.1109	0.6248	0.5056
0.3463	1.7085	761321.5216	0.6250	0.5058
0.3463	1.7086	761360.0186	0.6251	0.5059
0.3463	1.7086	761370.9625	0.6251	0.5059
0.3463	1.7086	761374.0736	0.6251	0.5059
0.3463	1.7086	761374.9580	0.6251	0.5059

3				
Q	V	Re	Hf	Hm
0.1260	1.7825	469089.7645	2.9100	0.8583
0.2284	3.1308	837081.2486	7.4026	2.6478
0.2593	3.5542	950273.2299	9.3415	3.4124
0.2686	3.6808	984135.2886	9.9616	3.6599
0.2712	3.7174	993903.6235	10.1439	3.7329
0.2720	3.7278	996692.1297	10.1963	3.7539
0.2722	3.7308	997485.7664	10.2112	3.7598
0.2723	3.7316	997711.4509	10.2154	3.7615
0.2723	3.7318	997775.6126	10.2166	3.7620
0.2723	3.7319	997793.8525	10.2170	3.7622
0.2723	3.7319	997799.0376	10.2171	3.7622
0.2723	3.7319	997800.5115	10.2171	3.7622

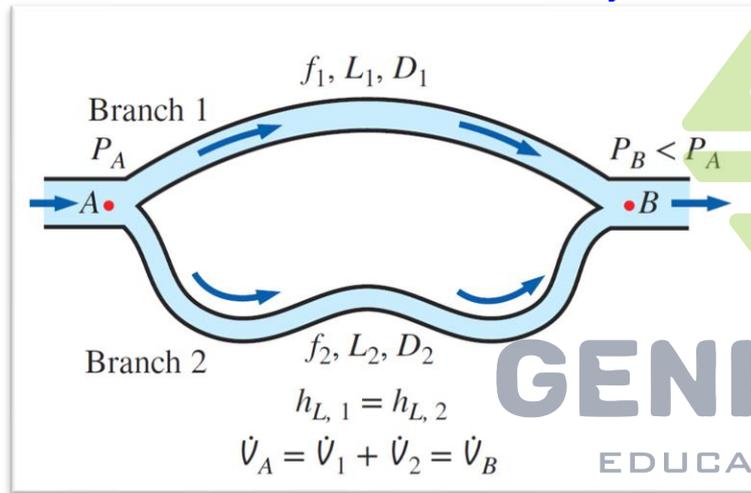
4				
Q	V	Re	Hf	Hm
0.0660	1.3445	294856.1517	0.7979	0.6911
0.1684	3.3243	740668.3345	3.3212	4.2243
0.1993	3.9339	876498.7120	4.5225	5.9157
0.2086	4.1163	917133.1825	4.9148	6.4769
0.2112	4.1689	928855.1844	5.0307	6.6436
0.2120	4.1839	932201.3918	5.0641	6.6915
0.2122	4.1882	933153.7559	5.0736	6.7052
0.2123	4.1894	933424.5772	5.0763	6.7091
0.2123	4.1897	933501.5713	5.0771	6.7102
0.2123	4.1898	933523.4591	5.0773	6.7105
0.2123	4.1899	933529.6812	5.0773	6.7106
0.2123	4.1899	933531.4500	5.0774	6.7106

n.- Calculo del caudal que llega al segundo tanque:

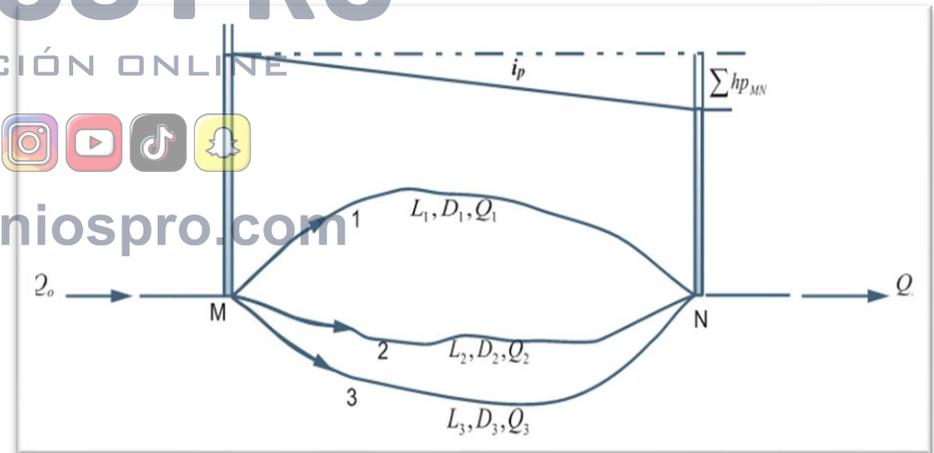
$$Q_4 = 0.2123 \text{ m}^3/\text{s}$$

b). TUBERÍAS EN PARALELO

Para una tubería que se ramifica en dos (o más) tuberías paralelas y luego se vuelven a juntar en una unión corriente abajo, la razón de flujo total es la suma de las razones de flujo en las tuberías individuales.

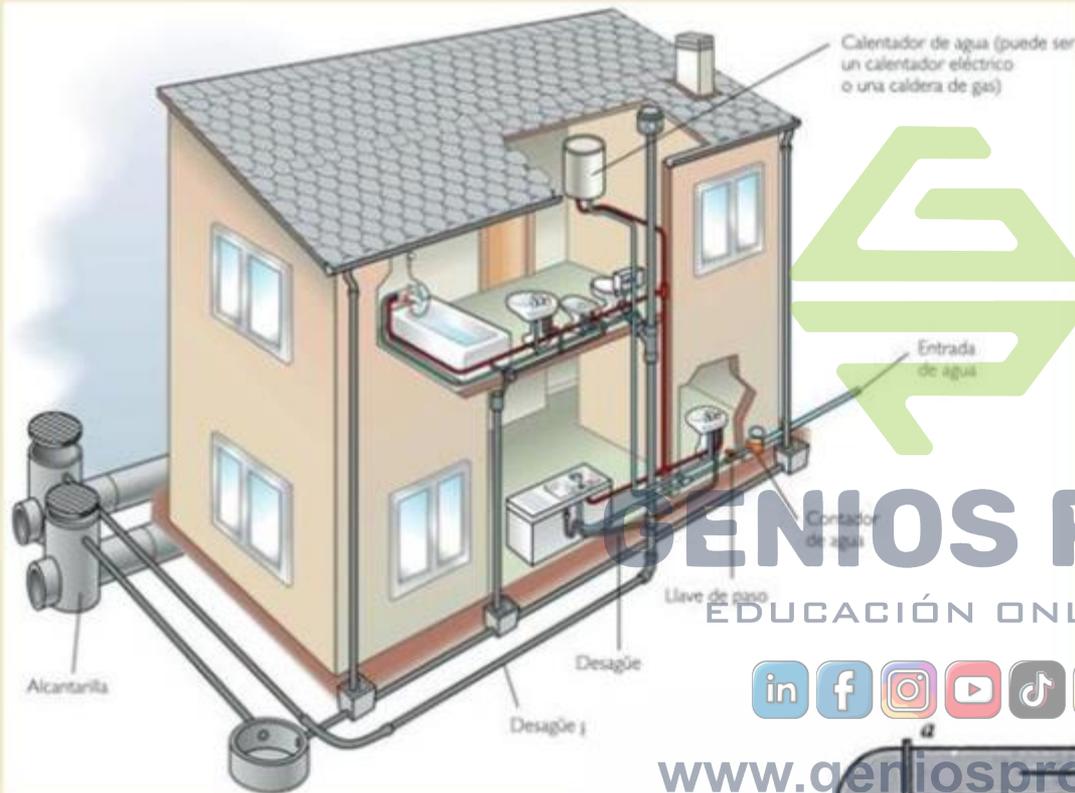


Para tuberías en paralelo, la **pérdida de carga es la misma en cada tubería**, y la razón de flujo total es la suma de las razones de flujo en las tuberías individuales.

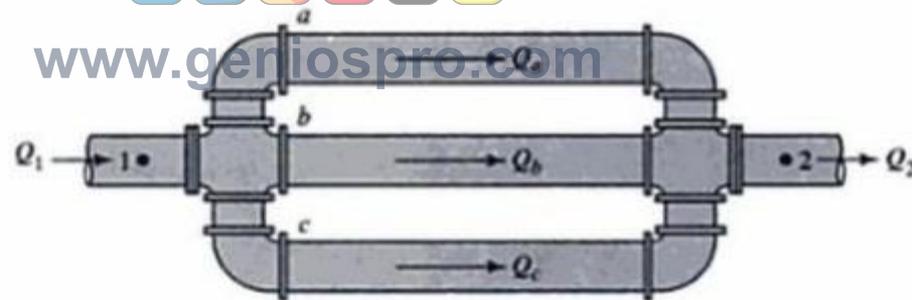


Porque $\Delta P = P_A - P_B$ y las presiones de unión P_A y P_B son las mismas para todas las tuberías individuales.

Tuberías en paralelo



Un sistema de tubería en paralelo ocurre cuando una línea de conducción se divide en varias tuberías donde cada una de ellas transporta una parte del caudal original (VARIOS CAMINOS) de manera que al unirse posteriormente el caudal original se conserva.



El análisis de las redes de tuberías, sin importar qué tan complejas sean, se basa en dos principios simples:

1. Se debe satisfacer la conservación de la masa a través del sistema.

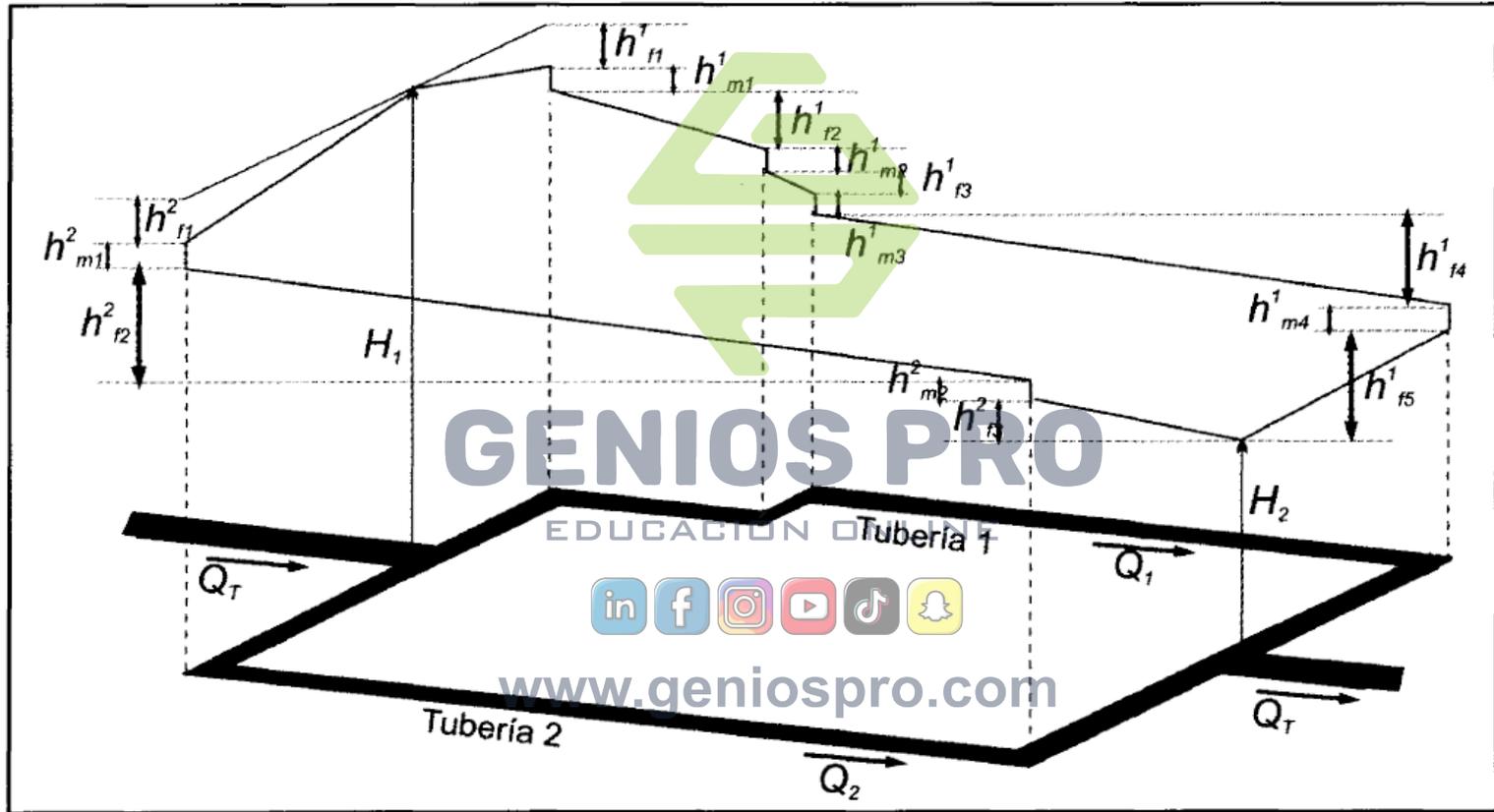
El flujo total que entra a una unión sea igual al flujo total que sale de la unión.

El flujo debe permanecer constante en las tuberías conectadas en serie sin importar los cambios en los diámetros.

EDUCACIÓN ONLINE

2. La caída de presión (y por lo tanto la pérdida de carga) entre dos uniones debe ser la misma para todas las trayectorias entre las dos uniones.

Son un conjunto de tuberías que parten de un nodo común y llegan a otro nodo también común.



Estas pueden tener longitudes, diámetros y accesorios diferentes a la vez que estar elaboradas en materiales muy distintos.

Conservación de la energía

Para la tubería 1 se plantea la siguiente ecuación:

$$H_T = H_1 - H_2$$

$$H_T = h_{f1}^1 + h_{m1}^1 + h_{f2}^1 + h_{m2}^1 + h_{f3}^1 + h_{m3}^1 + h_{f4}^1 + h_{m4}^1 + h_{f5}^1$$

donde:

h_{fj}^i = Pérdida por fricción en el tramo j de la tubería i .

h_{mj}^i = Pérdida menores en el accesorio j de la tubería i .

H_T = Diferencia total de altura piezométrica entre los nodos 1 y 2.

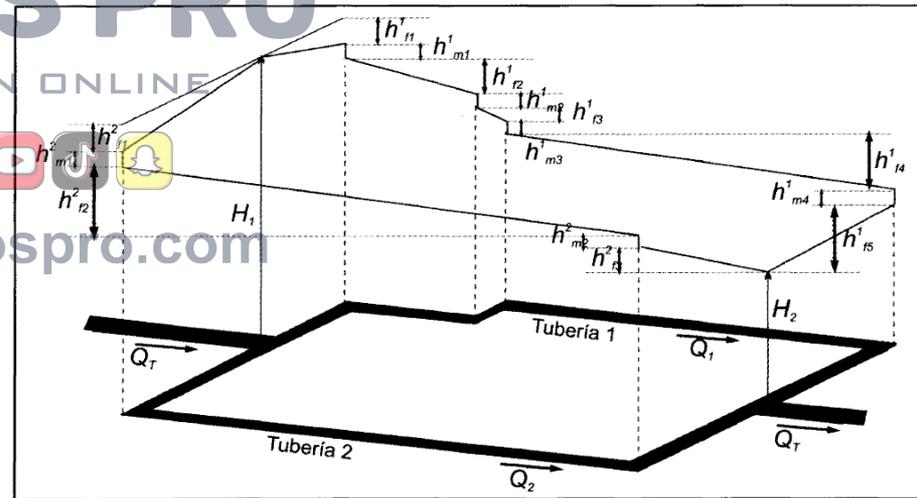
Esta ecuación puede simplificarse así:

$$H_T = \sum_{i=1}^n h_{fj}^1 + \sum_{i=1}^m h_{mj}^1 \dots \dots a$$

Donde:

n = número de tramos de la tubería 1.

m = número de accesorios en la tubería 1.



Para la tubería 2 se puede plantear una ecuación similar a la tubería 1.

$$H_T = \sum_{i=1}^r h_{fj}^2 + \sum_{i=1}^s h_{mj}^2 \dots \dots b$$

Donde:

r = número de tramos de la tubería 2.

s = número de accesorios en la tubería 2.

Los términos de la izquierda de las Ecuaciones a y b son iguales, lo cual implica que los de la derecha también deben ser iguales. Por consiguiente, la ecuación de conservación de la energía para tuberías en paralelo es:



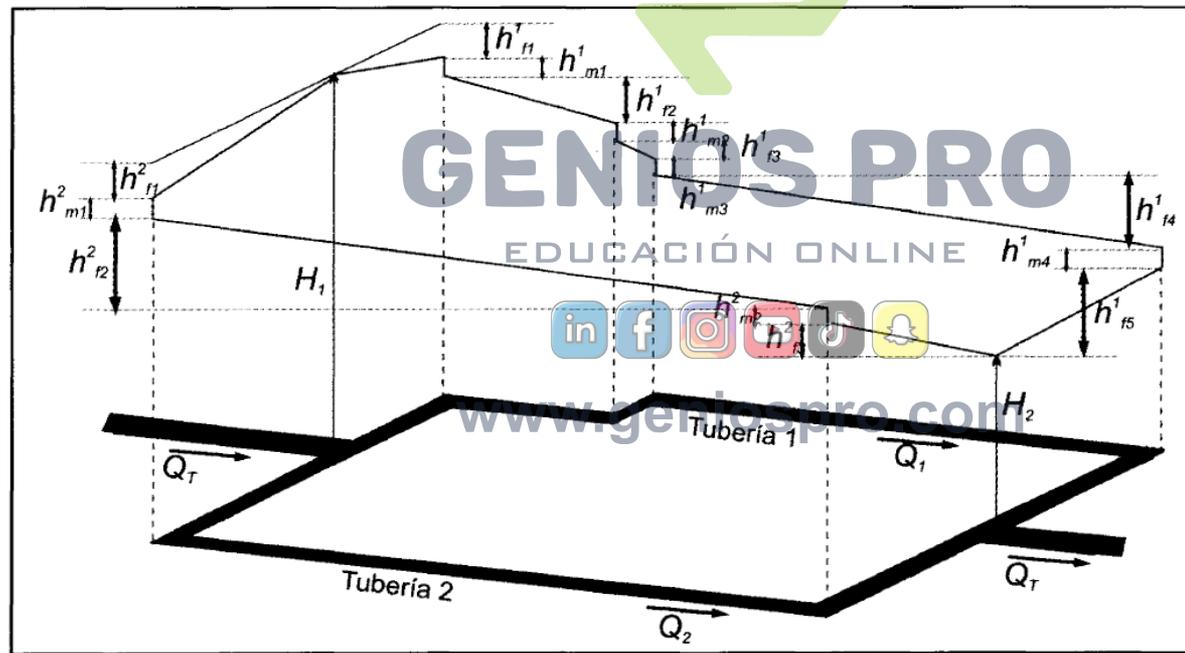
$$\sum_{i=1}^n h_{fj}^1 + \sum_{i=1}^m h_{mj}^1 = \sum_{i=1}^r h_{fj}^2 + \sum_{i=1}^s h_{mj}^2 \dots \dots c$$

En esta última ecuación los superíndices no son exponentes; sólo indican el número de identificación de la tubería.

Conservación de la masa (continuidad)

En la Figura resulta claro que la ecuación de conservación de la masa, tratándose de flujo permanente, es:

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$



Comprobación de diseño de tuberías en paralelo

Al igual que en todo proceso de comprobación, **las incógnitas son los caudales individuales en cada una de las n tuberías.**

Para cada una de las tuberías se pueden plantear las siguientes ecuaciones:

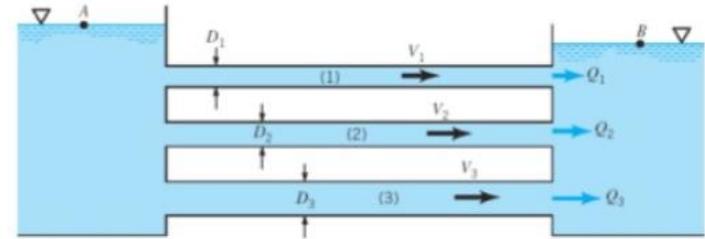
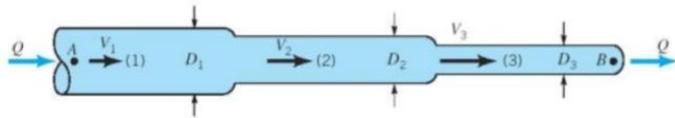
$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot D_i \cdot h_{fi}}}{\sqrt{L_i}} \log_{10} \left(\frac{k_{si}}{3.7 D_i} + \frac{2.51 \cdot v \cdot \sqrt{L_i}}{D \sqrt{2 \cdot g \cdot D_i \cdot h_{fi}}} \right)$$

$$H_T = \sum_{i=1}^n f_i * \frac{L_i \cdot v_i^2}{D_i \cdot 2 \cdot g} + \sum_{i=1}^m k_{mi} \frac{v_i^2}{2 \cdot g}$$

$$H_T = \left(f_i \frac{L_i}{D_i} + \sum_{i=1}^m k_{mi} \right) * \frac{v_i^2}{2 \cdot g}$$

Las Ecuaciones pueden ser resueltas de manera individual para cada una de las tuberías del sistema en paralelo.

La comprobación de diseño en un sistema de n tuberías en paralelo se convierte en n comprobaciones de tuberías simples



Condiciones

Tubería en Serie

Los caudales son los mismos para cada uno de los tramos de tubería:

$$Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_i$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = A_3 V_3$$

Las pérdidas por fricción de cada de las secciones se suman:

$$h_{pl} = h_{p1} + h_{p2} + h_{p3} = \sum_{i=1}^n h_p$$

Tubería en Paralelo

La suma de los caudales individuales de cada tubería, debe ser igual al caudal original, o sea:

$$Q_{original} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots = \sum_{i=1}^n Q$$

Las pérdidas por fricción en cada tubería individual son iguales, o sea:

$$h_{p1} = h_{p2} = h_{p3} = h_{pl}$$

GENIOS PRO

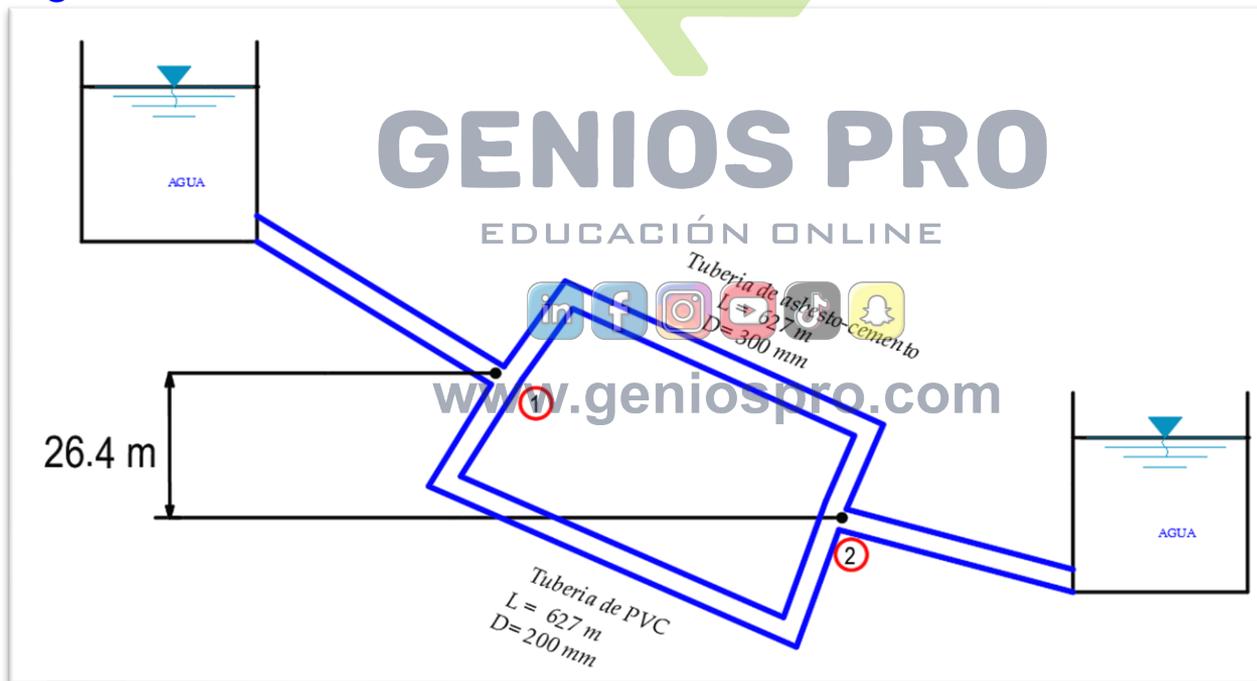
EDUCACIÓN ONLINE



www.geniospro.com

6.2.- EJERCICIOS 02

En la red matriz del sistema de abastecimiento de agua, existen dos tuberías que unen la planta de tratamiento y el tanque. Las dos tuberías tienen una longitud de 627 m y un coeficiente global de pérdidas menores de 10.6. Una de ellas tiene un diámetro de 200 mm en PVC ($K_s = 0.0015 \text{ mm}$) y la otra mide 300 mm y está elaborada en asbesto-cemento ($k_s = 0.03 \text{ mm}$). La diferencia de altura entre los nodos de aguas arriba y aguas abajo es de 26.4 m. El agua se encuentra a 20°C . Calcular el caudal total.



TUBERIA DE PVC:

SOLUCIÓN

1.- Para el agua a 20 °C se tienen las siguientes características:

$$\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$$

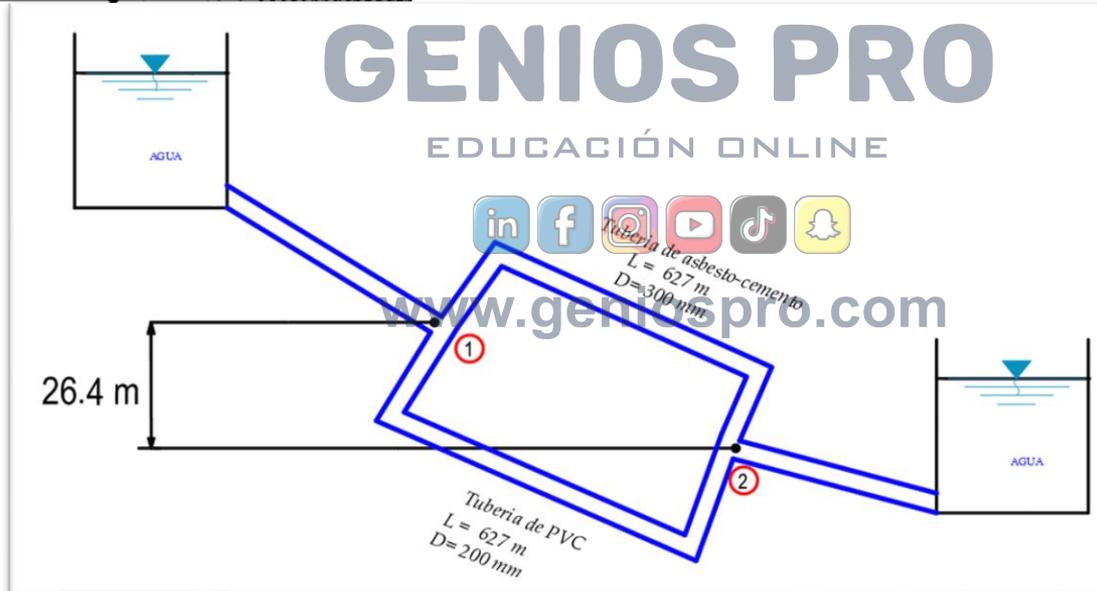
$$\mu = 1.005 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} \Rightarrow \nu = 1.007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

2.- Consideraciones iniciales

$$\text{Suponer } h_{f1} = H - z_2$$

PRIMERA ITERACIÓN:

$$h_{fi} = 26.4 - 0 = 26.4 \text{ m}$$



3.- Calcular la primera velocidad según la ecuación:

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}}{\sqrt{L}} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51 \cdot v \cdot \sqrt{L}}{D \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}} \right)$$

Reemplazando valores:

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot 9.807 \cdot 0.2 \cdot 26.4}}{\sqrt{627}} \log_{10} \left(\frac{1.5 \cdot 10^{-6}}{3.7 \cdot 0.2} + \frac{2.51 \cdot 1.007 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{627}}{0.2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.807 \cdot 0.2 \cdot 26.4}} \right)$$

$$V = 4.6240 \text{ m/s}$$

GENIOS PRO

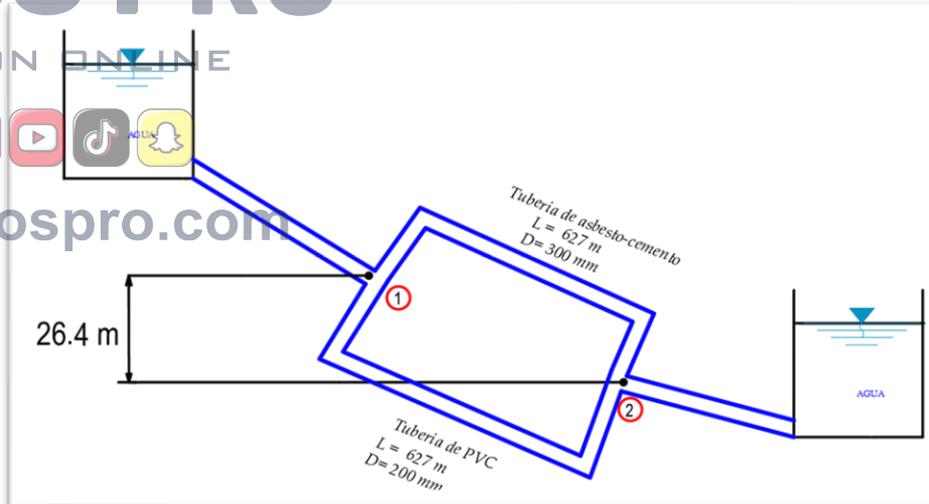
EDUCACIÓN ONLINE

4.- Calcular la nueva pérdida local:

$$h_f = H - Z_2 - \sum k_m \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \dots \dots (1)$$

$$h_{fi+1} = 26.4 - 0 - 10.6 \cdot \frac{4.6240^2}{2 \cdot 9.807}$$

$$h_{fi+1} = 14.8446 \text{ m}$$



5.- Calcular el error:

$$|h_{fi} - h_{fi+1}| \leq E$$

$$|26.4 - 14.8446| \leq 10^{-4}$$

$$11.5554 \leq 10^{-4} \text{ FALSO}$$

6.- Iniciar desde el procedimiento desde el paso 3:

Nota: Iniciamos el procedimiento con el nuevo valor de h_{fi} :

$$h_{fi} = 14.8446 \text{ m}$$



www.geniospro.com

SEGUNDA ITERACIÓN:

7.- Calcular la primera velocidad según la ecuación:

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}}{\sqrt{L}} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51 \cdot v \cdot \sqrt{L}}{D \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}} \right)$$

Reemplazando valores:

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot 9.807 \cdot 0.2 \cdot 14.84}}{\sqrt{627}} \log_{10} \left(\frac{1.5 \cdot 10^{-6}}{3.7 \cdot 0.2} + \frac{2.51 \cdot 1.007 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{627}}{0.2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.807 \cdot 0.2 \cdot 14.84}} \right)$$

$$V = 2.6584 \text{ m/s}$$

GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE

8.- Calcular la nueva pérdida local:

$$h_f = H - Z_2 - \sum k_m \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots \dots (1)$$

$$h_{fi+1} = 26.4 - 0 - 10.6 \cdot \frac{2.6584^2}{2 \cdot 9.807}$$

$$h_{fi+1} = 22.5806 \text{ m}$$

9.- Calcular el error:

$$|h_{fi} - h_{fi+1}| \leq E$$

$$|14.8446 - 22.5806| \leq 10^{-4}$$

$$7.7359 \leq 10^{-4} \text{ FALSO}$$

10.- Iniciar desde el procedimiento desde el paso 3:

Nota: Iniciamos el procedimiento con el nuevo valor de h_{fi} :

$$h_{fi} = 22.5806 \text{ m}$$

www.geniospro.com

RESUMEN DE ITERACIONES TUBERIA PVC:

1				
Nº	hf_i (m)	v (m/s)	h_m (m)	ERROR
1	26.4000	4.6240	11.5554	
2	14.8446	2.6584	3.8194	11.555364
3	22.5806	3.3437	6.0422	7.7359629
4	20.3578	3.1597	5.3955	2.2228116
5	21.0045	3.2141	5.5831	0.6467229
6	20.8169	3.1984	5.5286	0.187563
7	20.8714	3.2030	5.5444	0.0544493
8	20.8556	3.2017	5.5398	0.0158022
9	20.8602	3.2021	5.5412	0.0045865
10	20.8588	3.2020	5.5408	0.0013312
11	20.8592	3.2020	5.5409	0.0003863
12	20.8591	3.2020	5.5408	0.0001121
13	20.8592	3.2020	5.5409	3.254E-05

12.- Cumpliendo con el error, ahora calcular el caudal:

$$Q = V * A$$

$$A = \pi * 0.2^2 / 4 = 0.03142 \text{ m}^2$$

$$Q = 3.2020 * A$$

$$Q_1 = 0.1006 \text{ m}^3/\text{s}$$

TUBERIA DE ASBESTO-CEMENTO:

SOLUCIÓN

1.- Para el agua a 20 °C se tienen las siguientes características:

$$\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$$

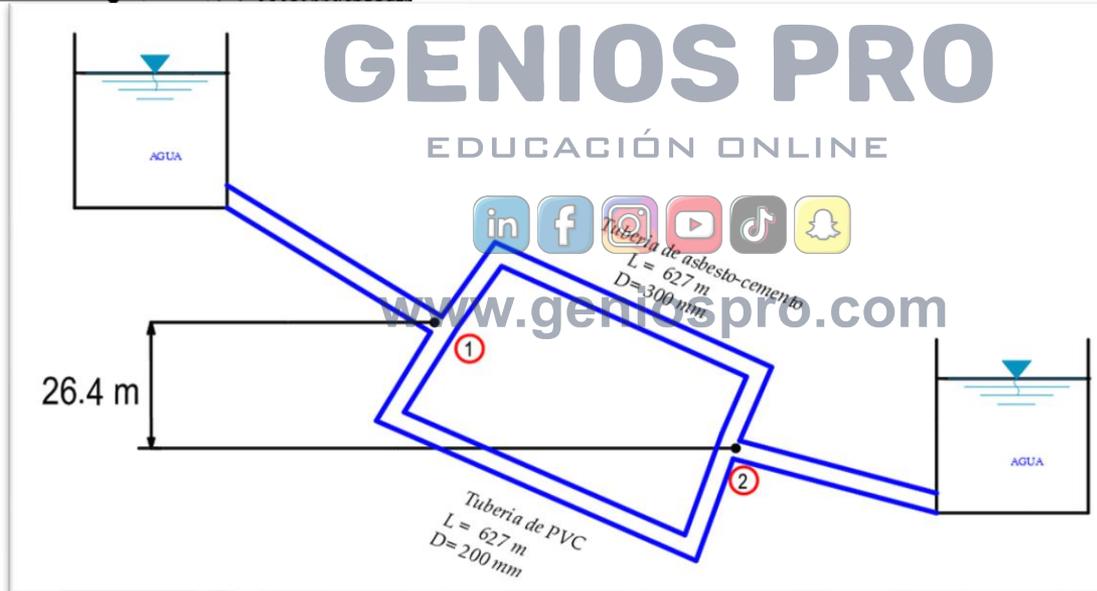
$$\mu = 1.005 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} \Rightarrow \nu = 1.007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

2.- Consideraciones iniciales

$$\text{Suponer } h_{f1} = H - z_2$$

PRIMERA ITERACIÓN:

$$h_{fi} = 26.4 - 0 = 26.4 \text{ m}$$



3.- Calcular la primera velocidad según la ecuación:

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}}{\sqrt{L}} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51 \cdot v \cdot \sqrt{L}}{D \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}} \right)$$

Reemplazando valores:

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot 9.807 \cdot 0.3 \cdot 26.4}}{\sqrt{627}} \log_{10} \left(\frac{3 \cdot 10^{-5}}{3.7 \cdot 0.3} + \frac{2.51 \cdot 1.007 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{627}}{0.3 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.807 \cdot 0.3 \cdot 26.4}} \right)$$

$V = 4.5475 \text{ m/s}$

GENIOS PRO

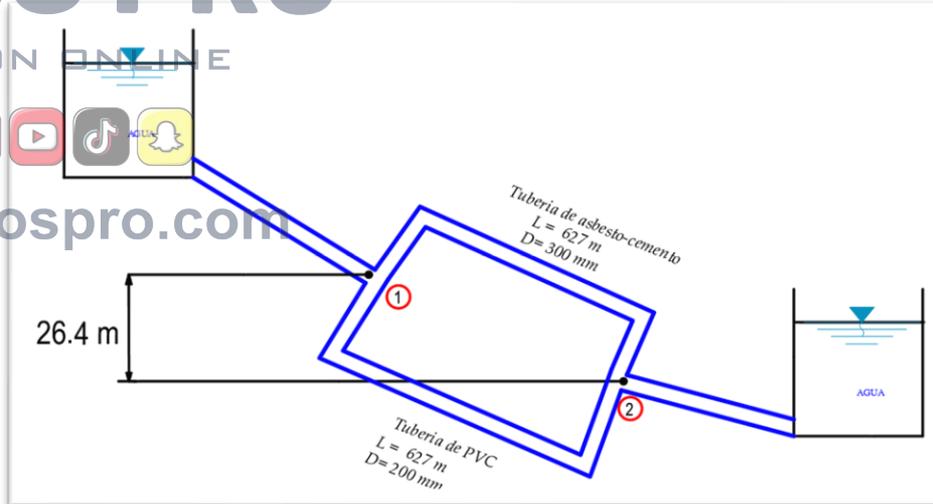
EDUCACIÓN ONLINE

4.- Calcular la nueva pérdida local:

$$h_f = H - Z_2 - \sum k_m \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \dots \dots (1)$$

$$h_{fi+1} = 26.4 - 0 - 10.6 \cdot \frac{4.5475^2}{2 \cdot 9.807}$$

$h_{fi+1} = 15.2242 \text{ m}$



5.- Calcular el error:

$$|h_{fi} - h_{fi+1}| \leq E$$

$$|26.4 - 15.2242| \leq 10^{-4}$$

$$11.1758 \leq 10^{-4} \text{ FALSO}$$

6.- Iniciar desde el procedimiento desde el paso 4:

Nota: Iniciamos el procedimiento con el nuevo valor de h_{fi} :

$$h_{fi} = 15.2242 \text{ m}$$



www.geniospro.com

SEGUNDA ITERACIÓN:

7.- Calcular la primera velocidad según la ecuación:

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}}{\sqrt{L}} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51 \cdot v \cdot \sqrt{L}}{D \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot h_f}} \right)$$

Reemplazando valores:

$$V = -2 \frac{\sqrt{2 \cdot 9.807 \cdot 0.3 \cdot 15.22}}{\sqrt{627}} \log_{10} \left(\frac{3 \cdot 10^{-5}}{3.7 \cdot 0.3} + \frac{2.51 \cdot 1.007 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{627}}{0.3 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.807 \cdot 0.3 \cdot 15.22}} \right)$$

$$V = 3.256 \text{ m/s}$$

GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE

8.- Calcular la nueva pérdida local:

$$h_f = H - Z_2 - \sum k_m \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (1)$$

$$h_{fi+1} = 26.4 - 0 - 10.6 \cdot \frac{3.256^2}{2 \cdot 9.807}$$

$$h_{fi+1} = 20.6706 \text{ m}$$

9.- Calcular el error:

$$|h_{fi} - h_{fi+1}| \leq E$$

$$|15.2242 - 20.6706| \leq 10^{-4}$$

$$5.4464 \leq 10^{-4} \text{ FALSO}$$



GENIOS PRO

10.- Iniciar desde el procedimiento desde el paso 3:

Nota: Iniciamos el procedimiento con el nuevo valor de h_{fi} :

www.geniospro.com

$$h_{fi} = 20.6706m$$

RESUMEN DE ITERACIONES DE TUBERIA ASBESTO-CEMENTO:

N°	2			
	hf _i (m)	v (m/s)	hm (m)	
1	26.4000	4.5475	11.1758	
2	15.2242	3.256	5.7294	11.17583
3	20.6706	3.819	7.8833	5.44641
4	18.5167	3.606	7.0291	2.153927
5	19.3709	3.692	7.3676	0.854203
6	19.0324	3.658	7.2334	0.338425
7	19.1666	3.672	7.2866	0.134134
8	19.1134	3.667	7.2655	0.053156
9	19.1345	3.669	7.2739	0.021066
10	19.1261	3.668	7.2706	0.008349
11	19.1294	3.668	7.2719	0.003309
12	19.1281	3.668	7.2714	0.001311
13	19.1286	3.668	7.2716	0.00052
14	19.1284	3.668	7.2715	0.000206
15	19.1285	3.668	7.2715	8.16E-05

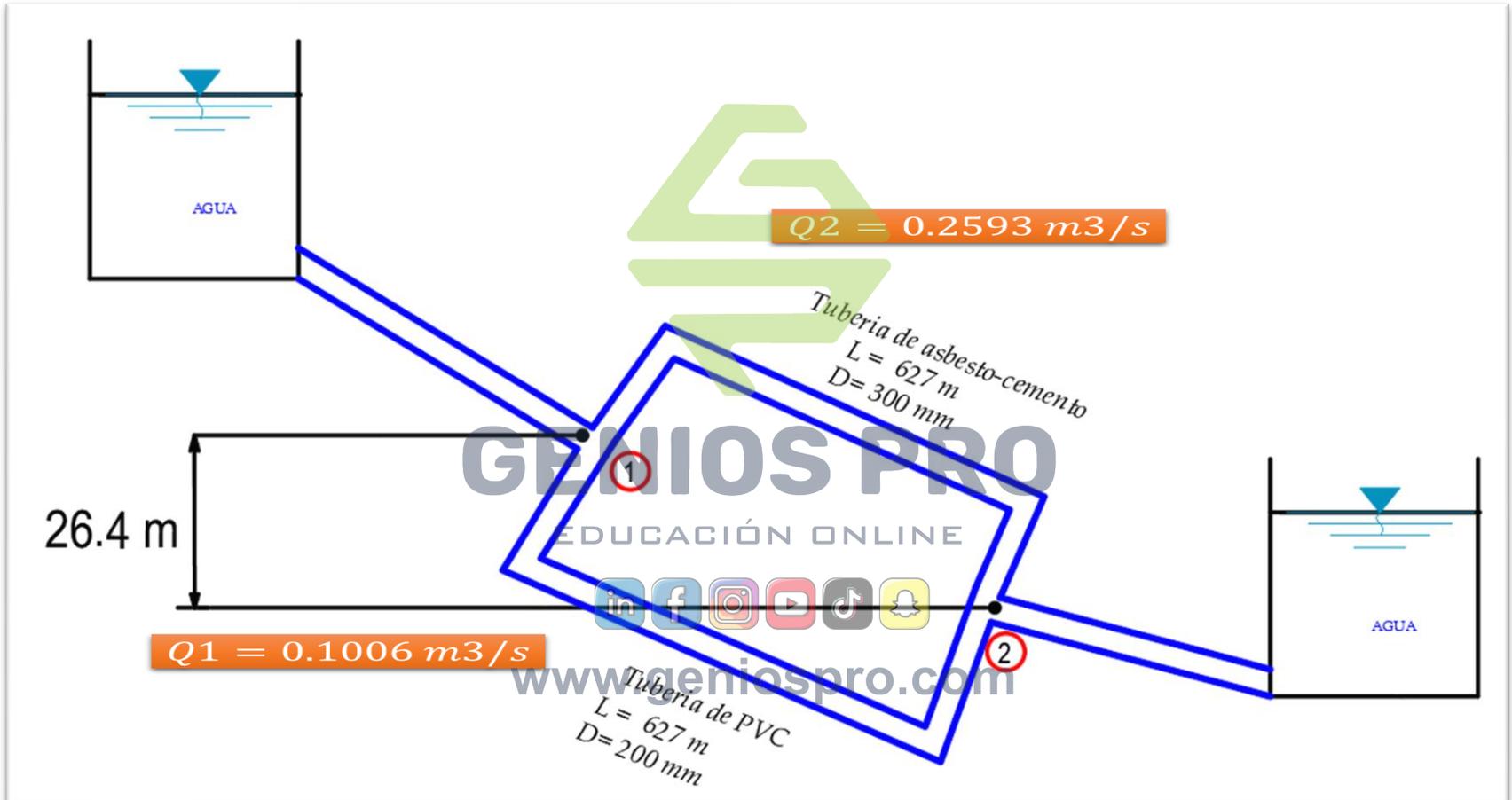
12.- Cumpliendo con el error, ahora calcular el caudal:

$$Q = V * A$$

$$A = \pi * 0.3^2 / 4 = 0.07068 \text{ m}^2$$

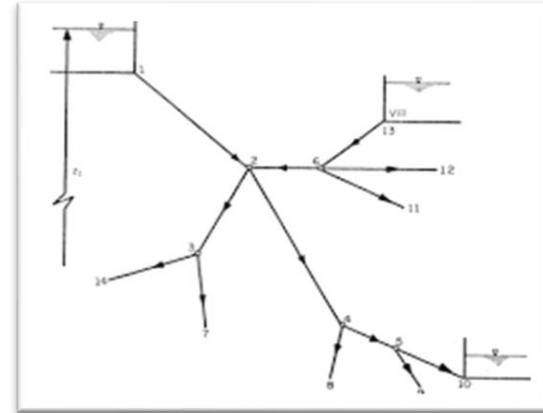
$$Q = 3.668 * A$$

$$Q = 0.2593 \text{ m}^3/\text{s}$$



6.2. Red de tuberías

1.- Red de tuberías Abiertas

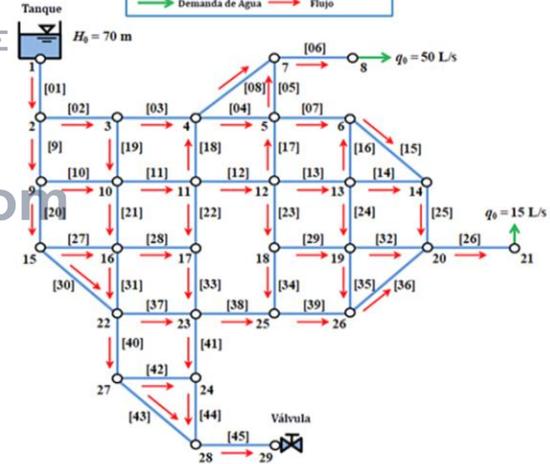


GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE

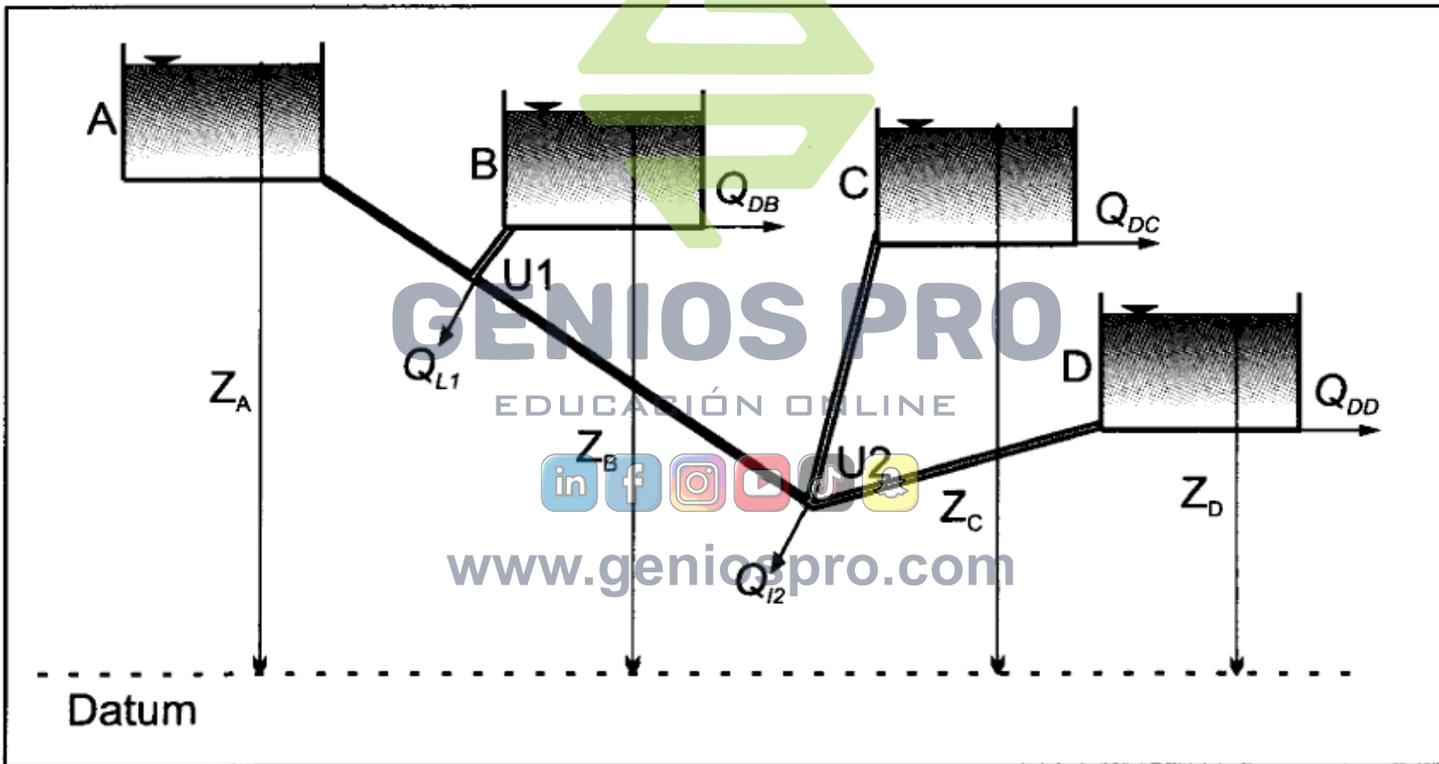
2.- Red de tuberías Cerrada

Leyenda:
 Tubería [N°] Número de la Tubería
 O Nodo N° Número del Nodo
 → Demanda de Agua → Flujo



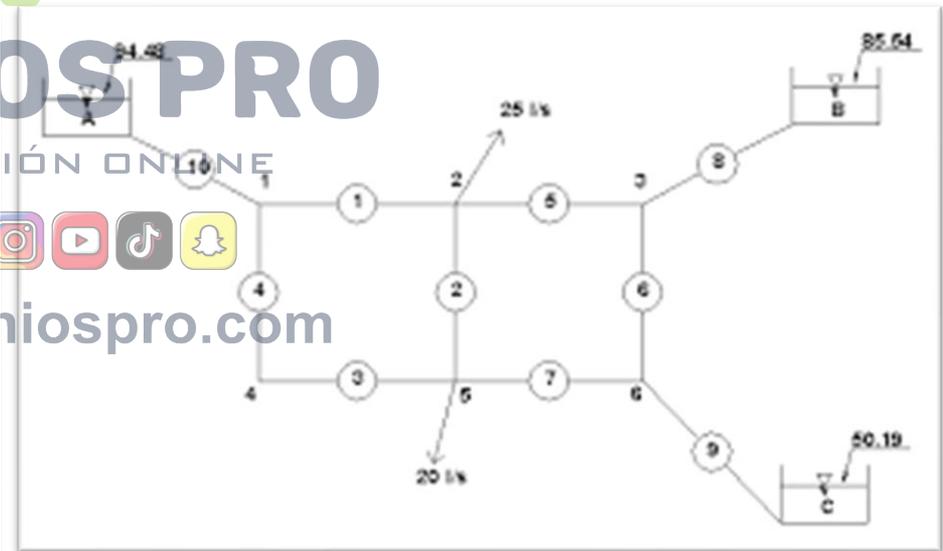
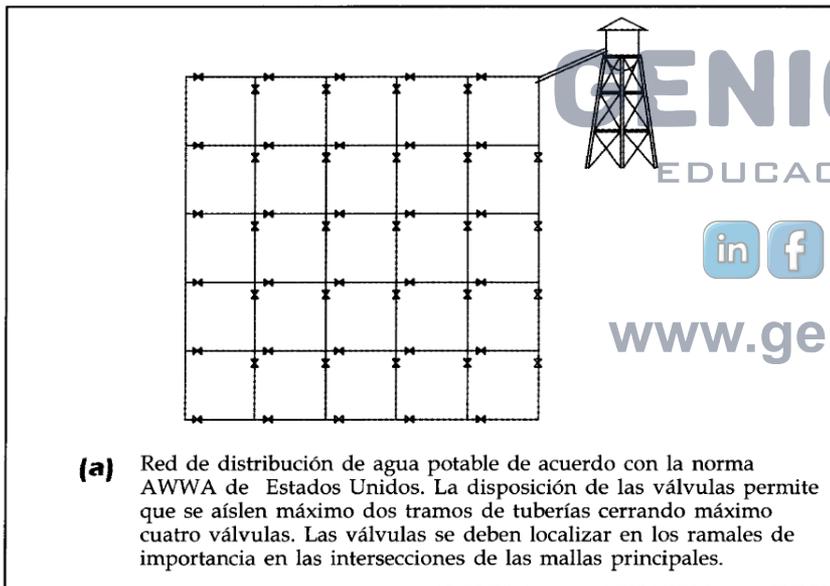
1.- Redes abiertas

Se caracterizan por no tener ningún «circuito cerrado» en el sistema. Los ejemplos típicos de este grupo son las redes de tubos madres o líneas expresas en sistemas de distribución de agua potable.



2.- Redes cerradas:

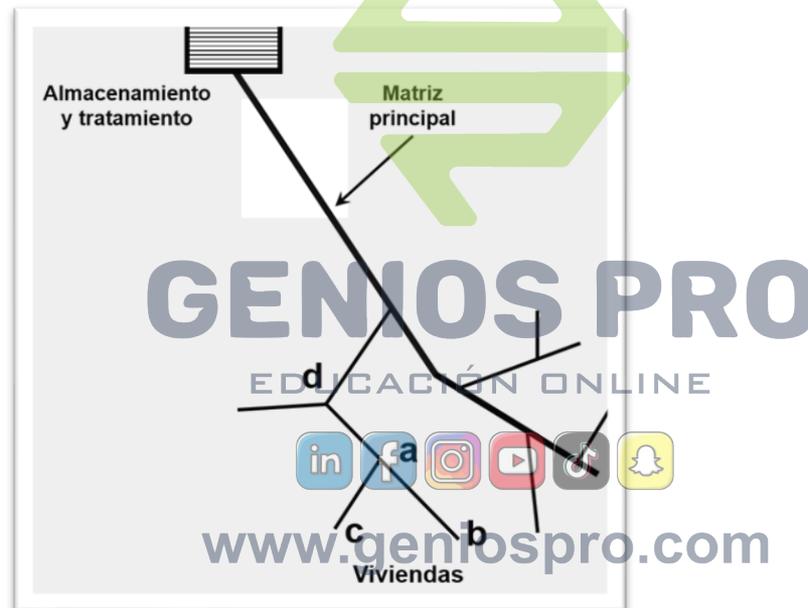
Conocidas también como sistemas con circuitos cerrados o ciclos. Su característica primordial es tener algún tipo de circuito cerrado (loop, en inglés) en el sistema. El objetivo es tener un sistema redundante de tuberías: cualquier zona dentro del área cubierta por el sistema puede ser alcanzada simultáneamente por más de una tubería, aumentando así la confiabilidad del abastecimiento. Es éste el tipo de red que usualmente conforma el sistema de distribución de agua potable de una ciudad.



1.- Redes abiertas:

Los ejemplos típicos de este grupo son las redes de tubos madres o líneas expresas en sistemas de distribución de agua potable.

conservando la masa a lo largo de toda la red.



el problema consiste en determinar los diámetros y los caudales en cada una de las tuberías de la red para condiciones permanentes de flujo y, a la vez, en verificar que en cada uno de los embalses se cumplan las condiciones de demanda de caudal.

CÁLCULO DEL DIÁMETRO

En muchos casos podemos observar que necesitamos calcular el diámetro de la tubería de conducción sabemos a que altura se encuentra.



El objetivo de este es diseñar el diámetro de la tubería teniendo como dato la presión y conociendo las formulas de Darcy-W. podemos acomodar dichas formulas.

Por Darcy-Weisbach conocemos:

$$H_f = \frac{fLV^2}{2gD}$$

VELOCIDAD

$$V = \frac{Q}{A}$$

ÁREA

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Reemplazando en función de caudal y diámetro la ecuación:

$$H_f = \frac{fLV^2}{2gD} = \frac{fLQ^2}{2gDA^2} = \frac{fLQ^2}{2gD \left(\frac{\pi^2 D^4}{4^2} \right)}$$

$$H_f = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5}$$

GENIOS PRO
EDUCACIÓN ONLINE



Despejando el factor de fricción "f"

www.geniospro.com

$$\frac{H_f(g\pi^2 D^5)}{8LQ^2} = f \dots \dots (1)$$

Donde:

$$Q(m^3 / s)$$

$$L(m)$$

$$D(m)$$

También se sabe la ecuación de Colebrook - White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu}$$

ν = viscosidad del líquido
 K_s = Rugosidad del material

Despejando el factor de fricción "f"

$$f = \left[\frac{1}{-2 \text{Log} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)} \right]^2$$

www.geniospro.com

$$f = \left[-2 \text{Log} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi D \nu} \sqrt{f}} \right) \right]^2 \dots (2)$$

Igualando las ecuaciones (1) y (2)

$$\frac{Hf(g\pi^2 D^5)}{8LQ^2} = f \dots\dots\dots (1)$$

$$f = \left[-2\text{Log} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi Dv} \sqrt{f}} \right) \right]^{-2} \dots\dots(2)$$

$$\frac{Hf(g\pi^2 D^5)}{8LQ^2} = \left[-2\text{Log} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi Dv} \sqrt{f}} \right) \right]^{-2}$$

Reemplazando el factor de fricción “f”

$$\frac{Hf(g\pi^2 D^5)}{8LQ^2} = \left[-2\text{Log} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi Dv} \sqrt{\frac{Hf(g\pi^2 D^5)}{8LQ^2}}} \right) \right]^{-2}$$

www.geniospro.com

Despejando “D”

Despejando "D"

$$D^5 = \frac{\left[-2 \operatorname{Log} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi D v} \sqrt{\frac{H_f (g \pi^2 D^5)}{8LQ^2}}} \right) \right]^{-2}}{\frac{H_f g \pi^2}{8LQ^2}}$$

$$D = \frac{\left[-2 \operatorname{Log} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi D v} \sqrt{\frac{H_f (g \pi^2 D^5)}{8LQ^2}}} \right) \right]^{-\frac{2}{5}}}{\left(\frac{H_f g \pi^2}{8LQ^2} \right)^{1/5}}$$

www.geniospro.com

Formula general para calcular "D"

6.3.- EJERCICIOS 03

Se tiene una captación cuya cota es 1000 m.s.n.m, agua abajo un tanque elevado a 920 m.s.n.m. la red de conducción tiene una longitud de 1.5 km y el caudal de demanda es 20 l/s. diseñar el diámetro de la tubería que transporta agua a 25 °c y la tubería a emplear es de PVC.



SOLUCION**Datos:**

$$Q = 20 \text{ l/s} \quad 0.02 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$T^\circ = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L = 1500 \text{ m}$$

$$K_s \text{ PVC} = 1.52 \text{ mm}.$$

$$H_f = 80 \text{ m}$$

1.- Hallando la viscosidad cinemática del fluido

- *Viscosidad cinemática* = $(1.14 - 0.031(T^\circ - 15) + 0.00068(T^\circ - 15)^2) * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- *Viscosidad cinemática* = $(1.14 - 0.031(25 - 15) + 0.00068(25 - 15)^2) * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- *Viscosidad cinemática* = $0.898 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

2.- Aplicando la ecuación de cálculo de diámetro.

GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE

$$D = \frac{\left[-2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi D v} \sqrt{\frac{H_f (g \pi^2 D^5)}{8LQ^2}}} \right) \right]^{5/2}}{\left(\frac{H_f g \pi^2}{8LQ^2} \right)^{1/5}}$$

$$X = \frac{g \pi^2}{8LQ^2}$$

3.- Hallando el valor de "X"

$$X = \frac{g\pi^2}{8LQ^2} = \frac{9.806 * 3.1415^2}{8 * 1500 * 0.02^2}$$

$$X = 20.1628 \text{ 1/m}^6$$

4.- Desarrollando la ecuación

$$D = \frac{\left[-2 \text{Log} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\pi D v \sqrt{X H f D^5}} \right) \right]^{\frac{-2}{5}}}{(X H f)^{1/5}}$$

$g(x)$ o $g(D)$

Método de Punto Fijo

- Punto fijo

$$F(x) = 0 \Leftrightarrow x = G(x)$$

- Estimación inicial

$$x^{(0)} = (x_1^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$$

- Iteraciones

$$x^{(k+1)} = G(x^{(k)})$$

- Criterio de parada

$$|x^{(k+1)} - x^{(k)}| < \text{tol}$$

4.- Aplicación del método de punto fijo

4.1.- Primera Iteración

a) Asumimos un valor inicial de "D":

$$D_0 = 1 \text{ m}$$

b) Aplicación de la formula para calcular "D":

$$D = \frac{\left[-2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi D v} \sqrt{X H f D^5}} \right) \right]^{\frac{-2}{5}}}{(X H f)^{1/5}}$$

$$Q = 20 \text{ l/s} \quad 0.02 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$T^{\circ} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$L = 1500 \text{ m}$$

$$K_s \text{ PVC} = 1.50 \text{ mm.}$$

c) Reemplazando los datos en la ecuación:

$$D = \frac{\left[-2 \log \left(\frac{0.00152}{3.7 * 1} + \frac{2.51}{\frac{4 * 0.02}{\pi * 1 * 0.898 * 10^{-6}} \sqrt{20.1628 * 80 * 1^5}} \right) \right]^{\frac{-2}{5}}}{(20.1628 * 80)^{1/5}}$$

$$D = 0.086961 \text{ m}$$

d) Hallando el error

$$\text{Tolerancia} = 10^{-5}$$

$$\text{Tolerancia} = |1 - 0.086961| = 0.913039 \rightarrow \text{falso}$$

GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE



www.geniospro.com

e) Iniciamos la segunda interacción con el nuevo valor “D” encontrado, hasta cumplir con la tolerancia.

<i>i</i>	<i>D_o</i>	D hallado	E
01	1	0.086961	0.913039
02	0.086961	0.098946	-0.011985
03	0.098946	0.098198	0.000748
04	0.098198	0.098194	4E-06

5.- Calculo de los parámetros finales del fluido en la tubería

$Re = 288810.84$ flujo turbulento

$f = 0.01472$

$V = 2.6414$ m/s

$D = 0.098194$ m

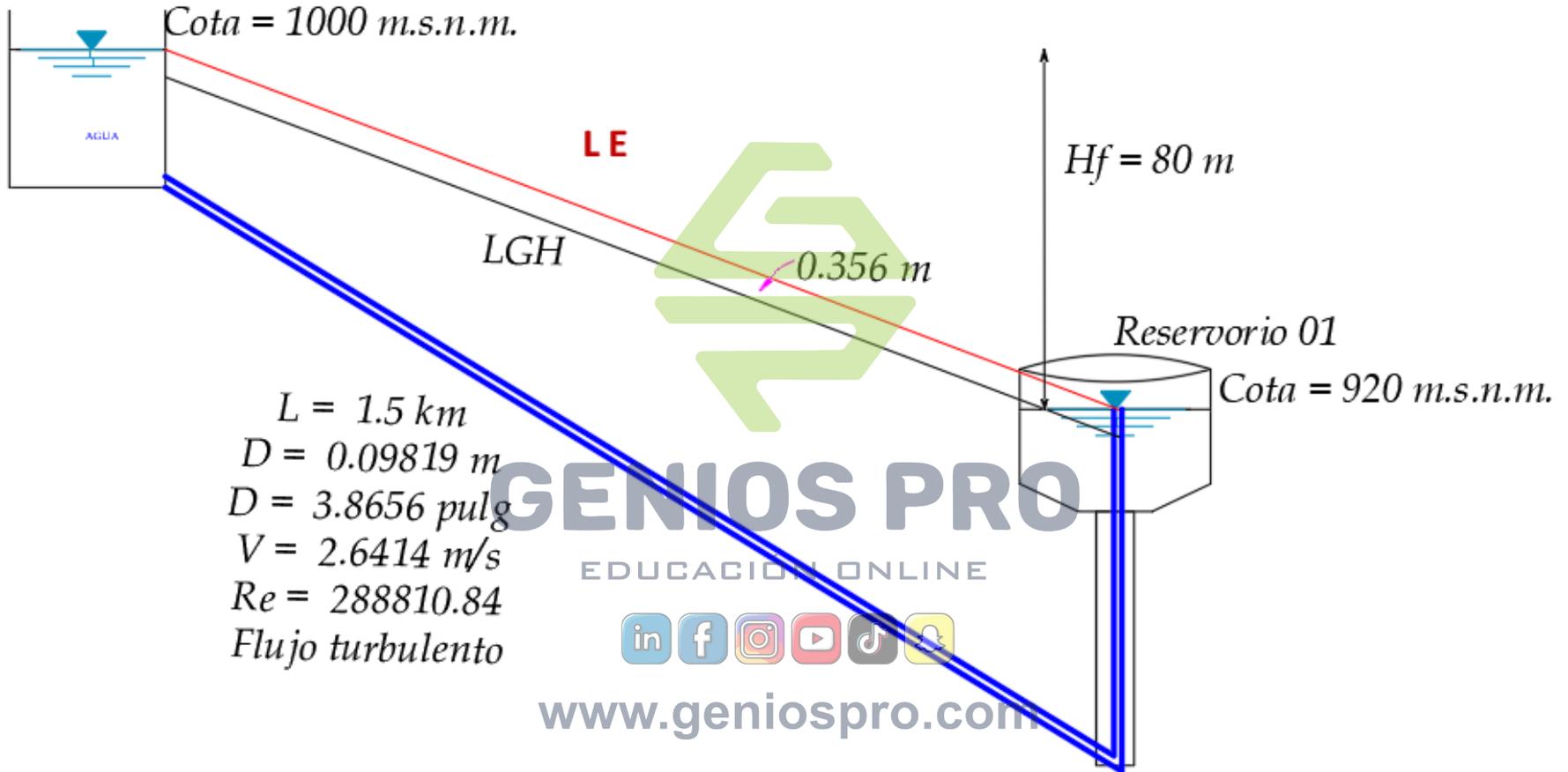
$D = 3.8656$ pulg

EDUCACIÓN ONLINE



www.geniospro.com

6.- Graficando los parámetros finales del fluido en la tubería

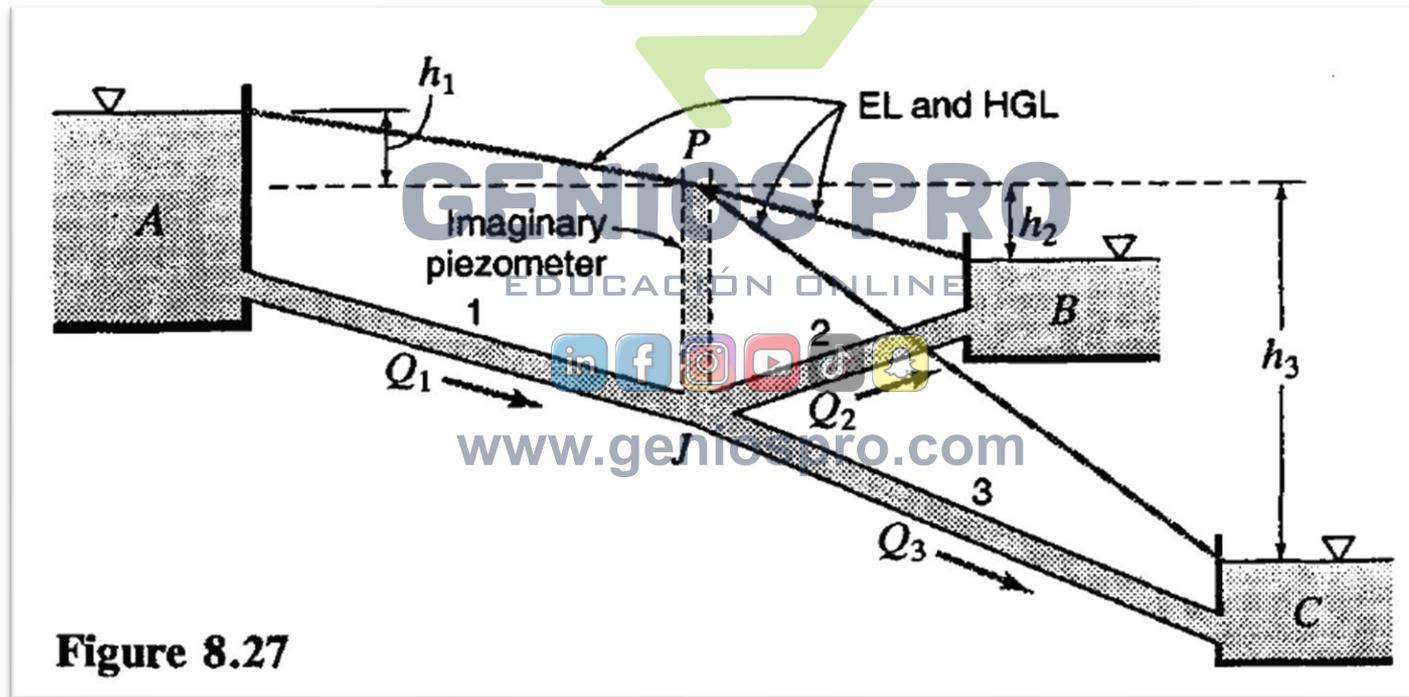


La diferencia entre las alturas de la LE y la LGH es igual a la carga dinámica

$$\frac{V^2}{2g}$$

6.4.- EJERCICIOS 04

En la Figura la tubería 1 tiene 900 mm de diámetro, es de hormigón liso y 1500 m de largo; el tubo 2 es de hierro fundido de 600 mm y 900 m de largo; y la tubería 3 es de hierro fundido de 500 mm y 400 m de longitud. La elevación de la superficie del agua en los embalses A y B son 75 y 67 m, respectivamente, y la descarga a través de la tubería 1 es de $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$. la temperatura del agua es de $15 \text{ }^\circ\text{C}$. encuentre las elevaciones de la superficie del reservorio C.

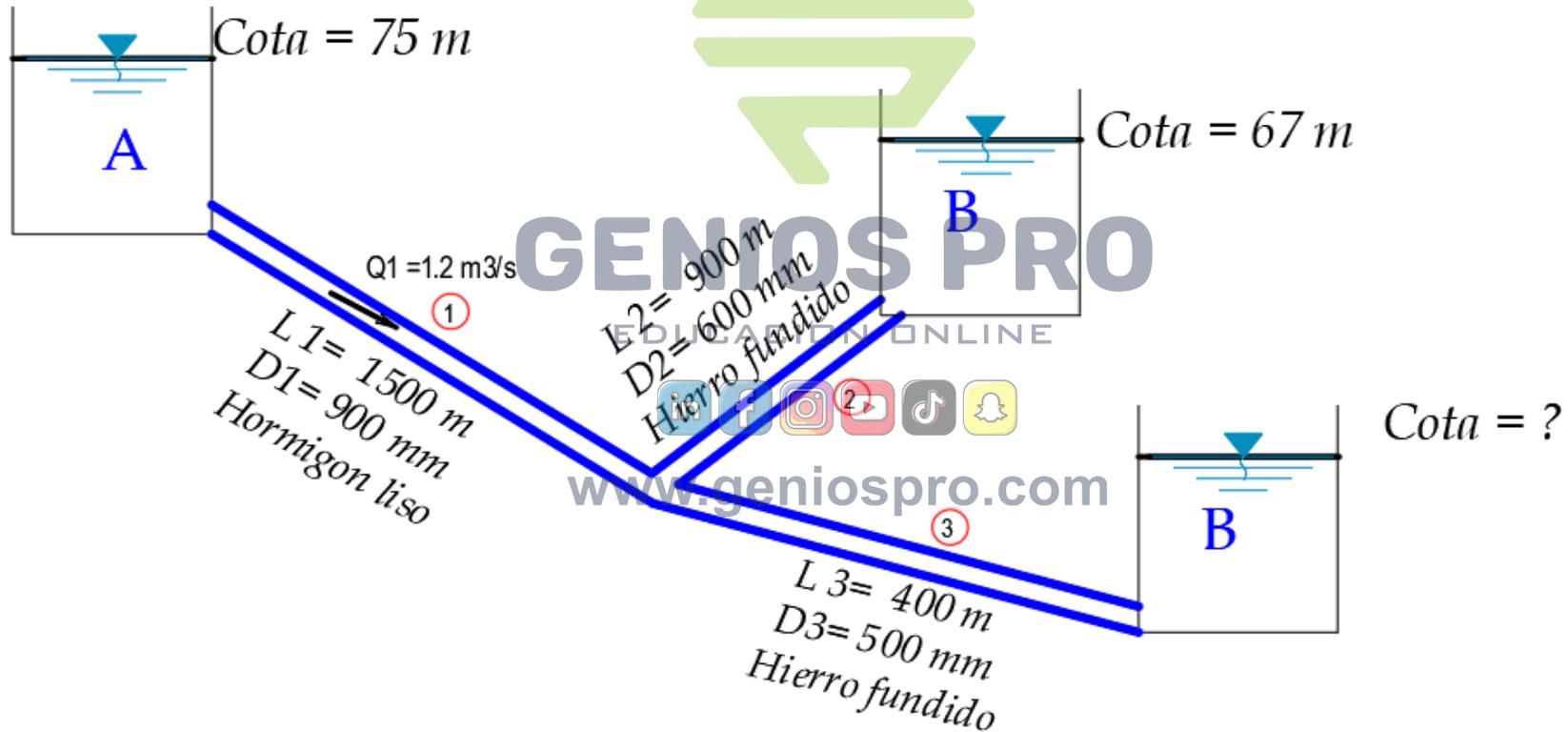
**Figure 8.27**

ESQUEMA DEL PROBLEMA

D1 = 900 mm.
L1 = 1500 m.
hormigón liso.

D2 = 600 mm.
L2 = 900 m
hierro fundido

D3 = 500 mm
L3 = 400 m
hierro fundido



SOLUCION**Datos:**

$$Q = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$T^\circ = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

1.- Hallando la viscosidad cinemática del fluido

- *Viscosidad cinemática* = $(1.14 - 0.031(T^\circ - 15) + 0.00068(T^\circ - 15)^2) * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- *Viscosidad cinemática* = $(1.14 - 0.031(15 - 15) + 0.00068(15 - 15)^2) * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- *Viscosidad cinemática* = $1.14 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

2.- Hallando velocidad del fluido y número de Reynolds.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1.2}{\frac{\pi * 0.9^2}{4}}$$

$$V = 1.8863 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{1.8863 * 0.9}{1.14 * 10^{-6}} \quad Re = 1,489,184.2105$$

3.- Identificar el Ks de material de la tubería.

Hormigon liso Ks

Hormigon liso = 0.3 mm 0.0003 m.

Material	ϵ (mm)
Fundición asfaltada	0,06-0,18
Fundición	0,12-0,60
Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Hierro forjado	0,03-0,09
Hierro galvanizado	0,06-0,24
Madera	0,18-0,90
Hormigón	0,3-3,0

4.- Hallando el coeficiente de fricción.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

$f = 0.01574$

5.- Calcular la pérdida de carga:

$$h_f = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

Reemplazando valores

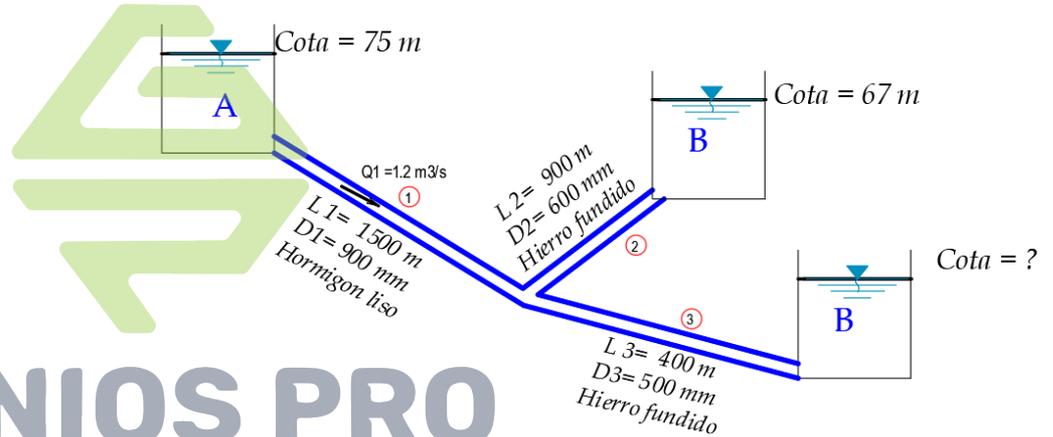
$$H_{f1} = \frac{0.01574 \cdot 1500 \cdot 1.8863^2}{0.9 \cdot 2 \cdot 9.806}$$

$H_{f1} = 4.7594 \text{ m}$

6.- Hallando la elevación en el punto P.

$P = \text{Elev A} - H_{f1} = 75 - 4.76 \text{ m}$

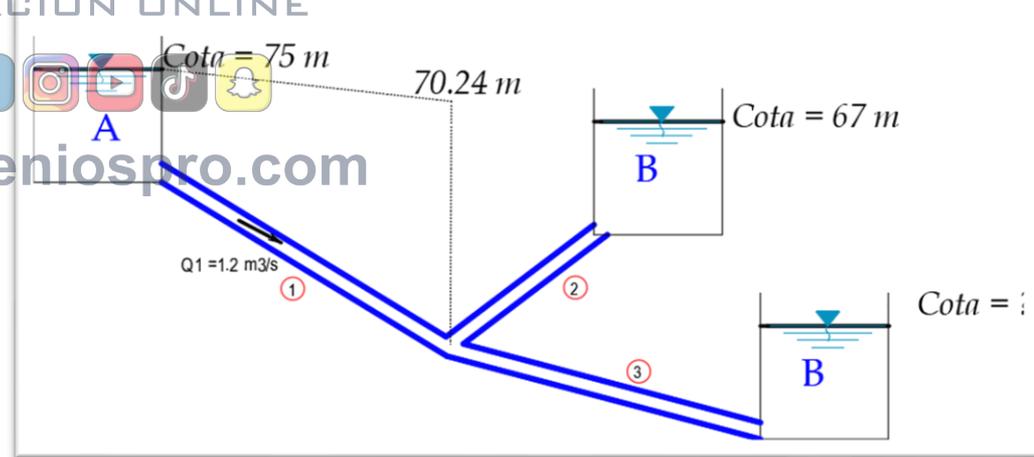
$P = 70.24 \text{ m}$



GENIOS PRO EDUCACIÓN ONLINE



www.geniospro.com



7.- Analizando la segunda tubería.

$$H_{f2} = P - B = 70.24 - 67$$

$$H_{f2} = 3.24 \text{ m}$$

8.- Calcular el caudal o velocidad en la tubería 02.

$$H_f = \frac{fLV^2}{2gD}$$

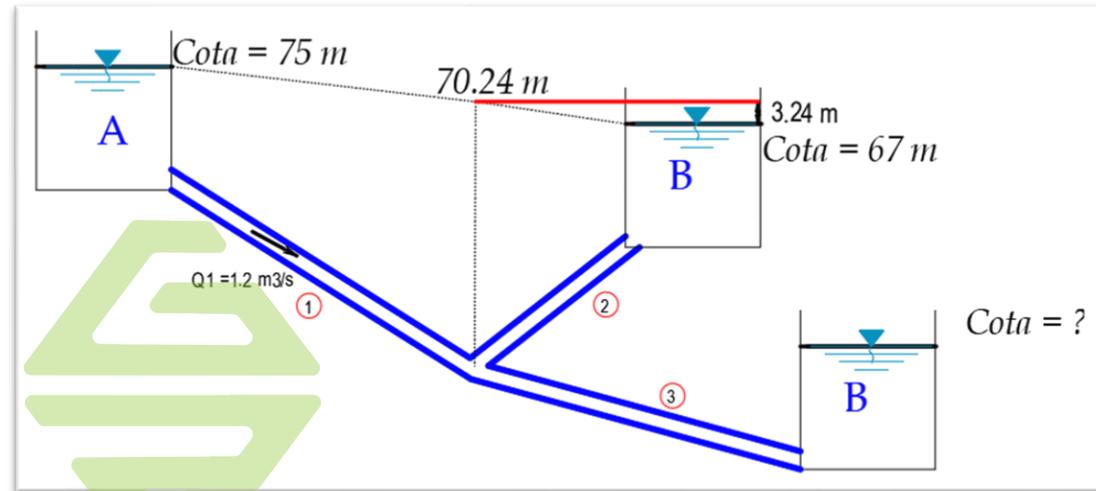
GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE

Opiniones

Recordando ecuación de Darcy-Weisbach y el cálculo de Colebrook-White

$$\frac{H_f (g\pi^2 D^5)}{8LQ^2} = \left[-2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi D v} \sqrt{\frac{H_f (g\pi^2 D^5)}{8LQ^2}}} \right) \right]^{-2}$$



Simplificando factores:

$$\frac{Hf(g\pi^2 D^5)}{8LQ^2} = \left[-2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi D v} \sqrt{\frac{Hf(g\pi^2 D^5)}{8LQ^2}}} \right) \right]^{-2}$$

$$\frac{Hf(g\pi^2 D^5)}{8LQ^2} = \left[-2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4D}{v} \sqrt{\frac{Hf(gD)}{8L}}} \right) \right]^{-2}$$

$$\frac{8LQ^2}{Hf(g\pi^2 D^5)} = \left[-2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4D}{v} \sqrt{\frac{Hf(gD)}{8L}}} \right) \right]^2$$

Despejando el caudal "Q":

$$\frac{8LQ^2}{Hf(g\pi^2 D^5)} = \left[-2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4D}{v} \sqrt{\frac{Hf(gD)}{8L}}} \right) \right]^2$$

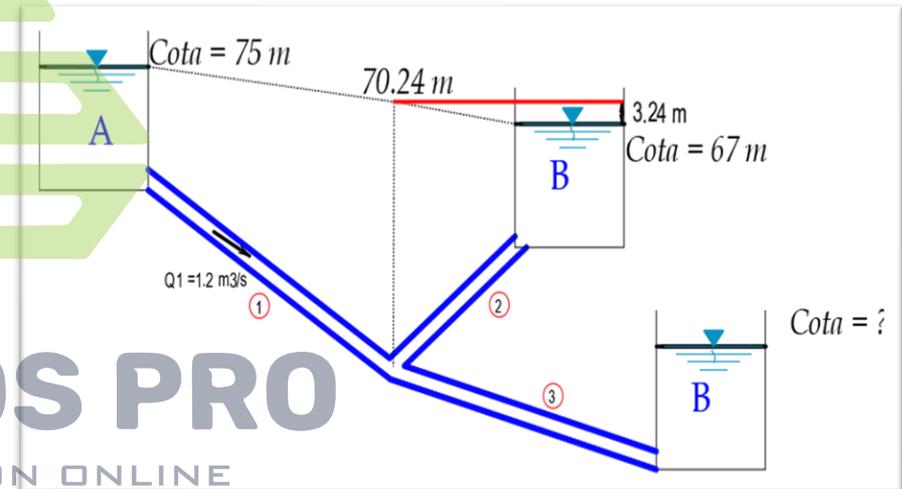
GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE

www.geniospro.com

$$Q^2 = \frac{\left[-2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4D}{v} \sqrt{\frac{H_f(gD)}{8L}}} \right) \right]^2}{8L \cdot H_f(g\pi^2 D^5)}$$

$$Q = \frac{\left[-2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{4D}{v} \sqrt{\frac{H_f(gD)}{8L}}} \right) \right]}{\sqrt{\frac{8L}{H_f(g\pi^2 D^5)}}}$$



Recordando los datos:

T	15	°C
L	900	m
D	600	mm
KS	0.25	mm
HF	3.24	m
g	9.806	m/s ²



MATERIAL	ε en mm
TUBO LISO	
De vidrio, cobre latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano inferior de pintura; tubo de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule.	0.0015
Tubos industriales de latón	0.025
Tubos de madera	0.2 a 1
Hierro forjado	0.05
→ Hierro Fundido nuevo	0.25
Hierro fundido, con protección inferior de asfalto	0.12
Hierro fundido oxidado	1 a 1.5

Calculando el caudal "Q":

$$Q = \frac{\left[-2 \log \left(\frac{0.00025}{3.7 * 0.6} + \frac{2.51}{\frac{4 * 0.6}{1.14 * 10^{-6}} \sqrt{\frac{3.24(g * 9.806)}{8 * 900}}} \right) \right]}{\sqrt{\frac{8 * 900}{3.24 * (g\pi^2 0.6^5)}}$$

$$Q = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calculando la velocidad "v":

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * 0.11}{\pi * 0.6^2} \quad V = 0.39 \text{ m/s}$$

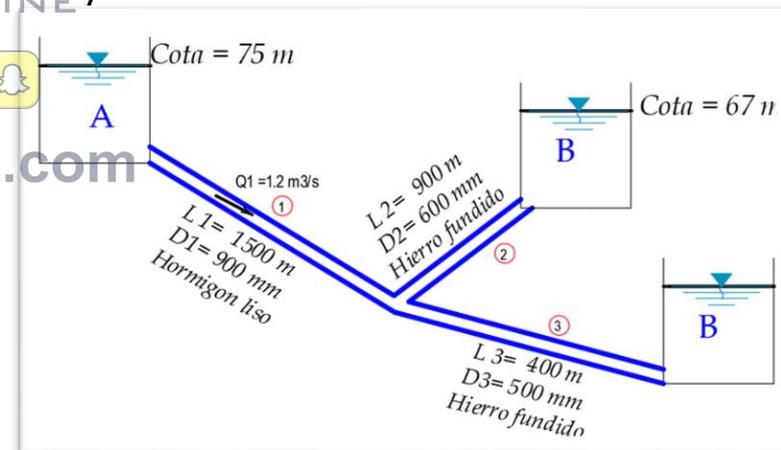
8.- Calcular el caudal que circula en la tubería 3.

Conociendo la ley de continuidad:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$1.2 = 0.11 + Q_3$$

$$Q_3 = 1.09 \text{ m}^3/\text{s}$$



8.- Calcular la velocidad que circula en la tubería 3.

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * 1.09}{\pi * 0.5^2}$$

$$V = 5.55 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Re = \frac{5.55 * 0.5}{1.14 * 10^{-6}}$$

$$Re = 2.4342 * 10^6$$

9.- Determinado el Ks de material de la tubería.

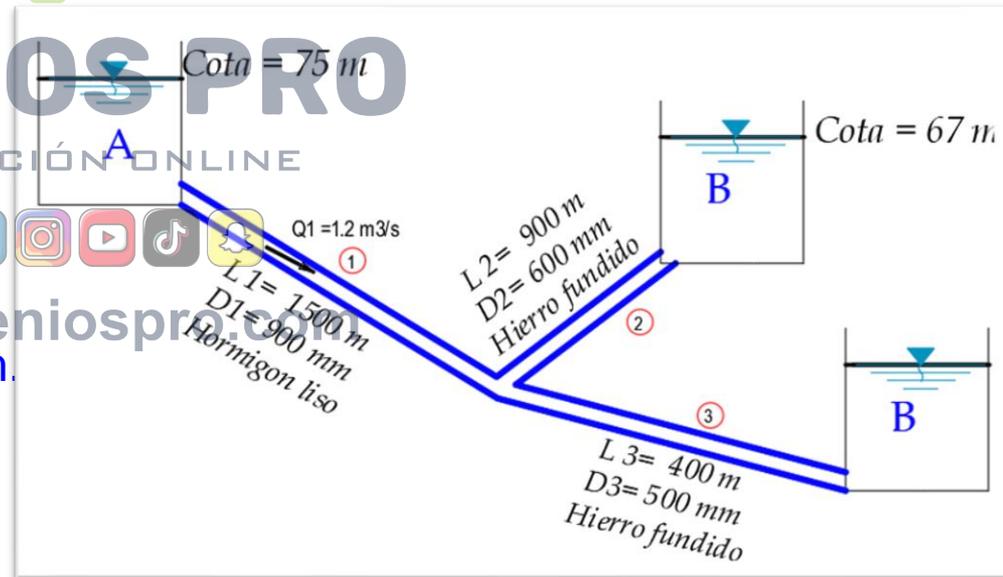
Hierro fundido Ks

Hierro fundido = 0.25 mm 0.00025 m.

GENIOS PRO
EDUCACIÓN ONLINE



www.geniospro.com



10.- Hallando el coeficiente de fricción.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.01691$$

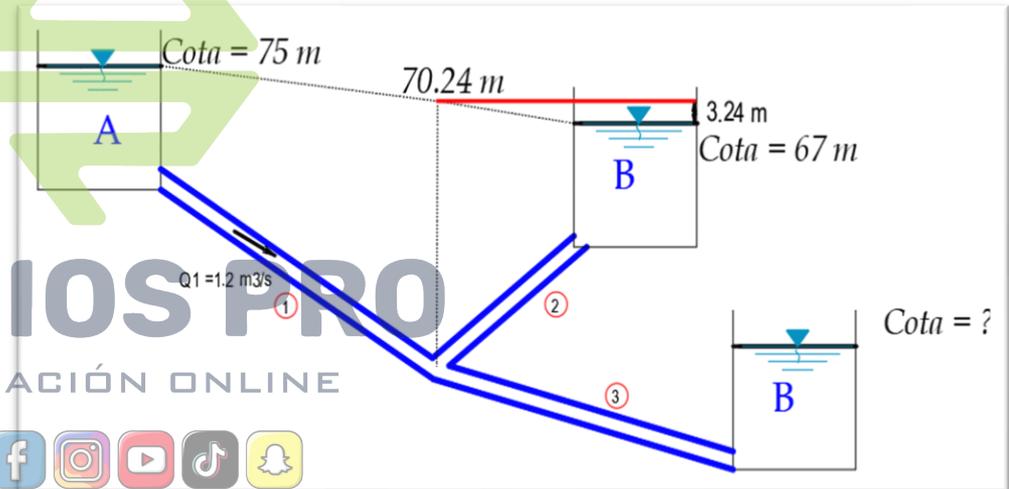
11.- Calculado de la pérdida de carga:

$$h_f = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

Reemplazando valores

$$Hf_3 = \frac{0.01691 \cdot 400 \cdot 5.55^2}{0.5 \cdot 2 \cdot 9.806}$$

$$Hf_3 = 21.247 \text{ m}$$

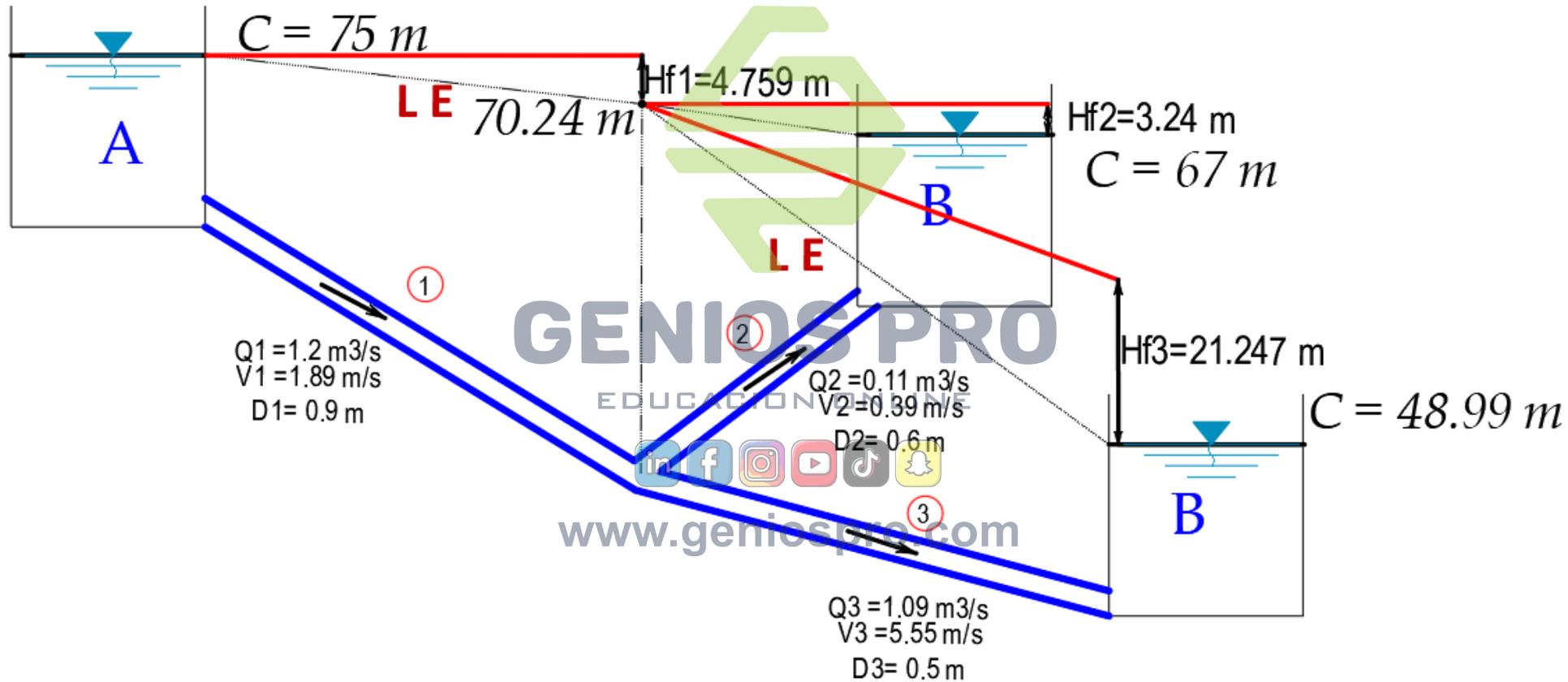


12.- Hallando la elevación del reservorio B.

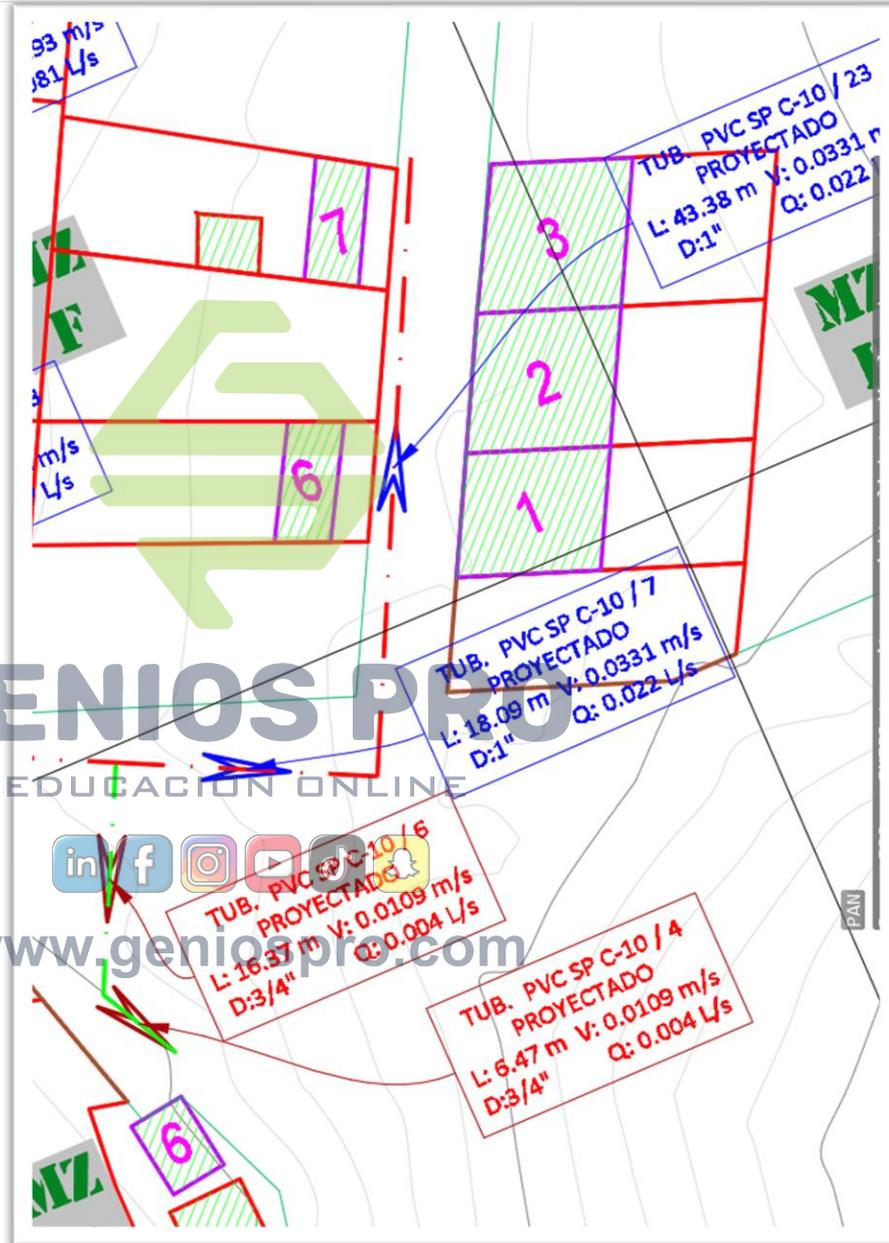
$$B = \text{Elev P} - Hf_3 = 70.24 - 21.247 \text{ m}$$

$$B = 48.993 \text{ m}$$

13.- Grafica del sistema de tuberías LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICO.



Plano de distribución de agua potable zona rural.



TRABAJO N° 02

a.- Empleando la ecuación de DARCY- W

Diseña la red abierta de conducción de agua potable a temperatura $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, los materiales de las tuberías son de PVC y caudal de salida $L\text{ m}^3/\text{s}$, en 4 nudos

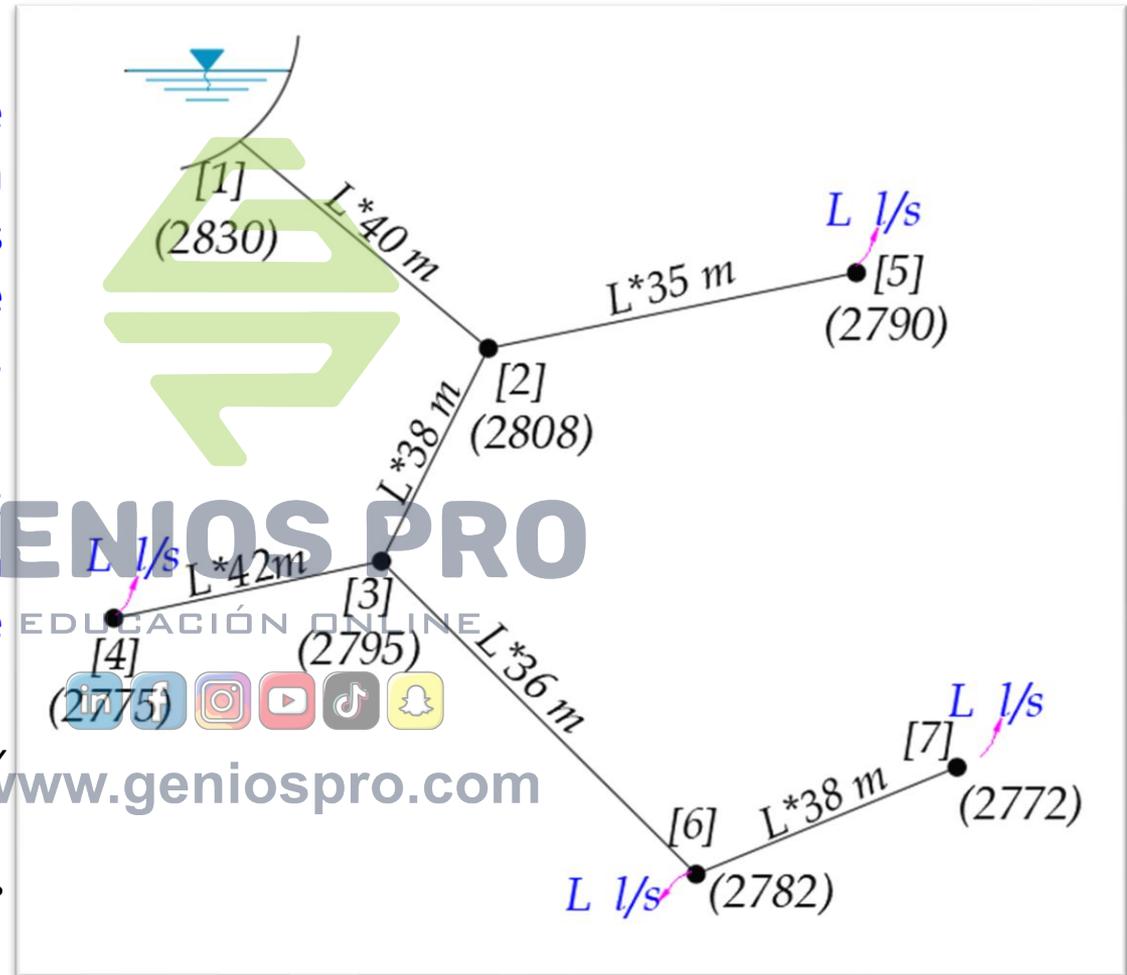
Las condiciones mínimas son: que la presión en los punto sea mínimo de 20 m columna de agua.

Las longitudes "L = (NOMBRE Y APELLIDOS)"

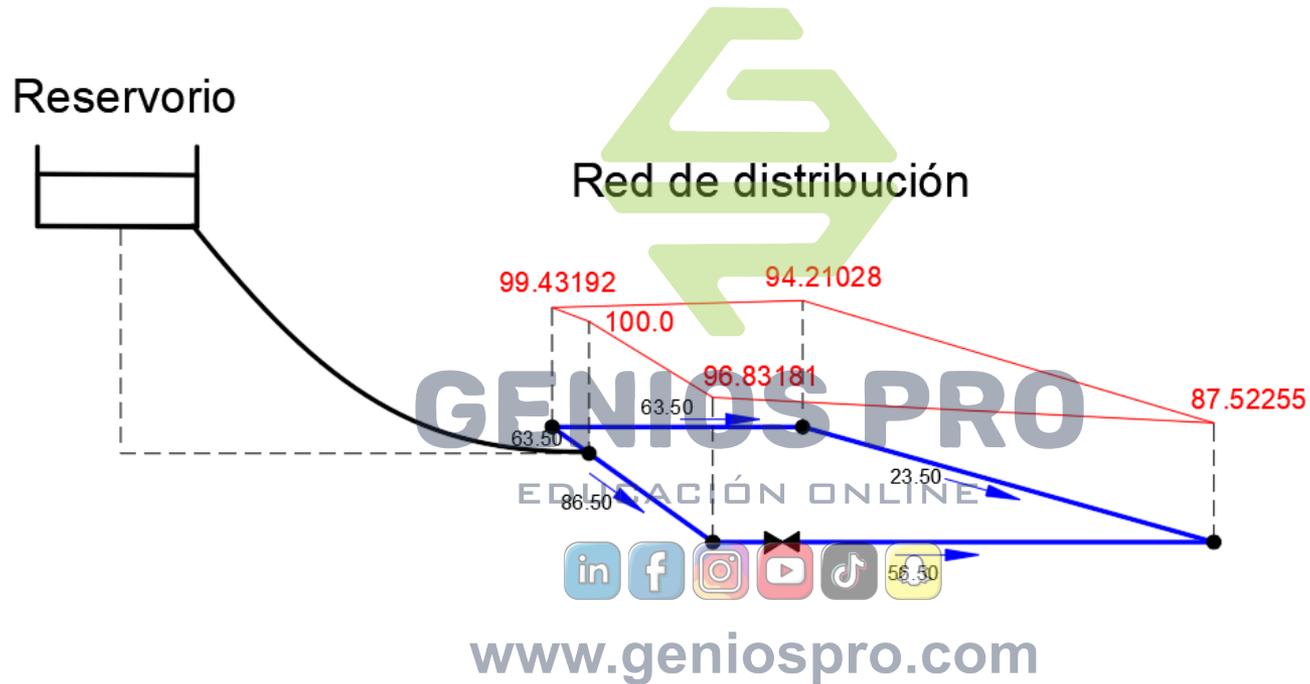
Las cotas de cada nudo se encuentran en "()"

Fecha entrega 18-10-2021 11:59 pm

Realizar las grafica de presiones o línea de gradiente hidráulico.



Realizar las graficas de presiones o línea de gradiente hidráulico.





...GRACIAS GENIOS PRO

EDUCACIÓN ONLINE



www.geniospro.com

4.1.2. FORMULA DE HAZEN - WILLIAMS

El método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5°C-25°C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad "C" no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero:

Hazen - Williams

$$Hf_{loc} = \frac{10.679}{C^{1.852}} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852}$$

$$h_f = H = \frac{6.824 \times l \times v^{1.851}}{C_{HW}^{1.851} d^{1.167}}$$



Donde:

- El fluido debe ser agua a temperaturas normales.
- El diámetro debe ser superior o igual a 75 mm (3 pulg).
- La velocidad en las tuberías debe ser inferior a 3 m/s (10 pies/seg).

h_f = pérdida de carga (m)

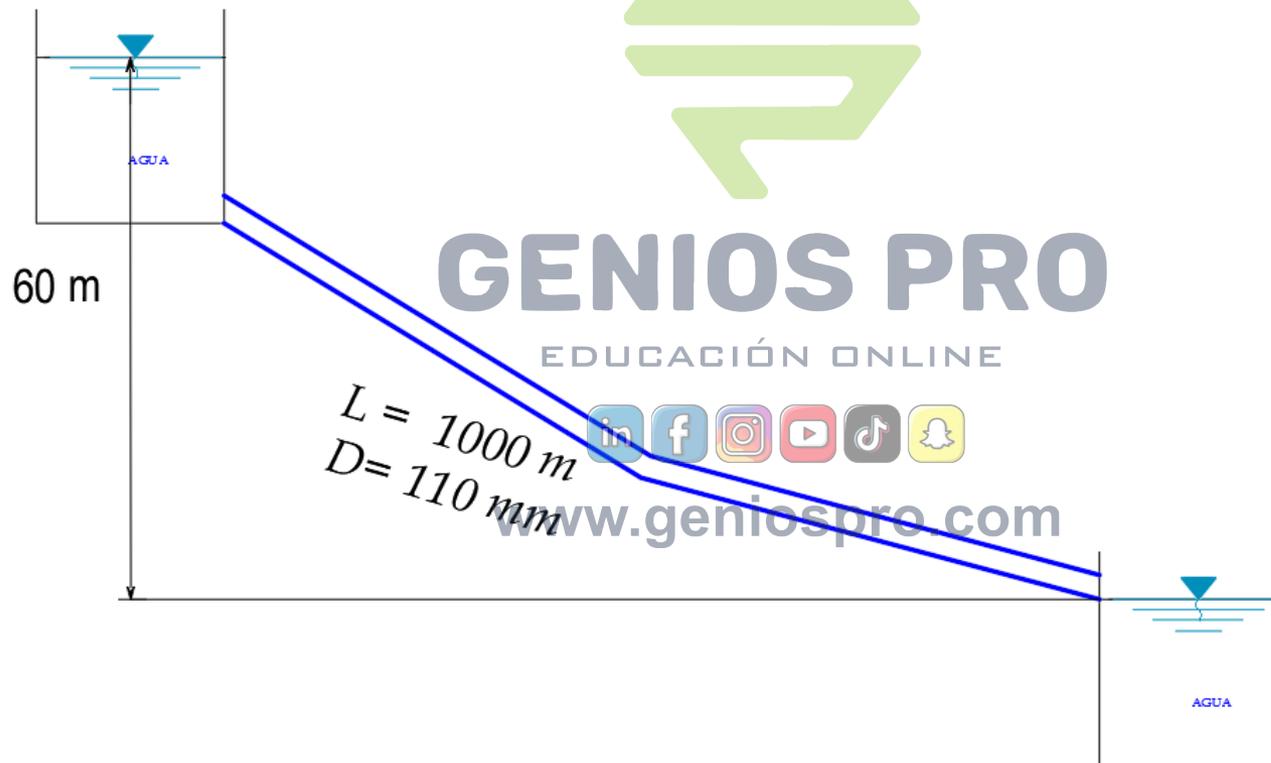
L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro interno (m)

Q = caudal (m³/s)

1.- EJERCICIOS 01

Se desea conocer el la perdida de carga primaria ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) que sucede al ser conducido un caudal de $Q = 5\text{ L/s}$, a través de una tubería de 110 mm de diámetro de PVC; si esta se utiliza para conectar dos puntos separados por una distancia de 1000 m , con una altura topografica de 60 m a favor del flujo, empelar la fórmula de Hazen - Williams.



SOLUCION**1.- Hallando el coeficiente de Hazen - Williams**

$$C = 150 \text{ para PVC}$$



GENIOS PRO
EDUCACIÓN ONLINE

2.- Recordando la ecuación de Hazen - Williams

$$Hf_{loc} = \frac{10.679}{C^{1.852}} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852}$$

www.geniospro.com

TABLA N°1

COEFICIENTES DE FRICCIÓN «C» EN LA FORMULA DE HAZEN Y WILLIAMS

TIPO DE TUBERIA	«C»
Acero sin costura	120
Acero soldado en espiral	100
Cobre sin costura	150
Concreto	110
Fibra de vidrio	150
Hierro fundido	100
Hierro fundido con revestimiento	140
Hierro galvanizado	100
Polietileno, Asbesto Cemento	140
Poli(cloruro de vinilo)(PVC)	150

Al utilizar la Ecuación y suponer que no hay pérdidas menores.

3.- Aplicando la ecuación de Hazen - Williams

$$\text{Hazen - Williams}$$

$$Hf_{loc} = \frac{10.679}{C^{1.852}} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852}$$

4- Reemplazando valores:

$$Hf = \frac{10.679}{150^{1.852}} * \frac{1000}{0.11^{4.87}} * 0.005^{1.852}$$

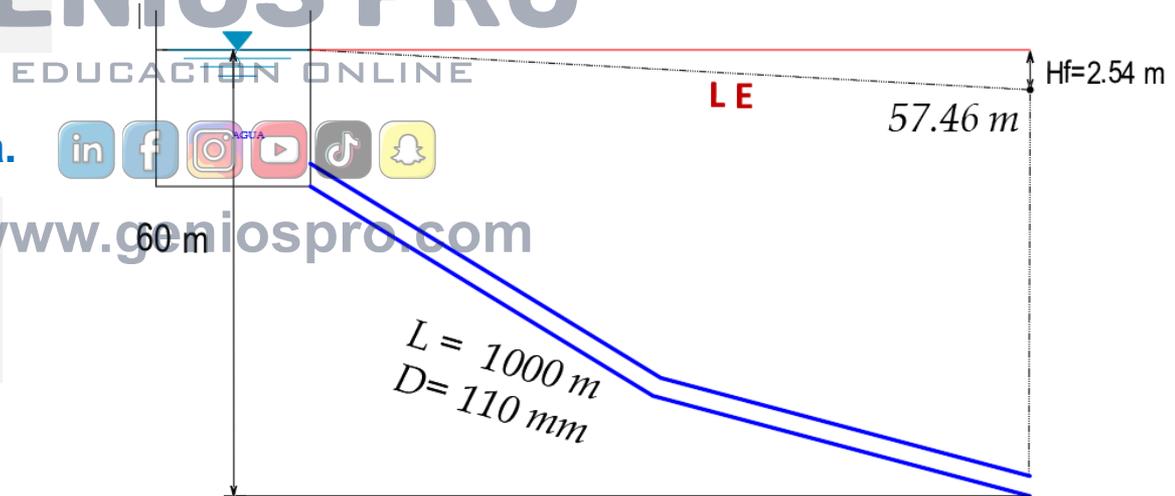
$$Hf = 2.5428 \text{ m}$$

5- Hallando la carga dinámica.

$$P = 60 - \sum Hf$$

$$P = 60 - 2.54$$

$$P = 57.46 \text{ m}$$



2.- EJERCICIOS 02

Se desea conocer el caudal de agua ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) que pueda ser conducido a través de una tubería de 200 mm de diámetro de PVC; si esta se utiliza para conectar dos puntos separados por una distancia de 240 m, con una altura topográfica de 37 m a favor del flujo, emplear la fórmula de Hazen - Williams.



SOLUCION**1.- Hallando el coeficiente de Hazen - Williams**

$$C = 150 \text{ para PVC}$$

TABLA N°1

COEFICIENTES DE FRICCIÓN «C» EN LA FORMULA DE HAZEN Y WILLIAMS

TIPO DE TUBERIA	«C»
Acero sin costura	120
Acero soldado en espiral	100
Cobre sin costura	150
Concreto	110
Fibra de vidrio	150
Hierro fundido	100
Hierro fundido con revestimiento	140
Hierro galvanizado	100
Polietileno, Asbesto Cemento	140
Poli(cloruro de vinilo)(PVC)	150



GENIOS PRO
EDUCACIÓN ONLINE

2.- Recordando la ecuación de Hazen - Williams**Hazen - Williams**

$$Hf_{loc} = \frac{10.679}{C^{1.852}} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852}$$

$$h_f = H = \frac{6.824 \times l \times v^{1.851}}{C_{HW}^{1.851} d^{1.167}}$$

Al utilizar la Ecuación y suponer que no hay pérdidas menores, se llega a:

3.- Aplicando la ecuación de Hazen - Williams

$$\text{Hazen - Williams}$$

$$Hf_{loc} = \frac{10.679}{C^{1.852}} \times \frac{L}{D^{4.87}} \times Q^{1.852}$$

4- Reemplazando valores:

$$37 = \frac{10.679}{150^{1.852}} * \frac{240}{0.2^{4.87}} * Q^{1.852}$$

$$Q = 0.22 \text{ m}^3/\text{s}$$

