

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 $4.13 \cdot 10^{-4}$ 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:

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

$$\text{Re} = 782$$

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

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

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:

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

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

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:

$$Re = V D / \nu$$

$$Re = 9.6E+04$$

$$K/D = 0.00125$$

$$f = 0.0230$$

Recalculando el Re

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

$$Re = 8.9E+04$$

$$K/D = 0.00125$$

$$f = 0.0234$$

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 $K= 0.046$ m. 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:

$$H_f = 8 f L Q^2 / \pi^2 g D^5$$

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

$$80.60223 = 0.012406605 D^5$$

$$D^5 = 0.0124 * f$$

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:

$$Re = V D / \nu = 3.05E+05$$

$$K/D = 0.000242 \quad f = 0.0144 \quad \text{tubería lisa}$$

Recalculando el D con el f obtenido: diferente al f = 0.02 asumido

$$D = 0.178 \text{ m}$$

$$V = 2.01 \text{ m/s}$$

$$Re = 3.25E+05$$

$$K/D = 0.00026 \quad f = 0.0141$$

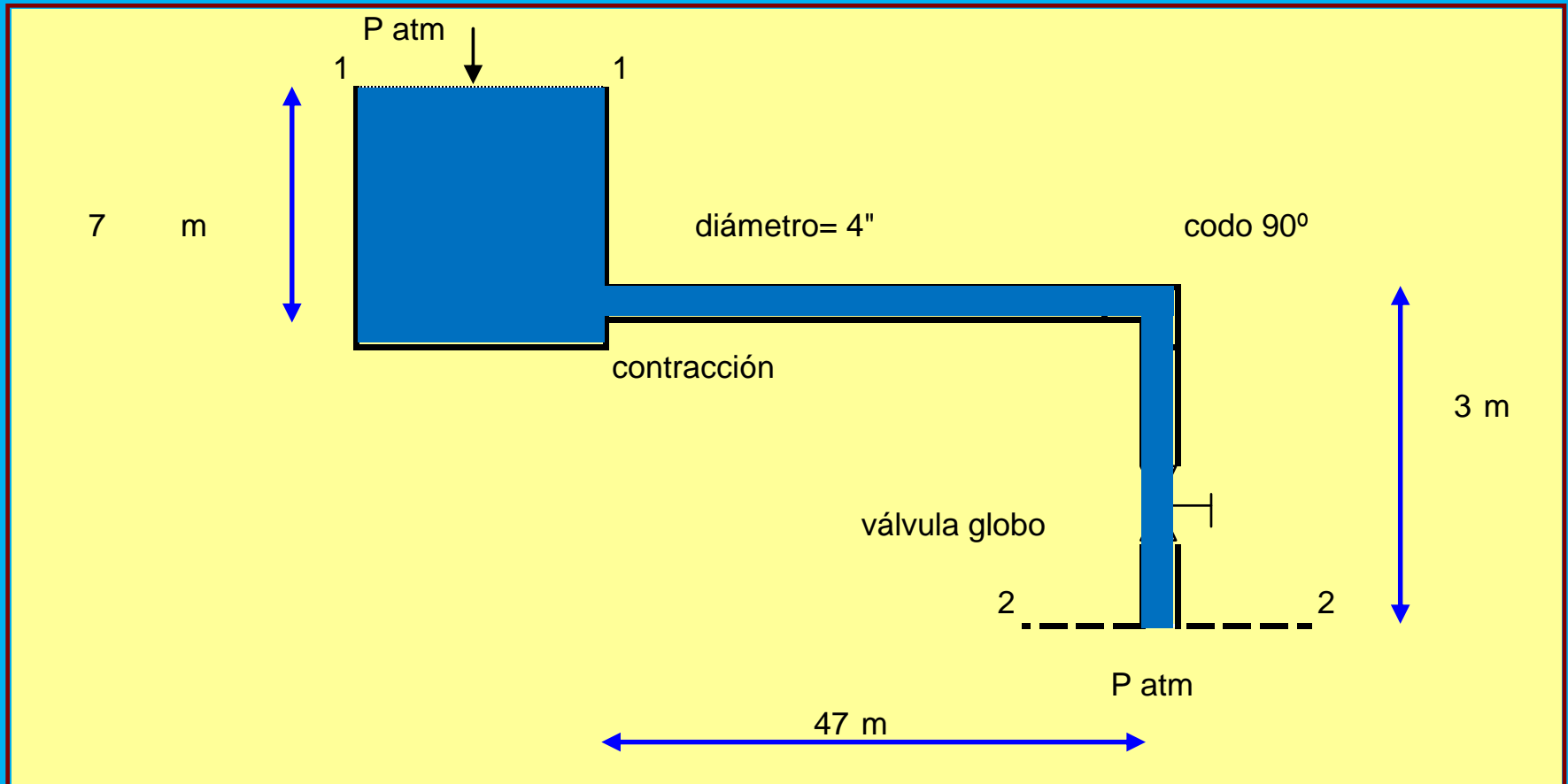
$$e\% = 2.08\%$$

Con lo que se obtiene un diámetro de 17.8 cm

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

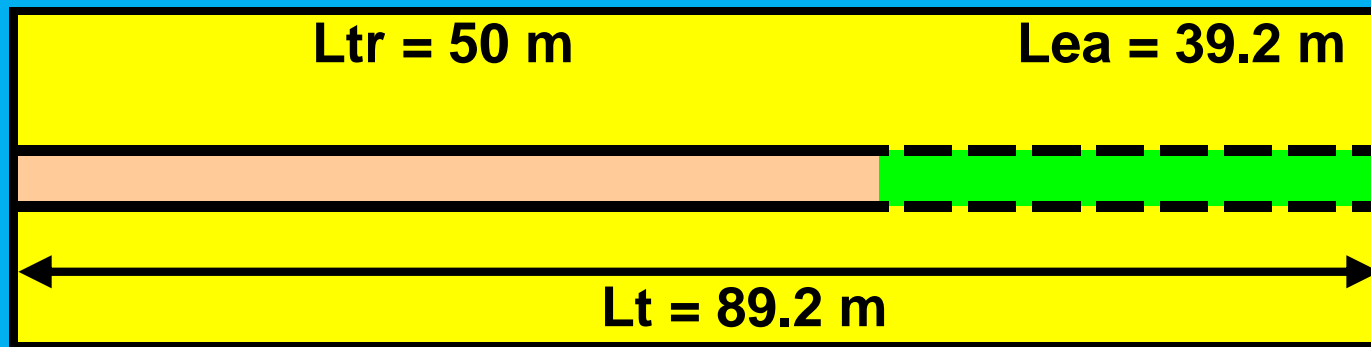
$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\nu = 1.007\text{E-}06\text{ m}^2/\text{s}$

Canal de descarga



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 :

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

$$P_1 = P_2 = P_{atm}$$

$$\Delta E_c = 0$$

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 , 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 :

$$Re_2 = 3.514E+05$$

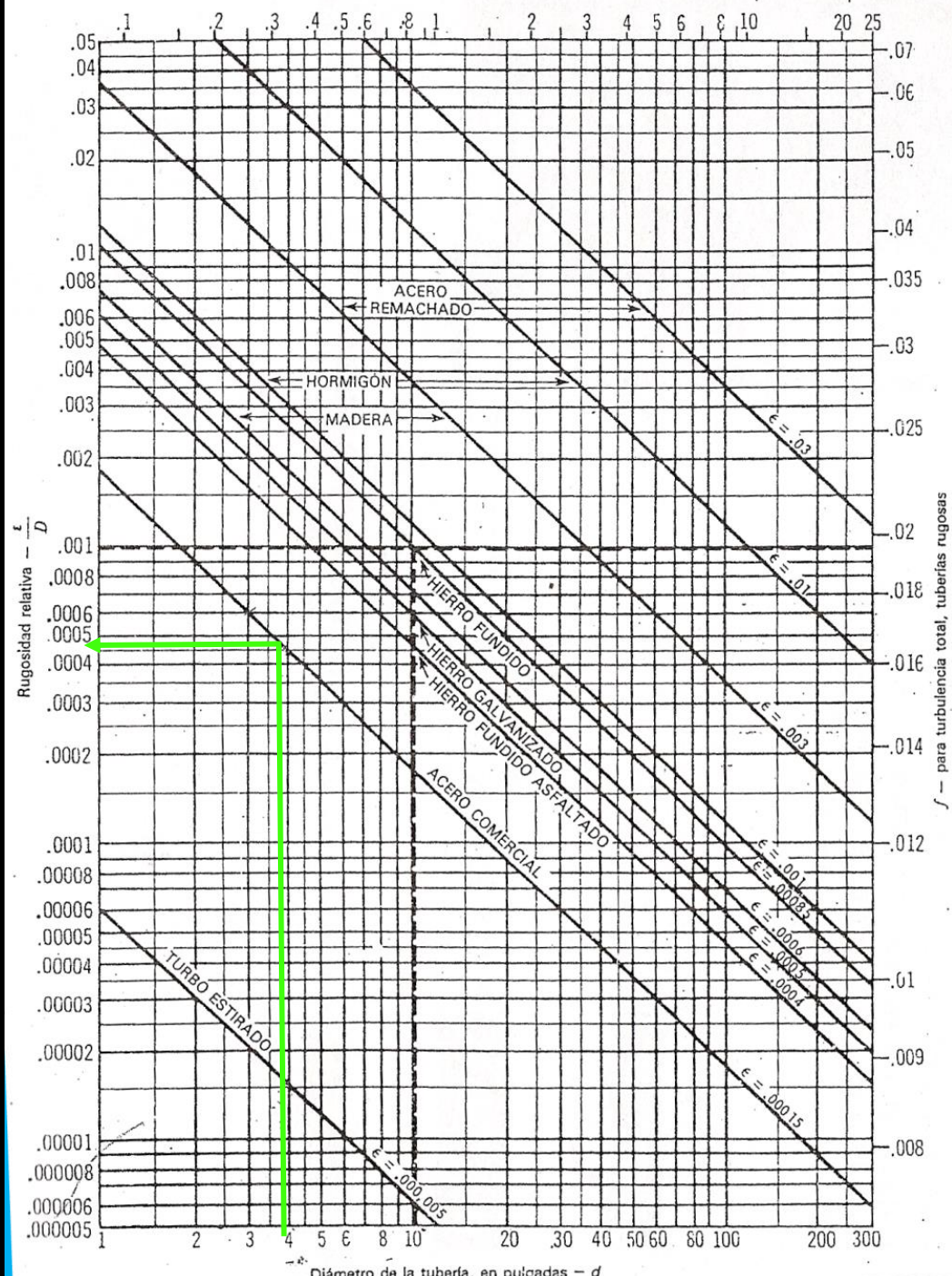
$$K/D = 0.00045$$

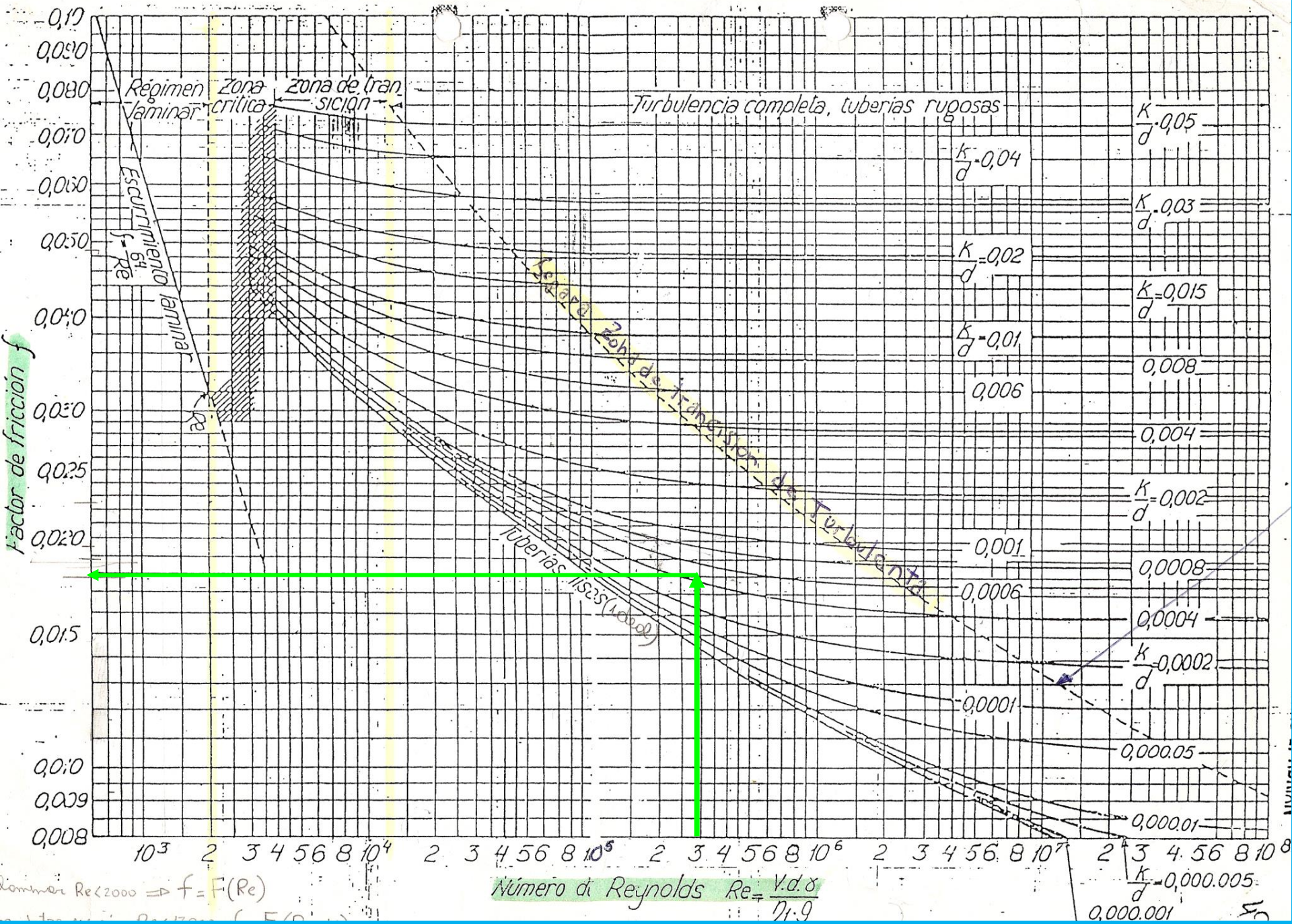
se obtiene f_3 :

$$f_3 = 0.0181$$

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

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

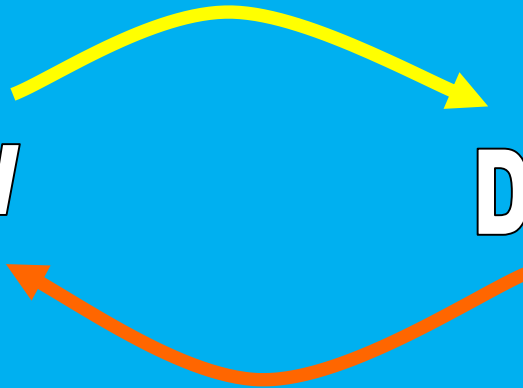




Cálculo del caudal:
3.14
Q = A * V
Q = 0.02846 m³/s
Q = 1708 L/min

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:

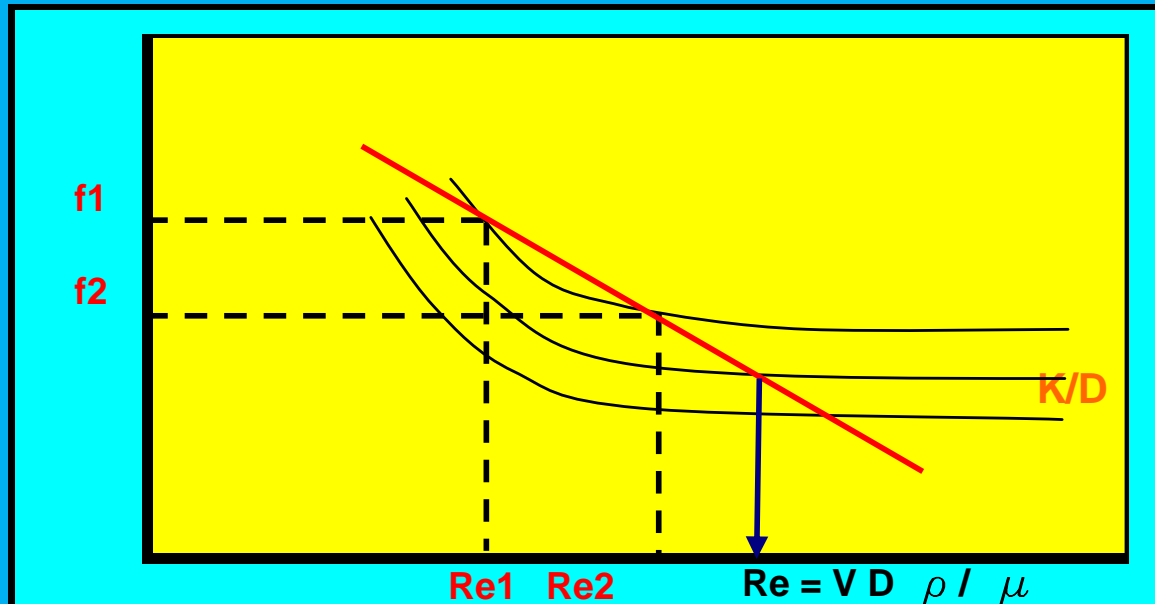
$$f = \text{Cte} / \text{Re}^2$$

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

Si aplicara logaritmos:

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

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



Error al despreciar el término de velocidad:

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

METODO ITERATIVO USANDO LA ECUACION DE COLEBROOK Y WHITE

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

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

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

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

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

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

$$f = 0.0177067$$

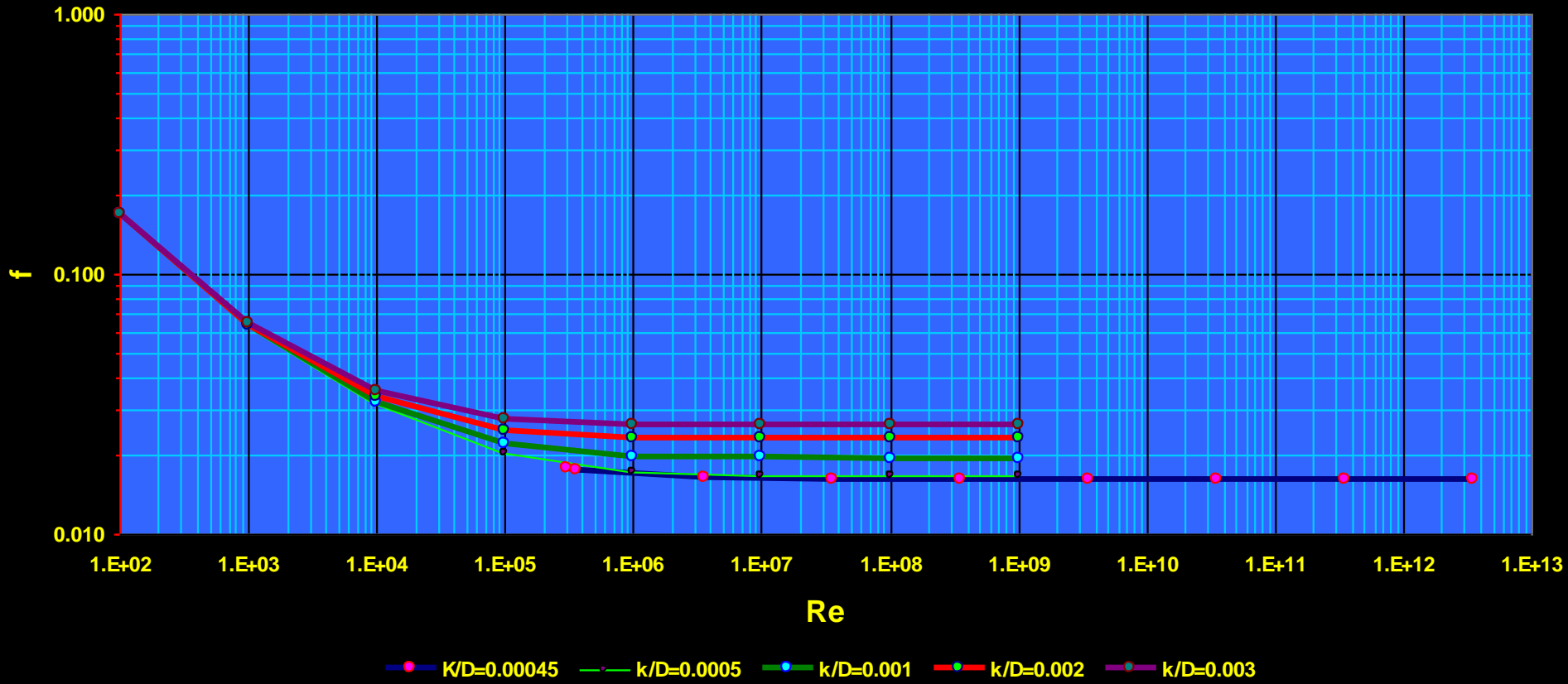
$$V = 3.55 \text{ m/s}$$

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

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

Coincidente con los valores calculados por otros métodos

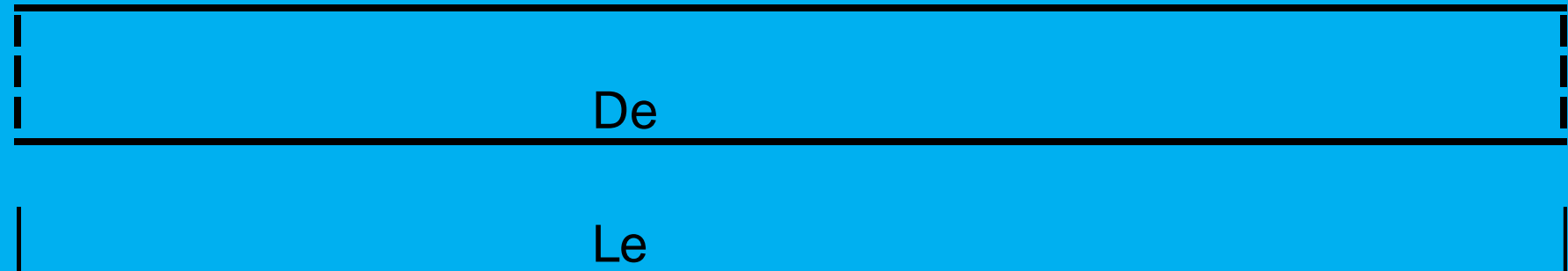
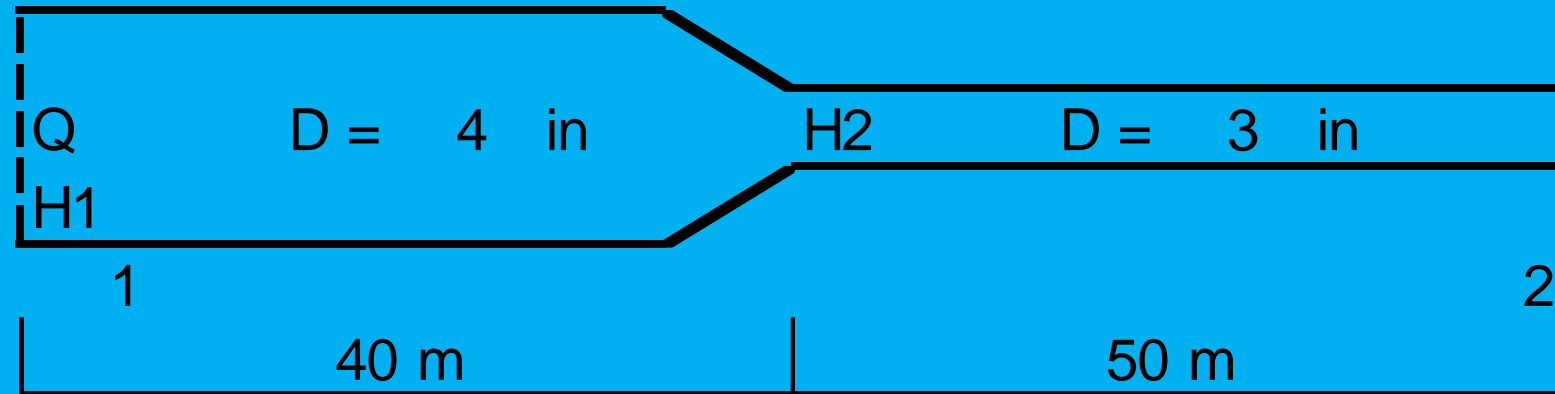
ECUACIÓN DE COLEBROOK - WHITE



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

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

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



$$Q_1 = Q_2 = Q$$

H = H1 + H2 Poniendo la ec. De D-W en función del caudal:

$$H = 16 Q^2 / 2g \pi^2 \left(f_1 L_1/D_1^5 + f_2 L_2/D_2^5 \right)$$

$$H_e = 16 Q^2 / 2g \pi^2 \left(f_e L_e/D_e^5 \right)$$

$$f_e L_e/D_e^5 = f_1 L_1/D_1^5 + f_2 L_2/D_2^5$$

$$f_e = f_1 = f_2$$

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

$$L_4 = 50 (4/3)^5 = 210.7 \text{ m}$$

$$L_t = L_4 + L_e = 250.7 \text{ m}$$

Por la ec de D-W

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

$$20 = f L/D V^2/2g$$

Adopto $f = 0.02$

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

$$V = 2.82 \text{ m/s}$$

$$Re = 284,501$$

$$K/D \text{ acero comercial} = 0.0005$$

$$f = 0.0185$$

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

$$Re = 295810$$

$$K/D \text{ acero comercial} = 0.0005$$

$$f = 0.0181$$

$$Q = A V \quad A = 0.0081 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.0238 \text{ m}^3/\text{seg}$$

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:

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

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

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

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

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

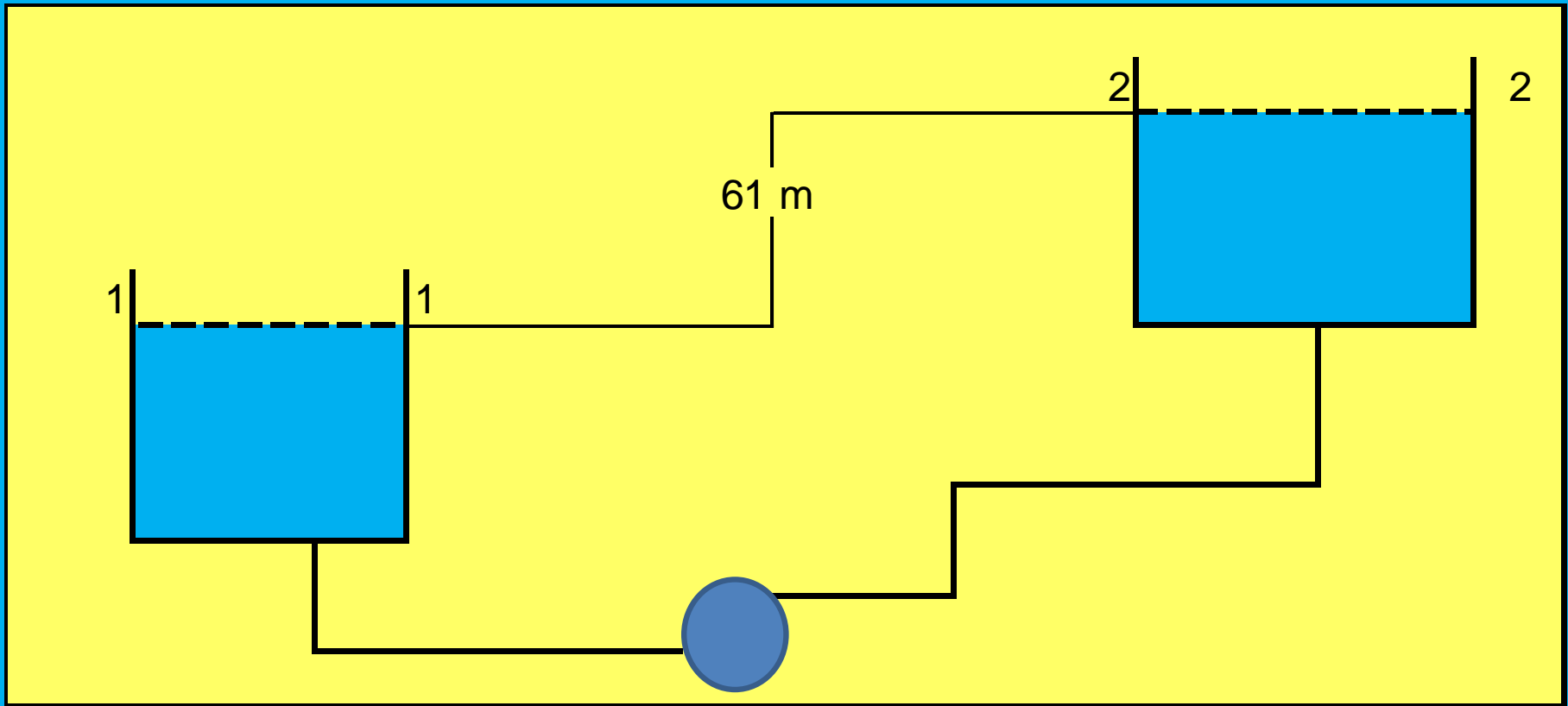
$$L = 213.5 \text{ m}$$

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

Por la ec. de continuidad

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

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



$$Re = V D \rho / \mu$$

$$Re = 159,293$$

$$K/D = 0.0006$$

$$f = 0.017$$

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:

$$P_{\text{atm}}/\gamma + Z_1 + V_1^2/2g + H_{\text{bba}} - \Delta h = P_{\text{atm}}/\gamma + Z_2 + V_2^2/2g \quad 28$$

$$V_1 = V_2$$

$$Z_1 = 0$$

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

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

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

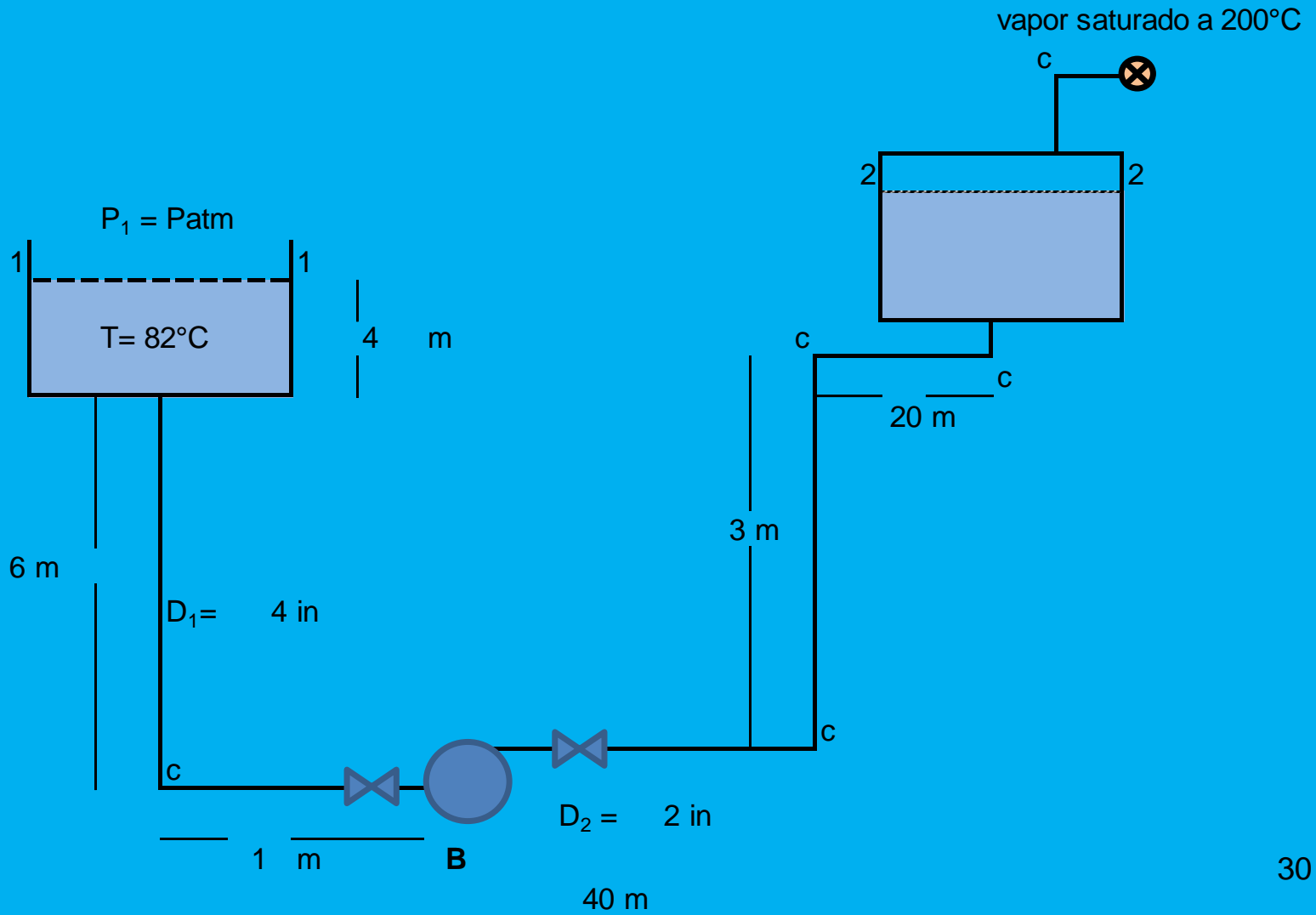
$$0.736 \text{ Kw} = 75 \text{ kgm/s}$$

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

$\text{Costo} = 13,648 \text{ \$}$

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

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

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

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

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

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

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

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 $D = 102.26 \text{ mm}$:

$$K/D = 0.00041$$

Del Diagrama de Moody:

$$f = 0.0181$$

$$L_{tr1} = 4 + 6 + 1 = 11 \text{ m} \quad L_{t1} = L_{ea} + L_{tr} = 15.1 \text{ m}$$

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

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:

$$f_2 = 0.0195$$

$$L_{t2} = L_{ea2} + L_{tr2} = 70.2 \text{ m}$$

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

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

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

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

$$\eta = 0.85$$

$$N = \gamma (\text{Kgf/m}^3) Q (\text{m}^3/\text{s}) H_B (\text{m}) / 75 \eta = \begin{array}{l} 16.54 \text{ CV} \\ 16.31 \text{ HP} \end{array}$$

$$N = \Delta p Q / \eta = \begin{array}{l} 14.75 \text{ CV} \\ 14.55 \text{ HP} \end{array}$$

TABLA DE VAPOR SATURADO

Presión P	Grados C t _i	Entalpia del vapor Cal i	Entalpia del agua Cal i	Calor 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

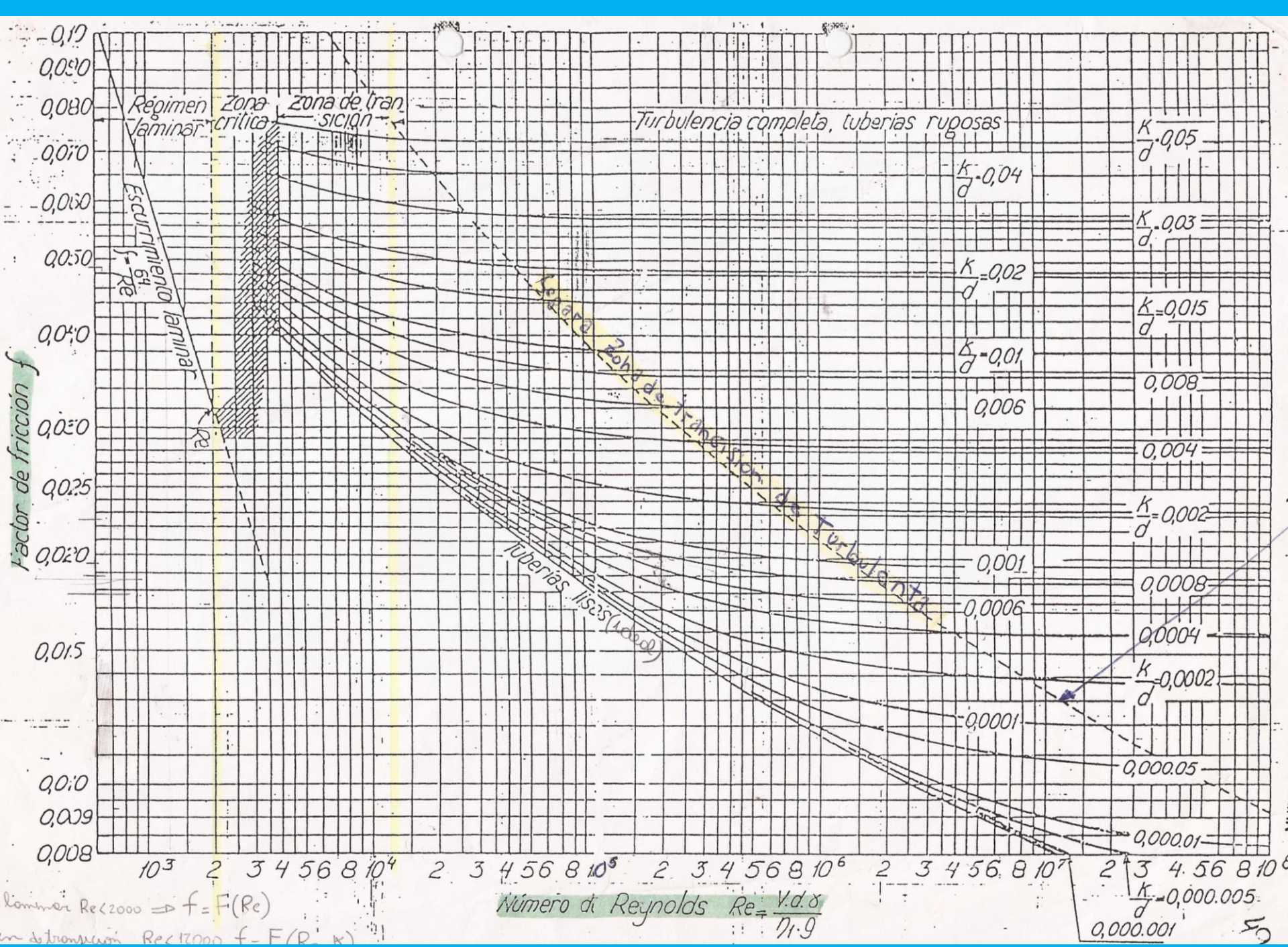
Diámetro D	mm	pulg.	Codo 90°			Curva 90°			Entrada normal	Entrada de Borde	Válvula de compuerta abierta	Válvula tipo globo abierta	Válvula de ángulo abierta	T/ paso directo	T/ salida lateral	T/ salida bilateral	Válvula de pie	Salida de tubería	Válvula de retención tipo italiano	Válvula de retención tipo 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		



laminar $Re < 2000 \Rightarrow f = F(Re)$

Número de Reynolds $Re = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\eta}$

$\frac{k}{d} = 0,000,005$
 $0,000,001$

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.

