

PROBLEMAS DE PÉRDIDA DE CARGA. TIPO I

(Ver Franzini pág. 178)

Circula un fluido a un caudal de $Q = 0.125 \text{ m}^3/\text{s}$, con viscosidad cinemática de $\nu = 1.13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a través de una tubería 30 cm de diámetro y 300 m de longitud de acero cuya rugosidad absoluta es de $K = 0.003 \text{ m}$. Determinar la pérdida de carga.

Datos:

$$Q = 0.125 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\nu = 1.130\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$L = 300 \text{ m}$$

$$D = 0.3 \text{ m}$$

$$K = 0.003 \text{ m}$$

Determinar: Pérdidas de carga

Resolución:

Según la ecuación de continuidad:

$$V = 4 Q / \pi D^2$$

$$V = 1.77 \text{ m/s}$$

Para utilizar el **Diagrama de Moody**:

$$Re = V D / \nu$$

$$Re = 4.70E+05$$

$$K/D = 0.010$$

$$f = 0.0381$$

Por la ecuación de D-W:

$$h_f = f L/D V^2 / 2g$$

$$h_f = 6.085 \text{ m}$$

PROBLEMAS DE DESCARGA (Q O V). TIPO II

Un aceite de viscosidad cinemática $\nu = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ fluye a través de un tubo de hierro de $K = 0.00025 \text{ m}$, con una pérdida de carga de 46.6 m en un total de 400 m . Determinar el caudal si el diámetro de la tubería es de 0.20 m

Datos:

$$\nu = 1.0\text{E}-05 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$h_f = 46.6 \text{ m}$$

$$L = 400 \text{ m}$$

$$K = 0.00025 \text{ m}$$

$$D = 0.2 \text{ m}$$

Determinar : Q

Resolución:

Por la ecuación de continuidad

$$Q = \pi D^2 / 4 * V$$

$$Q = 0.0314 \text{ V}$$

Por D-W:

$$hf = f L/D V^2 / 2g$$

$$46.6 = f 400/0.2 V^2 / 2 9.81$$

$$V^2 = 0.457146 / f$$

$$V = \frac{0.6761}{f^{0.5}}$$

Rugosidad relativa:

$$K/D = 0.00125$$

asumiendo :

$$f = 0.02$$

$$V = 4.78 \text{ m/s}$$

Calculando el Re:

$$Re = V D / \nu$$

$$Re = 9.6E+04$$

$$K/D = 0.00125 \quad f = 0.0230$$

Recalculando el Re

$$V = 4.46 \text{ m/s}$$

$$Re = 8.9E+04$$

$$K/D = 0.00125 \quad f = 0.0234$$

Valor similar al anterior, por lo que el caudal será

$$Q = A V = 0.140 \text{ m}^3/\text{s}$$

PROBLEMAS DE TAMAÑO (DIMENSIONAMIENTO). TIPO III

Dos depósitos separados a 5 m de elevación uno respecto al otro están conectados por una tubería de 300 m de longitud de acero comercial de $K = 0.046$ mm. Qué diámetro debería tener para transportar 50 l/s de alcohol de viscosidad cinemática $\nu = 1.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Datos.

$$\nu = 1.10\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$L = 300 \text{ m}$$

$$K = 0.000046 \text{ m} \quad 0.000046$$

$$Q = 0.05 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_f = ?$$

$$D = ?$$

Determinar: D

Resolución:

Por Bernoulli entre 1 y 2:

$$P_1/\gamma + V_1^2/2g + Z_1 = P_2/\gamma + V_2^2/2g + Z_2$$

Si los depósitos están abiertos a la atmósfera y despreciando la diferencia de energía cinética

$$h_f = Z_1 - Z_2 = 5 \quad \text{m}$$

Aplicando D-W:

$$H_f = 8 f L Q^2 / \pi^2 g D^5 \quad V \text{ en función del Diámetro}$$

$$5 = 8 f \cdot 300 \cdot 0.0502^2 / \pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^5$$

$$80.60223 \cdot 0.012406605$$

$$D^5 = 0.0124 \cdot f$$

Suponiendo :

$$f = 0.02$$

$$D = 0.19 \quad \text{m}$$

Por la ecuación de continuidad:

$$V = 4 Q / \pi D^2$$

$$V = 1.76 \quad \text{m/s}$$

Verificando el f asumido:

$$Re = V D / \nu = 3,05E+05$$

$$K/D = 0,000242$$

Adopto tubería lisa:

$$f = 0,0143$$

Recalculando el D con el f obtenido:

diferente al $f = 0.02$ asumido

$$D = 0,178 \text{ m}$$

$$V = 2,02 \text{ m/s}$$

$$Re = 3,26E+05$$

$$K/D = 0,00026$$

$$f = 0,0141$$

$$e\% = 1,4\% \text{ menor al } 2\%$$

Con lo que se obtiene un diámetro de 17.8 cm

| |
|-----------------------|
| $D = 0,178 \text{ m}$ |
|-----------------------|

CONDUCTOS CERRADOS SOMETIDOS A PRESIÓN INTERNA

REGIMEN LAMINAR

Del punto 1 al 2 está fluyendo un fuel-oil pesado a través de una tubería de acero horizontal de 900 m de longitud y 15 cm de diámetro. La presión en 1 es de 11.0 kg/cm² y en 2 de 0.35 kg/cm². La viscosidad cinemática es de $4.13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ y la densidad relativa 0.918. Cuál es el caudal en l/s?

Tipo II Calcular el Caudal

Datos:

Tubería: Acero, horizontal

$$D = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$L = 900 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_1 = 11 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_2 = 0.35 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\nu = 0.000413 \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$\rho_{\text{rel}} = 0.918$$

$$Q = ? \text{ l/s}$$

$$P_1^2/\gamma + V_1^2/2g + Z_1 - \Delta h = P_2^2/\gamma + V_1^2/2g + Z_2$$

$$\Delta h = f L/D \quad V^2/2g \quad \Delta p/\gamma$$

$$116.013 = 6000 f V^2/2g$$

V y f son incógnitas

Si se supone flujo laminar, de Hagen-Poiseuille:

$$V_m = (P_1 - P_2) D^2 / 32 \mu L = 2.15 \text{ m/s}$$

$$Re = 782$$

Se confirma régimen laminar por lo que se puede utilizar la ecuación de Hagen-Poiseuille

$$Q = 0.038 \text{ m}^3/\text{s} = 38.02 \text{ l/s}$$

En la siguiente instalación, de acero comercial, de diámetro 4 pulgadas se desea determinar el caudal de agua que descarga, cuando la válvula se encuentra totalmente abierta

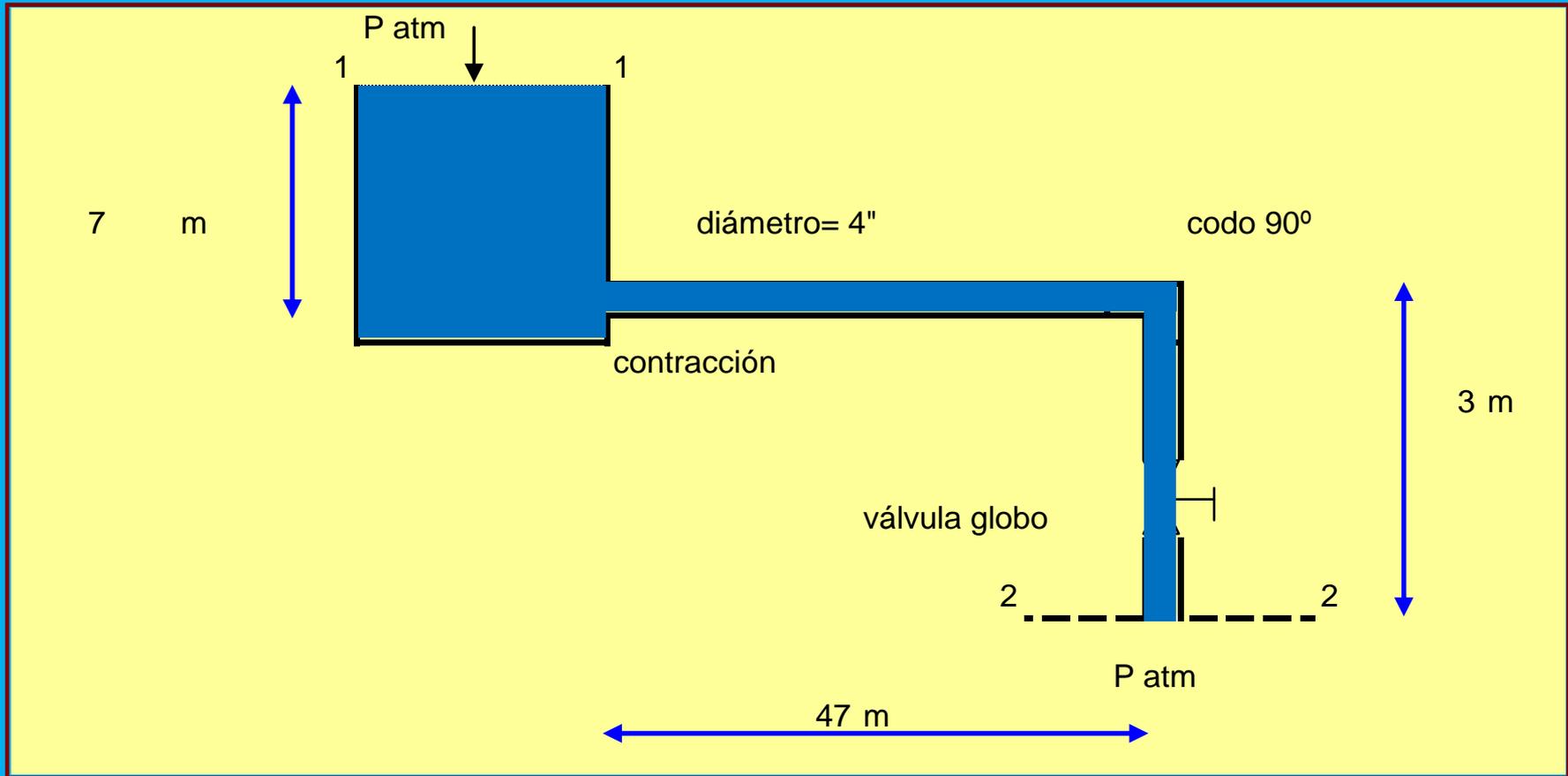
Tipo II.

CALCULAR EL CAUDAL

Canal de descarga:
Conocidos D , h_p , g
 L , k , μ . Hallar Q O V

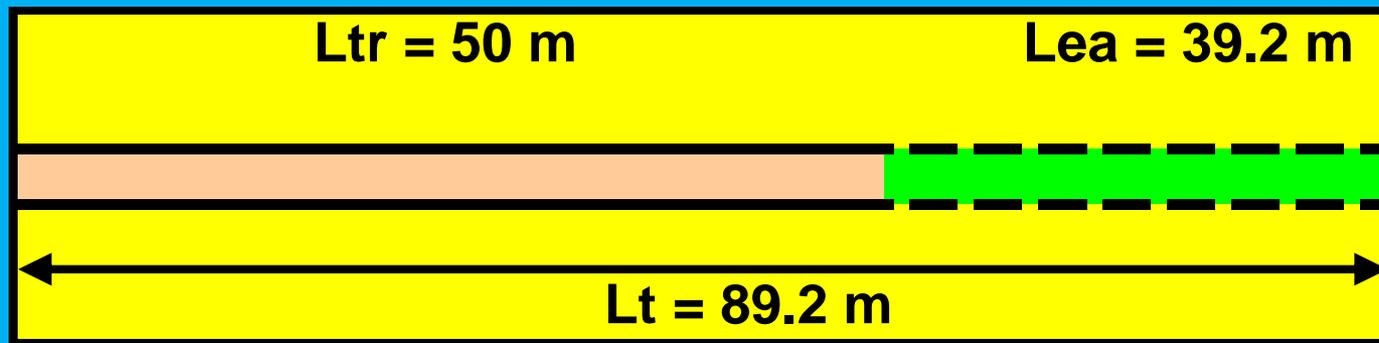
Régimen permanente,
con relleno, o recipiente
muy grande

$T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\nu = 1.007\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$



Longitud equivalente y total:

| | | |
|----------------------|-------------|---|
| Codo a 90° | 3.4 | m |
| VG | 34 | m |
| contracción | 1.8 | m |
| L equiv. accesorios: | <u>39.2</u> | m |
| Long. tramo recto: | 50 | m |
| Long. total: | 89.2 | m |



MÉTODO ITERATIVO USANDO EL DIAGRAMA DE MOODY

MÉTODO GRÁFICO USANDO EL DIAGRAMA DE MOODY

MÉTODO ITERATIVO USANDO LA ECUACIÓN DE COLEBROOK & WHITE

METODO ITERATIVO

1) Aplicando la ec. de Bernoulli entre 1 y 2 :

$$P_1/\gamma + Z_1 + V_1^2/2g = P_2/\gamma + Z_2 + V_2^2/2g$$

$$P_1 = P_2 = P_{atm} \quad \Delta E_c = 0$$

Se simplifica considerando que la variación de energía cinética es despreciable frente a la de posición. Luego, una vez conocidas las velocidades se puede establecer el error relativo.

$$Z_1 - Z_2 = HL_{12} = 10 \text{ m}$$

2) Se busca resolver mediante una velocidad media para calcular el caudal:

Por Darcy- Weisbach:

$$HL_{12} = f L/D V^2/ 2g = 10 \text{ m}$$

Despejando V:

$$V = (0.2248 / f)^{1/2}$$

V y f : incógnitas

0.2232

0.1016

Método iterativo:

Se busca satisfacer las ecuaciones del Diagrama de Moody (Colebrook-White) y la de Darcy-Weisbach, simultáneamente, hasta converger a un valor con un error aceptable:

Incógnitas: f y V . Adopto un f mínimo, que según el Diagrama de Moody caiga en régimen turbulento, con lo que se hace independiente de Re :

Adopto $f_1 = 0.025$ régimen turbulento

$$V_1 = 2.99 \text{ m/s}$$

Cálculo del Re :

$$Re_1 = 2.99 \cdot 1016 / 1.007 \cdot 10^{-6}$$

$$Re_1 = 3.015E+05$$

Del Diagrama de Moody, para acero comercial:

$$K/D = 0.00045$$

se obtiene f_2 :

$$f_2 = 0.0184$$

adoptado para iteración.

$$V_2 = 3.48 \text{ m/s}$$

recalculando el Re :

$$Re_2 = 3.514E+05$$

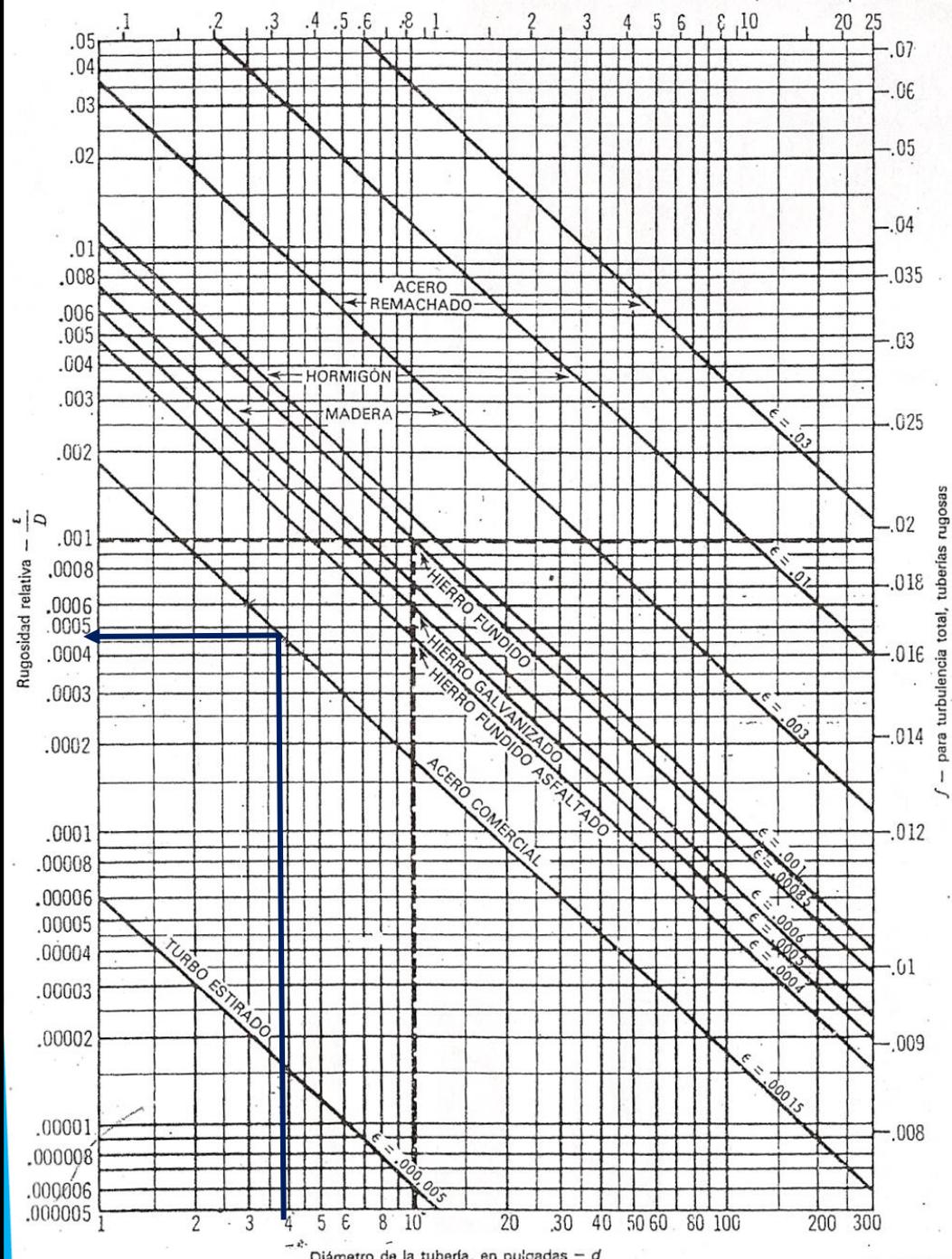
$$K/D = 0.00045$$

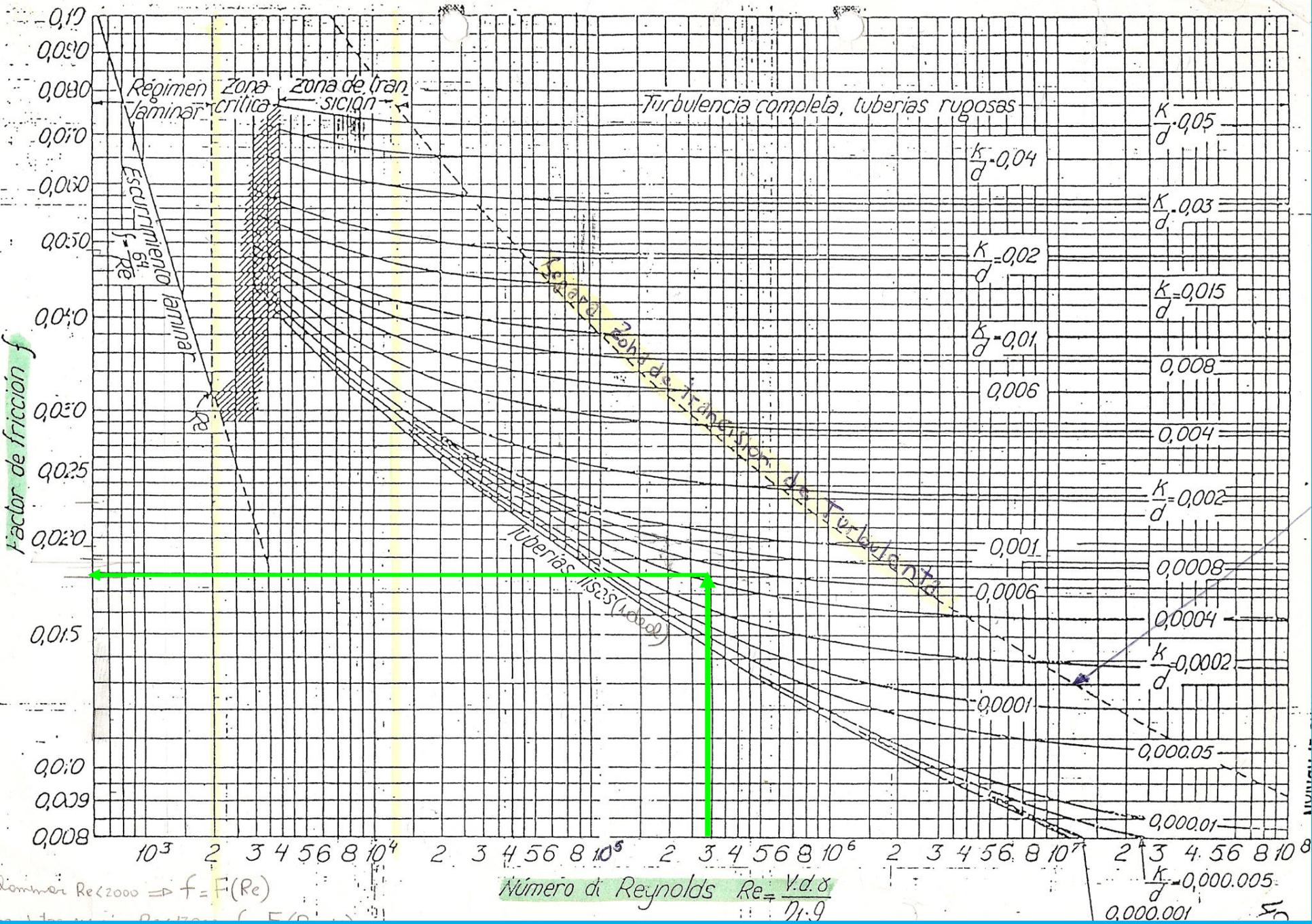
se obtiene f_3 :

$$f_3 = 0.0181$$

que se considera aproximadamente igual a f_2 , obteniéndose una velocidad final de:

$$V_3 = 3.51 \text{ m/s}$$





Cálculo del caudal:

3.14

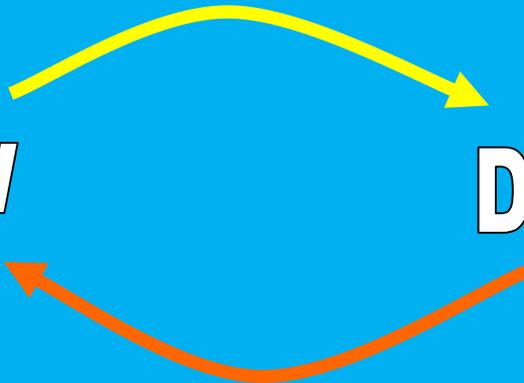
$$Q = A * V$$

$$Q = 0.02846 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 1708 \text{ L/min}$$

Ec de D-W

D. de Moody(ec de C-W)



Método Gráfico

Parte de la siguiente identidad:

$$f = f^* \frac{Re^2}{Re^2}$$

$$f = (Re * f^{1/2})^2 / Re^2$$

$$f = h D^2 g / Lt V^2 \quad \text{por ec. de D-W}$$

$$Re * f^{1/2} = \frac{V D \rho}{\mu} * (h D^2 g / Lt V^2)^{1/2}$$

Simplificando la velocidad, el resto son datos:

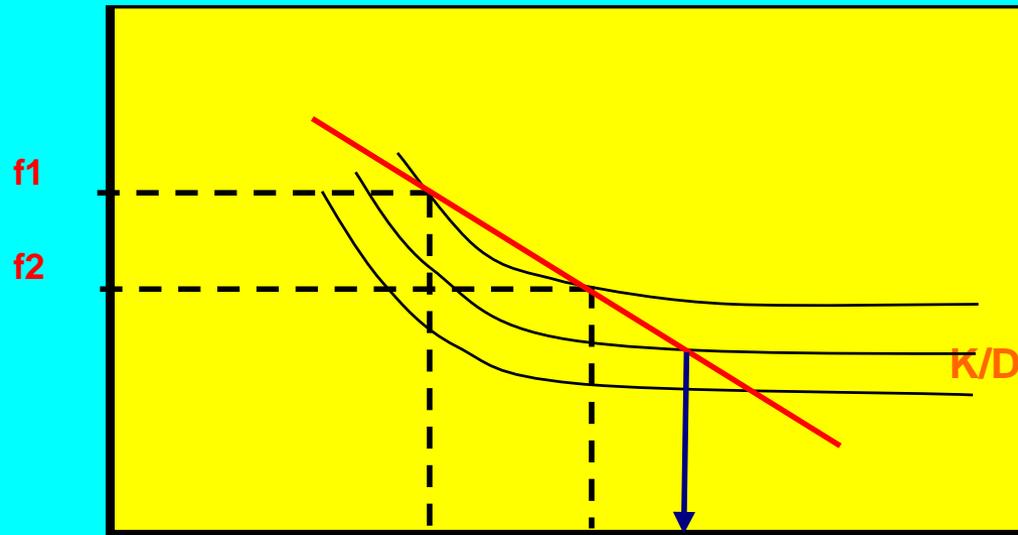
$$f = \text{Cte} / \text{Re}^2$$

que es la ecuación de una recta de pendiente negativa en un gráfico doble logarítmico como el de Moody

Si aplicara logaritmos:

$$\ln f = \ln \text{cte} - 2 \ln \text{Re}$$

$$\text{pendiente} = -2$$



Re1 Re2

$$\text{Re} = V D \rho / \mu$$

Con Re para mi K/D calculo la velocidad y el caudal
Error al despreciar el término de velocidad:

$$e = \frac{V^2 / 2g}{V^2 / 2g + Z} * 100$$

$$V = 3,42 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,02771 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 1662,78 \text{ L/min}$$

METODO ITERATIVO USANDO LA ECUACION DE COLEBROOK Y WHITE

$$1 / f^{1/2} = -2 \log (k/r / 7.4 + 2.51 / \text{Re} f^{1/2})$$

$$H_{L1-2} * D * 2 * g / L_t = 0.2232$$

$$D = 0.1016 \text{ m}$$

$$10 = f L/D V^2 / 2g \text{ m}$$

$$\nu = 1.007E-06 \text{ m}^2 / \text{s}$$

Valores:
 f = ?
 r=D/2
 k/r =2k/D

7.4
 2.51
 -2

| | f | Calcular V | Calcular Re V D / ν |
|------------|-----------|---------------|---------------------------|
| Asumir f = | 0.0250000 | 2.99 | 301,500 |
| Obtener = | 0.0179159 | 3.53 | 356,153 |
| Obtener = | 0.0177067 | 3.55 | 358,251 |

RESOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DE COLEBROOK & WHITE POR MÉTODOS ITERATIVOS

| K/D=0.00045 | | Re | $-2\log(k/r/7.4+2.51/Re f^{1/2})$ | $k/r / 7.4$ | $2.51/ Re f^{1/2}$ | $(k/r/7.4+2.51/ Re f^{1/2})$ | | $1/f^{1/2}$ | f1 |
|-------------|--------|----------|-----------------------------------|-------------|--------------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|
| 0.00045 | 0.0009 | 301,500 | 7.471222499 | 0.000121622 | 6.21967E-05 | 0.00018382 | -3.735611249 | 7.471024863 | 0.017915942 |
| 0.00045 | 0.0009 | 356,153 | 7.515990865 | 0.000121622 | 5.29624E-05 | 0.00017458 | -3.757995433 | 7.515035928 | 0.017706710 |
| 0.00045 | 0.0009 | 3561532 | 7.791622677 | 0.000121622 | 5.491E-06 | 0.00012711 | -3.895811338 | 7.79137797 | 0.016472953 |
| 0.00045 | 0.0009 | 35615323 | 7.826048365 | 0.000121622 | 5.51541E-07 | 0.00012217 | -3.913024182 | 7.826024895 | 0.016327419 |
| 0.00045 | 0.0009 | 3.56E+08 | 7.829584426 | 0.000121622 | 5.51805E-08 | 0.00012168 | -3.914792213 | 7.829767198 | 0.016311816 |
| 0.00045 | 0.0009 | 3.56E+09 | 7.829939012 | 0.000121622 | 5.51824E-09 | 0.00012163 | -3.914969506 | 7.830032269 | 0.016310711 |
| 0.00045 | 0.0009 | 3.56E+10 | 7.82997448 | 0.000121622 | 5.51826E-10 | 0.00012162 | -3.91498724 | 7.830058746 | 0.016310601 |
| 0.00045 | 0.0009 | 3.56E+11 | 7.829978026 | 0.000121622 | 5.51826E-11 | 0.00012162 | -3.914989013 | 7.830061393 | 0.016310590 |
| 0.00045 | 0.0009 | 3.56E+12 | 7.829978381 | 0.000121622 | 5.51826E-12 | 0.00012162 | -3.914989191 | 7.830061657 | 0.016310589 |

$$f = 0.0177067$$

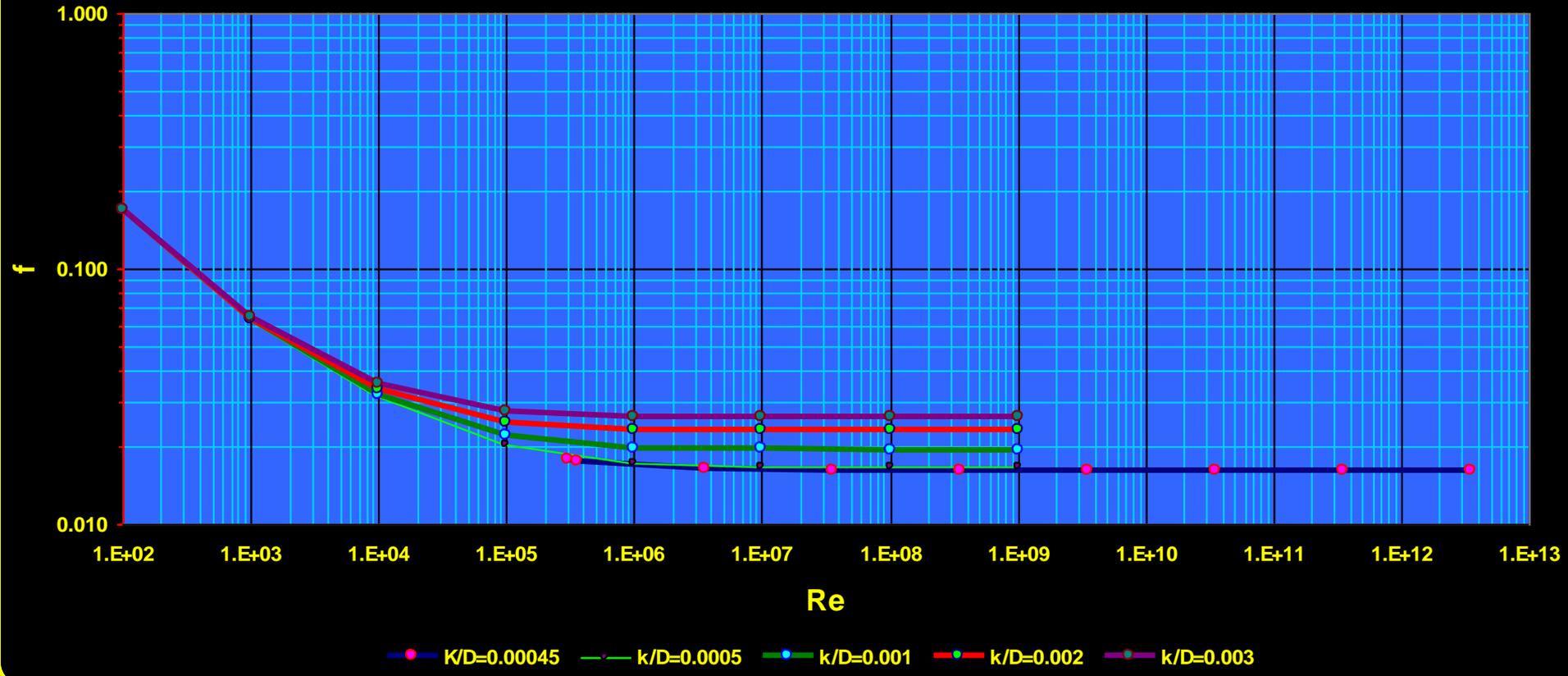
$$V = 3.55 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.02877 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 1,726 \text{ L/min}$$

Coincidente con los valores calculados por otros métodos

ECUACIÓN DE COLEBROOK - WHITE

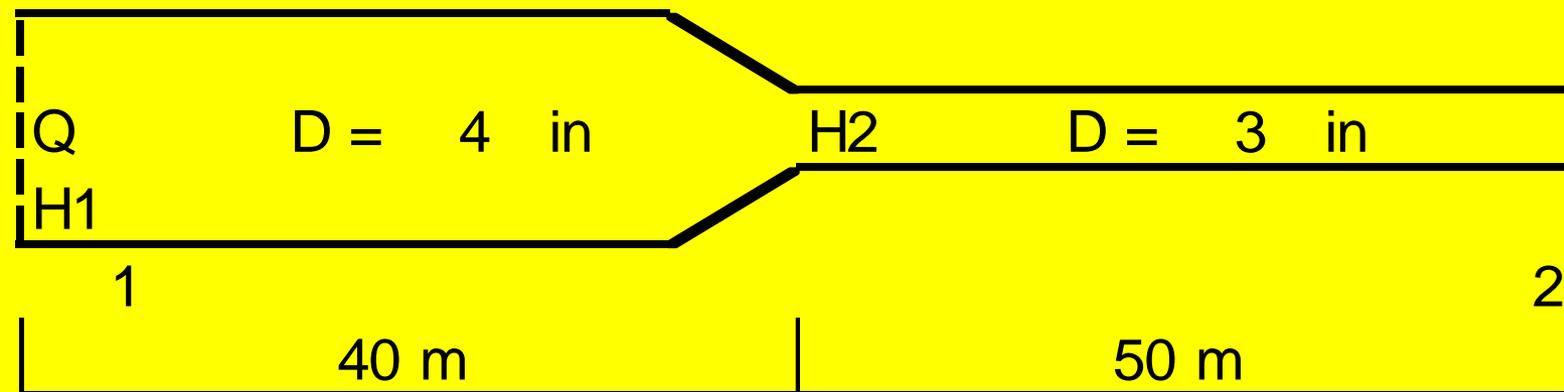


CAÑERÍAS EN SERIE

En una instalación en serie de acero comercial como la dibujada se desea saber el caudal que descarga.

$$P_1 = 5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_2 = 3 \text{ Kg/cm}^2$$



De

Le

Para cañerías en serie :

$$Q_1 = Q_2 = Q_i \dots = \text{Cte}$$

$$H = H_1 + H_2$$

$$H = f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g}$$

$$Q = A V$$

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

$$H = f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{16 Q^2}{\pi^2 D_1^4} \frac{1}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{16 Q^2}{\pi^2 D_2^4} \frac{1}{2g}$$

$$H = \frac{16 Q^2}{\pi^2 2g} (f_1 \frac{L_1}{D_1^5} + f_2 \frac{L_2}{D_2^5})$$

$$H = \frac{16 Q^2}{\pi^2 2g} (f_e \frac{L_e}{D_e^5})$$

$$f_e \frac{L_e}{D_e^5} = f_1 \frac{L_1}{D_1^5} + f_2 \frac{L_2}{D_2^5}$$

Se asume que los diámetros a colocar en serie no tendrán variaciones muy grandes entre sí, ya que en ese caso habría que realizar otro tipo de consideraciones. También, la unión entre las distintas cañerías debe ser de tipo "abocinado", sin bruscos cambios de sección.

Se considera que las velocidades son altas, originando valores de Re altos que corresponden a régimen turbulento, con lo que los factores de fricción se hacen independientes del Re y dependen sólo de K/D . Si los diámetros no varían mucho, para el mismo constructor de cañerías los "k" (rugosidad) son aproximadamente iguales también por lo que se puede asumir:

$$f_e = f_1 = f_2$$

$$L_e = De^5 (L_1/D_1^5 + L_2/D_2^5)$$

Se adopta un diámetro y se calcula la longitud equivalente, reduciendo el sistema a una sola cañería del mismo diámetro. Luego, se realizan los cálculos en forma convencional.

$$L_4 = L_3 (D_4 / D_3)^5$$

$$L_4 = 50 (4/3)^5 = 210,7 \text{ m}$$

$$L_t = L_4 + L_e = 250,7 \text{ m}$$

Por la ec de D-W

$$H_f = (P_1 - P_2) / \gamma = 20 \text{ m}$$

$$20 = f L/D V^2/2g \quad V = (20 * 2 g / f L_t D)^{1/2} \quad \boxed{A}$$

Adopto $f = 0,02$

$$V = \sqrt{H_f 2g D / f L}$$

$$V = 2,82 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 284.501$$

$$\text{K/D acero comercial} = 0,0005$$

$$f = 0,0185$$

aplicando de nuevo

A

$$V = 2,93 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 295810$$

$$\text{K/D acero comercial} = 0,0005$$

$$f = 0,0181$$

$$Q = A V \quad A = 0,0081 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,0238 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = 1425 \text{ L/min}$$

Una bomba centrífuga toma una salmuera desde el fondo de un tanque y la envía hacia el fondo de otro tanque. El nivel de salmuera en el tanque de descarga es de 61 m por arriba del tanque de suministro. La tubería que conecta los tanques es de 213.5 m y su diámetro de 0.154 m. El flujo de salmuera es de 1175 l/min.

En la tubería hay dos válvulas compuerta, cuatro T estandar utilizadas como codos y cuatro codos.

Cuánto costará operar la bomba 24 hs al día?

Datos:

$$\rho = 1180 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 1.2 \text{ Cp}$$

$$\text{Costo energía} = 40 \text{ \$/Kw-h}$$

$$Q = 1175 \text{ l/min} = 0.01958 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta h = 61 \text{ m}$$

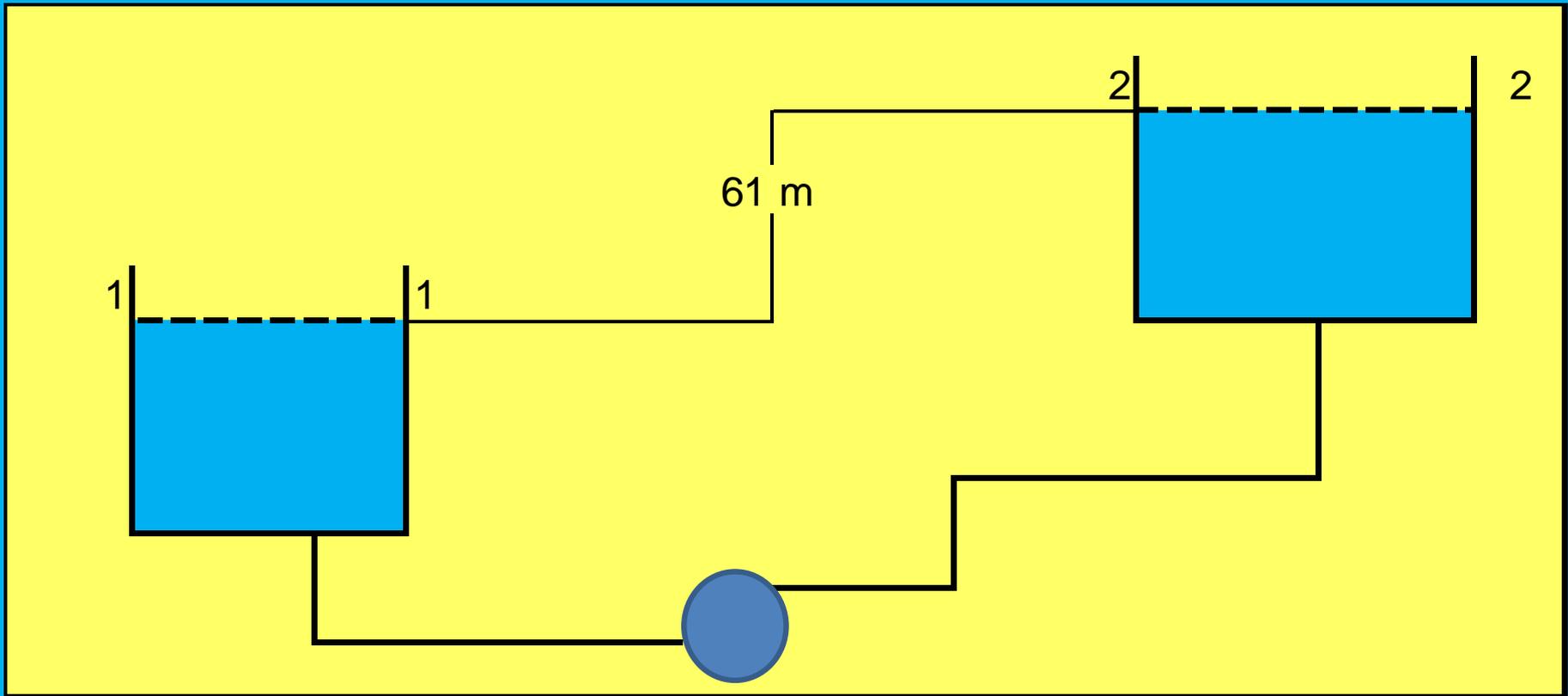
$$L = 213.5 \text{ m}$$

$$D = 0.154 \text{ m}$$

Por la ec. de continuidad

$$A = \pi D^2/4 = 0.01862 \text{ m}^2$$

$$V = Q/A = 1.0519 \text{ m/s}$$



$$Re = V D \rho / \mu \quad \text{TIPO I}$$

$$Re = 159,293$$

$$K/D = 0.0006 \quad f = 0.017$$

Longitud equivalente de accesorios:

| | |
|----------------------|-------------|
| Válvulas compuerta | 2 m |
| Te usadas como codos | 36 m |
| 4 codos | <u>20 m</u> |
| | 58 m |

Longitud de tramo recto: 213.5

Longitud total: 271.50

$$\Delta H = f L / D V^2 / 2g$$

$$\Delta H = 1.692 \quad \text{m}$$

Por Bernoulli:

$$P_{\text{atm}}/\gamma + Z_1 + V_1^2/2g + H_{\text{bba}} - \Delta h = P_{\text{atm}}/\gamma + Z_2 + V_2^2/2g$$

$$V_1 = V_2$$

$$Z_1 = 0$$

$$Z_2 = 61 \text{ m}$$

$$H_{bba} = 62.69 \text{ m}$$

$$N = \gamma Q H_{bba} \quad \text{rendimiento} = 1$$

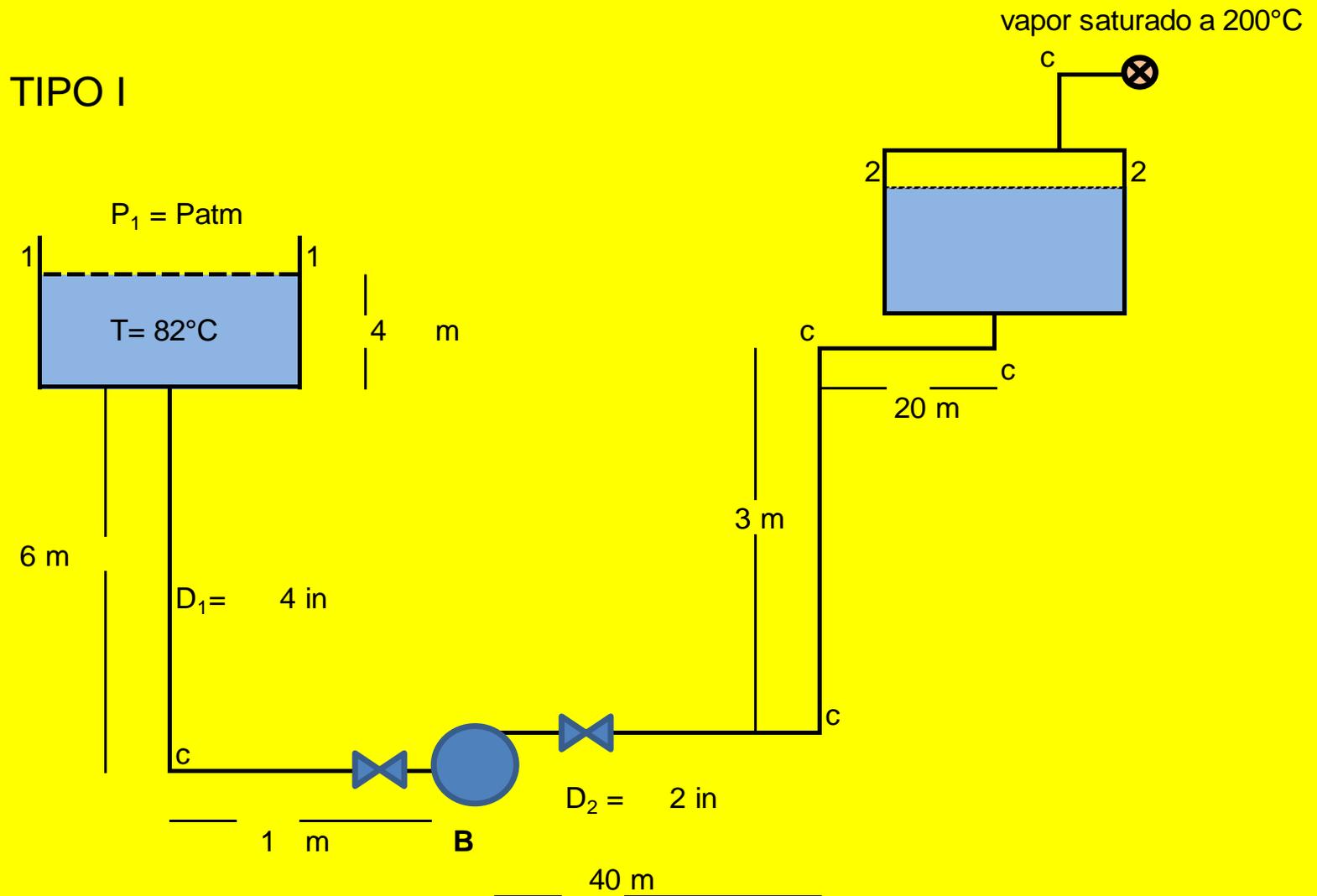
$$0.736 \text{ Kw} = 75 \text{ kgm/s}$$

$$N = 14.22 \text{ Kw}$$

| |
|--------------------------|
| Costo = 13,648 \$ |
|--------------------------|

Para abastecer de agua a una caldera se trae agua desde un tanque elevado. El agua está a 82°C y se bombea a razón de 380 litros/min. La tubería es de acero comercial (Norma ASTM A-53 Sch 40). La temperatura de salida del vapor de la caldera es de 200°C y está saturado.

La eficiencia de la bomba es de 85% .
Cuál debe ser la potencia de la bomba?



Tubos ASTM - A 53 de acero comercial Schedule 40

| Diámetro nominal | Diámetro ext. mm | Sch 40 mm | Diámetro int. mm | Diámetro int.m |
|------------------|------------------|-----------|------------------|----------------|
| 4 in | 114.3 | 6.02 | 102.26 | 0.1023 |
| 2 in | 60.3 | 3.91 | 52.48 | 0.0525 |

Planteando Bernoulli entre 1 y 2 y despreciando la diferencia de energía cinética:

$$P_1/\gamma + Z_1 + H_B - H_t = P_2/\gamma + Z_2$$

$$H_t = H_{1-B} + H_{B-2}$$

Pérdidas en accesorios:

| | | | | | |
|---|-----|-----|--------|--------|-------|
| 1 válvula compuerta completamente abierta de 4 in | 0.7 | m | | | |
| 1 codo a 90° radio corto de 4 in | 3.4 | m | Lea1 = | 4.1 | m |
| 1 válvula compuerta completamente abierta de 2 in | 0.4 | m | | | |
| 4 codos a 90° radio corto de 2 in | 1.7 | 6.8 | m | Lea2 = | 7.2 m |

Presiones:

$$P_1 = P_{atm} = 1 \text{ Kg/cm}^2 = 10,000 \text{ Kg/m}^2$$

De tabla de vapor saturado para 200°C

$$P_2 = 15.85 \text{ Kg/cm}^2 = 158,500 \text{ Kg/m}^2$$

De tabla de vapor saturado para 200°C

Pesos específicos

$$v_2 = 0.1262 \text{ m}^3/\text{Kg} \quad \text{volumen específico}$$

$$\rho_2 = 1/v_2 = 7.924 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma_2 = 7.924 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ Kg}_f / 9.8 \text{ N} = \mathbf{7.924 \text{ Kg}_f/\text{m}^3}$$

De Apéndice II Densidad del agua V-Barderas para 82°C:

$$\rho_1 = 0.96971 \text{ Kg/l}$$

$$\gamma_1 = 0.96971 \text{ Kg/l} \cdot 1000 \text{ l/m}^3 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ Kg}_f / 9.8 \text{ N} = \mathbf{969.71 \text{ Kg}_f/\text{m}^3}$$

Alturas:

$$Z_1 = 10 \text{ m}$$

$$Z_2 = 3 \text{ m}$$

$$\Delta z = 7 \text{ m}$$

Pérdidas por fricción:

$$H_{1-B} = f_1 L_{1B} / D_1 V_1^2 / 2g$$

$$Q = 380 \text{ l/min} = 0.00633 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \pi D^2/4 = 0.00821 \text{ m}^2$$

$$V_1 = Q/A = 0.772 \text{ m/s}$$

de Tabla 16 (pág. 677 V.Barderas):

$$\mu_{\text{agua } 82^\circ\text{C}} = 0.3478 \text{ cp (g/cm s)}$$

$$\mu = 0.3478 / 100 \text{ g/cm s} \cdot 1\text{Kg}/1000\text{g} \cdot 100 \text{ cm/m} = 0.000348 \text{ Kg/m s}$$

$$\nu = \mu / \rho_1$$

$$\nu = 0.000348 / 969.71 \text{ (Kg/m s) (Kg/m}^3\text{)} = 3.6\text{E-}07 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Re1} = 219,973$$

Del Diagrama Auxiliar de Moody:

Para acero comercial de $D = 102.26 \text{ mm}$:

$$\mathbf{K/D = 0.00041}$$

Del Diagrama de Moody:

$$f = 0.0181$$

$$\text{Ltr1} = 4 + 6 + 1 = 11 \text{ m} \quad \text{Lt1} = \text{Lea} + \text{Ltr} : 15.1 \text{ m}$$

$$H_{1B} = f_1 L_1/D_1 V_1^2 / 2g = 0.08 \text{ m}$$

Pérdidas en el tramo B-2

$$V_2 = 2.93 \text{ m/s}$$

$$\text{Re2} = 428,629$$

Del Diagrama Auxiliar de Moody

$$k/D = 0.0009$$

Del Diagrama de Moody:

$$f_2 = 0.0195$$

$$\text{Lt2} = \text{Lea2} + \text{Ltr2} = 70.2 \text{ m}$$

$$H_{B2} = f_2 L_2/D_2 V_2^2 / 2g = 11.42 \text{ m}$$

$$P_1/\gamma + Z_1 + H_B - H_t = P_2/\gamma + Z_2$$

$$H_t = H_{1B} + H_{B2} = 11.5013 \text{ m}$$

$$H_B = (P_2/\gamma_1 - P_1/\gamma_1) + (Z_2 - Z_1) + H_t = 171.64 \text{ m}$$

$$\eta = 0.85$$

$$N = \gamma (\text{Kgf/m}^3) Q (\text{m}^3/\text{s}) H_B (\text{m}) / 75 \eta = 16.54 \text{ CV}$$

$$16.31 \text{ HP}$$

$$N = \Delta p Q / \eta = 14.75 \text{ CV}$$

$$14.55 \text{ HP}$$

Del punto 1 al 2 está fluyendo un fuel-oil pesado a través de una tubería de acero horizontal de 900 m de longitud y 15 cm de diámetro. La presión en 1 es de 11.0 kg/cm² y en 2 de 0.35 kg/cm². La viscosidad cinemática es de $4.13 \cdot 10^{-4}$ m²/s y la densidad relativa 0.918. Cuál es el caudal en l/s?

Datos:

Tubería: Acero, horizontal

$$D = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$L = 900 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_1 = 11 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_2 = 0.35 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\nu = 0.000413 \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$\rho_{\text{rel}} = 0.918$$

$$Q = ? \text{ l/s}$$

$$P_1^2/\gamma + V_1^2/2g + Z_1 - \Delta h = P_2^2/\gamma + V_1^2/2g + Z_2$$

$$\Delta h = f L/D \quad V^2/2g$$

$$116.013 = 6000 f V^2/2g$$

V y f son incógnitas

Si se supone flujo laminar, de Hagen-Poiseuille:

$$V_m = (P_1 - P_2) D^2 / 32 \mu L = 2.15 \text{ m/s}$$

$$Re = 782$$

Se confirma régimen laminar por lo que se puede utilizar la ecuación de Hagen-Poiseuille

$$Q = 0.038 \text{ m}^3/\text{s} = 38.02 \text{ l/s}$$

TABLA DE VAPOR SATURADO

| ata P | Grados C t _i | Entalpia del vapor Cal i | Entalpia del agua Cal i | Color latente de vaporización Cal r | m ³ /kg. v _i volumen |
|----------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|--|
| 0,05 | 32,55 | 611,5 | 32,55 | 578,9 | 28,73 |
| 0,075 | 39,95 | 614,7 | 39,93 | 574,8 | 19,60 |
| 0,10 | 45,45 | 617,0 | 45,41 | 571,6 | 14,95 |
| 0,15 | 53,60 | 620,5 | 53,54 | 567,0 | 10,21 |
| 0,20 | 59,67 | 623,1 | 59,61 | 563,5 | 7,795 |
| 0,25 | 64,56 | 625,1 | 64,49 | 560,6 | 6,322 |
| 0,30 | 68,68 | 626,8 | 68,61 | 558,2 | 5,328 |
| 0,40 | 75,42 | 629,5 | 75,36 | 554,1 | 4,069 |
| 0,50 | 80,86 | 631,6 | 80,81 | 550,8 | 3,301 |
| 1,00 | 99,09 | 638,5 | 99,12 | 539,4 | 1,725 |
| 2 | 119,62 | 645,8 | 119,87 | 525,9 | 0,9016 |
| 3 | 132,88 | 650,3 | 133,4 | 516,9 | 0,6166 |
| 4 | 142,92 | 653,4 | 143,6 | 509,8 | 0,4706 |
| 5 | 151,11 | 655,8 | 152,1 | 503,7 | 0,3816 |
| 6 | 158,08 | 657,8 | 159,3 | 498,5 | 0,3213 |
| 7 | 164,17 | 659,4 | 165,6 | 493,8 | 0,2778 |
| 8 | 169,61 | 660,8 | 171,3 | 489,5 | 0,2448 |
| 9 | 174,53 | 662,0 | 176,4 | 485,6 | 0,2189 |
| 10 | 179,04 | 663,0 | 181,2 | 481,8 | 0,1981 |
| 11 | 183,20 | 663,9 | 185,6 | 478,3 | 0,1808 |
| 12 | 187,08 | 664,7 | 189,7 | 475,0 | 0,1664 |
| 13 | 190,71 | 665,4 | 193,5 | 471,9 | 0,1541 |
| 14 | 194,13 | 666,0 | 197,1 | 468,9 | 0,1435 |
| 15 | 197,36 | 666,6 | 200,6 | 466,0 | 0,1343 |
| 16 | 200,43 | 667,1 | 203,9 | 463,2 | 0,1262 |
| 17 | 203,35 | 667,5 | 207,1 | 460,4 | 0,1190 |
| 18 | 206,14 | 667,9 | 210,1 | 457,8 | 0,1126 |
| 19 | 208,81 | 668,2 | 213,0 | 455,2 | 0,1068 |
| 20 | 211,38 | 668,5 | 215,8 | 452,7 | 0,1016 |
| 22 | 216,23 | 668,9 | 221,2 | 447,7 | 0,0925 |
| 24 | 220,75 | 669,3 | 226,1 | 443,2 | 0,0849 |
| 25 | 222,9 | 669,4 | 228,5 | 440,9 | 0,0816 |
| 26 | 224,99 | 669,5 | 230,8 | 438,7 | 0,0785 |
| 28 | 228,98 | 669,6 | 235,2 | 434,4 | 0,0729 |
| 30 | 232,76 | 669,7 | 239,5 | 430,2 | 0,068 |
| 32 | 236,35 | 669,7 | 243,6 | 426,1 | 0,0638 |
| 34 | 239,77 | 669,6 | 247,5 | 422,1 | 0,06 |
| 36 | 243,04 | 669,5 | 251,2 | 418,3 | 0,0566 |
| 38 | 246,17 | 669,3 | 254,9 | 414,5 | 0,0535 |
| 40 | 249,18 | 669,0 | 258,2 | 410,8 | 0,0508 |
| 42 | 252,07 | 668,8 | 261,6 | 407,2 | 0,0483 |
| 44 | 254,87 | 668,4 | 264,9 | 403,5 | 0,0460 |
| 46 | 257,56 | 668,0 | 268,0 | 400,0 | 0,0439 |
| 48 | 260,17 | 667,7 | 271,2 | 396,5 | 0,0420 |
| 50 | 262,7 | 667,3 | 274,2 | 393,1 | 0,0402 |
| 55 | 268,69 | 666,2 | 281,4 | 384,8 | 0,0364 |
| 60 | 274,29 | 665,0 | 288,4 | 376,6 | 0,0331 |
| 65 | 278,51 | 663,9 | 293,5 | 370,4 | 0,0309 |
| 70 | 284,48 | 662,1 | 300,9 | 361,2 | 0,0280 |
| 80 | 293,62 | 658,9 | 312,6 | 346,3 | 0,0240 |
| 90 | 301,92 | 655,1 | 323,6 | 331,5 | 0,0210 |
| 100 | 309,53 | 651,1 | 334,0 | 317,1 | 0,0185 |
| 110 | 316,58 | 646,7 | 344,0 | 302,7 | 0,0164 |
| 125 | 316,26 | 639,3 | 358,5 | 280,8 | 0,0138 |
| 140 | 335,09 | 631,0 | 372,4 | 258,6 | 0,0118 |
| 160 | 345,74 | 618,3 | 390,8 | 227,5 | 0,0096 |
| 180 | 355,35 | 602,5 | 410,2 | 192,3 | 0,0078 |
| 200 | 364,08 | 582,3 | 431,5 | 150,8 | 0,0062 |
| 220 | 372,1 | 547 | 463,4 | 84 | 0,0045 |
| 224 | 373,6 | 532 | 478,0 | 54 | 0,0039 |
| 227 | 374,6 | 500 | 500 | — | 0,0032 |

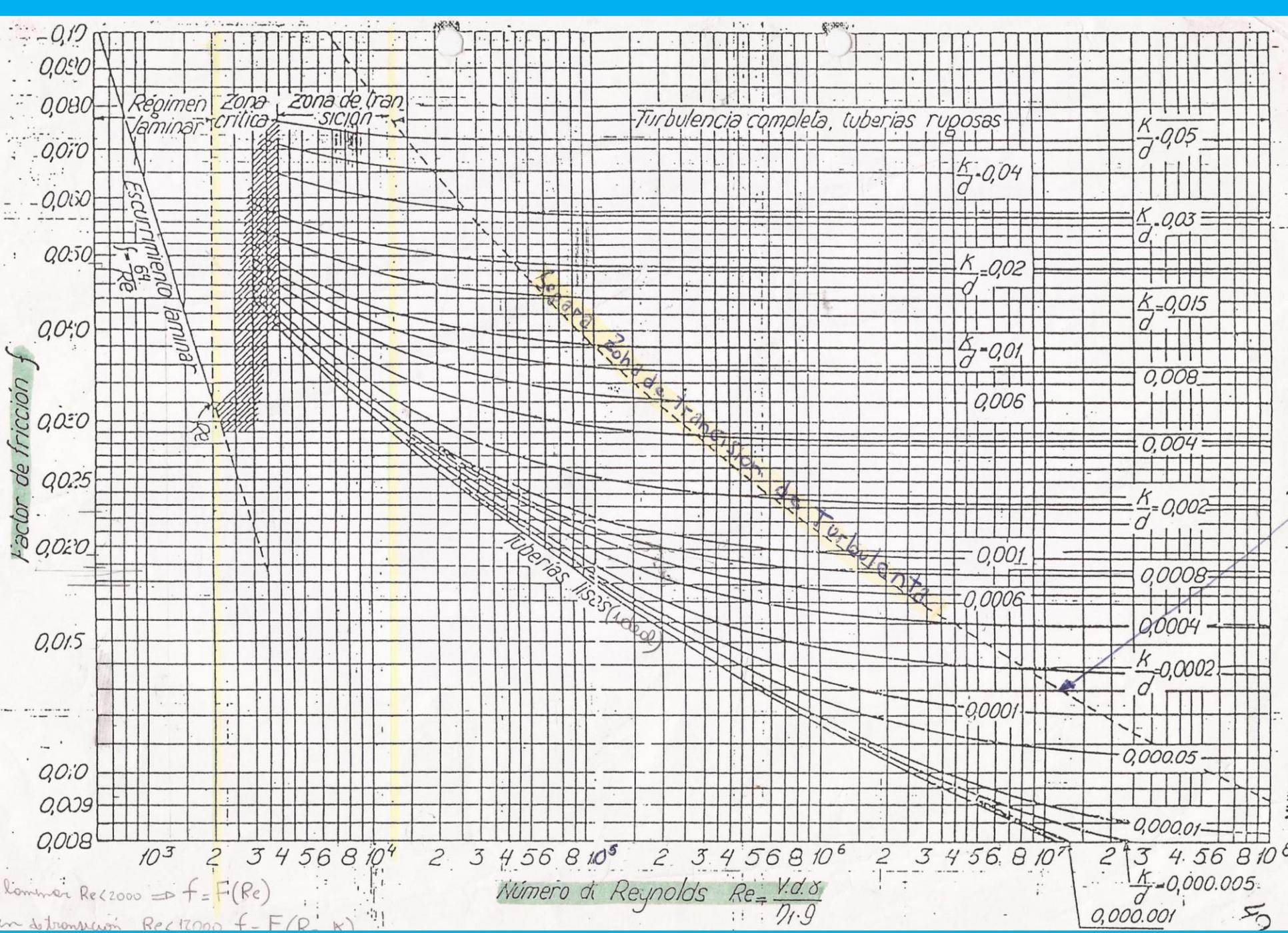
| Diámetro D | mm | pulg. | Codo 90° | | | Curva 90° | | | Entrada normal | Entrada de Borde | Válvula de compuerta abierta | Válvula tipo globo abierta | Válvula de ángulo abierta | T/ paso directo | T/ salida lateral | T/ salida bilateral | Válvula de pie | Salida de tubería | Válvula de retención tipo italiano | Válvula de retención tipo pasado |
|---------------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------|----------------|------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|----------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| | | | Radio largo | Radio medio | Radio corto | Curva 45° | $R/R - 1$ | $\frac{1}{2} R/R - 1$ | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 1/2 | | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 4.9 | 2.6 | 0.3 | 1.0 | 1.0 | 3.6 | 0.4 | 1.1 | 1.6 |
| 19 | 3/4 | | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 6.7 | 3.6 | 0.4 | 1.4 | 1.4 | 5.6 | 0.5 | 1.6 | 2.4 |
| 25 | 1 | | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.7 | 8.2 | 4.6 | 0.5 | 1.7 | 1.7 | 7.3 | 0.7 | 2.1 | 3.2 |
| 32 | 1 1/4 | | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.3 | 0.4 | 0.9 | 11.3 | 5.6 | 0.7 | 2.3 | 2.3 | 10.0 | 0.9 | 2.7 | 4.0 |
| 38 | 1 1/2 | | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 1.0 | 13.4 | 6.7 | 0.9 | 2.8 | 2.8 | 11.6 | 1.0 | 3.2 | 4.8 |
| 50 | 2 | | 1.1 | 1.4 | 1.7 | 0.8 | 0.6 | 0.9 | 0.4 | 0.7 | 1.5 | 17.4 | 8.5 | 1.1 | 3.5 | 3.5 | 14.0 | 1.5 | 4.2 | 6.4 |
| 63 | 2 1/2 | | 1.3 | 1.7 | 2.0 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 0.5 | 0.9 | 1.9 | 21.0 | 10.0 | 1.3 | 4.3 | 4.3 | 17.0 | 1.9 | 5.2 | 8.1 |
| 75 | 3 | | 1.6 | 2.1 | 2.5 | 1.2 | 1.0 | 1.3 | 0.6 | 1.1 | 2.2 | 26.0 | 13.0 | 1.6 | 5.2 | 5.2 | 20.0 | 2.2 | 6.3 | 9.7 |
| 100 | 4 | | 2.1 | 2.8 | 3.4 | 1.5 | 1.3 | 1.6 | 0.7 | 1.6 | 3.2 | 34.0 | 17.0 | 2.1 | 6.7 | 6.7 | 23.0 | 3.2 | 8.4 | 12.9 |
| 125 | 5 | (2.7) | 2.7 | 3.7 | 4.2 | 1.9 | 1.6 | 2.1 | 0.9 | 2.0 | 4.0 | 43.0 | 21.0 | 2.7 | 8.4 | 8.4 | 30.0 | 4.0 | 10.4 | 16.1 |
| 150 | 6 | | 3.4 | 4.3 | 4.9 | 2.3 | 1.9 | 2.5 | 1.1 | 2.5 | 5.0 | 51.0 | 26.0 | 3.4 | 10.0 | 10.0 | 39.0 | 5.0 | 12.5 | 19.3 |
| 200 | 8 | | 4.3 | 5.5 | 6.4 | 3.0 | 2.4 | 3.3 | 1.5 | 3.5 | 6.0 | 67.0 | 34.0 | 4.3 | 13.0 | 13.0 | 52.0 | 6.0 | 16.0 | 25.0 |
| 250 | 10 | | 5.5 | 6.7 | 7.9 | 3.8 | 3.0 | 4.1 | 1.8 | 4.5 | 7.5 | 85.0 | 43.0 | 5.5 | 16.0 | 16.0 | 65.0 | 7.5 | 20.0 | 32.0 |
| 300 | 12 | | 6.1 | 7.9 | 9.5 | 4.6 | 3.6 | 4.8 | 2.2 | 5.5 | 9.0 | 102.0 | 51.0 | 6.1 | 19.0 | 19.0 | 78.0 | 9.0 | 24.0 | 38.0 |
| 350 | 14 | | 7.3 | 9.5 | 10.5 | 5.3 | 4.4 | 5.4 | 2.5 | 6.2 | 11.0 | 120.0 | 60.0 | 7.3 | 22.0 | 22.0 | 90.0 | 11.0 | 28.0 | 45.0 |

* Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regarleras y válvulas o llaves de descarga.

Fuente: Azevedo, Alvarez. Manual de hidráulica. Harla, México, 1975.

Apéndice II. Densidad del agua.

| T °C | ρ kg/l | T °C | ρ kg/l |
|--------|-------------|--------|-------------|
| 0 | 0.99987 | 33 | 0.99473 |
| 1 | 0.99993 | 34 | 0.99440 |
| 2 | 0.99997 | 35 | 0.99406 |
| 3 | 0.99999 | 36 | 0.99371 |
| 4 | 1.00000 | 37 | 0.99336 |
| 5 | 0.99999 | 38 | 0.99300 |
| 6 | 0.99997 | 39 | 0.99263 |
| 7 | 0.99993 | 40 | 0.99225 |
| 8 | 0.99988 | 41 | 0.99187 |
| 9 | 0.99981 | 42 | 0.99147 |
| 10 | 0.99973 | 43 | 0.99107 |
| 11 | 0.99963 | 44 | 0.99066 |
| 12 | 0.99952 | 45 | 0.99025 |
| 13 | 0.99940 | 46 | 0.98982 |
| 14 | 0.99927 | 47 | 0.98940 |
| 15 | 0.99913 | 48 | 0.98896 |
| 16 | 0.99897 | 49 | 0.98852 |
| 17 | 0.99880 | 50 | 0.98807 |
| 18 | 0.99862 | 51 | 0.98762 |
| 19 | 0.99843 | 52 | 0.98715 |
| 20 | 0.99823 | 53 | 0.98669 |
| 21 | 0.99802 | 54 | 0.98621 |
| 22 | 0.99780 | 55 | 0.98573 |
| 23 | 0.99757 | 60 | 0.98324 |
| 24 | 0.99733 | 65 | 0.98059 |
| 25 | 0.99708 | 70 | 0.97781 |
| 26 | 0.99682 | 75 | 0.97489 |
| 27 | 0.99655 | 80 | 0.97183 |
| 28 | 0.99627 | 85 | 0.96865 |
| 29 | 0.99598 | 90 | 0.96534 |
| 30 | 0.99568 | 95 | 0.96192 |
| 31 | 0.99537 | 100 | 0.95838 |
| 32 | 0.99506 | | |



gundo diagrama. Además, en una escala situada a la derecha (fig. 88) se indican valores del coeficiente de fricción f que corresponden al régimen de plena turbulencia, en que f no depende del número de Reynolds.

