

Índice general

1. Introducción a los Sistemas de Tuberías	3
1.1. Ecuaciones principales a utilizar en los cálculos de sistemas de tuberías	3
1.1.1. Caudal	3
1.1.2. Ecuación de continuidad para flujo incompresible	3
1.1.3. Ecuación de Bernoulli	3
1.1.4. Ecuación General de la Energía	4
1.1.5. Ecuación de Darcy-Weisbach	4
1.1.6. Ecuación para Pérdidas de energía por accesorios	4
1.1.7. Número de Reynolds	5
1.1.8. Factor de fricción	5
1.2. Tablas, coeficientes de resistencia para accesorios y otros datos importantes	6
1.3. Factores de conversión	30
1.3.1. Longitud	30
1.3.2. Masa	30
1.3.3. Tiempo	30
1.3.4. Temperatura	30
1.3.5. Fuerza	31
1.3.6. Área	31
1.3.7. Volumen	31
1.3.8. Flujo volumétrico	31
1.3.9. Densidad	31
1.3.10. Presión	32
1.3.11. Energía	32
1.3.12. Potencia	32
1.3.13. Viscosidad (dinámica)	32
1.3.14. Viscosidad cinemática	32
1.3.15. Prefijos del Sistema Internacional	33

Libro de Abouchar

Capítulo 1

Introducción a los Sistemas de Tuberías

1.1. Ecuaciones principales a utilizar en los cálculos de sistemas de tuberías

Para la solución de problemas de sistemas de tuberías se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

1.1.1. Caudal

$$Q = vA \quad (1.1)$$

donde:

Q es el caudal,

v es la velocidad promedio real del flujo,

A es el área transversal por donde pasa el fluido.

1.1.2. Ecuación de continuidad para flujo incompresible

$$Q_1 = Q_2 \quad (1.2)$$

Cuándo el fluido es compresible la ecuación de continuidad establece una igualdad entre el flujo másico.

1.1.3. Ecuación de Bernoulli

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 \quad (1.3)$$

donde:

P es la presión en la sección,

z es la elevación,

ρ es la densidad del fluido.

1.1.4. Ecuación General de la Energía

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 - h_L + H_B - H_T = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 \quad (1.4)$$

donde:

h_L son las pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías y las pérdidas menores por accesorios,

h_B es la energía que un dispositivo mecánico le agrega al fluido,

h_T es la energía que un dispositivo mecánico le extrae al fluido.

1.1.5. Ecuación de Darcy-Weisbach

Esta ecuación se utiliza para determinar las pérdidas de energía por tramo recto.

$$h_{Lr} = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (1.5)$$

donde:

h_{Lr} es la pérdida de energía por tramos recto,

f es el factor de fricción,

L es la longitud total de la tubería,

d es el diámetro interno de la tubería.

1.1.6. Ecuación para Pérdidas de energía por accesorios

$$h_{La} = K_a \frac{v^2}{2g} \quad (1.6)$$

donde:

h_{La} es la pérdida de energía por accesorios,

K_a es el coeficiente de resistencia.

Dependiendo del accesorio K_a se puede determinar directamente de las respectivas tablas o gráficas o se puede calcular a partir de:

$$K_a = \left(\frac{L_e}{d} \right) f_t \quad (1.7)$$

donde:

$\left(\frac{L_e}{d} \right)$ depende del accesorio,

f_t es el factor de fricción a turbulencia completa.

1.1.7. Número de Reynolds

$$Re = \frac{vd}{\vartheta} \quad (1.8)$$

donde:

ϑ es la viscosidad cinemática.

Recordemos que la viscosidad cinemática es:

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.9)$$

donde:

μ es la viscosidad dinámica.

1.1.8. Factor de fricción

Cuándo el flujo es laminar se utiliza la siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (1.10)$$

Cuándo el flujo es turbulento se utiliza la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (1.11)$$

La ecuación podría escribirse en la forma:

$$f = \left[2\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \right]^{-2} \quad (1.12)$$

Para determinar el factor de fricción a partir de la ecuación de Colebrook-White es necesario suponer un valor inicial del factor de fricción, f , e ir ajustando dicho valor hasta obtener el factor de fricción buscando,

Otra ecuación utilizada para determinar el factor de fricción cuando el flujo es turbulento es la ecuación de Swamee-Jean:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (1.13)$$

Para los accesorios se utiliza el factor de fricción en turbulencia completa, el cual se puede determinar a partir de la expresión:

$$f = \left[2\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7d} \right) \right]^{-2} \quad (1.14)$$

1.2. Tablas, coeficientes de resistencia para accesorios y otros datos importantes

Temperatura	Peso específico	Densidad	Viscosidad cinemática
T ($^{\circ}C$)	γ (kN/m^3)	ρ (kg/m^3)	ν (m^2/s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.94×10^{-7}

Tabla 1.1: Propiedades del agua en el Sistema Internacional.

Temperatura	Peso específico	Densidad	Viscosidad cinemática
T ($^{\circ}F$)	γ (lb/ft^3)	ρ ($slug/ft^3$)	ν (ft^2/s)
32	62.4	1.94	1.89×10^{-5}
40	62.4	1.94	1.67×10^{-5}
50	62.4	1.94	1.40×10^{-5}
60	62.4	1.94	1.21×10^{-5}
70	62.3	1.94	1.05×10^{-5}
80	62.2	1.93	9.15×10^{-6}
90	62.1	1.93	8.29×10^{-6}
100	62.0	1.93	7.37×10^{-6}
110	61.9	1.92	6.55×10^{-6}
120	61.7	1.92	5.94×10^{-6}
130	61.5	1.91	5.49×10^{-6}
140	61.4	1.91	5.03×10^{-6}
150	61.2	1.90	4.68×10^{-6}
160	61.0	1.90	4.38×10^{-6}
170	60.8	1.89	4.07×10^{-6}
180	60.6	1.88	3.84×10^{-6}
190	60.4	1.88	3.62×10^{-6}
200	60.1	1.87	3.35×10^{-6}
212	59.8	1.86	3.17×10^{-6}

Tabla 1.2: Propiedades del agua en el Sistema Inglés.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS

Temperatura	Peso específico	Densidad	Viscosidad cinemática
T ($^{\circ}C$)	γ (kN/m^3)	ρ (kg/m^3)	ν (m^2/s)
-40	14.85	1.514	9.98×10^{-6}
-30	14.24	1.452	1.08×10^{-5}
-20	13.67	1.394	1.16×10^{-5}
-10	13.15	1.341	1.24×10^{-5}
0	12.67	1.292	1.33×10^{-5}
10	12.23	1.247	1.42×10^{-5}
20	11.81	1.204	1.51×10^{-5}
30	11.42	1.164	1.6×10^{-5}
40	11.05	1.127	1.69×10^{-5}
50	10.71	1.092	1.79×10^{-5}
60	10.39	1.06	1.89×10^{-5}
70	10.09	1.029	1.99×10^{-5}
80	9.802	0.9995	2.09×10^{-5}
90	9.832	0.972	2.19×10^{-5}
100	9.277	0.9459	2.3×10^{-5}
110	9.034	0.9213	2.4×10^{-5}
120	8.805	0.8978	2.51×10^{-5}

Tabla 1.3: Propiedades del Aire en el Sistema Internacional.

Temperatura	Peso específico	Densidad	Viscosidad cinemática
T ($^{\circ}F$)	γ (lb/ft^3)	ρ ($slug/ft^3$)	ν (ft^2/s)
-40	0,0946	1.07×10^{-3}	1.07×10^{-4}
-20	0,0903	1.17×10^{-3}	1.17×10^{-4}
0	0.0864	1.27×10^{-3}	1.27×10^{-4}
20	0.0828	1.37×10^{-3}	1.37×10^{-4}
40	0.0795	1.47×10^{-3}	1.47×10^{-4}
60	0.0764	1.58×10^{-3}	1.58×10^{-4}
80	0.0736	1.69×10^{-3}	1.69×10^{-4}
100	0.0709	1.8×10^{-3}	1.8×10^{-4}
120	0.0685	1.91×10^{-3}	1.91×10^{-4}
140	0.0662	2.02×10^{-3}	2.02×10^{-4}
160	0.0641	2.15×10^{-3}	2.15×10^{-4}
180	0.0621	2.27×10^{-3}	2.27×10^{-4}
200	0.0602	2.4×10^{-3}	2.4×10^{-4}
220	0.0584	2.52×10^{-3}	2.52×10^{-4}
240	0.0567	2.66×10^{-3}	2.66×10^{-4}

Tabla 1.4: Propiedades del Aire en el Sistema Inglés.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS

Líquido	Densidad relativa	Viscosidad cinemática
	ρ_r	$\nu \text{ (m}^2/\text{s)}$
Aceite de linaza	0.930	3.56×10^{-5}
Aceite de ricino	0.960	$6,78 \times 10^{-4}$
Aceite SAE 10	0.917	---
Aceite SAE 30	0.917	---
Acetona	0,787	4.02×10^{-7}
Agua de mar	1.025	1.00×10^{-6}
Aguarrás	0.870	1.57×10^{-6}
Alcohol etílico	0.787	1.27×10^{-6}
Alcohol metílico	0.789	7.10×10^{-7}
Alcohol propílico	0.802	2.39×10^{-6}
Amoniaco hidratado (25 %)	0.910	---
Benceno	0.879	6.88×10^{-7}
Combustóleo, medio	0.852	3.51×10^{-6}
Combustóleo, pesado	0.906	1.18×10^{-4}
Etilenglicol	1.100	1.47×10^{-5}
Gasolina	0.680	4.22×10^{-7}
Glicerina	1.258	7.63×10^{-4}
Mercurio	13.540	1.13×10^{-7}
Petróleo	0.640	---
Propano	0.495	2.22×10^{-7}
Queroseno	0.823	1.99×10^{-6}
Tetracloruro de carbono	1.593	5.72×10^{-7}

Tabla 1.5: Propiedades de algunos líquidos en el Sistema Internacional a 101 kPa (abs) y 25°C .

Líquido	Densidad relativa	Viscosidad cinemática
	ρ_r	ν (pies^2/s)
Aceite de linaza	0.930	3.84×10^{-4}
Aceite de ricino	0.960	7.31×10^{-3}
Aceite SAE 10	0.917	--
Aceite SAE 30	0.917	--
Acetona	0.787	4.31×10^{-6}
Agua de mar	1.025	1.08×10^{-5}
Aguarrás	0.870	1.70×10^{-5}
Alcohol etílico	0.787	1.37×10^{-5}
Alcohol metílico	0.789	7.65×10^{-6}
Alcohol propílico	0.802	2.57×10^{-5}
Amoniaco hidratado (25 %)	0.910	--
Benceno	0.879	7.41×10^{-6}
Combustóleo, medio	0.852	3.79×10^{-5}
Combustóleo, pesado	0.906	1.27×10^{-3}
Etilenglicol	1.100	1.59×10^{-4}
Gasolina	0.680	4.55×10^{-6}
Glicerina	1.258	8.20×10^{-3}
Mercurio	13.540	1.22×10^{-6}
Petróleo	0.640	--
Propano	0.495	2.40×10^{-6}
Queroseno	0.823	2.14×10^{-5}
Tetracloruro de carbono	1.593	6.17×10^{-6}

Tabla 1.6: Propiedades de algunos líquidos en el Sistema Inglés a 14.7 psia y 77°F.

Material	Rugosidad	
	$\epsilon(m)$	$\epsilon(pie)$
Acero comercial	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Acero inoxidable	2.0×10^{-6}	7.0×10^{-6}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}
Acero soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Arcilla vitrificada	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Asbesto cemento	3.0×10^{-5}	9.8×10^{-5}
Cobre	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Concreto (bien fabricado)	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
GRP	3.0×10^{-5}	9.8×10^{-5}
Hierro dúctil no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Hierro dúctil recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro forjado	6.0×10^{-5}	2.0×10^{-4}
Hierro fundido	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Latón	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Plástico	3.0×10^{-7}	9.8×10^{-7}
Polietilenos	7.0×10^{-6}	2.3×10^{-5}
PVC	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Vidrio	3.0×10^{-7}	9.8×10^{-7}

Tabla 1.7: Valores de diseño de la rugosidad de tubos.

Tamaño estándar tradicional (pulg)	Tamaño métrico DN (mm)	Tamaño estándar tradicional (pulg)	Tamaño métrico DN (mm)
$\frac{1}{8}$	6	18	450
$\frac{1}{4}$	8	20	500
$\frac{3}{8}$	10	22	550
$\frac{1}{2}$	15	24	600
$\frac{3}{4}$	20	26	650
1	25	28	700
$1\frac{1}{4}$	32	30	750
$1\frac{1}{2}$	40	32	800
2	50	36	900
$2\frac{1}{2}$	65	40	1000
3	80	42	1100
4	100	48	1200
6	150	54	1400
8	200	60	1500
10	250	64	1600
12	300	72	1800
14	350	80	2000
16	400	88	2200

Tabla 1.8: Equivalencia entre la tubería estándar tradicional y tamaños nominales de tuberías en unidades métricas.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS

Tamaño nominal de tubería	Diámetro exterior		Diámetro interior		f_t
	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)	
$\frac{1}{8}$	0.405	10.3	0.269	6.8	0.0333
$\frac{1}{4}$	0.540	13.7	0.364	9.2	0.0303
$\frac{3}{8}$	0.675	17.1	0.493	12.5	0.0277
$\frac{1}{2}$	0.840	21.3	0.622	15.8	0.0260
$\frac{3}{4}$	1.050	26.7	0.824	20.9	0.0240
1	1.315	33.4	1.049	26.6	0.0225
$1\frac{1}{4}$	1.660	42.2	1.380	35.1	0.0210
$1\frac{1}{2}$	1.900	48.3	1.610	40.9	0.0202
2	2.375	60.3	2.067	52.5	0.0190
$2\frac{1}{2}$	2.875	73.0	2.469	62.7	0.0182
3	3.500	88.9	3.068	77.9	0.0173
$3\frac{1}{2}$	4.000	101.6	3.548	90.1	0.0168
4	4.500	114.3	4.026	102.3	0.0163
5	5.563	141.3	5.047	128.2	0.0155
6	6.625	168.3	6.065	154.1	0.0149
8	8.625	219.1	7.981	202.7	0.0141
10	10.750	273.1	10.020	254.5	0.0135
12	12.750	323.9	11.938	303.2	0.0130
14	14.000	355.6	13.126	333.4	0.0127
16	16.000	406.4	15.000	381.8	0.0124
18	18.000	457.2	16.876	428.7	0.0121
20	20.000	508.0	18.814	477.9	0.0119
24	24.000	609.6	22.626	574.7	0.0115

Tabla 1.9: Dimensiones de tuberías de acero - Schedule 40.

Tamaño nominal de tubería	Diámetro exterior		Diámetro interior		f_t
	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)	
$\frac{1}{8}$	0.405	10.3	0.215	5.5	0.0358
$\frac{1}{4}$	0.540	13.7	0.302	7.7	0.0322
$\frac{3}{8}$	0.675	17.1	0.423	10.7	0.0290
$\frac{1}{2}$	0.840	21.3	0.546	13.9	0.0269
$\frac{3}{4}$	1.050	26.7	0.742	18.8	0.0247
1	1.315	33.4	0.957	24.3	0.0231
$1\frac{1}{4}$	1.660	42.2	1.278	32.5	0.0214
$1\frac{1}{2}$	1.900	48.3	1.500	38.1	0.0206
2	2.375	60.3	1.939	49.3	0.0193
$2\frac{1}{2}$	2.875	73.0	2.323	59.0	0.0185
3	3.500	88.9	2.900	73.7	0.0176
$3\frac{1}{2}$	4.000	101.6	3.364	85.4	0.0170
4	4.500	114.3	3.826	97.2	0.0165
5	5.563	141.3	4.813	122.3	0.0157
6	6.625	168.3	5.761	146.3	0.0151
8	8.625	219.1	7.625	193.7	0.0142
10	10.750	273.1	9.564	242.9	0.0136
12	12.750	323.9	11.376	289.0	0.0131
14	14.000	355.6	12.500	317.5	0.0129
16	16.000	406.4	14.314	363.6	0.0125
18	18.000	457.2	16.126	409.6	0.0122
20	20.000	508.0	17.938	455.6	0.0120
24	24.000	609.6	21.564	547.7	0.0116

Tabla 1.10: Dimensiones de tuberías de acero - Schedule 80.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS

Tamaño nominal de tubería	Diámetro exterior		Diámetro interior	
	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)
$\frac{1}{2}$	0.840	21.30	0.609	15.50
$\frac{3}{4}$	1.050	26.70	0.810	20.60
1	1.315	33.40	1.033	26.20
$1\frac{1}{4}$	1.660	42.20	1.363	34.60
$1\frac{1}{2}$	1.900	48.30	1.593	40.50
2	2.375	60.30	2.049	52.00
$2\frac{1}{2}$	2.875	73.00	2.445	62.10
3	3.500	88.90	3.042	77.30
4	4.500	114.30	3.998	101.50
6	6.625	168.30	6.031	153.20
8	8.625	219.10	7.942	201.70
10	10.750	273.10	9.976	253.40
12	12.750	323.90	11.889	302.00
14	14.000	355.60	13.126	333.40
16	16.000	406.40	15.000	381.00

Tabla 1.11: Dimensiones de tubería de PVC - Schedule 40.

Tamaño nominal de tubería	Diámetro exterior		Diámetro interior	
	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)
$\frac{1}{2}$	0.840	21.30	0.528	13.40
$\frac{3}{4}$	1.050	26.70	0.724	18.40
1	1.315	33.40	0.936	23.80
$1\frac{1}{4}$	1.660	42.20	1.255	31.90
$1\frac{1}{2}$	1.900	48.30	1.476	37.50
2	2.375	60.30	1.913	48.60
$2\frac{1}{2}$	2.875	73.00	2.290	58.20
3	3.500	88.90	2.864	72.70
4	4.500	114.30	3.786	96.20
6	6.625	168.30	5.709	145.00
8	8.625	219.10	7.565	192.20
10	10.750	273.10	9.493	241.10
12	12.750	323.90	11.294	286.90

Tabla 1.12: Dimensiones de tubería de PVC - Schedule 80.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS

Tamaño nominal de tubería	Diámetro exterior		Diámetro interior	
	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)
$\frac{1}{8}$	0.250	6.35	0.180	4.572
$\frac{1}{4}$	0.375	9.53	0.277	7.036
$\frac{3}{8}$	0.500	12.70	0.402	10.21
$\frac{1}{2}$	0.625	15.88	0.527	13.39
$\frac{5}{8}$	0.750	19.05	0.652	16.56
$\frac{3}{4}$	0.875	22.23	0.745	18.92
1	1.125	28.58	0.995	25.27
$1\frac{1}{4}$	1.375	34.93	1.245	31.62
$1\frac{1}{2}$	1.625	41.28	1.481	37.62
2	2.125	53.98	1.959	49.76
$2\frac{1}{2}$	2.625	66.68	2.435	61.85
3	3.125	79.38	2.907	73.84
$3\frac{1}{2}$	3.625	92.08	3.385	85.98
4	4.125	104.78	3.857	97.97
5	5.125	130.2	4.805	122
6	6.125	155.6	5.741	145.8
8	8.125	206.4	7.583	192.6
10	10.125	257.2	9.449	240.0
12	12.125	308.0	11.315	287.4

Tabla 1.13: Dimensiones de tubos de cobre tipo K.

Tamaño nominal de tubería	Diámetro exterior		Diámetro interior	
	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)
$\frac{1}{4}$	0.375	9.53	0.314	8.00
$\frac{3}{8}$	0.500	12.70	0.429	10.92
$\frac{1}{2}$	0.625	15.88	0.544	13.84
$\frac{3}{4}$	0.875	22.23	0.784	19.94
1	1.125	28.58	1.024	26.04
$1\frac{1}{4}$	1.375	34.93	1.264	32.13
$1\frac{1}{2}$	1.625	41.28	1.504	38.23
2	2.125	53.98	1.984	50.42
$2\frac{1}{2}$	2.625	66.68	2.464	62.61
3	3.125	79.38	2.944	74.80
4	4.125	104.78	3.904	99.19

Tabla 1.14: Dimensiones de tubos de cobre tipo L.

Tamaño nominal de tubería	Diámetro exterior		Diámetro interior	
	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)
$\frac{1}{4}$	0.375	9.53	0.324	8.26
$\frac{3}{8}$	0.500	12.70	0.449	11.43
$\frac{1}{2}$	0.625	15.88	0.572	14.45
$\frac{3}{4}$	0.875	22.23	0.811	20.60
1	1.125	28.58	1.054	26.80
$1\frac{1}{4}$	1.375	34.93	1.290	32.79
$1\frac{1}{2}$	1.625	41.28	1.526	38.79
2	2.125	53.98	2.016	51.03
$2\frac{1}{2}$	2.625	66.68	2.494	63.37
3	3.125	79.38	2.976	75.60
4	4.125	104.78	3.934	99.95

Tabla 1.15: Dimensiones de tubos de cobre tipo M.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS

Tamaño nominal de tubería	Diámetro exterior		Diámetro interior	
	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>Pulg</i>)	(<i>mm</i>)
3	3.96	100.6	3.32	84.3
4	4.80	121.9	4.10	104.1
6	6.90	175.3	6.14	156.0
8	9.05	229.9	8.23	209.0
10	11.10	281.9	10.22	259.6
12	13.20	335.3	12.24	310.9
14	15.65	397.5	14.63	371.6
16	17.80	452.1	16.72	424.7
18	19.92	506.0	18.76	476.5
20	22.06	560.3	20.82	528.8
24	26.32	668.3	24.86	631.4

Tabla 1.16: Dimensiones de tubos de hierro dúctil.

Tamaño de tubería	Rango de flujo volumétrico por velocidad				
	Velocidad (pies/s)				
Sch 40	3	7,5	10	15	20
$\frac{1}{2}$	2.84	7.11	-	-	-
$\frac{3}{4}$	4.98	12.5	-	-	-
1	8.08	20.2	-	-	-
$1\frac{1}{4}$	14	35	-	-	-
$1\frac{1}{2}$	19	47.6	-	-	-
2	31.4	78.6	105	-	-
$2\frac{1}{2}$	44.8	112	149	-	-
3	69.1	173	230	-	-
$3\frac{1}{2}$	-	231	308	-	-
4	-	298	397	595	-
5	-	468	624	936	-
6	-	676	901	1351	-
8	-	1169	1559	2338	3118
10	-	-	2460	3690	4920

Tabla 1.17: Diámetros de tuberías recomendados por flujo volumétrico para la tubería de succión de una bomba.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS

Tamaño de tubería	Rango de flujo volumétrico por velocidad				
	Velocidad (pies/s)				
Sch 40	10	15	20	25	30
$\frac{1}{2}$	9.47	-	-	-	-
$\frac{3}{4}$	16.61	-	-	-	-
1	26.9	40.4	-	-	-
$1\frac{1}{4}$	46.7	70	-	-	-
$1\frac{1}{2}$	63.5	95.2	-	-	-
2	104.8	157	210	-	-
$2\frac{1}{2}$	149.3	224	299	-	-
3	230	346	461	-	-
$3\frac{1}{2}$	-	463	617	-	-
4	-	595	794	992	1191
5	-	936	1248	1560	1872
6	-	1351	1801	2252	2702
8	-	-	3118	3897	4677
10	-	-	4920	6150	7380

Tabla 1.18: Diámetros de tuberías recomendados por flujo volumétrico para la tubería de descarga de una bomba.

D_1/D_2	Velocidad, v_2									
	0.6 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	1.8 m/s 6 pies/s	2.4 m/s 8 pies/s	3.0 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6.0 m/s 20 pies/s	9.0 m/s 30 pies/s	12.0 m/s 40 pies/s	
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11	
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20	
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27	
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29	
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30	
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31	
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33	
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34	
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35	
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36	
α	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38	

Tabla 1.19: Coeficiente de resistencia de contracción súbita.

D_1/D_2	Ángulo del cono, θ										
	3°	5°	10°	15° – 40°	50° – 60°	76°	90°	105°	120°	150°	
1.2	0.072	0.068	0.055	0.027	0.049	0.064	0.079	0.087	0.106	0.147	
1.4	0.074	0.064	0.053	0.043	0.069	0.096	0.127	0.147	0.171	0.215	
1.6	0.079	0.065	0.052	0.046	0.061	0.108	0.147	0.187	0.221	0.277	
1.8	0.090	0.067	0.050	0.040	0.059	0.118	0.160	0.209	0.251	0.324	
2.0	0.101	0.071	0.047	0.039	0.061	0.126	0.170	0.219	0.265	0.346	
2.2	0.103	0.077	0.047	0.040	0.064	0.131	0.178	0.225	0.271	0.357	
2.4	0.106	0.081	0.047	0.041	0.068	0.134	0.183	0.229	0.275	0.361	
2.6	0.109	0.086	0.049	0.043	0.072	0.135	0.186	0.232	0.277	0.363	
2.8	0.112	0.089	0.050	0.047	0.075	0.136	0.188	0.233	0.278	0.363	
3.0	0.115	0.092	0.052	0.050	0.078	0.135	0.188	0.234	0.278	0.363	

Tabla 1.20: Coeficiente de resistencia de contracción gradual.

D_2/D_1	Velocidad, v_1										
	0.6 m/s	1.2 m/s	3.0 m/s	4.5 m/s	6.0 m/s	9.0 m/s	12.0 m/s	2 pies/s	4 pies/s	10 pies/s	20 pies/s
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.2	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08
1.4	0.26	0.25	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.21	0.21	0.21	0.20
1.6	0.40	0.38	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
1.8	0.51	0.48	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40	0.41	0.41	0.41	0.40
2.0	0.60	0.56	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47	0.48	0.48	0.48	0.47
2.5	0.74	0.70	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58	0.60	0.60	0.60	0.58
3.0	0.83	0.78	0.73	0.70	0.69	0.67	0.65	0.67	0.67	0.67	0.65
4.0	0.92	0.87	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.74	0.74	0.74	0.72
5.0	0.96	0.91	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75	0.77	0.77	0.77	0.75
10.0	1.00	0.96	0.89	0.86	0.84	0.82	0.80	0.82	0.82	0.82	0.80
α	1.00	0.98	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81	0.83	0.83	0.83	0.81

Tabla 1.21: Coeficiente de resistencia de expansión súbita.

		Ángulo del cono, θ											
		D_2/D_1	2°	6°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
	1.1	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
	1.2	0.02	0.02	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
	1.4	0.02	0.03	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
	1.6	0.03	0.04	0.07	0.14	0.26	0.35	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61
	1.8	0.03	0.04	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
	2.0	0.03	0.04	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
	2.5	0.03	0.04	0.08	0.16	0.30	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.70
	3.0	0.03	0.04	0.08	0.16	0.31	0.40	0.48	0.55	0.59	0.63	0.66	0.71
	α	0.03	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

Tabla 1.22: Coeficiente de resistencia de expansión gradual.

Válvulas de	L_e/d
ángulo	150
compuerta	
abierta por completo	8
abierta 3/4	35
abierta 1/2	160
abierta 1/4	900
globo	340
mariposa	
Tubería de 20 mm (2 pulg) a 200 mm (8 pulg)	45
Tubería de 250 mm (10 pulg) a 350 mm (14 pulg)	35
Tubería de 400 mm (16 pulg) a 600 mm (24 pulg)	25
pie con filtro o alcachofa	
tipo disco de bisagra u obturador oscilante	75
tipo disco de vástago u obturador ascendente	420
verificación	
tipo bola	150
tipo giratorio	100

Tabla 1.23: Coeficiente de resistencia para válvulas.

Accesorios	K
Entrada	
que se proyecta hacia dentro	0.78
con bordes afilados	0.5
con chaflán	0.25
redondeada	
$r/d=0.00$	0.50
$r/d=0.02$	0.28
$r/d=0.04$	0.24
$r/d=0.06$	0.15
$r/d=0.10$	0.09
$r/d>0.10$	0.04
Salida	1
Te estándar	
flujo directo	$20f_t$
flujo ramal	$60f_t$
Vuelta en retorno	$50f_t$
Codo	
estándar a 90°	$30f_t$
radio largo a 90°	$20f_t$
roscado a 90°	$50f_t$
a 45°	$16f_t$
Curvas en escuadra	
$\alpha = 0^\circ$	$2f_t$
$\alpha = 15^\circ$	$4f_t$
$\alpha = 30^\circ$	$8f_t$
$\alpha = 45^\circ$	$15f_t$
$\alpha = 60^\circ$	$25f_t$
$\alpha = 75^\circ$	$40f_t$
$\alpha = 90^\circ$	$60f_t$

Tabla 1.24: Coeficiente de resistencia para accesorios.

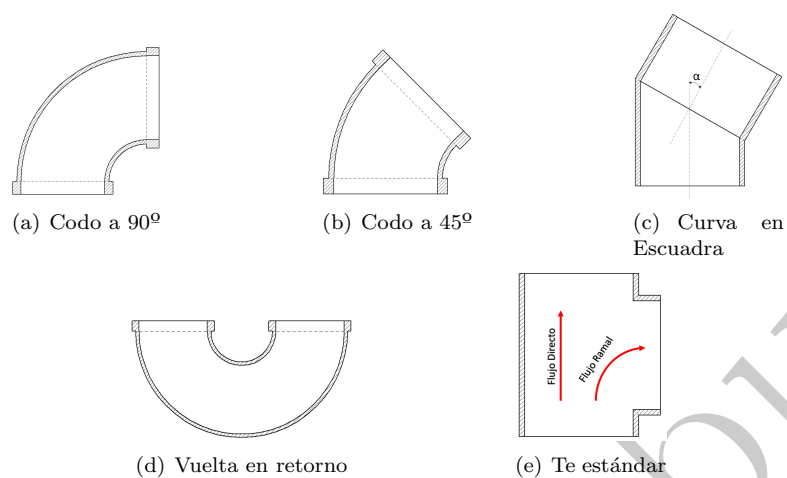


Figura 1.1: Codos de tuberías.

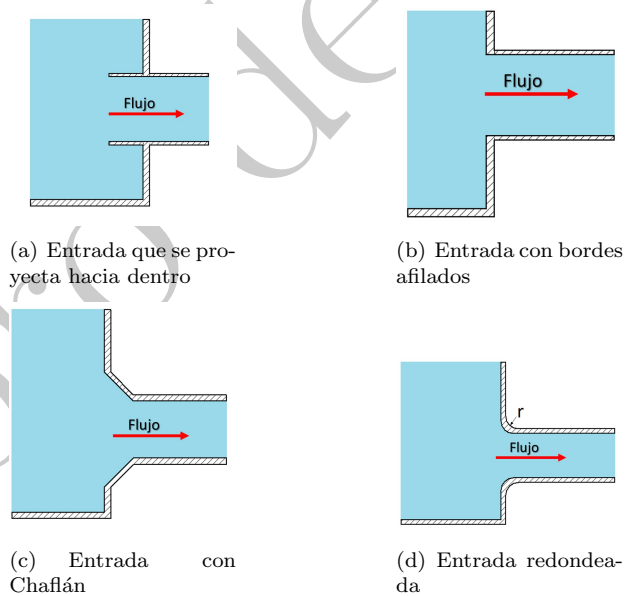


Figura 1.2: Entradas de tuberías.

1.3. Factores de conversión

1.3.1. Longitud

$$\begin{aligned}1 \text{ m} &= 3.281 \text{ pies} = 39.37 \text{ pulg} \\1 \text{ pies} &= 12 \text{ pulg} \\1 \text{ mi} &= 1609.34 \text{ m} = 5280 \text{ pies} \\1 \text{ yarda} &= 3 \text{ pies} = 0.9144 \text{ m}\end{aligned}$$

1.3.2. Masa

$$\begin{aligned}1 \text{ slug} &= 14.59 \text{ kg} = 37.174 \text{ lb}_m \\1 \text{ kg} &= 2.205 \text{ lb}_m \\1 \text{ ton}_m &= 1000 \text{ kg} \\1 \text{ quintal largo} &= 50.802 \text{ kg} \\1 \text{ quintal (métrico)} &= 100 \text{ kg}\end{aligned}$$

1.3.3. Tiempo

$$\begin{aligned}1 \text{ hora} &= 60 \text{ min} = 3600 \text{ s} \\1 \text{ día} &= 24 \text{ horas} \\1 \text{ año} &= 365.25 \text{ días} \\1 \text{ lustro (quinquenio)} &= 5 \text{ años}\end{aligned}$$

1.3.4. Temperatura

$$\begin{aligned}T_C &= (T_F - 32)/1.8 \\T_F &= 1.8T_C + 32 \\T_K &= T_C + 273.15 \\T_R &= T_F + 459.67\end{aligned}$$

1.3.5. Fuerza

$$\begin{aligned}1 \text{ N} &= 1 \times 10^5 \text{ dinas} = 0.2248 \text{ lb} \\1 \text{ lb} &= 4.448 \times 10^5 \text{ dinas} \\1 \text{ kg}_f &= 9.81 \text{ N} \\1 \text{ poundal (pdl)} &= 0.1383 \text{ N}\end{aligned}$$

1.3.6. Área

$$\begin{aligned}1 \text{ acre} &= 43560 \text{ pies}^2 \\1 \text{ hectárea} &= 1 \times 10^4 \text{ m}^2 \\1 \text{ pies}^2 &= 144 \text{ pulg}^2 \\1 \text{ m}^2 &= 10.76 \text{ pies}^2\end{aligned}$$

1.3.7. Volumen

$$\begin{aligned}1 \text{ m}^3 &= 35.31 \text{ pies}^3 = 264.2 \text{ gal} \\1 \text{ m}^3 &= 1000 \text{ L} \\1 \text{ pies}^3 &= 1728 \text{ pulg}^3 = 7.48 \text{ gal} \\1 \text{ pies}^3 &= 28.32 \text{ L} \\1 \text{ gal} &= 3.785 \text{ L} = 231 \text{ pulg}^3 \\1 \text{ L} &= 61.02 \text{ pulg}^3 = 2.113 \text{ pintas} \\1 \text{ barril} &= 42 \text{ gal}\end{aligned}$$

1.3.8. Flujo volumétrico

$$\begin{aligned}1 \text{ m}^3/\text{s} &= 35.31 \text{ pies}^3/\text{s} = 15850 \text{ gal}/\text{min} \\1 \text{ m}^3/\text{s} &= 60000 \text{ L}/\text{min} \\1 \text{ pies}^3/\text{s} &= 449 \text{ gal}/\text{min}\end{aligned}$$

1.3.9. Densidad

$$\begin{aligned}1 \text{ slug}/\text{pies}^3 &= 515.4 \text{ kg}/\text{m}^3 \\1 \text{ lb}_m/\text{pies}^3 &= 16.018 \text{ kg}/\text{m}^3\end{aligned}$$

1.3.10. Presión

$1 \text{ lb/pies}^2 \text{ (psf)}$	=	47.88 Pa	
1 bar	=	$1 \times 10^5 \text{ Pa}$	= 14.50 psi
1 psi	=	6895 Pa	
1 psi	=	27.68 <i>pulgH₂O</i>	= 51.71 mmHg
1 psi	=	2.036 pulgHg	
1 <i>pulgH₂O</i>	=	249.08 Pa	
1 mmHg	=	133.32 Pa	
1 atm	=	14.696 psi	= 101325 Pa
1 atm	=	29.92 pulgHg	= 760 mmHg

1.3.11. Energía

1 lb-pies	=	1.356 J	
1 J	=	8.85 lb-pulg	= 9.48×10^{-9} termia
1 Btu	=	1055.1 J	= 778.17 pie-lb
1 W-h	=	3600 J	

1.3.12. Potencia

1 <i>hp</i>	=	745.7 W	= 550 <i>lb-pies/s</i>
1 <i>lb-pies/s</i>	=	1.356 W	
1 W	=	3.412 Btu/h	

1.3.13. Viscosidad (dinámica)

1 Pa.s	=	10 poise
--------	---	----------

1.3.14. Viscosidad cinemática

$1 \text{ m}^2/\text{s}$	=	$10.764 \text{ pies}^2/\text{s}$	= 1×10^4 stoke
--------------------------	---	----------------------------------	-------------------------

1.3.15. Prefijos del Sistema Internacional

Factor	Prefijo	Símbolo
10^{30}	quetta	Y
10^{24}	yotta	Y
10^{21}	zetta	Z
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	yocto	y
10^{-27}	ronto	y
10^{-30}	quecto	y