

---

## APÉNDICE

### Solución de problemas de tuberías

Ecuación de Bernoulli Generalizada:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{\bar{V}_1^2}{2g} + z_1 - h_{f1-2} + H_{B,V} - H_T + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + z_2$$

Ecuación de Darcy-Weisbach para pérdidas primarias:

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

En función del caudal:

$$h_f = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2$$

Pérdidas secundarias:

Usando el método de longitud equivalente

$$h_f = f \frac{L_{eq}}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{8fL_{eq}}{g\pi^2 D^5} Q^2$$

Usando el método del coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria  $K$ :

$$h_f = K \frac{V^2}{2g} = K \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4}$$

Velocidad  $V$  en función del caudal  $Q$ :

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

Existen cuatro casos generales:

- a)  $L, Q, D$  conocidas  $\Delta P$  o  $H$  (altura de una turbomáquina) desconocida
- b)  $\Delta P$  o  $H, Q, D$  conocidas y  $L$  desconocida
- c)  $\Delta P$  o  $H, L, D$  conocidas y  $Q$  desconocida
- d)  $\Delta P$  o  $H, L, Q$  conocidas y  $D$  desconocida

**a.  $L, Q, D$  conocidas  $\Delta P$  desconocida:**

El factor de fricción se obtiene con el diagrama de Moody o de las ecuaciones empíricas empleando los factores  $R_{eD}$  y  $\frac{\epsilon}{D}$  calculado a partir de los datos proporcionados. La pérdida de la carga total se calcula en base a la ecuación de Darcy-Weisbach.

Luego se emplea la ecuación de Bernoulli generalizada y se hacen las simplificaciones adecuadas según el problema para evaluar la caída de presión  $\Delta P$  o la altura ( $H_{B,V}$  ó  $H_T$ ) de la turbomáquina si el problema lo requiere.

**b.  $\Delta P$  o  $H, Q, D$  conocidas y  $L$  desconocida:**

La pérdida de la carga total  $h_{f1-2}$  se calcula a partir de la ecuación de Bernoulli generalizada con las simplificaciones adecuadas según el problema. Un factor de fricción se obtiene del diagrama de Moody o de ecuaciones empíricas empleando los valores de  $Re_D$  y  $\frac{\epsilon}{D}$ , calculados con la base de datos proporcionados. La longitud desconocida se obtiene resolviendo la ecuación de Darcy-Weisbach en donde aparece la longitud del tramo desconocido.

**c.  $\Delta P$  o  $H, L, D$  conocidas y  $Q$  desconocida**

La ecuación de Bernoulli generalizada, con las simplificaciones adecuadas según el problema, se combina con la ecuación de definición correspondiente a las pérdidas de carga, ecuación de Darcy-Weisbach; el resultado es una expresión para la velocidad en la tubería  $\bar{V}$  o el caudal  $Q$  en términos del factor de fricción  $f$ . La mayor parte de los flujos de tubería de interés para la ingeniería tienen número de Reynolds relativamente grandes. Aun cuando el número de Reynolds (y por lo tanto  $f$ ) no pueden calcularse debido a que no se conoce  $Q$ , una primera buena suposición para el factor de fricción se toma de la región completamente rugosa o zona de régimen completamente turbulento. Empleando el valor de  $f$  supuesto se calcula una primera aproximación de  $V$  o  $Q$ . El número de Reynolds se calcula para esta  $V$  y se obtiene un nuevo valor de  $f$  y con este nuevo valor se recalcula  $V$  o  $Q$  obteniendo una segunda aproximación. Puesto que  $f$  es una función que depende del número de Reynolds, es raro que se requieran más de dos iteraciones para la convergencia.

Cuando se tiene un sistema de tuberías con diferentes diámetros, es preferible combinar la ecuación de Bernoulli generalizada con la ecuación de Darcy-Weisbach en función del caudal, así como cada una de las velocidades que aparezcan, deberán ser expresadas en función del caudal, ya que los diámetros de los diferentes tramos de tubería deben ser conocidos. A partir de la ecuación de Bernoulli generalizada se obtiene una ecuación para el caudal en función de los diferentes factores de fricción de Darcy según el número de tramos de diferente diámetro que se tengan en el problema. La primera aproximación para estos factores de fricción se toma de la zona completamente turbulenta, iterando hasta obtener la convergencia del valor del caudal.

**d.  $\Delta P$  o  $H, L, Q$  conocidas y  $D$  desconocida**

Cuando se conoce la turbomáquina que maneja un fluido y se conoce la geometría del sistema de tuberías, el problema es determinar el **tamaño de tubería más pequeño** y por lo tanto de menor costo, el cual puede entregar el fluido deseado. Puesto que el diámetro de la tubería se desconoce, ni el número de Reynolds ni la rugosidad relativa pueden calcularse directamente, por lo tanto se requiere una solución iterativa.

Los cálculos se inician suponiendo el diámetro de la tubería de ensayo. Después se calculan el número de Reynolds y la rugosidad relativa utilizando el diámetro supuesto. Se obtiene un factor de fricción y se calcula la pérdida de carga usando la ecuación de Darcy-Weisbach y se resuelve la ecuación de Bernoulli generalizada con las simplificaciones apropiadas para verificar si se satisface el requerimiento del sistema, que puede ser una limitación en la caída de presión  $\Delta P$ .

Si la  $\Delta P$  de ensayo es demasiado, se repiten los cálculos para un valor de  $D$  supuesto más grande. Si la  $\Delta P$  de ensayo es menor que el criterio, debe verificarse una  $D$  más pequeña, hasta encontrar el diámetro mínimo que cumpla con el requerimiento del sistema.

Al elegir el tamaño de la tubería es lógico trabajar con los diámetros que son disponibles comercialmente. Las tuberías se fabrican con un número limitado de tamaños estándar.

## TABLAS DE DIÁMETROS COMERCIALES

**Tabla 1 (Crane. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Mc Graw Hill, 1987).**

Tuberías Comerciales de Acero. Con base en ANSI B36.10: 1970 y BS 1600: Parte 2: 1970.									
Espesor de la Tubería según número de cédula.									
Cédula	Medida nominal de la tubería en pulgadas	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)	Cédula	Medida nominal de la tubería en pulgadas	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
Cédula 10	14	355,6	6,35	342,9	Cédula 80	3 1/2	101,6	8,08	85,4
	16	406,4	6,35	393,7		4	114,3	8,56	97,2
	18	457,2	6,35	444,5		5	141,3	9,52	122,3
	20	508	6,35	495,3		6	168,3	10,97	146,4
	24	609,6	6,35	596,9		8	219,1	12,7	193,7
	30	762	7,92	746,2		10	273	15,09	242,8
Cédula 20	8	219,1	6,35	206,4		12	323,9	17,47	289
	10	273	6,35	260,3		14	355,6	19,05	317,5
	12	323,9	6,35	311		16	406,4	21,44	363,5
	14	355,6	7,92	339,8		18	457,2	23,82	409,6
	16	406,4	7,92	390,6		20	508	26,19	455,6
	18	457,2	7,92	441,4		24	609,6	30,96	547,7
	20	508	9,52	489	Cédula 100	8	219,1	15,09	188,9
	24	609,6	9,52	590,6		10	273	18,26	236,5
	30	762	12,7	736,6		12	323,9	21,44	281
	8	219,1	7,04	205		14	355,6	23,82	308
	10	273	7,8	257,4		16	406,4	26,19	354
	12	323,9	8,38	307,1		18	457,2	29,36	398,5
	14	355,6	9,52	336,6		20	508	32,54	442,9
	16	406,4	9,52	387,4		24	609,6	38,89	531,8
	18	457,2	11,13	434,9	Cédula 120	4	114,3	11,13	92
	20	508	12,7	482,6		5	141,3	12,7	115,9
Cédula 30	24	609,6	14,27	581,1		6	168,3	14,27	139,8
	30	762	15,88	730,2		8	219,1	18,26	182,6
	8	219,1	1,73	6,8		10	273	21,44	230,1
	10	273	2,24	9,2		12	323,9	25,4	273,1
	12	323,9	2,31	12,5		14	355,6	27,79	300
	14	355,6	2,77	15,8		16	406,4	30,96	344,5
	16	406,4	2,87	21		18	457,2	34,92	387,4
	18	457,2	3,38	26,6		20	508	38,1	431,8
Cédula 40	20	508	3,56	35,1		24	609,6	46,02	517,6
	24	609,6	3,68	40,9	Cédula 140	1	219,1	20,62	177,9
	30	762	3,91	52,5		10	273	25,4	222,22
	36	914,4	5,16	82,7		12	323,9	28,58	266,7
	42	1066,8	5,49	105,9		14	355,6	31,75	292,1
	48	1219,2	5,74	117,7		16	406,4	36,52	333,4
	54	1371,6	6,35	135,3					
	60	1524,0	6,35	152,7					
	66	1676,4	6,35	170,1					
	72	1828,8	6,35	187,5					
	78	1981,2	6,35	204,9					
	84	2133,6	6,35	222,3					
	90	2286,0	6,35	239,7					

## Ingeniería Mecánica – ULA Venezuela

	4	114,3	6,02	102,3		18	457,2	39,69	377,8
	5	141,3	6,55	128,2		20	508	44,45	419,1
	6	168,3	7,11	154,1		24	609,6	52,39	504,8
	8	219,1	8,18	202,7		1/2	21,3	4,78	11,7
	10	273	9,27	254,5		3/4	26,7	5,56	15,6
	12	323,9	10,31	303,3		1	33,4	6,35	20,7
	14	355,6	11,13	333,3		1 1/4	42,2	6,35	29,5
	16	406,4	12,7	381		1 1/2	48,3	7,14	34
	18	457,2	14,27	428,7		2	60,3	8,74	42,8
	20	508	15,09	477,8		2 1/2	73	9,52	54
	24	609,6	17,48	574,6		3	88,9	11,13	66,6
Cédula 60	8	219,1	10,31	198,5	Cédula 160	4	114,3	13,49	87,3
	10	273	12,7	247,6		5	141,3	15,88	109,5
	12	323,9	14,27	295,4		6	168,3	18,26	131,8
	14	355,6	15,09	325,4		8	219,1	23,01	173,1
	16	406,4	16,64	373,1		10	273	28,58	215,8
	18	457,2	19,05	419,1		12	323,9	33,34	257,2
	20	508	20,62	466,8		14	355,6	35,71	284,2
	24	609,6	24,61	560,4		16	406,4	40,49	325,4
Cédula 80	1/8	10,3	2,41	5,5		18	457,2	45,24	366,7
	1/4	13,7	3,02	7,7		20	508	50,01	408
	3/8	17,1	3,2	10,7		24	609,6	59,54	490,5
	1/2	21,3	3,73	13,8					
	3/4	26,7	3,91	18,9					
	1	33,4	4,55	24,3					
	1 1/4	42,2	4,85	32,5					
	1 1/2	48,3	5,08	38,1					
	2	60,3	5,54	49,2					
	2 1/2	73	7,01	59					
	3	88,9	7,62	73,7					

Tabla 1 (Continuación)

<b>B-13a. Tuberías comercial de acero (continuación) Con base en ANSI B36.10: 1970 y BS 1600: Parte 2: 1970</b>							
<i>Tubería de espesor estándar</i>				<i>Tubería extra reforzada</i>			
<i>Medida nominal de la tubería en pulgadas</i>	<i>Diámetro exterior (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Diámetro interior (mm)</i>	<i>Medida nominal De la tubería En pulgadas</i>	<i>Diámetro exterior (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Diámetro interior (mm)</i>
			6,8	1/8	10,30	2,41	5,50
1/48	16,3	2,24	9,2	1/4	13,70	3,02	7,70
3/8	17,1	2,31	12,5	3/8	17,10	3,20	10,70
1/2	21,3	2,77	15,8	1/2	21,3	3,73	13,8
3/4	26,7	2,87	21	3/4	26,7	3,91	18,9
1				1	33,4	4,55	24,3
1 1/4	42,2 - 33,4	3,56 - 3,38	26,6 - 35,1	1 1/4	42,2	4,85	32,5
2	48,3	3,68	40,9	1 1/2	48,3	5,08	38,1
2 1/2	60,3 - 73,0	3,91 - 5,16	62,7 - 52,5	2	60,3	5,54	49,2
3	88,9	5,49	77,9	2 1/2	73	7,01	59
3 1/2	101,6	5,74	90,1	3	88,9	7,62	73,7
4	114,3	6,02	102,3	3%	101,6	8,08	85,4
5				4	114,3	8,56	97,2
6	141,3-168,3	7,11 - 6,55	128,2 - 154,1	5	141,3	9,52	122,3
8	219,1 s	8,18	202,7	6	168,3	10,97	146,4
10	273,0 s	9,27	254,5	8	219,1	12,7	193,7
12	323,9 s	9,52	304,9	10	273	12,7	247,6
				12	323,9	12,7	298,5

<i>Tubería doble extra reforzada</i>			
<i>Medida nominal de la tubería en pulgadas</i>	<i>Diámetro Exterior (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Diámetro interior (mm)</i>
1/2	21,3	7,47	6,4
3/4	26,7	7,82	11,1
1	33,4	9,09	15,2
1 ¼	42,2	9,7	22,8
1 ½	48,3	10,16	28
2	60,3	11,07	38,2
2 ½	73	14,02	45
3	88,9	15,24	58,4
4	114,3	17,12	80,1
5	141,3	19,05	103,2
6	168,3	21,95	124,4
8	219,1	22,22	174,7
10	273	25,4	222,2
12	323,9	25,4	273,1

**Tabla 2 (Crane. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Mc Graw Hill, 1987).**

<p align="center"><b>B-16. Tuberías comerciales de acero.</b></p> <p align="center"><b>Extraído de ISO 339 * 1974 y BS 3600 : 1973</b></p>
--

<i>Medida nominal de la tubería en pulgadas</i>	<i>Diámetro exterior (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Diámetro interior (mm)</i>	<i>Medida nominal de la tubería en pulgadas</i>	<i>Diámetro exterior (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Diámetro Interior (mm)</i>
1/8	10,2	1,6	7	2	60,3	3,6	53,1
		1,8	6,6			4	52,3
		2	6,2			4,5	51
		2,3	5,6			5	50,3
1/4	13,5	1,8	9,9			5,4	49,5
		2	9,5			5,6	49,1
		2,3	8,9			5,9	48,5
		2,6	8,3			6,3	47,7
		2,9	7,7			7,1	46,1
		2	13,2			8	44,3
3/8	17,2	2,3	12,6			8,8	42,7
		2,6	12			10	40,3
		2,9	11,4			11	38,3
		3,2	10,8			5	66,1
1/2	21,3	2,6	16,1	2%	76,1	5,4	65,3

## Ingeniería Mecánica – ULA Venezuela

			2,9	15,5			5,6	64,9
			3,2	14,9			5,9	64,3
			3,6	14			6,3	63,5
			4	13,3			7,1	61,9
			4,5	12,3			8	60,1
			5	11,3			8,8	58,5
			5,4	10,3			10	56,1
	1/4	26,9	2,6	21,7			11	54,1
			2,9	21,1			12,5	51,1
			3,2	20,5			14,2	47,7
			3,6	19,7	3	88,9	5,4	78,1
			4	18,9			5,6	77,7
			4,5	17,9			5,9	77,1
			5	16,9			6,3	76,3
			5,4	16,1			7,1	74,7
			5,6	15,7			8	72,9
			5,9	15,1			8,8	71,3
			6,3	14,3			10	68,9
			7,1	12,7			11	66,9
		33,7	3,2	27,3			12,5	63,9
			3,6	26,5			14,2	60,5
			4	25,7			16	56,9
			4,5	24,7	3%	101,6	5,6	90,4
			5	23,7			5,9	89,8
			5,4	22,9			6,3	89
			5,6	22,5			7,1	87,4
			5,9	21,9			8	85,6
			6,3	21,1			8,8	84
			7,1	19,5			10	81,6
			8	17,7			11	79,6
			8,8	16,1			12,5	76,6
	1 1/4	42,4	3,2	36			14,2	73,2
			3,6	35,2			16	69,6
			4	34,4			17,5	66,6
			4,5	33,4	4	114,3	5,6	103,1
			5	32,4			5,9	102,5
			5,4	31,6			6,3	101,7
			5,6	31,2			7,1	100,1
			5,9	30,6			8	98,3
			6,3	29,8			8,8	96,7
			7,1	28,2			10	94,3
			8	26,4			11	92,3
			8,8	24,8			12,5	89,3
			10	*22,4			14,2	85,9

	1%	48,3	3,2	41,9			16	82,3
			3,6	41,1			17,5	79,3
			4	40,3			20	74,3
			4,5	39,3	5	139,7	5,9	127,9
			5	38,3			6,3	127,1
			5,4	37,5			7,1	125,5
			5,6	37,1			8	123,7
			5,9	36,5			8,8	122,1
			6,3	35,7			10	119,7
			7,1	34,1			11	117,7
			8	32,3			12,5	114,7
			8,8	30,7			14,2	111,3
			10	28,3			16	107,7
	*No está incluido en BS 3600: 1973						17,5	104,7
							20	99,7

**Tabla 2 (Continuación)**

<b>B-16. Tuberías comerciales de acero (continuación)</b>							
<i>Medida nominal de la tubería en pulgadas</i>	<i>Diámetro exterior (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Diámetro interior (mm)</i>	<i>Medida nominal de la tubería en pulgadas</i>	<i>Diámetro exterior (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Diámetro interior (mm)</i>
6	168,3	6	155,7	16	406,4	6	393,8
		7,1	154,1			7,1	392,2
		8	152,3			8	390,4
		8,8	150,7			8,8	388,8
		10	148,3			10	386,4
		11	146,3			11	384,4
		12,5	143,3			12,5	381,4
		14,2	139,9			14,2	378
		16	136,3			16	374,4
		17,5	133,3			17,5	371,4
		20	128,3			20	366,4
		22,2	123,9			22,2	362
8	219,1	6,3	206,5			25	356,4
		7,1	204,9			28	*350,4
		8	203,1			30	*346,4
		8,8	201,5			32	*342,4
		10	199,1			36	*334,4
		11	197,1			40	*326,4
		12,5	194,1			45	*316,4
		14,2	190,7	18	457	6,3	444,4
		16	187,1			7,1	442,8



## Ingeniería Mecánica – ULA Venezuela

			17,5	184,1			8	441
			20	179,1			8,8	439,4
			22,2	174,7			10	437
			25	169,1			11	435
	10	273	6,3	260,4			12,5	432
			7,1	258,8			14,2	428,6
			8	257			16	425
			8,8	255,4			17,5	422
			10	253			20	417
			11	251			22,2	412,6
			12,5	248			25	407
			14,2	244,6			28	*401
			16	241			30	*397
			17,5	238			32	*393
			20	233			36	*385
			22,2	228,6			40	377
			25	223			45	*367
			28	*217			50	*357
	12	323,9	30	*213,0	20	508	6,3	495,4
			6,3	311,3			7,1	493,8
			7,1	309,7			8	492
			8	307,9			8,8	490,4
			8,8	306,3			10	488
			10	303,9			11	486
			11	301,9			12,5	483
			12,5	298,9			14,2	479,6
			14,2	295,5			16	476
			16	291,5			17,5	473
			17,5	288,9			20,2	468
			20	283,9			22,2	463,6
			22,2	279,5			25	458
			25,2	273,9			28	*452
			28,2	*267,9			30	*448
			30,3	*263,9			32	*444
			32	*259,9			36	*436
			36	*251,9			40	*428
	14	355,6	6,3	343			45	*418
			7,1	341,4			50	*408
			8	339,6			55	*398
			8,8	338	24	610	6,3	597,4
			10	335,6			7,1	595,8
			11	333,6			8	594
			12,5	330,6			8,8	592,4
			14,2	327,2			10	590

Ingeniería Mecánica – ULA Venezuela

			16	323,6			11	588
			17,5	320,6			12,5	585
			20	315,6			14,2	581,6
			22,2	311,2			16	578
			25	305,6			17,5	575
			28	*299,6			20	570
			30	*295,6			22,2	565,6
			32	*291,6			25	560
			36	*283,6			28	*554
* No está incluido en BS 3600:1973							30	*550
							32	*546
							36	*538
							40	*530
							45	*520
							50	*510
							55	*500
							60	*490

---

**RESÚMEN DE ECUACIONES PARA CALCULO DE PÉRDIDAS EN TUBERIAS**
**Régimen Laminar**

$$f = \frac{64}{ReD}$$

$$h_f = \frac{64}{ReD} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

En función del caudal:

$$h_f = \frac{128\mu L}{\gamma \pi D^4} Q$$

Esto se cumple en Régimen Laminar tanto para tuberías lisas como rugosas

$$f = f(Re)$$

**Flujo turbulento:**

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

En función del caudal:

$$h_f = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2$$

$$h_f = R_h Q^2$$

$$R_h = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5}$$

$R_h$  Resistencia hidráulica de la tubería.

**Cálculo de  $f$  en Régimen Turbulento, tuberías lisas  $\varepsilon=0$  para  $2.000 < Re < 100.000$ . Ecuación de Blasius:**

$$f = \frac{0.316}{ReD^{1/4}}$$

**Cálculo de  $f$  en Régimen Turbulento, tuberías lisas  $\varepsilon=0$  para  $Re > 100000$  : se aplica la 1era ecuación de Karman-Prandtl:**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(ReD \sqrt{f}) - 0.8$$

**Tuberías comerciales o de rugosidad natural. En la zona de transición en que  $f = f(ReD, \frac{\varepsilon}{D})$  se cumple la Ecuación de Colebrook-White:**

---


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

**Ecuación Universal** de Pérdida de carga en los conductos industriales. Los problemas prácticos con frecuencia se encuentran en esta zona de transición.

**También para Tuberías comerciales o de rugosidad natural, la ecuaciones de Swamee y Jain (1976)** representan con precisión la relación de Colebrook, con la ventaja de tener el factor de fricción de forma explícita, la ecuación para el factor de fricción es:

$$f = 1.325 \left\{ \ln \left[ 0.27 \left( \frac{\varepsilon}{D} \right) + 5.74 \left( \frac{1}{Re_D} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2} \quad 10^{-8} < \frac{e}{D} < 0.01 \quad 5000 < Re < 10^8$$

$$h_f = 1.07 \frac{Q^2 L}{g D^5} \left\{ \ln \left[ \frac{\varepsilon}{3.7 D} + 4.62 \left( \frac{v D}{Q} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2} \quad 10^{-6} < \frac{e}{D} < 10^{-2} \quad 3000 < Re < 3 * 10^8$$

$$Q = -0,965 \left( \frac{g D^5 h_f}{L} \right)^{0.5} \ln \left[ \frac{\varepsilon}{3,7 D} + \left( \frac{3.17 v^2 L}{g D^3 h_f} \right)^{0.5} \right] \quad Re > 2000$$

$$D = 0.66 \left[ \varepsilon^{1.25} \left( \frac{L Q^2}{g h_f} \right)^{4.75} + v Q^{9.4} \left( \frac{L}{g h_f} \right)^{5.2} \right]^{0.04} \quad 10^{-6} < \frac{e}{D} < 10^{-2} \quad 5000 < Re < 3 * 10^8$$

**Tuberías Comerciales o de rugosidad natural a número de Reynolds tanto más elevados** cuando el flujo se encuentra en la *región totalmente turbulenta*, en donde el factor de fricción no depende de  $Re_D$  se cumple la segunda ecuación de *Karman-Prandtl*. Esta ecuación se puede usar cuando no se conoce el caudal y por lo tanto no se puede calcular el número de  $Re_D$ . Entonces, con esta ecuación se puede obtener la primera aproximación del factor de fricción en la zona de turbulencia total, en función sólo de la rugosidad relativa.

$$f = \left[ \frac{1}{2 \log \left( \frac{1}{2 \frac{\varepsilon}{D}} \right) + 1.74} \right]^2$$

La ecuación de *Colebrook – White* es asintótica tanto a la primera Ecuación de *Karman-Prandtl* en donde  $f = f(Re_D)$  como a la segunda  $f = f\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)$

Existen también otras ecuaciones empíricas que permiten el cálculo del coeficiente de resistencia. Una de ellas es la expresión de  $R_h$  para la ecuación de Hazen-Williams:

$$R_h = \frac{K_1 L}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

Donde  $C$  es el coeficiente de Hazen-Williams que depende solo de la aspereza (ver tabla) y  $K_1$  es una constante que depende del sistema de unidades utilizado: para SI  $K_1 = 10,59$  y para unidades inglesas  $K_1 = 4,72$ .

Otra de estas expresiones empíricas es la expresión de  $R_h$  para la ecuación de Chezy-Manning, que se usa mayormente para flujo en canales abiertos, pero puede también utilizarse en el caso de flujo en tuberías, principalmente cuando se estudia el flujo en drenajes que fluyen llenos. Para esta ecuación la expresión del coeficiente de resistencia es:

$$R_h = \frac{10.29 n^2 L}{K_2 D^{5.33}}$$

Donde  $n$  es el coeficiente de Manning (ver tabla) y  $K_2$  depende del sistema de unidades: Para SI  $K_2 = 1$  y para unidades inglesas  $K_2 = 2,22$ .

La ventaja del uso de estas últimas dos formulaciones es que permiten determinar un valor de coeficiente de resistencia independiente del número de Reynolds, y su inconveniente es que presentan un valor muy aproximativo, siendo más preciso el método de Hazen-Williams que el de Chezy-Manning.

Todas las expresiones anteriores son referidas a pérdidas de carga primarias en tuberías, sin embargo si utilizamos el método de la longitud equivalente para las pérdidas secundarias, bastará sustituir la longitud por la suma de la longitud real más la longitud equivalente. Por ejemplo en el caso de la ecuación de Darcy-Weisbach el valor de  $R_h$  será:

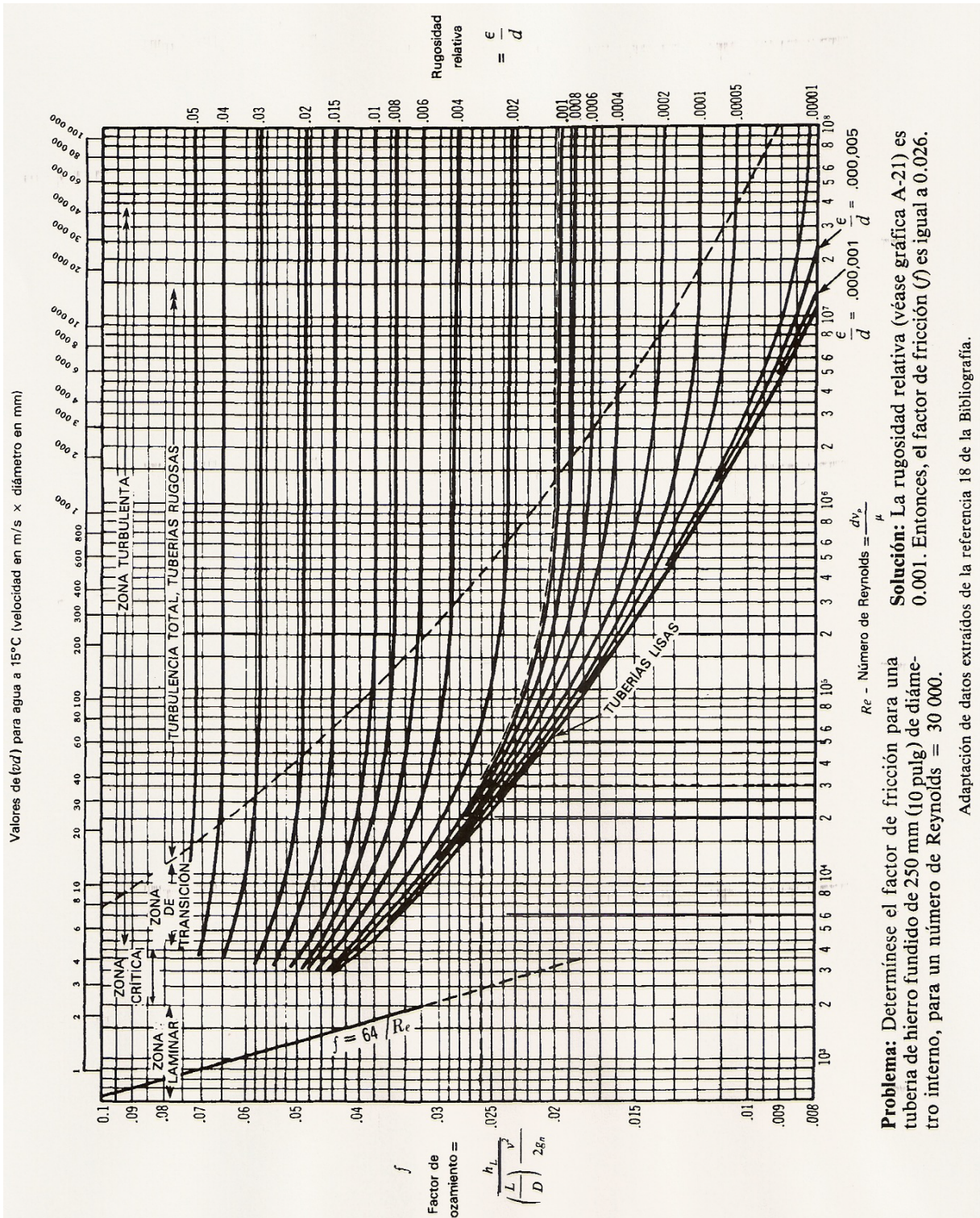
$$R_h = \frac{8f(L + L_{eq})}{g\pi^2 D^5}$$

**Tabla 3 Coeficientes de Hazen-Williams y Manning**

<i>Tipo de tubería</i>	<i>Coeficiente de Hazen-Williams C</i>
Extremadamente lisa; asbesto-cemento	140
Hierro colado nuevo o liso; hormigón	130
Estacas de madera; acero recién soldado	120
Hierro colado ordinario; acero recién remachado; arcilla vitrificada	110
Hierro colado o acero remachado después de algunos años de uso	95-100
Tuberías viejas deterioradas	60-80

<i>Material de la Tubería</i>	<i>Coeficiente de Manning n</i>
Madera cepillada	0.012
Madera no cepillada	0.013
Concreto acabado	0.012
Concreto no acabado	0.014
Tubería de alcantarillado	0.013
Tubería de concreto	0.015
Tabique	0.016
Hierro colado o forjado	0.015
Acero remachado	0.017
Canal metálico corrugado	0.025
Tierra recta	0.022
Grava	0.03
Tierra con piedras y hierbas	0.035
Arroyos de montaña	0.05

## DIAGRAMA DE MOODY



**Rugosidades Absolutas****Tabla 4 Rugosidad absoluta de tuberías comerciales**

	$\varepsilon$ (pies)	$\varepsilon$ (mm)
Acero remachado	0.01	3
Concreto	0.001-0.01	0.3-3
Madera	0.001	0.3
Hierro colado	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro forjado	0.00015	0.046
Tubos estirados	0.000005	0.0015

**Tabla 5 Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales**  
**(Frank M. White. Mecánica de Fluidos 5ta Edición)**

<i>Material</i>	<i>Condición</i>	$\varepsilon$		<i>Incertidumbre, %</i>
		<i>ft</i>	<i>mm</i>	
Acero	Lámina metálica, nueva	0,00016	0,05	±60
	Inoxidable	0,000007	0,02	±50
	Comercial, nuevo	0,00015	0,046	±30
	Estriado	0,01	3	±70
	Oxidado	0,007	2	±50
Hierro	Fundido, nuevo	0,00085	0,26	±50
	Forjado, nuevo	0,00015	0,046	±20
	Galvanizado, nuevo	0,0005	0,15	±67
	Fundido asfáltico	0,0004	0,12	±40
Latón	Laminado	0,000007	0,002	±50
Plástico	Tubo laminado	0,000005	0,0015	±60
Vidrio	-----	Liso	Liso	
Hormigón	Liso	0,00013	0,04	±60
	Rugoso	0,007	2	±50
Caucho	Liso	0,000033	0,01	±60
Madera	En duelas	0,0016	0,5	±40

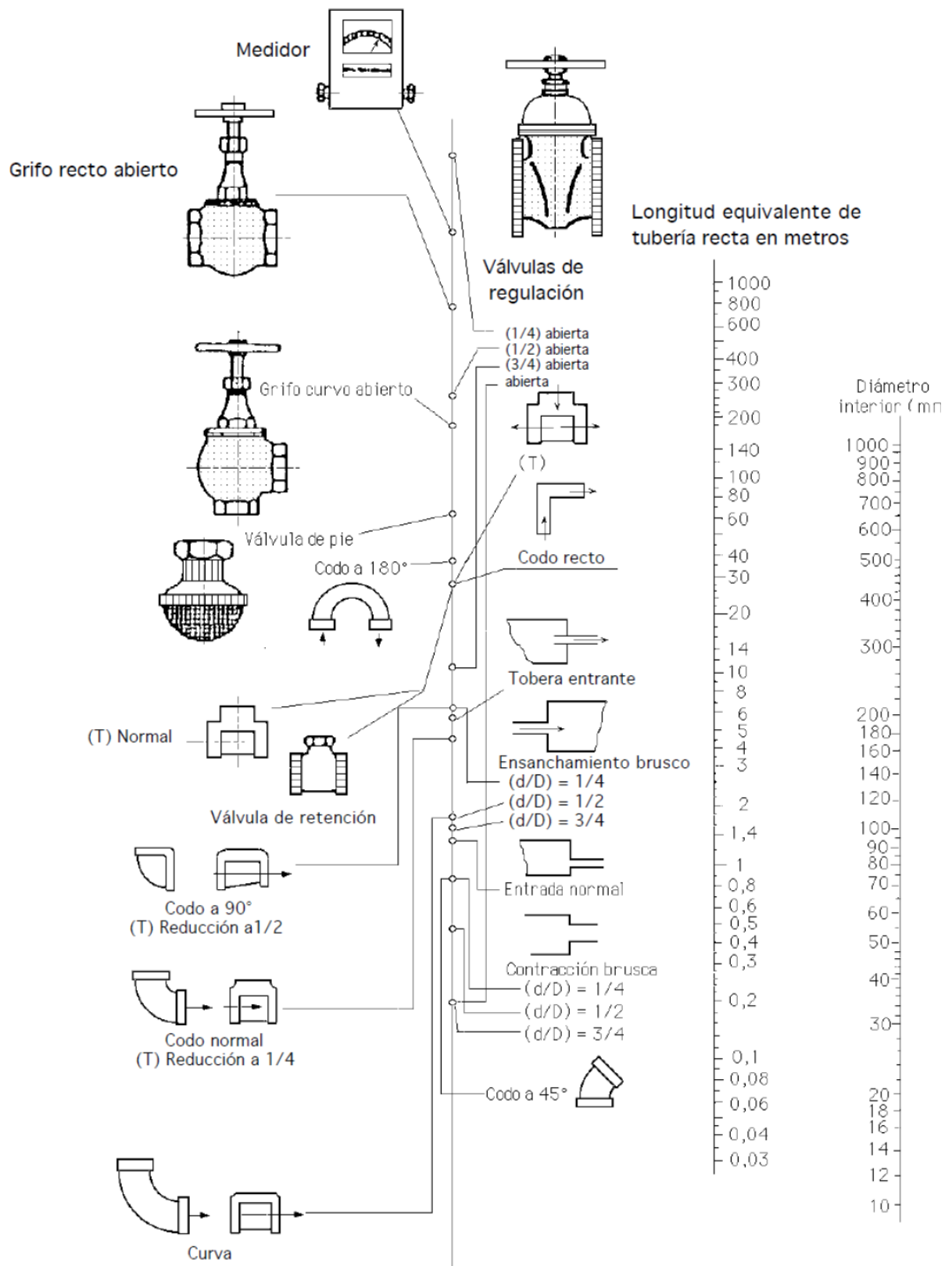
**TABLAS Y MONOGRAMAS PARA CALCULAR PÉRDIDAS SECUNDARIAS**

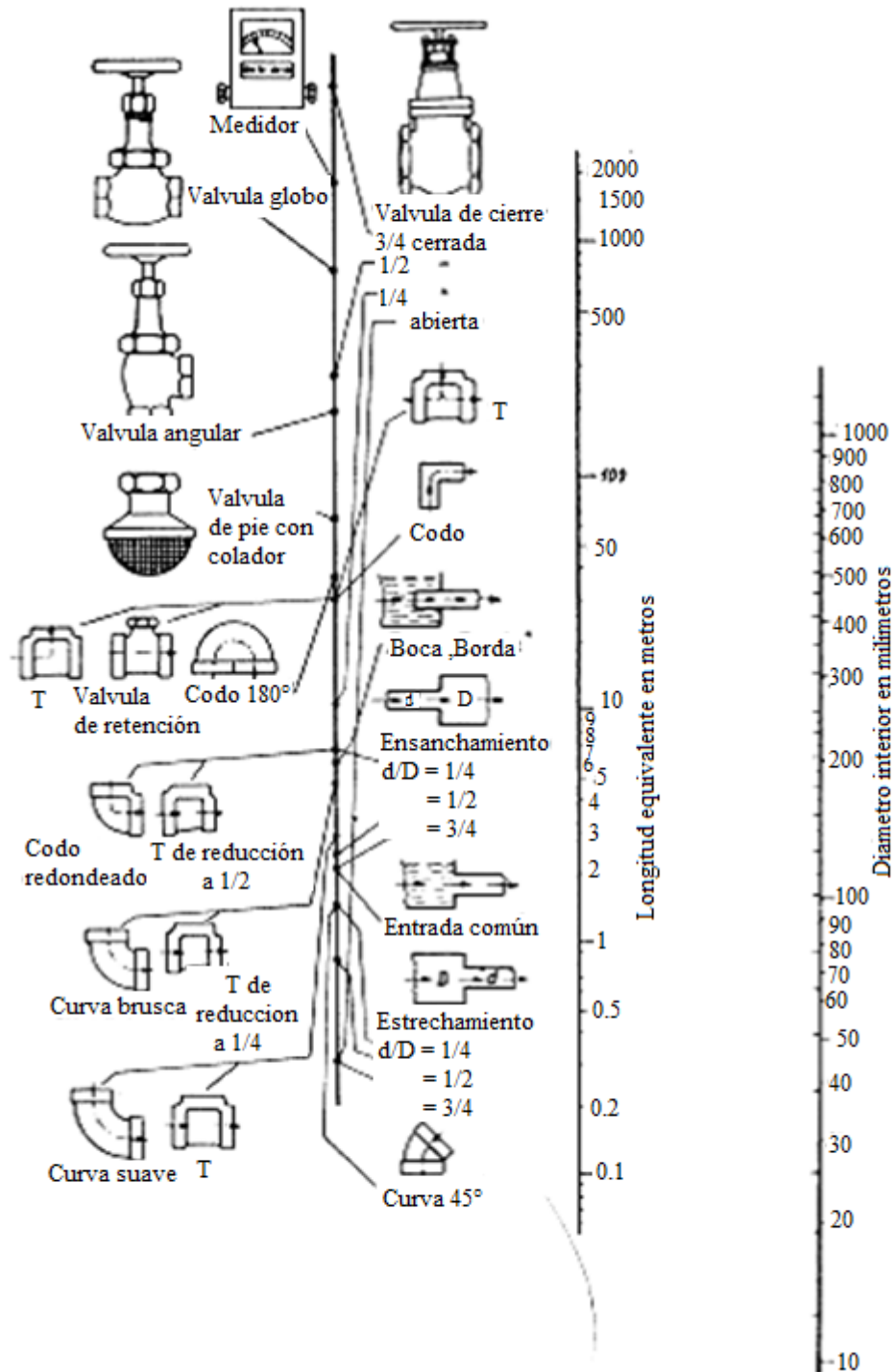


**Tabla 6 Relaciones de Longitudes equivalentes adimensionales representativas  $\left(\frac{L_e}{D}\right)$  para válvulas y accesorios**  
**(Robert W. Fox y Alan T. Macdonald. Introducción a la Mecánica de Fluidos. 4ta Edición)**

<i>Tipo de Accesorio</i>	<i>Longitud Equivalente, (<math>L_e/D</math>)</i>
Válvulas (completamente abiertas)	
Válvulas de compuerta	8
Válvulas de globo	340
Válvulas de ángulo	150
Válvulas de bola	3
Válvulas de retención: de bola	600
Válvulas de retención: de disco	55
Válvulas de pie con filtro: disco con resortes	420
Válvulas de pie con filtro: disco articulado	75
Codo estándar: 90°	30
Codo estándar: 45°	16
Codo de retorno, 180°	50
T estándar: flujo directo	20
T estándar: flujo derivado	60
Válvula check de compuerta	135

**ABACO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS**  
en metros de longitud de tubería equivalente





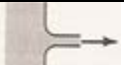

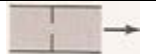






**Tabla 7 Coeficientes de pérdida  $K$  para válvulas abiertas, codos y tes**

	<i>Diámetro nominal, in</i>									
	<i>Roscado</i>					<i>Acoplada</i>				
	<i>1/2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>8</i>	<i>20</i>
Válvulas (abiertas):										
Globo	14,00	8,20	6,90	5,70		13,00	8,50	6,00	5,80	5,5
Compuerta	0,30	0,24	0,16	0,11		0,80	0,35	0,16	0,07	0,03
De retención	5,10	2,900	2,10	2,00		2,00	2,00	2,00	2,00	2
De ángulo	9,00	4,70	2,00	1,00		4,50	2,40	2,00	2,00	2
Codos:										
45° normal	0,39	0,32	0,30	0,29						
45° suave						0,21	0,20	0,19	0,16	0,14
90° normal	2,00	1,50	0,95	0,64		0,50	0,39	0,30	0,26	0,21
90° suave	1,00	0,72	0,41	0,23		0,40	0,30	0,19	0,15	0,1
180° normal	2,00	1,50	0,95	0,64		0,41	0,35	0,30	0,25	0,2
180° suave						0,40	0,30	0,21	0,15	0,1
«Tes»:										
Flujo directo	0,90	0,90	0,90	0,90		0,24	0,19	0,14	0,10	0,07
Flujo lateral	2,40	1,80	1,40	1,10		1,00	0,80	0,64	0,58	0,41

**Tabla 8 Coeficientes de pérdida nominal  $K$  (flujo turbulento)**

(Merle C. Potter. Mecánica de Fluidos. 3ra Edición)

Tipo de pieza de conexión		Roscada			Embridada	
Diámetro	2.5cm	5in	10cm	5cm	10cm	20cm
Válvula de globo (totalmente abierta)	8.2	6.9	5.7	8.5	6.0	5.8
(medio abierta)	20	17	14	21	15	14
(un cuarto abierta)	57	48	40	60	42	41
Válvula angular (totalmente abierta)	4.7	2.0	1.0	2.4	2.0	2.0
Válvula de retención de charnela (totalmente abierta)	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.24	0.16	0.11	0.35	0.16	0.07
Codo de retorno	1.5	0.95	0.64	0.35	0.30	0.25
Te (ramal)	1.8	1.4	1.1	0.80	0.64	0.58
Te (Lineal)	0.9	0.9	0.9	0.19	0.14	0.10
Codo estándar	1.5	0.95	0.64	0.39	0.30	0.26
Codo de curva larga	0.72	0.41	0.23	0.30	0.19	0.15
Codo a 45°	0.32	0.30	0.29			
Entrada a escuadra 			0.5			
Entrada reentrante 			0.8			
Entrada redondeada 			0.03			
Salida de tubo			1.0			
	Relación de área					
Contratación repentina	2:1		0.25			
	5:1		0.41			
	10:1		0.46			
	Relación de área $A/A_0$					
Placa con orificio	1.5:1		0.85			
	2:1		3.4			
	4:1		29			
	$\geq 6:1$		$2.78((A \div A_0) - 0.6)^2$			
Ensanchamiento repentino 			$(1 - (A_1 \div A_2))^2$			
Codo a inglete a 90° (sin aleta) 			1.1			
(con aleta) 			0.2			
Contracción general	(ángulo a 30° incluido)		0.02			
	(ángulo a 70° incluido)		0.07			

<sup>a</sup> Valores para otras geometrías pueden ser encontradas en *el Technical Paper 440, The Crane Company, 1997.*

<sup>b</sup> Basada en la velocidad de salida  $V_2$

<sup>c</sup> Basada en la velocidad de entrada  $V_1$

---

**TABLAS DE PROPIEDADES**
**Tabla 9 Propiedades del aire a presión atmosférica. Sistema Inglés**

<i>Temperatura</i> (°F)	<i>Densidad</i> (slugs/ft <sup>3</sup> )	<i>Viscosidad absoluta</i> (lb·seg/ft <sup>2</sup> )	<i>Viscosidad Cinemática</i> (ft <sup>2</sup> /seg)	<i>Velocidad del sonido</i> (ft/seg)
-20	0,0028	3,37x10 <sup>-7</sup>	11,9x10 <sup>-5</sup>	1028
0	0,00268	3,38	1,26	1051
20	0,00257	3,5	1,36	1074
40	0,00247	3,62	1,46	1096
60	0,00237	3,74	1,58	1117
68	0,00233	3,81	1,6	1125
80	0,00228	3,85	1,69	1138
100	0,0022	3,96	1,8	1159
120	0,00213	4,07	1,89	1180
160	0,00199	4,23	2,13	1220
200	0,00187	4,5	2,41	1258
300	0,00162	4,98	3,07	1348
400	0,00144	5,26	3,67	1431
1000	0,000844	7,87x10 <sup>-7</sup>	93,2x10 <sup>-5</sup>	1839

**Tabla 10 Propiedades del aire a presión atmosférica. Sistema Internacional**

<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Densidad</i> (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Viscosidad</i> (N·seg/m <sup>2</sup> )	<i>Viscosidad Cinemática</i> (m <sup>2</sup> /seg)	<i>Velocidad del sonido</i> (m/seg)
-30	1,452	1,56x10 <sup>-5</sup>	1,08x10 <sup>-5</sup>	312
-20	1,394	1,61	1,16	319
-10	1,342	1,67	1,24	325
0	1,292	1,72	1,33	331
10	1,247	1,76	1,42	337
20	1,204	1,81	1,51	343
30	1,164	1,86	1,6	349
40	1,127	1,91	1,69	355
50	1,092	1,95	1,79	360
60	1,06	2	1,89	366
70	1,03	2,05	1,99	371
80	1	2,09	2,09	377
90	0,973	2,13	2,19	382
100	0,946	2,17	2,3	387
200	0,746	2,57	3,45	436
300	0,616	2,96x10 <sup>-5</sup>	4,75x10 <sup>-5</sup>	480

**Tabla 11 Viscosidad y densidad del aire a 1 atm**

$T, ^\circ C$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, \text{N}\cdot\text{s/m}^2$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	$T, ^\circ F$	$\rho, \text{slug/ft}^3$	$\mu, \text{lb}\cdot\text{s/ft}^2$	$\nu, \text{ft}^2/\text{s}$
-40	1,52	$1,51 \times 10^{-5}$	$0,99 \times 10^{-5}$	-40	$2,94 \times 10^{-3}$	$3,16 \times 10^{-7}$	$1,07 \times 10^{-4}$
0	1,29	1,71	1,33	32	2,51	3,58	1,43
20	1,2	1,80	1,50	68	2,34	3,76	1,61
50	1,09	1,95	1,79	122	2,12	4,08	1,93
100	0,946	2,17	2,30	212	1,84	4,54	2,47
150	0,835	2,38	2,85	302	1,62	4,97	3,07
200	0,746	2,57	3,45	392	1,45	5,37	3,71
250	0,675	2,75	4,08	482	1,31	5,75	4,39
300	0,616	2,93	4,75	572	1,20	6,11	5,12
400	0,525	3,25	6,20	752	$1,02 \times 10^{-3}$	6,79	6,67
500	0,457	3,55	$7,77 \times 10^{-5}$	932	$8,90 \times 10^{-4}$	$7,41 \times 10^{-7}$	$8,37 \times 10^{-4}$

Curva de ajuste sugerida para el aire:

$$\rho = P/RT, \quad R_{\text{aire}} = 287 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\text{Ley Potential: } (\mu/\mu_o) \approx (T/T_o)^{0.7}$$

$$\text{Ley de Sutherland: } (\mu/\mu_o) \approx (T/T_o)^{1.5}(T_o+S)/(T+S)$$

$$S_{\text{aire}} = 110.4$$

$$T_o = 273 \text{ K}$$

$$\mu_o = 1,71 \times 10^{-5} \text{ Kg/(m}\cdot\text{s)}$$

Tabla 12 Propiedades de gases comunes a 1 atm y 20 °C (68°F)

<i>Gas</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>R, m<sup>2</sup>/(s<sup>2</sup>·s)</i>	<i>ρg, N/m<sup>3</sup></i>	<i>μ, N·s/m<sup>2</sup></i>	<i>Relación de calores específicos</i>	<i>Exponente de la ley potencial, n*</i>
H <sub>2</sub>	2,016	4124	0,822	9,05x10 <sup>-6</sup>	1,41	0,68
He	4,003	2077	1,63	1,97x10 <sup>-5</sup>	1,66	0,67
H <sub>2</sub> O	18,02	461	7,35	1,02	1,33	1,15
Ar	39,944	208	16,3	2,24	1,67	0,72
Aire seco	28,96	287	11,8	1,80	1,4	0,67
CO <sub>2</sub>	44,01	189	17,9	1,48	1,3	0,79
CO	28,01	297	11,44	1,82	1,4	0,71
N <sub>2</sub>	28,02	297	11,4	1,76	1,4	0,67
O <sub>2</sub>	32	260	13,1	2,00	1,4	0,69
NO	30,01	277	12,1	1,90	1,4	0,78
N <sub>2</sub> O	44,02	189	17,9	1,45	1,31	0,89
Cl <sub>2</sub>	70,91	117	28,9	1,03	1,34	1
CH <sub>4</sub>	16,04	518	6,54	1,34x10 <sup>-5</sup>	1,32	0,87

\* La ley potencial, Ecuación (1,27),  $\mu/\mu_{293K} \approx (T/293)^n$ , ajusta las propiedades de estos gases con un error inferior al  $\pm 4$  por 100 en el intervalo  $250 \leq T \leq 1000K$ . Las temperaturas deben estar expresadas en grados Kelvin.



**Tabla 13 Propiedades del agua. Sistema Inglés**

<i>Temperatura</i> (°F)	<i>Densidad</i> (slug/ft <sup>3</sup> )	<i>Peso específico</i> (lb/ft <sup>3</sup> )	<i>Viscosidad</i> (lb·s/ft <sup>2</sup> )	<i>Viscosidad Cinemática</i> (ft <sup>2</sup> /s)	<i>Módulo volumétrico</i> (lb/in <sup>2</sup> )	<i>Tensión Superficial</i> (lb/ft)	<i>Presión del vapor</i> (lb/in <sup>2</sup> )
32	1,94	62,4	3,75x10 <sup>-5</sup>	1,93x10 <sup>-5</sup>	293000	0,518x10 <sup>-2</sup>	0,089
40	1,94	62,4	3,23	1,66	294000	0,514	0,12
50	1,94	62,4	2,74	1,41	306000	0,509	0,178
60	1,94	62,4	2,36	1,22	311000	0,504	0,256
70	1,94	62,4	2,05	1,06	320000	0,5	0,34
80	1,93	62,1	1,8	0,93	322000	0,492	0,507
90	1,93	62,1	1,6	0,826	323000	0,486	0,698
100	1,93	62,1	1,42	0,739	327000	0,48	0,949
120	1,92	61,8	1,17	0,609	333000	0,465	1,69
140	1,91	61,5	0,98	0,514	330000	0,454	2,89
160	1,9	61,1	0,84	0,442	326000	0,441	4,74
180	1,88	60,5	0,73	0,385	318000	0,426	7,51
200	1,87	60,2	0,64	0,341	308000	0,412	11,53
212	1,86	59,8	0,59x10 <sup>-5</sup>	0,319x10 <sup>-5</sup>	300000	0,404x10 <sup>-2</sup>	14,70

**Tabla 14 Propiedades del agua. Sistema Internacional**

<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Densidad</i> $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Peso específico</i> $\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	<i>Viscosidad</i> $\mu$ (N·s/m <sup>2</sup> )	<i>Viscosidad Cinemática</i> $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	<i>Módulo volumétrico</i> $\beta$ (Pa)	<i>Tensión Superficial</i> $\sigma$ (N/m)	<i>Presión del vapor</i> (k Pa)
0	999,9	9809	1,792x10 <sup>-3</sup>	1,792x10 <sup>-6</sup>	204x10 <sup>7</sup>	7,62x10 <sup>-2</sup>	0,61
5	1000	9810	1,519	1,519	206	7,54	0,872
10	999,7	9807	1,308	1,308	211	7,48	1,13
15	999,1	9801	1,14	1,141	214	7,41	1,6
20	998,2	9792	1,005	1,007	220	7,36	2,34
30	995,7	9768	0,801	0,804	223	7,18	4,24
40	992,2	9733	0,656	0,661	227	7,01	7,38
50	988,1	9693	0,549	0,556	230	6,82	12,3
60	983,2	9645	0,469	0,477	228	6,68	19,9
70	977,8	9592	0,406	0,415	225	6,5	31,2
80	971,8	9533	0,357	0,367	221	6,3	47,3
90	965,3	9470	0,317	0,328	216	6,12	70,1
100	958,4	9402	0,284x10 <sup>-3</sup>	0,296x10 <sup>-6</sup>	207x10 <sup>7</sup>	5,94x10 <sup>-2</sup>	101,3

**Tabla 15 Viscosidad y densidad del agua a 1 atm**

$T, ^\circ C$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, \text{N}\cdot\text{s/m}^2$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	$T, ^\circ F$	$\rho, \text{slug/ft}^3$	$\mu, \text{lb}\cdot\text{s/ft}^2$	$\nu, \text{ft}^2/\text{s}$
0	1000	$1,788 \times 10^{-3}$	$1,788 \times 10^{-6}$	32	1,940	$3,73 \times 10^{-5}$	$1,925 \times 10^{-5}$
10	1000	1,307	1,307	50	1,940	2,73	1,407
20	998	1,003	1,005	68	1,937	2,09	1,082
30	996	0,799	0,802	86	1,932	1,67	0,864
40	992	0,657	0,662	104	1,925	1,37	0,713
50	988	0,548	0,555	122	1,917	1,14	0,597
60	983	0,467	0,475	140	1,918	0,975	0,511
70	978	0,405	0,414	158	1,897	0,846	0,446
80	972	0,355	0,365	176	1,886	0,741	0,393
90	965	0,316	0,327	194	1,873	0,66	0,352
100	958	$0,283 \times 10^{-3}$	$0,295 \times 10^{-6}$	212	1,859	$0,591 \times 10^{-5}$	$0,318 \times 10^{-5}$

Curva de ajuste sugerida para el agua en el intervalo de  $0 \leq T \leq 100 ^\circ C$  :

$$\rho \text{ (Kg/m}^3\text{)} \approx 1000 - 0,0178|T ^\circ C - 4 ^\circ C|^{1,7} \pm 0,2\%$$

$$\ln (\mu/\mu_0) \approx -1,704 - 5,306z + 7,003z^2$$

$$z = 273K/ T(K) \quad \mu_0 = 1,788 \times 10^{-3} \text{ Kg/(m}\cdot\text{s)}$$

**Tabla 16 Propiedades de líquidos comunes a 1 atm y 20 °C (°F)**

Líquido	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ , kg/(m·s)	Tensión superficial $\sigma$ , N/m*	Presión de vapor $P_v$ , N/m <sup>2</sup>	Módulo de compresibilidad N/m <sup>2</sup>	Parámetro de viscosidad, C'
Amoniaco	608	$2,20 \times 10^{-4}$	$2,13 \times 10^{-2}$	$9,10 \times 10^{-5}$		1,05
Benceno	881	$6,51 \times 10^{-4}$	$2,88 \times 10^{-2}$	$1,01 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-9}$	4,34
Tetra cloruro de carbono	1590	$9,67 \times 10^{-4}$	$2,70 \times 10^{-2}$	$1,20 \times 10^{-4}$	$9,65 \times 10^{-8}$	4,45
Etanol	789	$1,20 \times 10^{-3}$	$2,28 \times 10^{-2}$	$5,7 \times 10^{-2}$	$9,0 \times 10^{-8}$	5,72
Etilenglicol	1117	$2,14 \times 10^{-2}$	$4,84 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-1}$		11,7
Freón 12	1327	$2,62 \times 10^{-4}$				1,76
Gasolina	680	$2,92 \times 10^{-4}$	$2,16 \times 10^{-2}$	$5,51 \times 10^{-4}$	$9,58 \times 10^{-8}$	3,68
Glicerina	1260	1,49	$6,33 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$4,34 \times 10^{-9}$	28,0
Queroseno	804	$1,92 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-2}$	$3,11 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-9}$	5,56
Mercurio	13550	$1,56 \times 10^{-3}$	$4,84 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$2,55 \times 10^{-10}$	1,07
Metanol	791	$5,98 \times 10^{-4}$	$2,25 \times 10^{-2}$	$1,34 \times 10^{-4}$	$8,3 \times 10^{-8}$	4,63
Aceite SAE 10W	870	$1,04 \times 10^{-15}$	$3,6 \times 10^{-2}$		$1,31 \times 10^{-9}$	15,7
Aceite SAE 10W30	876	$1,7 \times 10^{-15}$				14,0
Aceite SAE 30W	891	$2,9 \times 10^{-15}$	$3,5 \times 10^{-2}$		$1,38 \times 10^{-9}$	18,3
Aceite SAE 50W	902	$8,6 \times 10^{-15}$				20,2
Agua	998	$1,00 \times 10^{-3}$	$7,28 \times 10^{-2}$	$2,34 \times 10^{-3}$	$2,19 \times 10^{-9}$	Tabla A,1
Agua de mar (30%)	1025	$1,07 \times 10^{-3}$	$7,28 \times 10^{-3}$	$2,34 \times 10^{-3}$	$2,33 \times 10^{-9}$	7,28

\* En contacto con aire.

La variación de la viscosidad con la temperatura para estos líquidos puede ajustarse con la relación empírica.

$$\mu/(\mu_{20^\circ\text{C}}) \approx \exp[C(293K/T - 1)]$$

Con una precisión del  $\pm 6$  por 100 en el intervalo  $0 \leq T \leq 100^\circ\text{C}$ .

\$ Valores representativos. Las clasificaciones de aceites SAE permiten variaciones de hasta el  $\pm 50$  por 100, especialmente a bajas temperaturas

**Tabla 17 Viscosidad y viscosidad cinemática de ocho fluidos a 1 atm y 20°C.**

<i>Fluido</i>	$\mu$ , <i>kg/(m·s) †</i>	<i>Relación</i> $\mu/\mu(H_2)$	$\rho$ , <i>kg/m³</i>	$\nu$ <i>m²/s†</i>	<i>Relación</i> $\nu/\nu(Hg)$
Hidrógeno	$8,8 \times 10^{-6}$	1,0	0,084	$1,05 \times 10^{-4}$	920
Aire	$1,8 \times 10^{-5}$	2,1	1,2	$1,51 \times 10^{-5}$	130
Gasolina	$2,9 \times 10^{-4}$	33	680	$4,22 \times 10^{-7}$	3,7
Agua	$1,0 \times 10^{-3}$	114	998	$1,01 \times 10^{-6}$	8,7
Alcohol etílico	$1,2 \times 10^{-3}$	135	789	$1,52 \times 10^{-6}$	13
Mercurio	$1,5 \times 10^{-3}$	170	13580	$1,16 \times 10^{-7}$	1,0
Aceite SAE 30	0,29	33000	891	$3,25 \times 10^{-4}$	2850
Glicerina	1,5	170000	1264	$1,18 \times 10^{-3}$	10300
† 1 Kg/(m·s) = 0,0209 slug/(ft·s) ; 1m²/s = 10,76 ft²/s					

**Tabla 18 Tensión superficial, presión de vapor y velocidad del sonido del agua**

<i>T, °C</i>	<i>Tensión superficial <math>\sigma</math>, N/m</i>	<i>Presión de vapor <math>P_v</math>, kPa</i>	<i>a, m/s</i>
0	0,0756	0,611	1402
10	0,0742	1,227	1447
20	0,0728	2,337	1482
30	0,0712	4,242	1509
40	0,0696	7,375	1529
50	0,0679	12,34	1542
60	0,0662	19,92	1551
70	0,0644	31,16	1553
80	0,0626	47,35	1554
90	0,0608	70,11	1550
100	0,0589	101,3	1543
120	0,055	198,5	1518
140	0,0509	361,3	1483
160	0,0466	617,8	1440
180	0,0422	1002	1389
200	0,0377	1554	1334
220	0,0331	2318	1268
240	0,0284	3344	1192
260	0,0237	4688	1110
280	0,019	6412	1022
300	0,0144	8581	920
320	0,0099	11274	800
340	0,0056	14586	630
360	0,0019	18651	370
374*	0*	22090*	0*

Donde \*: Punto crítico.

**Tabla 19 Propiedades de la atmosfera estándar**

$z, m$	$T, K$	$P, Pa$	$\rho, kg/m^3$	$a, m/s$
-500	291,41	107508	1,2854	342,2
0	288,16	101350	1,2255	340,3
500	284,91	95480	1,1677	338,4
1000	281,66	89889	1,1120	336,5
1500	278,41	84565	1,0583	334,5
2000	275,16	79500	1,0067	332,6
2500	271,91	74684	0,9570	330,6
3000	268,66	70107	0,9092	328,6
3500	265,41	65759	0,8633	326,6
4000	262,16	61633	0,8191	324,6
4500	258,91	57718	0,7768	322,6
5000	255,66	54008	0,7361	320,6
5500	252,41	50493	0,6970	318,5
6000	249,16	47166	0,6596	316,5
6500	245,91	44018	0,6237	314,4
7000	242,66	41043	0,5893	312,3
7500	239,41	38233	0,5564	310,2
8000	236,16	35581	0,5250	308,1
8500	232,91	33080	0,4949	306,0
9000	229,66	30723	0,4661	303,8
9500	226,41	28504	0,4387	301,7
10000	223,16	26416	0,4125	299,5
10500	219,91	24455	0,3875	297,3
11000	216,66	22612	0,3637	295,1
11500	216,66	20897	0,3361	295,1
12000	216,66	19312	0,3106	295,1
12500	216,66	17847	0,2870	295,1
13000	216,66	16494	0,2652	295,1
13500	216,66	15243	0,2451	295,1
14000	216,66	14087	0,2265	295,1
14500	216,66	13018	0,2094	295,1
15000	216,66	12031	0,1935	295,1
15500	216,66	11118	0,1788	295,1
16000	216,66	10275	0,1652	295,1
16500	216,66	9496	0,1527	295,1
17000	216,66	8775	0,1411	295,1
17500	216,66	8110	0,1304	295,1
18000	216,66	7495	0,1205	295,1
18500	216,66	6926	0,1114	295,1
19000	216,66	6401	0,1029	295,1
19500	216,66	5915	0,0951	295,1
20000	216,66	6467	0,0879	295,1

22000	218,6	4048	0,0645	296,4
24000	220,6	2972	0,0469	297,8
26000	222,5	2189	0,0343	299,1
28000	224,5	1616	0,0251	300,4
30000	226,5	1197	0,0184	301,7
40000	250,4	287	0,0040	317,2
50000	270,7	80	0,0010	329,9
60000	255,7	22	0,0003	320,6
70000	219,7	6	0,0001	297,2

Hasta una altura de 11000 *m* (unos 36000 *pies*) se puede usar la siguiente ecuación para calcular la presión atmosférica en la troposfera

$$P_{atm} = P_a \left(1 - \frac{Bz}{T_0}\right)^{g/RB}$$

Con  $P_a = 101.350 \text{ KPa}$ , presión atmosférica estándar

$B = 0.003566 \text{ R/pie} = 0.00650 \text{ K/m}$  gradiente térmico

$T_0 = 518.69 \text{ R} = 218.16 \text{ K}$  temperatura absoluta a nivel del mar

$z = 0$  a nivel del mar

**Tabla 20 Calores Específicos de gas ideal del aire a diversas temperaturas**

<i>Aire</i>			
<i>T, K</i>	<i>C<sub>p</sub>, kJ/kg·K</i>	<i>C<sub>v</sub>, kJ/kg·K</i>	<i>k</i>
250	1,003	0,716	1,4008
300	1,005	0,718	1,3997
350	1,008	0,721	1,3981
400	1,013	0,726	1,3953
450	1,020	0,733	1,3915
500	1,029	0,742	1,3868
550	1,040	0,753	1,3811
600	1,051	0,764	1,3757
650	1,063	0,776	1,3698
700	1,075	0,788	1,3642
750	1,087	0,800	1,3588
800	1,099	0,812	1,3534
900	1,121	0,834	1,3441
1000	1,142	0,855	1,3357

**Bibliografía**

- Alarcón, Gabriel. Turbomáquinas. Publicaciones de La Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Sf.
- Fox, Robert y MacDonald, Alan. Introducción a la mecánica de fluidos. Cuarta edición. McGraw-Hill. Mexico, 1997.
- White, Frank M. Mecánica de Fluidos. Quinta edición. McGraw-Hill. España, 2004.
- Potter, Merle y Wiggert, David. Mecánica de Fluidos. Tercera edición. THOMSON. México, 2003.
- Polo Encinas, Manuel. Turbomáquinas Hidráulicas, Principios Fundamentales. Editorial LIMUSA. México, 1976.
- Yunus A. Cengel. Termodinámica 6ta Edición. McGraw-Hill. Mexico, 1997.
- McNaughton Kenneth. Bombas, selección, uso y mantenimiento. 1ra edición. McGraw-Hill. Mexico, 1989.
- Japikse, David y Baines Nicholas C. Introduction to turbomachinery. 2da Edición. Edwards Brothers Incorporated. USA, 1997.
- Sayers, A. T. Hydraulic and compressible flow turbomachines. 1ra edición. McGraw-Hill. England, 1990.
- Fuchslocher-Schulz. Bombas, funcionamiento, cálculo y construcción. Décima edición. Editorial Labor S.A. España, 1964.