PROBLEMAS RESUELTOS TEMA 7

1. Sea una conducción de 1500m que une dos depósitos cuyas láminas están a un desnivel de 15m. Si se quiere trasegar entre ambos un caudal de 150 l/s, calcular el diámetro que debe tener la conducción, si el material es PRFV y la serie de diámetros nominales disponibles es 250-300-350-400-500. Temperatura de cálculo: 20ºC.

$Q = 150 l/s = 0{,}150\ m^3/s$
PRFV; C = 140

Aplicando Bernoulli entre 1 y 2, podemos determinar las pérdidas de carga continuas (h_c) que podemos permitirnos.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2}$$

$$z_1 + 0 + 0 = z_2 + 0 + 0 + \Delta H_{1-2}$$

$$\Delta H_{1-2} = z_1 - z_2 = 15\text{m}$$

Aplicando la ecuación de Hazen Williams

$$\frac{h_c}{L} = 10,62 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85}$$

$$\frac{15}{1500} = 10,62 \cdot 140^{-1,85} \cdot D^{-4,87} \cdot 0,150^{1,85}$$

$$D = \left(\frac{0,01}{10,62 \cdot 140^{-1,85} \cdot 0,150^{1,85}} \right)^{\frac{1}{-4,87}}$$

$$D = 0,311\text{m}$$

Se selecciona el diámetro inmediatamente superior, D_N = 350mm y calcular para este D_N el caudal correspondiente.

$$Q = \left(\frac{0,01}{10,62 \cdot 140^{-1,85} \cdot 0,350^{-4,87}} \right)^{\frac{1}{1,85}} = 0,204\text{m}^3\text{s}^{-1}$$

Otra opción para determinar el diámetro es a partir de la Ecuación de Darcy Weissbach.

$$h_c = 0,0826 \cdot L \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5}$$

Como conocemos el caudal pero no conocemos el diámetro, no podemos determinar la velocidad del flujo y por tanto no podemos determinar el número de Reynols y el factor f.

Para resolver, supondremos un factor f inicial y resolveremos el problema de forma iterativa.

Suponiendo f=0,017,

$$\frac{15}{1500} = 0,0826 \cdot 0,017 \cdot \frac{0,150^{2}}{D^{5}}$$

$$D = \left(\frac{0,0826 \cdot 0,017 \cdot 0,150^{2}}{0,01}\right)$$

$$D = 0,316 \text{ mm}$$

Calculamos la velocidad para este diámetro con el caudal indicado,

$$Q = V \cdot S;$$

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,150 \cdot 4}{\pi \cdot 0,316^{2}} = 1,91 ms^{-1}$$

Con la velocidad determinamos Re,

$$Re = \frac{V \cdot D}{\mu} = \frac{1,91 \cdot 0,316}{1 \cdot 10^{-6}} = 603560$$

Determinamos la relación K/D

$$\frac{K}{D} = \frac{0,02}{316} = 6 \cdot 10^{-5}$$

Entrando con estos dos valores en el ábaco de Moody, obtenemos un f = 0,014

$$D = \left(\frac{0{,}0826 \cdot 0{,}014 \cdot 0{,}150^2}{0{,}01} \right)^{1/5}$$

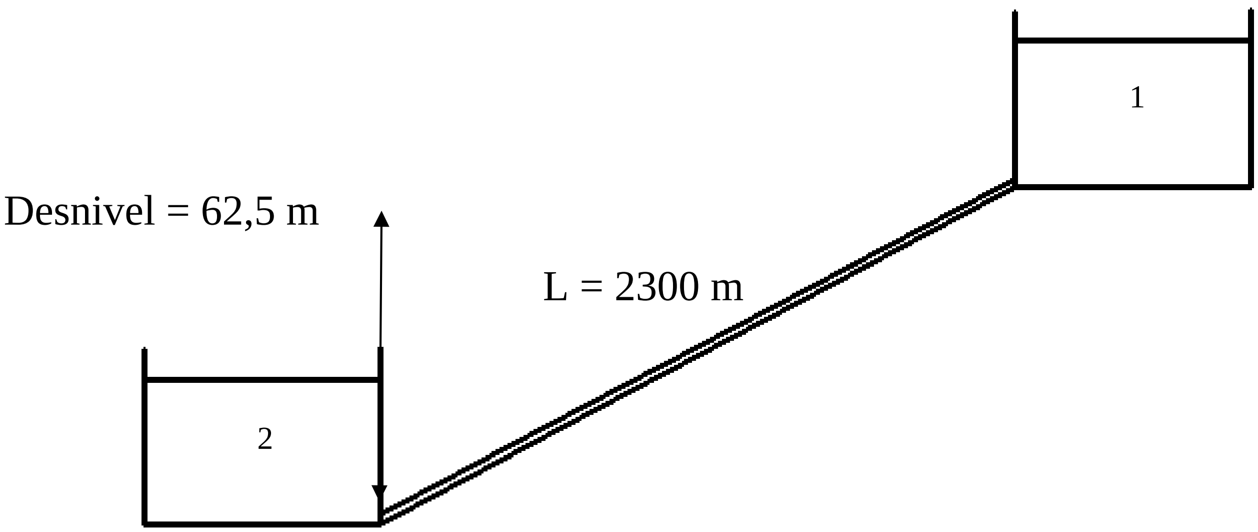
$$D = 0{,}304 mm$$

Se selecciona el diámetro inmediatamente superior, D_N = 350mm y calcular para este D_N el caudal correspondiente.

$$Q = \left(\frac{0{,}01 \cdot 0{,}350^5}{0{,}0826 \cdot 0{,}014} \right)^{1/2}$$

$$Q = 0{,}213\ m^3 s^{-1}$$

2. Se desea trasegar un caudal de 0,2 $m^3\ s^{-1}$ entre dos depósitos que se encuentran a una diferencia de cota de 62,5m y a una distancia en línea recta de 2300 m. Si la altura sobre el nivel del mar del depósito más bajo es de 33 m. Determinar el diámetro que debe tener la conducción y el material de fabricación. Indicar además el caudal que se trasegará finalmente.



Aplicando Bernoulli entre 1 y 2, podemos determinar las pérdidas de carga continuas (h_c) que podemos permitirnos.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2}$$

$$z_1 + 0 + 0 = z_2 + 0 + 0 + \Delta H_{1-2}$$

$$\Delta H_{1-2} = z_1 - z_2 = 62,5\text{m}$$

Puesto que no se nos da el factor f, y tampoco conocemos el tipo de material ni la velocidad de flujo, podemos pensar en usar alguna de las ecuaciones exponenciales que conocemos. Podríamos usar por ejemplo Blasius o Hazen Williams.

Si utilizamos Blasius,

$$J = 0{,}00078 \cdot D^{-4{,}75} \cdot Q^{1{,}75}$$

$$\frac{62{,}5}{2300} = 0{,}00078 \cdot D^{-4{,}75} \cdot 0{,}2^{1{,}75}$$

$$D = 0{,}262\mathrm{m}$$

Con este diámetro y el caudal, podemos determinar la velocidad de flujo.

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

$$0{,}2 = V \cdot \frac{\pi \cdot 0{,}262^2}{4}$$

$$V = 3{,}73\mathrm{ms}^{-1}$$

Conociendo la velocidad y el diámetro, podemos determinar el número de Re.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\mu} = \frac{3{,}73 \cdot 0{,}262}{0{,}000001} = 977270$$

Como sabemos Blasius es para 3000<Re<100000 y por tanto no podemos usarlo.

Vamos a utilizar en este caso Hazen Williams. Necesitamos determinar el factor C que está tabulado en función del tipo de material. Revisando las tablas de tuberías y sabiendo que la presión máxima (en el punto 2) va a ser de 62,5 mca. Podríamos elegir PVC o PRFV. Vamos a elegir PRFV con C = 140.

$$\frac{h_c}{L} = 10{,}62 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85}$$

$$\frac{62{,}5}{2300} = 10{,}62 \cdot 140^{-1{,}85} \cdot D^{-4{,}87} \cdot 0{,}2^{1{,}85}$$

$$D = \left(\frac{0{,}027}{10{,}62 \cdot 140^{-1{,}85} \cdot 0{,}2^{1{,}85}} \right)^{\frac{1}{-4{,}87}}$$

$$D = 0{,}283\text{m}$$

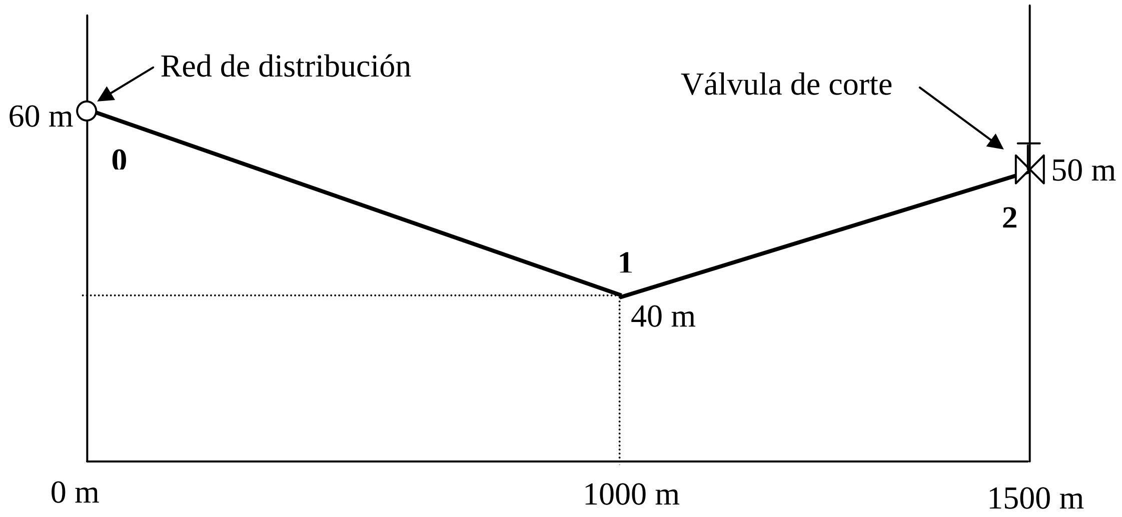
Se selecciona el diámetro inmediatamente superior, D_N = 300mm y calcular para este D_N el caudal correspondiente.

$$Q=\left(\frac{0{,}027}{10{,}62\cdot 140^{-1{,}85}\cdot 0{,}300^{-4{,}87}}\right)^{\frac{1}{1{,}85}}=0{,}232\,m^3s^{-1}$$

NOTA: Podría realizarse con Darcy Weisbach iterando f.

3. Se quiere instalar una tubería de PVC por la que han de circular 100 l/s para abastecer de agua un sector de riego. La tubería parte de un red de

distribución (Punto 0) donde se dispone de una presión 4 kgf /cm2. En el punto final (punto 2) de la tubería se dispone de una válvula de corte y la presión requerida debe ser de 3 kgf/cm2. Las características del trazado son las siguientes:



Calcular:

a. Combinación de diámetros a instalar y longitud de los mismos para conseguir que en el punto 2 la presión de servicio (con la válvula de corte completamente abierta) sea de 3 kgf/cm2. (1pto).
b. Realizar la representación gráfica de la línea de energía y la línea piezométrica en la situación de funcionamiento (100 l/s). (1pto).
c. Timbrar la tubería. (1pto).

Factor de fricción para PVC $f_{PVC} = 0,017$

a)
Para conocer las pérdidas de carga que podemos asumir entre los puntos 0 y 2, aplicamos Bernoulli entre los puntos.

$$z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2}$$

$$60 + 40 + 0 = 50 + 30 + 0 + \Delta H_{1-2}$$

$$\Delta H_{1-2} = 60 + 40 - 50 - 30 = 20\text{m}$$

Aplicando la ecuación de Darcy Weisbach, podemos determinar el diámetro total de la tubería.

$$h_c = 0{,}0826 \cdot L \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5}$$

$$20 = 0{,}0826 \cdot 1500 \cdot 0{,}017 \cdot \frac{0{,}1^2}{D^5}$$

$$D = \left(\frac{0{,}0826 \cdot 1500 \cdot 0{,}017 \cdot 0{,}1^2}{20} \right)^{1/5} = 0{,}254\text{m}$$

Para seleccionar el timbraje de una tubería de PVC, atendiendo al gráfico, podemos observar como la máxima presión va a ocurrir en el punto 1. Intuitivamente la P_{max} en el punto 1 = 60m. Seleccionamos por tanto un PN6 = 0,6MPa.

Como no existe en PVC el diámetro 254mm, tenemos que buscar una solución. Podemos combinar los diámetros D_N = 250 mm y D_N = 315 mm.

PVC (250) D_H=235,4 mm
PVC (315) D_H=296,6mm

La condición que se debe cumplir para instalar combinación de diámetros.

$$L_1 + L_2 = L_T \quad y \quad h_1 + h_2 = h_T$$

$$L_1 = 1500 - L_2$$

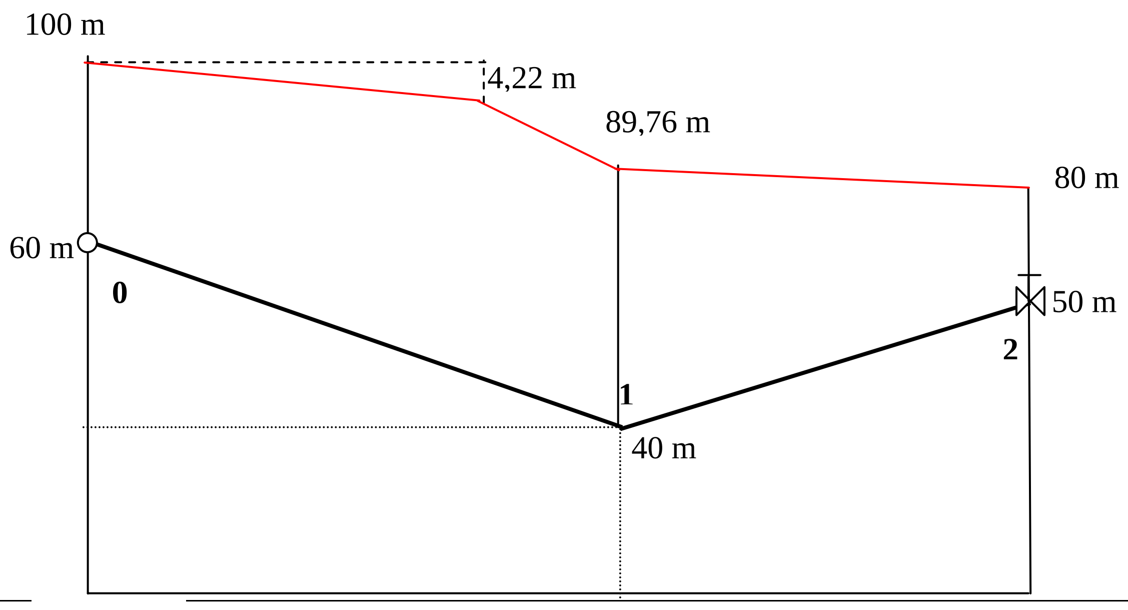
$$0{,}0826 \cdot 0{,}017 \cdot L_1 \cdot \frac{0{,}1^2}{0{,}2354^5} + 0{,}0826 \cdot 0{,}017 \cdot L_2 \cdot \frac{0{,}1^2}{0{,}2966^5} = 0{,}0826 \cdot 0{,}017 \cdot 1500 \cdot \frac{0{,}1^2}{0{,}254^5}$$

$$\frac{1500 - L_2}{0{,}2354^5} + \frac{L_2}{0{,}2966^5} = \frac{1500}{0{,}254^5}$$

$$L_2 = 690\text{m} \;\; y \;\; L_1 = 810 \text{ m}$$

810 m PVC250(235,4) 0,6 MPa + 690 m PVC315(296,6) 0,6 MPa

b)



690 m 1000 m 1500 m

Aplicamos Bernoulli entre 0 y 1 para conocer la presión en 1.

$$z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + \Delta H_{0-1}$$

$$60 + 40 + 0 = 40 + \frac{P_1}{\gamma} + 0 + 0{,}0826 \cdot 0{,}017 \cdot 690 \cdot \frac{0{,}1^2}{0{,}2966^5} + 0{,}0826 \cdot 0{,}017 \cdot (1000 - 690) \cdot \frac{0{,}1^2}{0{,}2354^5}$$

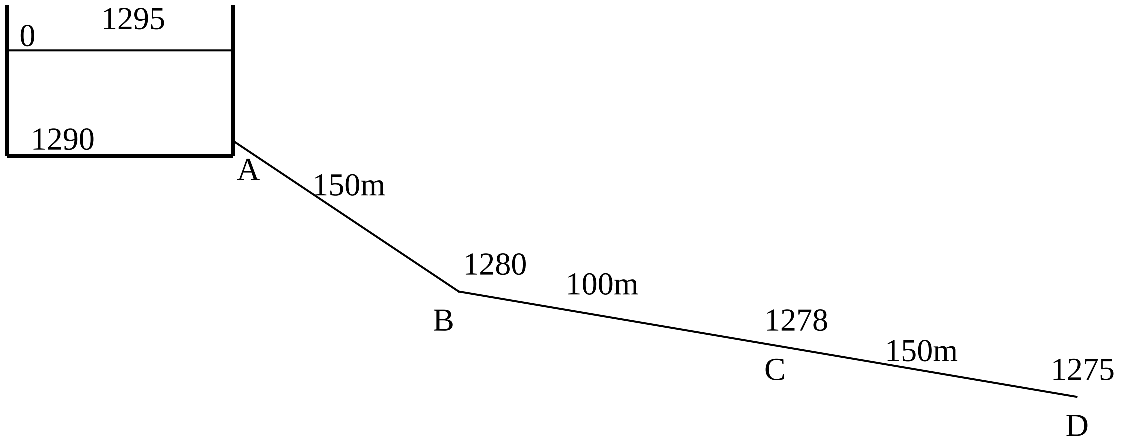
$$\frac{P_1}{\gamma} = 49{,}76 \text{mca}$$

La línea de energía se obtiene sumando el término cinético $V^2/2g$. Como es un término muy pequeño, suponemos que la línea de energía y la piezométrica coinciden.

c)

Las presiones de tuberías en PVC son 0,4Mpa 0,6MPa y superiores. Anteriormente timbramos la tubería como un PN6. Como la presión en el punto 1 es 49,76 mca. La tubería queda timbrada.

4. En la tubería del esquema, de diámetro 200 mm, el nivel del depósito se mantienen constante y f = 0,03. Calcular:
   a. Caudal que fluye por el punto D y presión en los puntos B y C. Dibujar la línea piezométrica.
   b. Ídem si se abre un hidrante situado en el punto C y por el fluyen 24 l/s.



a)

Primero determinamos la pérdida de carga que puede asumir esta instalación. Para ello aplicamos Bernoulli entre la altura de lámina del depósito (punto 0) y el punto D.

$$z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_D + \frac{P_D}{\gamma} + \frac{v_D^2}{2g} + \Delta H_{0-D}$$

$$1290 + 5 + 0 = 1275 + 0 + 0 + \Delta H_{0-D}$$

$$\Delta H_{0-D} = 1295 - 1275 = 20\text{m}$$

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA AGRONOMICA
Departamento de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola
Edificio Minas, Pº Alfonso XIII, 48 • 30203 Cartagena (SPAIN)
Tel. 968-325732 – Fax. 968-325732

Como conocemos el factor f, podemos aplicar la ecuación de Darcy Weisbach para caudal.

$$h_c = 0{,}0826 \cdot L \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5}$$

$$20 = 0{,}0826 \cdot (150 + 100 + 150) \cdot 0{,}03 \cdot \frac{Q^2}{0{,}2^5}$$

$$Q = \left(\frac{20 \cdot 0{,}2^5}{0{,}0826 \cdot 400 \cdot 0{,}03} \right)^{1/2} = 0{,}0801 m^3 s^{-1}$$

Para determinar la P_B, aplicamos Bernoulli entre el punto 0 y B. Despreciamos el término cinético.

$$z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + \Delta H_{0-B}$$

$$1295 + 0 + 0 = 1280 + \frac{P_B}{\gamma} + 0 + 0{,}0826 \cdot 0{,}03 \cdot 150 \cdot \frac{0{,}0801^2}{0{,}2^5}$$

$$\frac{P_B}{\gamma} = 7{,}59 m$$

Para determinar la P_C, aplicamos Bernoulli entre el punto B y C. Despreciamos el término cinético.

$$z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} = z_C + \frac{P_C}{\gamma} + \frac{v_C^2}{2g} + \Delta H_{A-C}$$

$$1280 + 7{,}59 + 0 = 1278 + \frac{P_C}{\gamma} + 0 + 0{,}0826 \cdot 0{,}03 \cdot 100 \cdot \frac{0{,}0801^2}{0{,}2^5}$$

$$\frac{P_C}{\gamma} = 4{,}62\text{m}$$

¿Qué hubiese pasado si no se desprecia el término cinético?.

$$z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_D + \frac{P_D}{\gamma} + \frac{v_D^2}{2g} + \Delta H_{0-D}$$

$$1295 + 0 + 0 = 1275 + 0 + \frac{v_D^2}{2g} + 0{,}03 \cdot \frac{(150 + 100 + 150)}{0{,}2} \cdot \frac{v_D^2}{2g}$$

$$20 = \frac{v_D^2}{2g} \cdot \left(1 + 0{,}03 \cdot \frac{(150 + 100 + 150)}{0{,}2} \right)$$

$$v_D^2 = \left(\frac{20 \cdot 2g}{1 + 0{,}03 \cdot \frac{(150 + 100 + 150)}{0{,}2}} \right)^{1/2} = 2{,}53 ms^{-1}$$

Por lo tanto el caudal será:

$$Q = V \cdot S = 2{,}53 \cdot \frac{\pi \cdot 0{,}2^2}{4} = 0{,}07950 m^3 s^{-1}$$

b)

Q_C = 24 l/s =0,024 $m^3 s^{-1}$

Calculamos Bernoulli entre 0 y D,

$$z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_D + \frac{P_D}{\gamma} + \frac{v_D^2}{2g} + \Delta H_{0-D}$$

$$1290 + 5 + 0 = 1275 + 0 + 0 + 0{,}0826 \cdot 0{,}03 \cdot 250 \cdot \frac{(Q + 0{,}024)^2}{0{,}2^5} +$$

$$+ 0{,}0826 \cdot 0{,}03 \cdot 150 \cdot \frac{(Q)^2}{0{,}2^5}$$

$$Q = 0{,}0657 m^3 s^{-1}$$

$$Q_B = 0{,}0657 + 0{,}024 = 0{,}08970 \ m^3 s^{-1}$$

$$Q_C = 0{,}0657 \ m^3 s^{-1}$$

Para representar la línea piezométrica necesitamos conocer la cota y la altura de presión en cada punto.

Para determinar Pc realizamos Bernoulli,

$$z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_C + \frac{P_C}{\gamma} + \frac{v_C^2}{2g} + \Delta H_{0-C}$$

$$1295 + 0 + 0 = 1278 + \frac{P_C}{\gamma} + 0 + 0{,}0826 \cdot 0{,}03 \cdot 250 \cdot \frac{(0{,}08970)^2}{0{,}2^5}$$

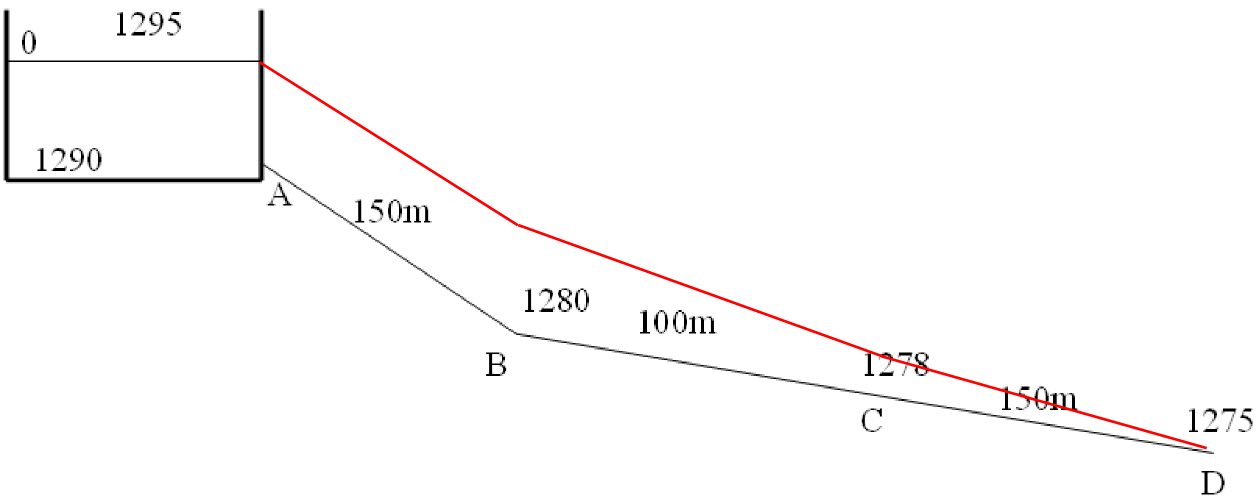
$$\frac{P_C}{\gamma} = 1{,}48\text{m}$$

Como sabemos

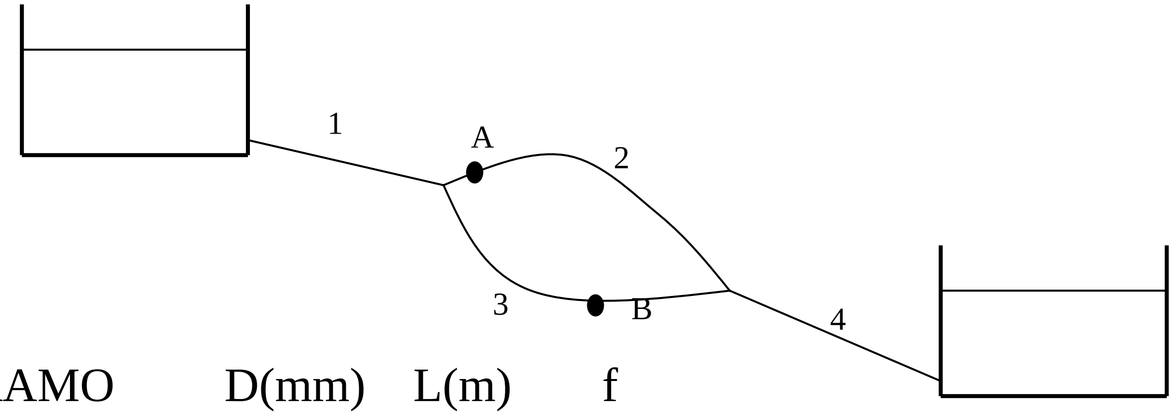
$P_A/\gamma = 5$ m

$P_B/\gamma = 4{,}62$ m

$P_C/\gamma = 1{,}48$ m

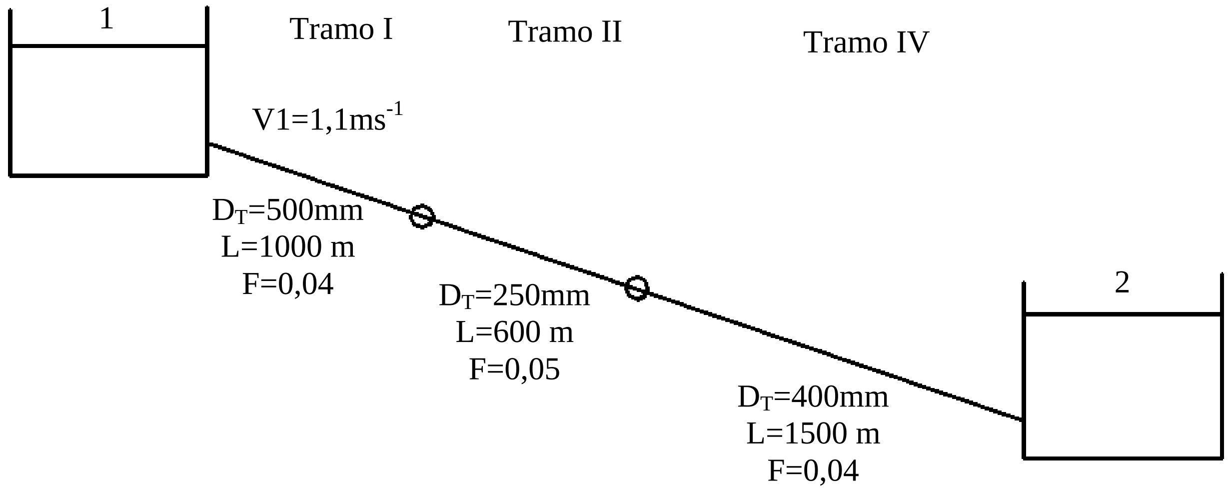


5. Dos depósitos están comunicados por el sistema de tuberías de la figura. Si la válvula A está abierta y la válvula B está cerrada, la velocidad del agua que circula por la tubería 1 es de 1,1 m/s. Hallar el caudal que circulará por la tubería 4 si la válvula A se cerrase y se abriese la B.¿Qué ocurre si se abren A y B?



TRAMO	D(mm)	L(m)	f
1	500	1000	0.04
2	250	600	0.05
3	300	700	0.03
4	400	1500	0.04

En el primer caso, cuando la válvula A está abierta y B está cerrado, tenemos el siguiente esquema:



En este esquema las tuberías están en serie, con lo cual el caudal que circula por ellas es el mismo de modo que

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_4 = V \cdot S = 1{,}1 \cdot \frac{\pi \cdot 0{,}5^2}{4}$$

$$Q = 0{,}216 m^3 s^{-1}$$

Además al estar en serie, las pérdidas de carga totales son la suma de las pérdidas de carga en cada uno de los tramos, de modo que:

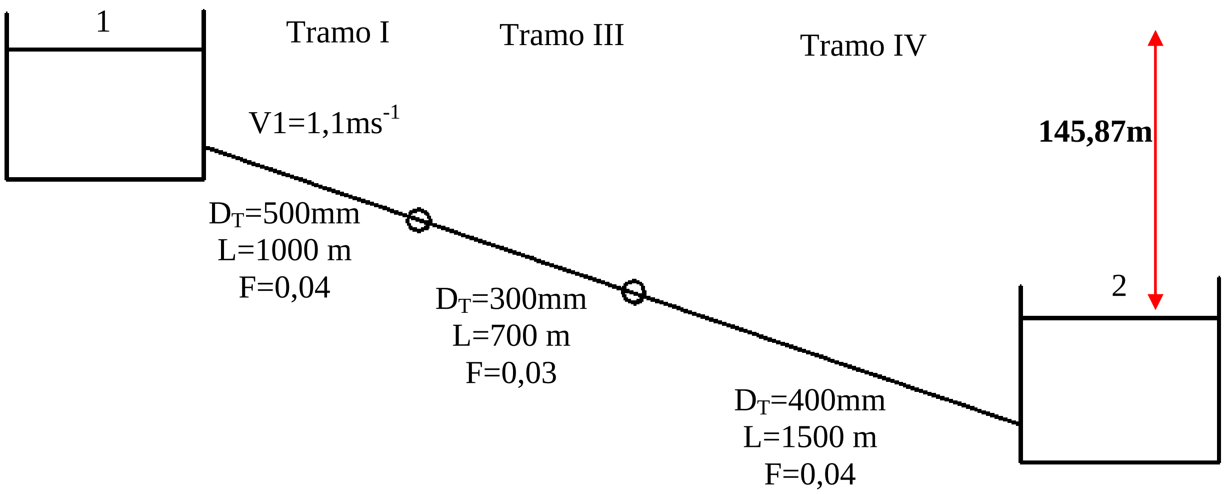
$\Delta H_T = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_4$;

$$z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}-z_2-\frac{P_2}{\gamma}-\frac{v_2^2}{2g}=0{,}0826\cdot(0{,}04\cdot 1000\cdot\frac{0{,}216^2}{0{,}5^5}+0{,}05\cdot 600\cdot$$

$$\cdot\frac{0{,}216^2}{0{,}250^5}+0{,}04\cdot 1500\cdot\frac{0{,}216^2}{0{,}4^5})$$

$$z_1-z_2=145{,}87\,\text{m}$$

Si la vávula A se cierra y la válvula B se abre,



Existen dos procedimientos para determinar el caudal. Puesto que de nuevo las tuberías están en serie, sabemos que el Caudal es el mismo en todos los tramos. De modo que:

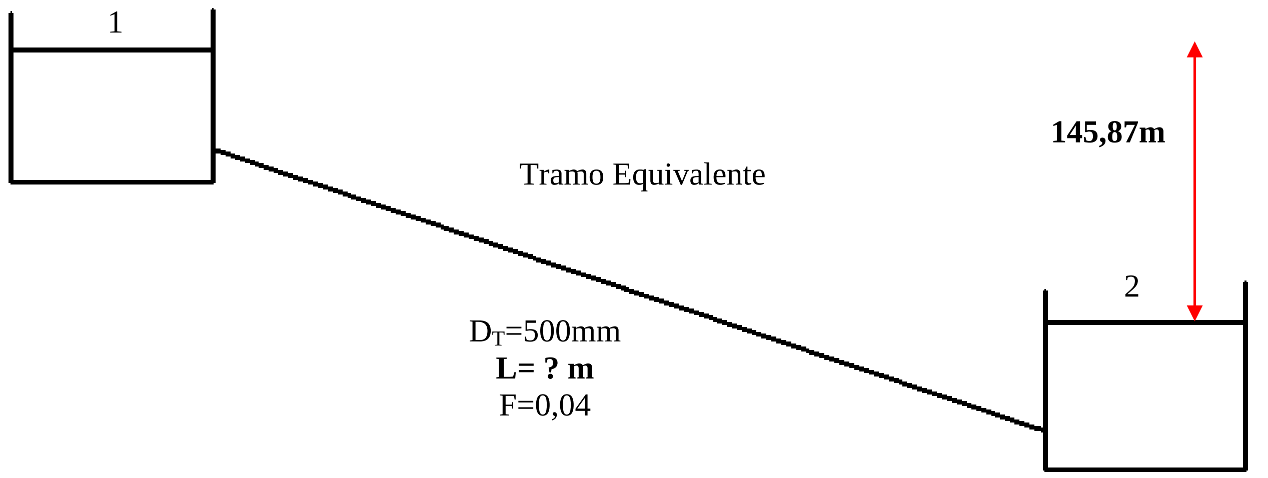
$$145{,}87 = 0{,}0826\cdot(0{,}04\cdot1000\cdot\frac{Q^2}{0{,}5^5} + 0{,}03\cdot700\cdot\frac{Q^2}{0{,}3^5} + 0{,}04\cdot1500\cdot\frac{Q^2}{0{,}4^5})$$

$$1765{,}98 = 160Q^2 + 233{,}3Q^2 + 375Q^2$$

$$1765{,}98 = 768{,}33Q^2$$

$$Q = 0{,}334 m^3 s^{-1}$$

En el segundo procedimiento, calculamos una tubería equivalente a los tres tramos de modo que:



$$\frac{L_e \cdot f_e}{D_e^5} = \sum \frac{L_i \cdot f_i}{D_i^5}$$

$$\frac{L_e \cdot 0{,}04}{0{,}5^5} = \frac{1000 \cdot 0{,}04}{0{,}5^5} + \frac{700 \cdot 0{,}03}{0{,}3^5} + \frac{1500 \cdot 0{,}04}{0{,}4^5}$$

$$L_e = 12342{,}8\mathrm{m}$$

Aplicando la ecuación de Darcy Weisbach

$$h_c = 0{,}0826 \cdot L \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5}$$

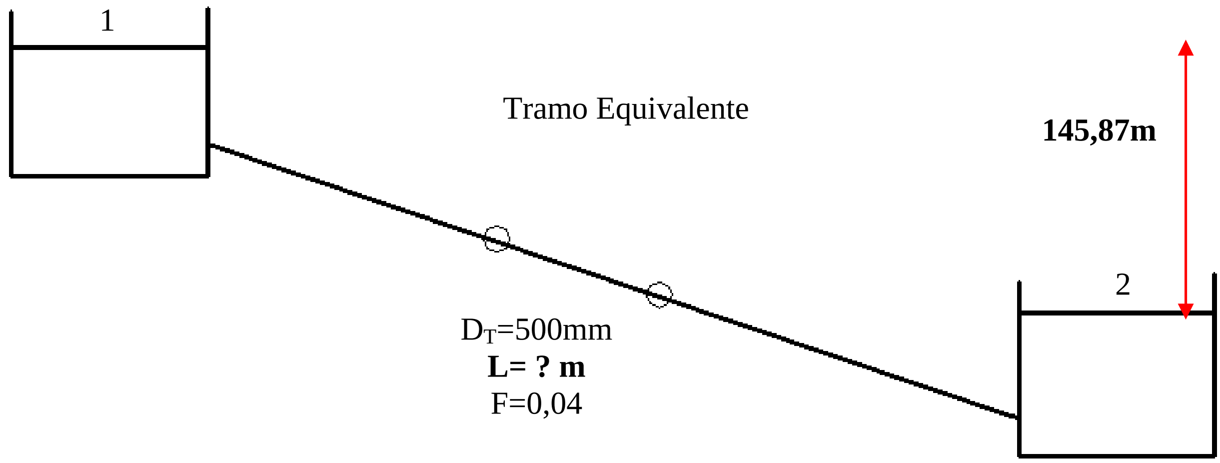
$$145{,}87 = 0{,}0826 \cdot 12342{,}8 * 0{,}05 \cdot \frac{Q^2}{0{,}5^5}$$

$$Q = \left(\frac{145{,}87 \cdot 0{,}5^5}{0{,}0826 \cdot 12342{,}8 \cdot 0{,}03} \right)^{1/2} = 0{,}334\mathrm{m}^3\mathrm{s}^{-1}$$

c)

Si las dos válvulas se abren a la vez, tenemos dos tuberías en paralelo. Como sabemos, para tuberías en paralelo, los caudales de los tramos se suman y las pérdidas de carga son las mismas, de modo que:

$Q = Q_2 + Q_3$
$\Delta H_T = \Delta H_2 = \Delta H_3$



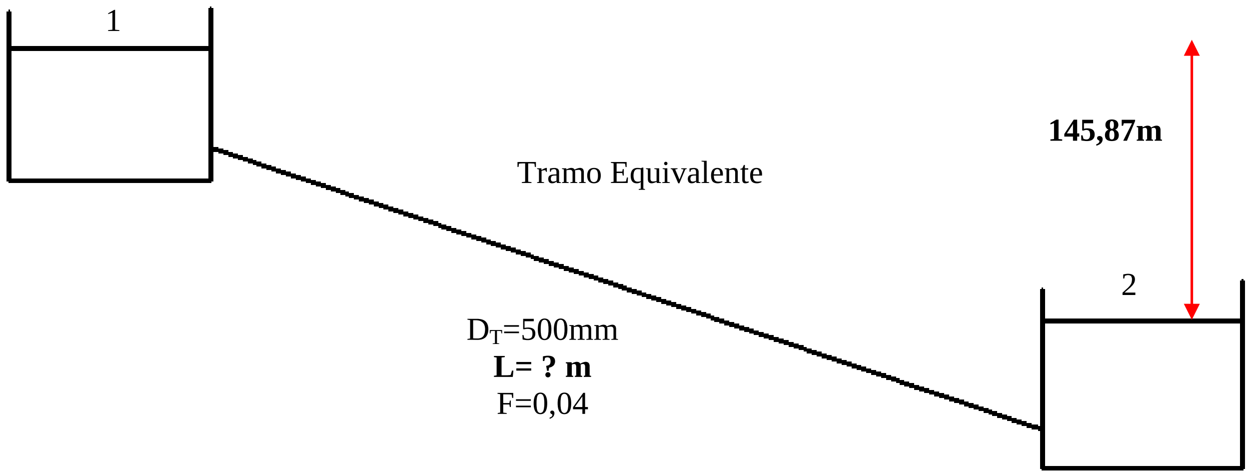
Calculamos un tramo de tubería equivalente a las tuberías en paralelo.

$$\sqrt{\frac{D_e^5}{f_e \cdot L_e}} = \sum \sqrt{\frac{D_i^5}{f_i \cdot L_i}}$$

$$\sqrt{\frac{0{,}5^5}{0{,}04 \cdot L_e}} = \sqrt{\frac{0{,}25^5}{0{,}05 \cdot 600}} + \sqrt{\frac{0{,}30^5}{0{,}03 \cdot 700}}$$

$$L_e = 2888\text{m}$$

Calculamos una tubería para las tuberías que quedan en serie



$$\frac{L_e \cdot f_e}{D_e^{\,5}} = \sum \frac{L_i \cdot f_i}{D_i^{\,5}}$$

$$\frac{L_e \cdot 0{,}04}{0{,}5^5} = \frac{1000 \cdot 0{,}04}{0{,}5^5} + \frac{2888 \cdot 0{,}04}{0{,}5^5} + \frac{1500 \cdot 0{,}04}{0{,}4^5}$$

$$L_e = 8465\text{m}$$

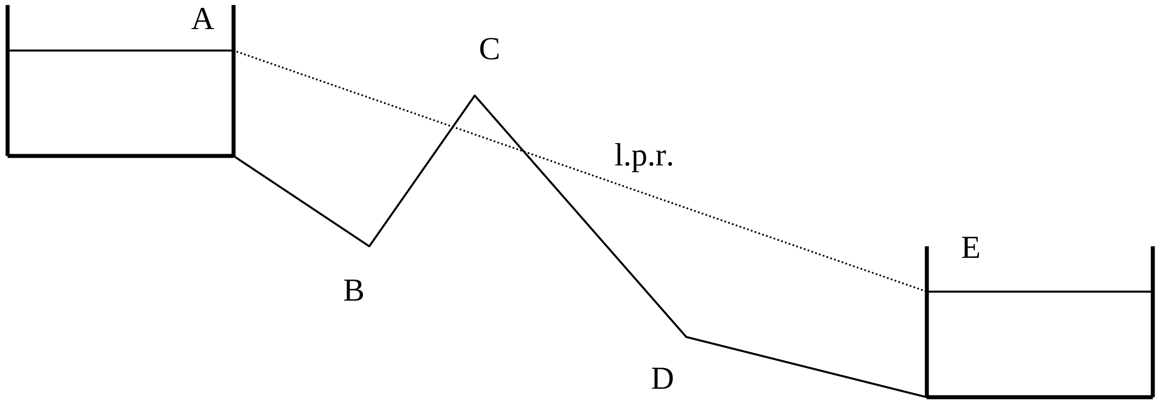
Aplicando la ecuación de Darcy Weisbach,

$$h_c = 0{,}0826 \cdot L \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5}$$

$$145{,}87 = 0{,}0826 \cdot 8465 * 0{,}04 \cdot \frac{Q^2}{0{,}5^5}$$

$$Q = \left(\frac{145{,}87 \cdot 0{,}5^5}{0{,}0826 \cdot 8465 \cdot 0{,}04} \right)^{1/2} = 0{,}404 m^3 s^{-1}$$

6. En la conducción de la figura se pretende determinar el diámetro necesario para que el caudal circulante entre los depósitos sea de 100 l/s. estudiar el comportamiento de la conducción, calculando las presiones en servicio en los puntos singulares del perfil longitudinal de la misma.



Datos adicionales:

- Material de la tubería: Fibrocemento ($C_{HAZEN-WILLIAMS}$) = 140
- Perdidas de carga singulares igual al 5% de las continuas: $h_s = 0,05\ h_r$
- Diámetros Nominales: 150-200-250-300-350-400
- Características del perfil:

Punto	Cota (m)	Tramo	Distancia parcial (m)
A	120	A-B	100
B	105	B-C	250
C	118	C-D	100
D	112	D-E	500
E	110	Long. Total=	950

Determinamos la pérdida de carga admisible entre el depósito uno (punto A) y el dos (punto E). Para ello aplicamos Bernoulli.

$$z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} = z_E + \frac{P_E}{\gamma} + \frac{v_E^2}{2g} + \Delta H_{A-E}$$

$$120 + 0 + 0 = 110 + 0 + 0 + \Delta H_{A-E}$$

$$\Delta H_{A-E} = 120 - 110 = 10\text{mca}$$

Como conocemos el factor C, podemos aplicar la ecuación de Hazen Williams para determinar las pérdidas de carga.

$$J = \left(10{,}62 \cdot L \cdot C^{-1{,}85} \cdot \frac{Q^{1{,}85}}{D^{4{,}87}}\right) \cdot 1{,}05$$

$$10 = 10{,}62 \cdot 950 \cdot 140^{-1{,}85} \cdot \frac{0{,}1^{1{,}85}}{D^{4{,}87}}$$

$$D^{4{,}87} = \frac{10{,}62 \cdot 950 \cdot 140^{-1{,}85} \cdot 0{,}1^{1{,}85}}{10}$$

$$D = (0{,}0015)^{1/4{,}87} = 0{,}267\text{m}$$

Como 0,267 m no es un diámetro comercial, seleccionamos el diámetro inmediatamente superior, D_N = 300mm. Calculamos el caudal real.

$$10 = 10{,}62 \cdot 950 \cdot 140^{-1{,}85} \cdot \frac{Q^{1{,}85}}{0{,}3^{4{,}87}}$$

$$Q^{1{,}85} = \frac{10 \cdot 0{,}3^{4{,}87}}{10{,}62 \cdot 950 \cdot 140^{-1{,}85}}$$

$$Q = (0{,}0263)^{1/1{,}85} = 0{,}139 \mathrm{m^3 s^{-1}}$$

¿Cómo es la presión en C?. La determinamos para Q = 0,1 $m^3\ s^{-1}$ y para el nuevo caudal determinado (Q = 0,139 $m^3\ s^{-1}$) con el diámetro D_N = 300mm. Aplicamos la ecuación de Bernoulli entre A y C.

$$z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} = z_C + \frac{P_C}{\gamma} + \frac{v_C^2}{2g} + \Delta H_{A-c}$$

$$120 + 0 + 0 = 118 + \frac{P_C}{\gamma} + 0 + \left(10{,}62 \cdot 350 \cdot 140^{-1{,}85} \cdot \frac{Q^{1{,}85}}{0{,}3^{4{,}87}}\right) \cdot 1{,}05$$

$$120 + 0 + 0 = 118 + \frac{P_C}{\gamma} + 0 + 2{,}077$$

Para Q = 0.1 m^3s^{-1}

$$\frac{P_C}{\gamma} \text{si} \quad Q = 0{,}1 \quad \mathrm{m^3 s^{-1}} = -0{,}077 \mathrm{m} \quad \text{Zanja} \quad \text{de} \quad 7\mathrm{cm}$$

$$\frac{P_C}{\gamma} \text{si} \quad Q = 0{,}139 \quad \mathrm{m^3 s^{-1}} = -1{,}81 \mathrm{m} \quad \text{No} \quad \text{es} \quad \text{viable}$$

Por tanto, hasta el punto C, se coloca una tubería de 300 mm. Como sabemos que las pérdidas de carga entre A y C son 2,077m, y podemos asumir 10 m en total.

10 – 2,077 = 7,93 mca que se pueden producir.

Aplicando la ecuación de Hazen Williams,

$$J = \left(10{,}62 \cdot L \cdot C^{-1,85} \cdot \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}}\right) \cdot 1{,}05$$

$$\frac{7{,}93}{(950-350)} = \left(10{,}62 \cdot 140^{-1,85} \cdot \frac{0{,}1^{1,85}}{D^{4,87}}\right) \cdot 1{,}05$$

$$D = \left(\frac{10{,}62 \cdot 140^{-1,85} \cdot 0{,}1^{1,85} \cdot 1{,}05}{0{,}0132}\right)^{1/4,87}$$

$$D = 0{,}254\text{m.}$$

Como DN=0,254 es muy cercano al comercial, se puede colocar hasta C, diámetro 300mm y a partir de C, diámetro 250mm.

Sin embargo, si queremos ajustar más la instalación, podemos instalar dos tuberías en seria entre C y E.

Como sabemos, para tuberías en serie,

$$L_1 + L_2 = L_T = 950\text{-}350 = 600\text{m}$$
$$h_1 + h_2 = h_T = 10\text{-}2{,}07 = 7{,}93 \text{ mca}$$

$$10{,}62 \cdot 140^{-1.85} \cdot L_1 \cdot 1{,}05 \cdot \frac{0{,}1^{1{,}85}}{0{,}25^{4{,}87}} + 10{,}62 \cdot 140^{-1.85} \cdot L_2 \cdot 1{,}05 \cdot \frac{0{,}1^{1{,}85}}{0{,}30^{4{,}87}} =$$

$$= 10{,}62 \cdot 140^{-1.85} \cdot 600 \cdot 1{,}05 \cdot \frac{0{,}1^{1{,}85}}{0{,}258^{4{,}87}}$$

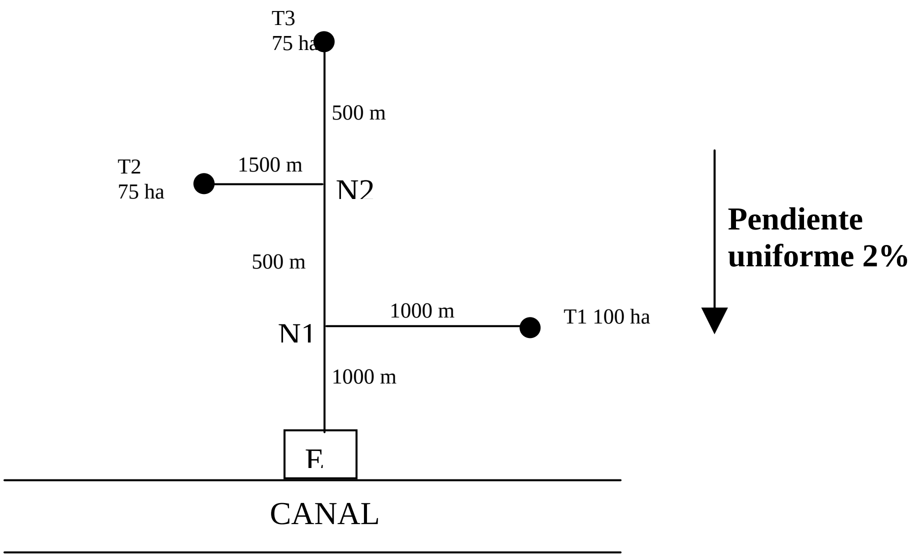
$$\frac{L_1}{0{,}25^{4{,}87}} + \frac{L_2}{0{,}30^{4{,}87}} = \frac{600}{0{,}258^{4{,}87}} \qquad \text{Si} \quad L_1 = 600 - L_2$$

$$\frac{600 - L_2}{0{,}25^{4{,}87}} + \frac{L_2}{0{,}30^{4{,}87}} = \frac{600}{0{,}258^{4{,}87}}$$

$$L_2 = 145\text{m}$$
$$L_1 = 455\text{m}$$

Tendríamos, DN 300 entre A y C y 145m más. DN 250 el resto de la instalación.

7. El croquis representa un sistema de distribución para riego por aspersión que alimenta desde un canal a las tomas señaladas (T1, T2 y T3) y abastecen las superficies que se indican:



Teniendo en cuenta que el caudal continuo necesario por ha es de 1 l/s ha y que la carga requerida en cada toma es de 40 m.c.a., se pide:

- Diseñar la red de distribución con tuberías de PVC.

- Determinar la potencia eléctrica a instalar en la estación de bombeo suponiendo un rendimiento del grupo del 65%.

Nota: considerar unas pérdidas de cargas singulares iguales al 10% de las continuas

Primero realizamos una tabla de Nudos y Tomas, donde especificamos la superficie, el caudal, la presión mínima, el desnivel geométrico, las pérdidas de carga y la presión final.

Nudo o Toma	Sup (ha)	Q (m^3s^{-1})	P/γ Min (m)	Hg (m)	h (m)	P/γ Final (m)
N_1	-	-	>0	-20	**3,68**	**-23,68**
T_1	100	0,1	40	-20	**3,68+7,01**	**-30,69**
N_2	-	-	>0	-30	**3,68+2,09**	**-35,77**
T_2	75	0,075	40	-30	**3,68+2,09+18,13**	**-53,9**
T_3	75	0,075	40	-40	**3,68+2,09+6,04**	**-51,81**

Realizamos una tabla similar para los Tramos donde indicamos la longitud, el caudal, el diámetro teórico, el diámetro comercial, la velocidad real, la relación K/D, el número de Reynolds, el factor f, las pérdidas de carga continuas, las pérdidas de carga singulares y las totales.

Para calcular el D_T, se establece una velocidad de diseño de 1,5 ms^{-1}, de modo que Q = V·S. el factor f se obtiene del ábaco de Moody. Las pérdidas de carga se obtienen aplicando la ecuación de Darcy para la velocidad. $h = f \cdot L/D \cdot V^2/2g$.

Para elegir el tipo de PVC, tanteamos que presión máxima podemos llegar a tener (será en la salida del canal). Para poder tener 40 metros en la toma más desfavorable, la presión en la tuberia del canal será de 80 mca. Seleccionamos un PVC 1MPa.

El valor de pérdidas de carga totales se incluye en la tabla anterior para poder determinar la presión final.

Tramos	L (m)	Q (m^3s^{-1})	D_T (mm)	D_{com} (mm)	Vreal (m/s)	K/D	VD/μ	f	hc (m)	hs (m)	h_T (m)
$E\text{-}N_1$	1000	0,25	PVC500	467,6	1,46	$4{,}3\cdot10^{-}$	$7\cdot10^5$	0,0145	3,35	0,33	3,68

			460,7			5					
N_1-T_1	1000	0,10	PVC315 291,3	285,0	1,57	$7,0\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{5}$	0,0145	6,37	0,64	7,01
N_1-N_2	500	0,15	PVC400 356,8	369,2	1,40	$5,4\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{5}$	0,014	1,90	0,19	2,09
N_2-T_2	1500	0,075	PVC250 252,3	226,2	1,87	$8,8\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{5}$	0,014	16,48	1,65	18,13
N_2-T_3	500	0,075	PVC250 252,3	226,2	1,87	$8,8\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{5}$	0,014	5,49	0,55	6,04

Comprobamos que todas las presiones son negativas y que por tanto necesitamos una bomba que impulse el agua desde el canal.

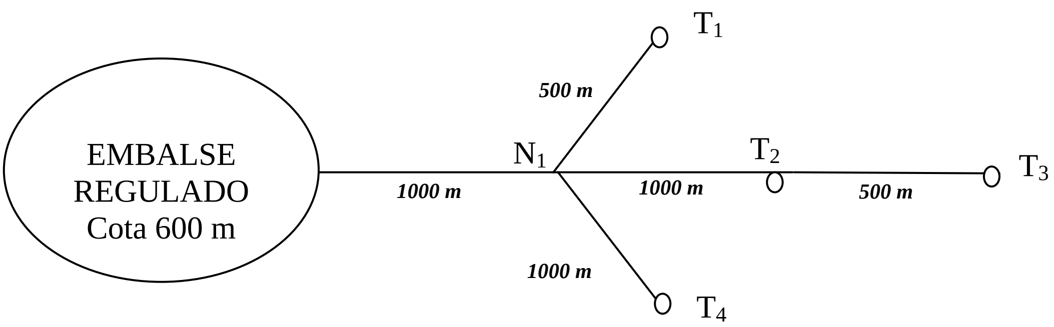
Necesitamos una bomba que tenga una altura manométrica como mínimo de 53,9 mca.

Como sabemos, la potencia eléctrica de una bomba es igual a la potencia hidráulica entre la potencia del grupo motobomba.

$$P_E = \frac{P_H}{\mu_{MB}} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_M}{\mu_{MB}} = \frac{9810\,Nm^{-3} \cdot 0,25m^3s^{-1} \cdot 53,9m}{0,65} = 203368,846W$$

$$= 203,368KW$$

8. Desde un embalse de regulación parte una red de distribución para abastecer una zona regable. La red está construida integramente en fibrocemento (K = 0,025) y su planta y características geométricas se recogen en la siguiente figura:



TOMA	SUPERFICIE (ha)	COTA (m)
T_1	150	543
T_2	150	540
T_3	250	535
T_4	200	543
N_1	-	560

La presión mínima requerida en cada toma es de 50 m y el caudal continuo necesario en periodo punta de necesidades es 1 l / s·ha.

1.- Diseñar el sistema de distribución, especificando diámetros y timbrajes.

NO CONSIDERAR sobrepresiones por golpe de ariete ni perdidas de carga en puntos singulares

Primero realizamos una tabla de Nudos y tomas, donde especificamos la superficie, el caudal, la presión mínima, el desnivel geométrico, las pérdidas de carga y la presión final.

Nudo o Toma	Sup (ha)	Q (m^3s^{-1})	P/γ Min (m)	Hg (m)	h (m)	P/γ Final (m)
N_1			>0	40	1,7	38,3
T_1	150	0,15	50	57	1,7+2,45	52,85
T_2	150	0,15	50	60	1,7+2,2	56,1
T_3	250	0,25	50	65	1,7+2,2+1,1	60
T_4	200	0,20	50	57	1,7+4	51,3

Realizamos una tabla similar para los tramos donde indicamos la longitud, el caudal, el diámetro teórico, el diámetro comercial, la velocidad real, la relación K/D, el número de Reynolds, el factor f, las pérdidas de carga continuas, las pérdidas de carga singulares y las totales.

Para calcular el D_T, se establece una velocidad de diseño de 1,5 ms^{-1}, de modo que Q = V·S. el factor f se obtiene del ábaco de Moody. Las pérdidas de carga se obtienen aplicando la ecuación de Darcy para la velocidad. $h = f \cdot L/D \cdot V^2/2g$.

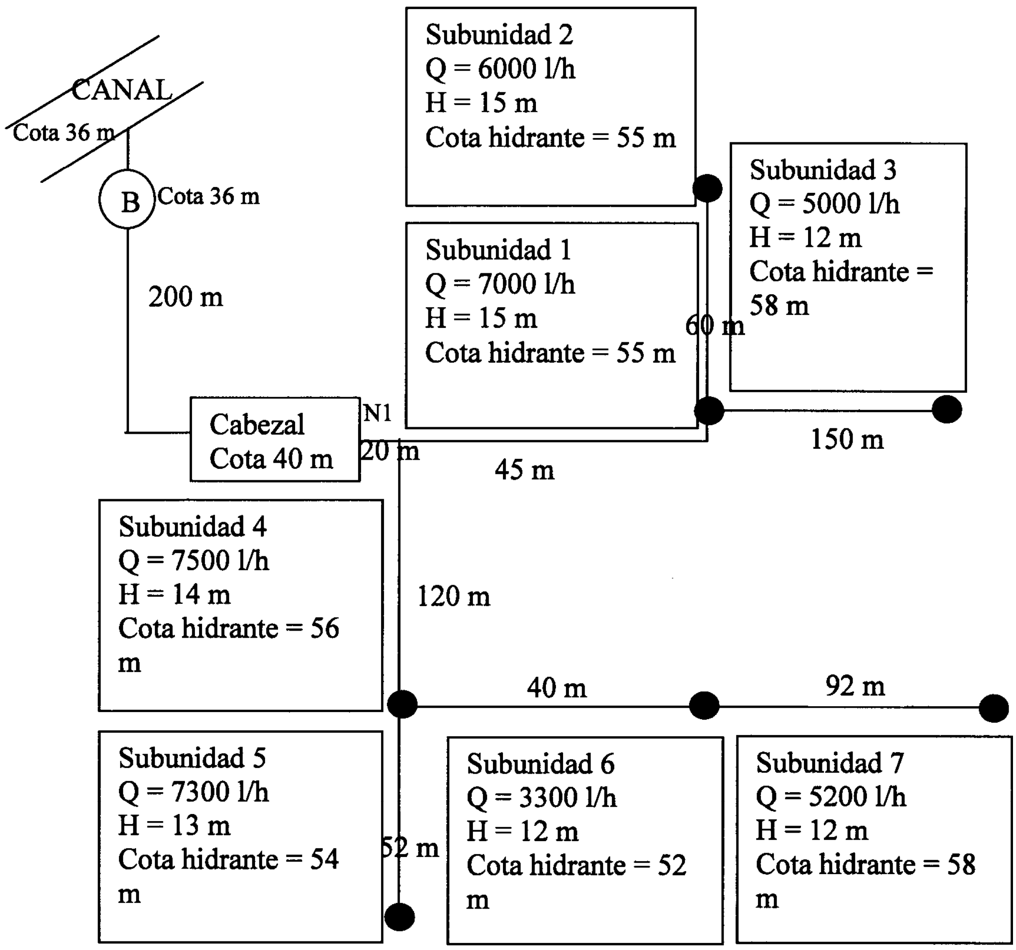
El valor de pérdidas de carga totales se incluye en la tabla anterior para poder determinar la presión final.

Tramos	L(m)	Q (m^3s^{-1})	D_T (mm)	D_{com} (mm)	Vreal (m/s)	K/D	VD/μ	f	hc (m)	h (m)	h_T (m)
$E–N_1$	1000	0,75	797	FC800	1,49	$3\cdot10^{-5}$	$1,18\cdot10^{6}$	0,0125	1,7	0	1,7
$N_1–T_1$	500	0,15	356	FC350	1,55	$7\cdot10^{-5}$	$5,37\cdot10^{5}$	0,014	2,45	0	2,45
$N_1–T_2$	1000	0,40	582	FC600	1,414	$4\cdot10^{-5}$	$8,37\cdot10^{5}$	0,013	2,2	0	2,2
$T_2–T_3$	500	0,25	460	FC500	1,25	$5\cdot10^{-5}$	$6,28\cdot10^{5}$	0,0135	1,1	0	1,1
$N_1–T_4$	1000	0,20	412	FC400	1,59	$6\cdot10^{-5}$	$6,29\cdot10^{5}$	0,013	4	0	4

Comprobamos que todas las presiones finales son superiores a 50 mca. Según UNE 88023, tendremos que instalar por ejemplo un FC tipo B.

9.

Ejemplo de diseño (diámetros y timbrajes) de una red de distribución de riego localizado con cabezal y sistema impulsor



La instalación de riego de la figura se abastece de un canal situado a cota 36 m mediante un grupo motobomba.las subunidades de riego han sido diseñadas y se conocen los caudales y presiones necesarios en cada una de ellas. La explotacion se divide en dos unidades de riego (que no riegan simultaneamente), La primera está compuesta por las subunidades 1-3 y la segundas por las subunidades 4-7. Se preve un cabezal de filtrado con inyecor hidráulica do abonos, por lo que la altura de presión en el cabezal debe ser al menos de 20 m, la máxima pérdida de craga en el cabezal será de 10 m, momento en el que se procederá al lavado de filtros.
Considerar unas pédidas de carga singulares (válvulas, codos,…) del 15% de las continuas. Emplear PVC y estimar las perdidas de carga mediante la Ec. de Blassius:

$$J = 0{,}00078 \cdot D^{-4.75} \cdot Q^{1{,}75} \quad \text{(D en m y Q en m}^3\text{/s)}$$

Primero realizamos una tabla de Nudos y tomas, donde especificamos el caudal, la presión mínima, el desnivel geométrico, las pérdidas de carga y la presión final.

Nudo o Toma	Q (m^3s^{-1})	P/γ Min (m)	Hg (m)	h (m)	P/γ Final (m)	Hmanometrica (m)
Canal	-	-	36			
Entrada bomba	-	-	36			
Salida Bomba	-	-	36			
Entrada Cabezal	-	20	-4	3,297	-7,297	27,297
Salida Cabezal	-	-	-4	10,000		
N1	-		-4	13,627	-17,627	17,627
T1	0,001944	15	-19	14,742	-33,742	48,742
T2	0,001667	15	-19	16,244	-35,244	50,244
T3	0,001389	12	-22	23,246	-45,246	57,246
T4	0,002083	14	-20	15,605	-35,605	49,605
T5	0,002028	13	-18	17,440	-35,440	48,440
T6	0,000917	12	-16	21,345	-37,345	49,345
T7	0,001444	12	-22	26,931	-48,931	60,931

Realizamos una tabla similar para los tramos donde indicamos la longitud, el caudal, el diámetro teórico, el diámetro comercial, las pérdidas de carga unitarias y continuas, las pérdidas de carga singulares y las totales.

Para calcular el D_T, se establece una velocidad de diseño de 1,5 ms^{-1}, de modo que Q = V·S. Aplicamos Blassius.

El valor de pérdidas de carga totales se incluye en la tabla anterior para poder determinar la presión final.

Tramos	L(m)	Q (m^3s^{-1})	D_T (mm)	D_{com} (mm)	Dint	J (m/m)	hc (m)	h (m)	h_T (m)
Canal-Bomba	-	-							
Bomba-Cabezal	200,00	6,47E-03	0,0741	DN90	0,0846	0,0143	2,8672	0,4301	3,2973
Cabezal-N1	20,00	6,47E-03	0,0741	DN90	0,0846	0,0143	0,2867	0,0430	0,3297
N1-T1	45,00	5,00E-03	0,0651	DN75	0,0706	0,0216	0,9698	0,1455	1,1153
T1-T2	60,00	1,67E-03	0,0376	DN50	0,0470	0,0218	1,3062	0,1959	1,5022
T1-T3	150,00	1,39E-03	0,0343	DN40	0,0370	0,0493	7,3943	1,1091	8,5034
N1-T4	120,00	6,47E-03	0,0741	DN90	0,0846	0,0143	1,7203	0,2580	1,9784
T4-T5	52,00	2,03E-03	0,0415	DN50	0,0470	0,0307	1,5956	0,2393	1,8349
T4-T6	40,00	2,36E-03	0,0448	DN50	0,0370	0,1248	4,9906	0,7486	5,7392
T6-T7	92,00	1,44E-03	0,0350	DN40	0,0370	0,0528	4,8574	0,7286	5,5860

Comprobamos la altura manométrica que necesitamos. Es posible que con un PN6 podamos diseñar el sistema

10. Calcular la pérdida de carga en un ramal de PE 16/13,4 de 50m de longitud y con goteros de 6 l/h cada 0,5m. Longitud equivalente de cada gotero = 0,25m. Emplear la fórmula de Blassius.

Como los goteros están espaciados cada 0,5m, entonces 50/0,5=100 goteros.

Como cada gotero tiene un caudal de 6l/h, los 100 goteros tendrán un caudal = 0,00016667 m^3s^{-1}.

Como m = 1,75, el Factor de Christiansen para 100 emisores es 0,369

Aplicando la ecuación de Blassius,

$$h_c = F\cdot(L + L_{eq})\cdot 0{,}00078\cdot D^{-4{,}75}\cdot Q^{1{,}75}$$

$$h_c = 0{,}369\cdot(50 + 0{,}25\cdot 100)\cdot 0{,}00078\cdot 0{,}0134^{-4{,}75}\cdot 0{,}00016667^{1{,}75}$$

$$h_c = 4{,}15\text{m}$$

11. Calcular la pérdida de carga en una tubería terciaria de PE 50/40,8 0,6MPa y 40m de longitud, que alimenta en cada metro de su trazado laterales de 25m de longitud con goteros de 4l/h separados 0,5m. Considerar unas pérdidas de carga singulares en la conexión terciaria-lateral del 20% de las continuas. Emplear la fórmula de Blassius.

Como los goteros están espaciados cada 0,5m, 25/0,5=50 goteros por lateral.

Como los laterales están cada metro, tenemos 40 laterales.

En total, tenemos 40·50 = 2000 emisores. Como cada gotero tiene un caudal de 4l/h, los 2000 goteros tendrán un caudal = 0,00222 m^3s^{-1}.

Como m = 1,75, el Factor de Christiansen para 40 laterales es 0,376

Aplicando la ecuación de Blassius,

$$h_c = F\cdot h_T`= F\cdot(h_T + \alpha\cdot h_T) = F\cdot(J`\cdot L + \alpha\cdot J`\cdot L);$$

$$J`= 0{,}00078\cdot 0{,}0408^{-4{,}75}\cdot 0{,}00222^{1{,}75} = 0{,}07;$$

$$h_c = 0{,}376\cdot(0{,}07\cdot 40 + 0{,}2\cdot 0{,}07\cdot 40) = 1{,}25\text{m}$$

12. Una instalación de riego por goteo ha sido prevista con los siguientes ramales:

PEBD ϕ 12mm (10mm) – 0,25 MPa
Ecuación de descarga: Q (L/h) = 0,35 H(m)^{0,8}

La separación entre emisores es de 1 m y el caudal nominal ha sido estimado en 2 L/h.
Dentro de cada ramal se admite una diferencia máxima de presiones entre goteros del 10% de la presión nominal. Las pérdidas de carga localizadas en las juntas y derivaciones son el 12% de las continuas. Calcular:

1. Máxima longitud del ramal en terreno llano (1pto).
2. Máxima longitud del ramal en terreno ascendente con pendiente del 1% (1pto).
3. Máxima longitud del ramal terreno descendente con pendiente del 1% (1 pto).

Nota: Emplear la ecuación empírica más adecuada para el cálculo de las pérdidas de carga.

Como trabajamos en riego localizado, debemos aplicar la ecuación de Blassius para determinar las pérdidas de carga.

Partiendo de la ecuación de descarga de un emisor y conociendo el caudal de cada emisor, podemos determinar la presión a la que trabaja cada emisor.

$$Q\left(\frac{l}{h}\right) = 0{,}35 \cdot H(m)^{0{,}8}$$

$$2 = 0{,}35 \cdot H(m)^{0{,}8}$$

$$H(m) = \left(\frac{2}{0{,}35}\right)^{\frac{1}{0{,}8}} = 8{,}835\,m$$

Como la diferencia máxima de presiones entre goteros del 10% de la presión nominal.

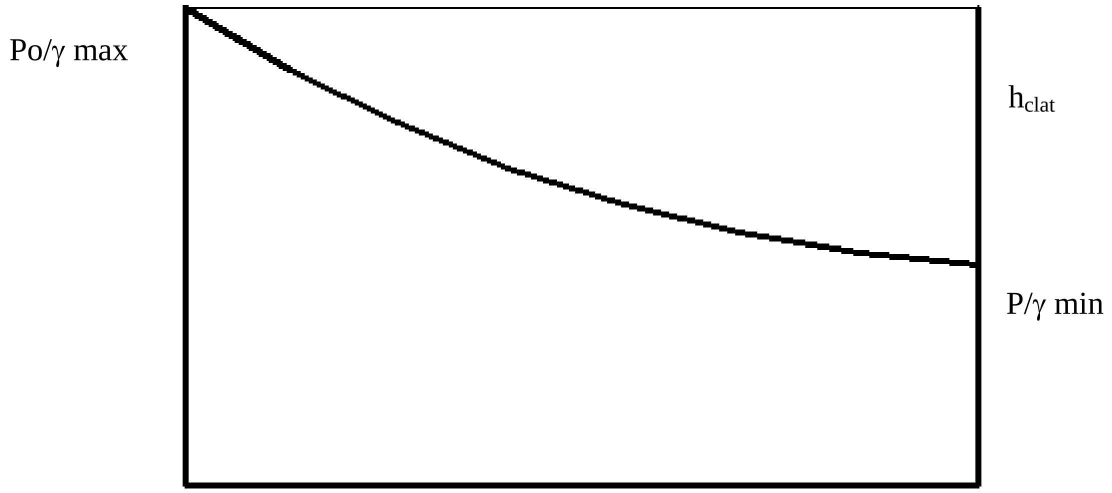
Variación Max de presión = 0,10 · 8,835 = 0,8835 m

Aplicando la ecuación que relaciona la variación de caudal con la presión

$$\frac{dq}{q} = x \cdot \frac{dh}{h}$$

$$\frac{dq}{q} = 0{,}8 \cdot \frac{0{,}8835}{8{,}835} = 0{,}08 = 8\%$$

1) Máxima longitud en terreno llano



$$P_{max} - P_{min} = h_{clat} < 0{,}8835$$

Para determinar las pérdidas de carga tenemos que aplicar la ecuación donde influye el Factor de Christiansen.

$h_c =$ F·α·J\`L<0,8835, siendo F

$$F = \frac{1}{1+m} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{m-1}}{6 \cdot n^2}$$

$$h = \frac{1}{1+m} \cdot \alpha \cdot J` \cdot L$$

$$h = \frac{1}{1+m} \cdot (1+0{,}12) \cdot 0{,}00078 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot L < 0{,}8835$$

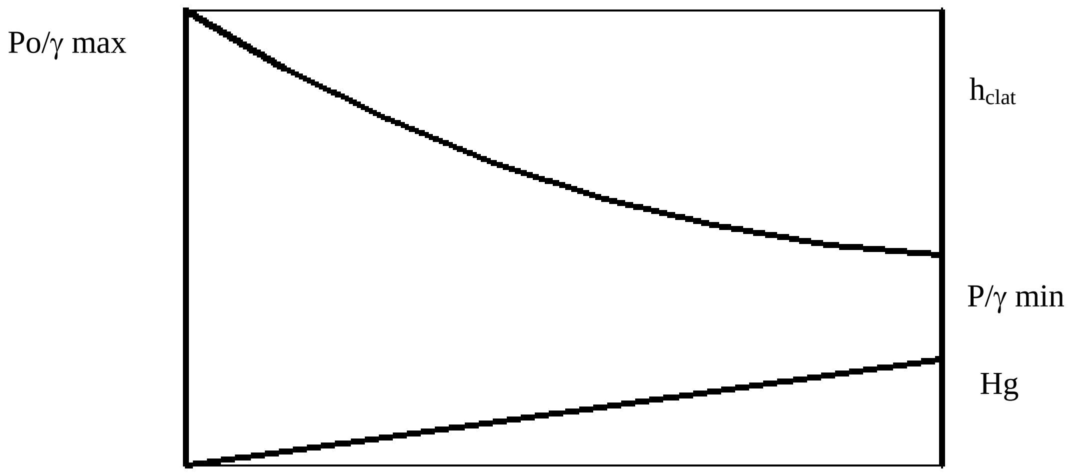
$$h = \frac{1}{1+m} \cdot (1+0{,}12) \cdot 0{,}00078 \cdot \frac{(n \cdot q)^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot (n \cdot Se) < 0{,}8835$$

$$h = \frac{1}{1+1{,}75} \cdot (1+0{,}12) \cdot 0{,}00078 \cdot \frac{n^{1,75} \cdot (5{,}55 \cdot 10^{-7})^{1,75}}{0{,}01^{4,75}} \cdot (n \cdot 1) < 0{,}8835$$

$$n < 60{,}9$$

$$L < n \cdot Se < 60 \cdot 1 = 60 m$$

2) Máxima longitud en terreno ascendente con pendiente 1%



$$P_{max} - P_{min} = Hg + hc_{lat} < 0{,}8835$$

hc = F·α·J`L<0,8835, siendo F

$$F = \frac{1}{1+m} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{m-1}}{6 \cdot n^2}$$

$$\frac{1}{1+m} \cdot \alpha \cdot J` \cdot L + Hg$$

$$\frac{1}{1+m} \cdot (1+0{,}12) \cdot 0{,}00078 \cdot \frac{Q^{1{,}75}}{D^{4{,}75}} \cdot L + Hg < 0{,}8835$$

$$\frac{1}{1+m} \cdot (1+0{,}12) \cdot 0{,}00078 \cdot \frac{(n \cdot q)^{1{,}75}}{D^{4{,}75}} \cdot (n \cdot Se) + (n \cdot Se/100) \cdot < 0{,}8835$$

$$\frac{1}{1+1{,}75} \cdot (1+0{,}12) \cdot 0{,}00078 \cdot \frac{n^{1{,}75} \cdot (5{,}55 \cdot 10^{-7})^{1{,}75}}{0{,}01^{4{,}75}} \cdot (n \cdot 1) + (n \cdot 1/100) < 0{,}8835$$

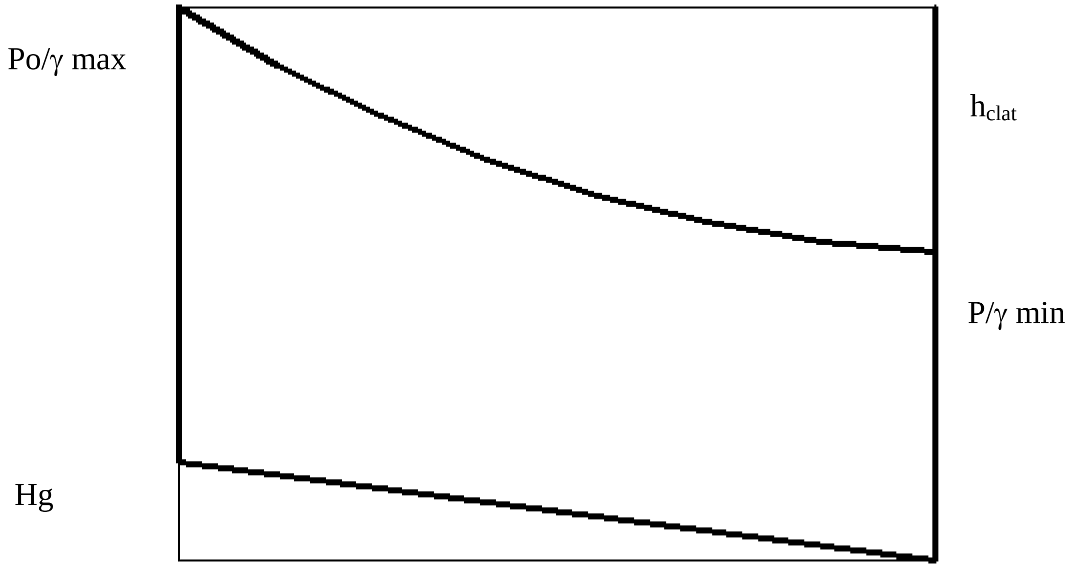
Como tenemos dos n elevados a exponentes diferentes, no podemos realizar la operación y tenemos que probar con diferentes n hasta que se cumpla el criterio.

Si n = 50 $\quad 1{,}03 \nless 0{,}8835$

Si n = 45 $\quad 0{,}847 < 0{,}8835$

Si n = 46 $\quad$ L = 46m

3) Máxima longitud en terreno descendiente con pendiente 1%



$$P_{max} - P_{min} = hc_{lat} - Hg \quad < 0{,}8835$$

$$hc = F \cdot \alpha \cdot J` L < 0{,}8835, \text{ siendo } F$$

$$F = \frac{1}{1+m} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{m-1}}{6 \cdot n^2}$$

$$\frac{1}{1+m} \cdot \alpha \cdot J` \cdot L - Hg$$

$$\frac{1}{1+m} \cdot (1+0{,}12) \cdot 0{,}00078 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot L - Hg < 0{,}8835$$

$$\frac{1}{1+m} \cdot (1+0{,}12) \cdot 0{,}00078 \cdot \frac{(n \cdot q)^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot (n \cdot Se) - (n \cdot Se/100) \cdot < 0{,}8835$$

$$\frac{1}{1+1{,}75} \cdot (1+0{,}12) \cdot 0{,}00078 \cdot \frac{n^{1,75} \cdot (5{,}55 \cdot 10^{-7})^{1,75}}{0{,}01^{4,75}} \cdot (n \cdot 1) - (n \cdot 1/100) < 0{,}8835$$

Como tenemos dos n elevados a exponentes diferentes, no podemos realizar la operación y tenemos que probar con diferentes valores de n hasta que se cumpla el criterio.

Si $n = 70$ $\quad 0{,}64<0{,}8835$

Si $n = 75$ $\quad 0{,}87<0{,}8835$; $L = 75\cdot 1=75$m

Si $n = 76$ $\quad 0{,}92\not<0{,}8835$