

10. BIBLIOGRAFIA:

1. MECANICA DE FLUIDOS APLICADA
Robert L. Mott.
Prentice – Hall, México 1996
2. FLUJO EN TUBERIAS Y CANALES
Rodrigo Cano Gallego
Facultad Nacional de Minas, Medellín 1985
3. MECANICA DE FLUIDOS
Merle C. Potter / David C. Wiggert
Prentice Hall, Mexico 1998
4. EPANET 2 USERS MANUAL
Lewis A. Rossman
U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 2000
5. HIDRAULICA GENERAL
Gilberto Sotelo Avila
Ed. Limusa 1998
6. FLUJO DE FLUIDOS
En válvulas, accesorios y tuberías
Crane Co.
Mc. Graw - Hill 1985
7. BOMBAS
Kenneth McNaughton
Mc. Graw – Hill, México 1992
8. MÉTODOS NUMÉRICOS APLICADOS A LA INGENIERÍA
Terence J. Akai
Editorial Limusa, México D.F., 1999
9. EL AGUA
Manuel Guerrero Legarreta
Fondo de Cultura Económica, México D.F., 1991

11. ANEXOS

A Propiedades del agua

Tabla A.1

Temperatura (°C)	Peso especifico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica μ (Pa*s) o (N*s/m ²)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)	Presión de Vapor P_v (kPa)
0	9.81	1000	$1.75 \cdot 10^{-3}$	$1.75 \cdot 10^{-6}$	0.610
5	9.81	1000	$1.52 \cdot 10^{-3}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	0.872
10	9.81	1000	$1.30 \cdot 10^{-3}$	$1.30 \cdot 10^{-6}$	1.13
15	9.81	1000	$1.15 \cdot 10^{-3}$	$1.15 \cdot 10^{-6}$	1.60
20	9.79	998	$1.02 \cdot 10^{-3}$	$1.02 \cdot 10^{-6}$	2.34
25	9.78	997	$8.91 \cdot 10^{-4}$	$8.94 \cdot 10^{-7}$	
30	9.77	996	$8.00 \cdot 10^{-4}$	$8.03 \cdot 10^{-7}$	4.24
35	9.75	994	$7.18 \cdot 10^{-4}$	$7.22 \cdot 10^{-7}$	
40	9.73	992	$6.51 \cdot 10^{-4}$	$6.56 \cdot 10^{-7}$	7.38
45	9.71	990	$5.94 \cdot 10^{-4}$	$6.00 \cdot 10^{-7}$	
50	9.69	988	$5.41 \cdot 10^{-4}$	$5.48 \cdot 10^{-7}$	12.3
55	9.67	986	$4.98 \cdot 10^{-4}$	$5.05 \cdot 10^{-7}$	
60	9.65	984	$4.60 \cdot 10^{-4}$	$4.67 \cdot 10^{-7}$	19.9
65	9.62	981	$4.31 \cdot 10^{-4}$	$4.39 \cdot 10^{-7}$	
70	9.59	978	$4.02 \cdot 10^{-4}$	$4.11 \cdot 10^{-7}$	31.2
75	9.56	975	$3.73 \cdot 10^{-4}$	$3.83 \cdot 10^{-7}$	
80	9.53	971	$3.50 \cdot 10^{-4}$	$3.60 \cdot 10^{-7}$	47.2
85	9.50	968	$3.30 \cdot 10^{-4}$	$3.41 \cdot 10^{-7}$	
90	9.47	965	$3.11 \cdot 10^{-4}$	$3.22 \cdot 10^{-7}$	70.1
95	9.44	962	$2.92 \cdot 10^{-4}$	$3.04 \cdot 10^{-7}$	
100	9.40	958	$2.82 \cdot 10^{-4}$	$2.94 \cdot 10^{-7}$	101.3

B Propiedades de los líquidos comunes

Tabla B.1 (25°C)

Líquido	Gravedad Especifica sg	Peso Especifico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad Dinámica μ (Pa*s) o (N*s/m ²)
Acetona	0.787	7.72	787	$3.16 \cdot 10^{-4}$
Alcohol etílico	0.787	7.72	787	$1.00 \cdot 10^{-3}$
Alcohol metílico	0.789	7.74	789	$5.60 \cdot 10^{-4}$
Alcohol propílico	0.802	7.87	802	$1.92 \cdot 10^{-3}$
Amoniaco	0.826	8.10	826	-----
Benceno	0.876	8.59	876	$6.03 \cdot 10^{-4}$
Tetracloruro de carbono	1.590	15.60	1 590	$9.10 \cdot 10^{-4}$
Aceite de ricino	0.960	9.42	960	$6.51 \cdot 10^{-1}$
Etilenglicol	1.100	10.49	1 100	$1.62 \cdot 10^{-2}$
Gasolina	0.680	6.67	680	$2.87 \cdot 10^{-4}$
Glicerina	1.258	12.34	1 258	$9.60 \cdot 10^{-1}$
Queroseno	0.823	8.07	823	$1.64 \cdot 10^{-3}$
Aceite de linaza	0.930	9.12	930	$3.31 \cdot 10^{-2}$
Mercurio	13.54	132.8	13 540	$1.53 \cdot 10^{-3}$
Propano	0.495	4.86	495	$1.10 \cdot 10^{-4}$
Agua de mar	1.030	10.10	1 030	$1.03 \cdot 10^{-3}$
Trementina	0.870	8.53	870	$1.37 \cdot 10^{-3}$
Aceite de petróleo, medio	0.582	8.36	582	$2.99 \cdot 10^{-3}$
Aceite de petróleo, pesado	0.906	8.89	906	$1.07 \cdot 10^{-1}$

C. Dimensiones de tuberías de acero

Tabla C.1. Calibre 40

Tamaño nominal de la tubería	Diámetro Exterior (mm)	Grosor de la pared (mm)	Diámetro Interior (mm)	Área de Flujo (m ²)
1/8	10.3	1.73	6.8	3.660*10 ⁻⁵
1/4	13.7	2.24	9.2	6.717*10 ⁻⁵
3/8	17.1	2.31	12.5	1.236*10 ⁻⁴
1/2	21.3	2.77	15.8	1.960*10 ⁻⁴
3/4	26.7	2.87	20.9	3.437*10 ⁻⁴
1	33.4	3.38	26.6	5.574*10 ⁻⁴
1 1/4	42.2	3.56	35.1	9.653*10 ⁻⁴
1 1/2	48.3	3.68	40.9	1.314*10 ⁻³
2	60.3	3.91	52.5	2.168*10 ⁻³
2 1/2	73.0	5.16	62.7	3.090*10 ⁻³
3	88.9	5.49	77.9	4.768*10 ⁻³
3 1/2	101.6	5.74	90.1	6.381*10 ⁻³
4	114.3	6.02	102.3	8.213*10 ⁻³
5	141.3	6.55	128.2	1.291*10 ⁻²
6	168.3	7.11	154.1	1.864*10 ⁻²
8	219.1	8.18	202.7	3.226*10 ⁻²
10	273.1	9.27	254.5	5.090*10 ⁻²
12	323.9	10.31	303.2	7.219*10 ⁻²
14	355.6	11.10	333.4	8.729*10 ⁻²
16	406.4	12.70	381.0	0.1140
18	457.2	14.27	428.7	0.1443
20	508.0	15.06	477.9	0.1794
24	609.6	17.45	574.7	0.2594

Tabla C.2. Calibre 80

Tamaño nominal de la tubería	Diámetro Exterior (mm)	Grosor de la pared (mm)	Diámetro Interior (mm)	Área de Flujo (m ²)
1/8	10.3	2.41	5.5	2.350*10 ⁻⁵
1/4	13.7	3.02	7.7	4.617*10 ⁻⁵
3/8	17.1	3.20	10.7	9.067*10 ⁻⁵
1/2	21.3	3.73	13.9	1.510*10 ⁻⁴
3/4	26.7	3.91	18.8	2.787*10 ⁻⁴
1	33.4	4.55	24.3	4.636*10 ⁻⁴
1 1/4	42.2	4.85	32.5	8.278*10 ⁻⁴
1 1/2	48.3	5.08	38.1	1.140*10 ⁻³
2	60.3	5.54	49.3	1.905*10 ⁻³
2 1/2	73.0	7.01	59.0	2.735*10 ⁻³
3	88.9	7.62	73.7	4.264*10 ⁻³
3 1/2	101.6	8.08	85.4	5.736*10 ⁻³
4	114.3	8.56	97.2	7.419*10 ⁻³
5	141.3	9.53	122.3	1.173*10 ⁻²
6	168.3	10.97	146.3	1.682*10 ⁻²
8	219.1	12.70	193.7	2.949*10 ⁻²
10	273.1	15.06	242.9	4.632*10 ⁻²
12	323.9	17.45	289.0	6.555*10 ⁻²
14	355.6	19.05	317.5	7.916*10 ⁻²
16	406.4	21.39	363.6	0.1038
18	457.2	23.80	409.6	0.1317
20	508.0	26.19	455.6	0.1630
24	609.6	30.94	457.7	0.2344

Tabla C.3. Estándar

Tamaño nominal de la tubería	Diámetro Exterior (mm)	Grosor de la pared (mm)	Diámetro Interior (mm)	Área de Flujo (m ²)
1/8	3.18	0.813	1.529	1.885*10 ⁻⁶
		0.889	1.397	1.533*10 ⁻⁶
3/16	4.76	0.813	3.137	7.728*10 ⁻⁶
		0.889	2.985	6.996*10 ⁻⁶
1/4	6.35	0.889	4.572	1.642*10 ⁻⁵
		1.24	3.861	1.171*10 ⁻⁵
5/16	7.94	0.889	6.160	2.980*10 ⁻⁵
		1.24	5.448	2.331*10 ⁻⁵
3/8	9.53	0.889	7.747	4.714*10 ⁻⁵
		1.24	7.036	3.888*10 ⁻⁵
1/2	12.70	1.24	10.21	8.189*10 ⁻⁵
		1.65	9.40	6.937*10 ⁻⁵
5/8	15.88	1.24	13.39.	1.407*10 ⁻⁴
		1.65	12.57	1.242*10 ⁻⁴
¾	19.05	1.24	16.56	2.154*10 ⁻⁴
		1.65	15.75	1.948*10 ⁻⁴
7/8	22.23	1.24	19.74	3.059*10 ⁻⁴
		1.65	18.92	2.812*10 ⁻⁴
1	25.40	1.65	22.10	3.835*10 ⁻⁴
		2.11	21.18	3.524*10 ⁻⁴
1 1/4	31.75	1.65	28.45	6.356*10 ⁻⁴
		2.11	27.53	5.954*10 ⁻⁴
1 1/2	38.10	1.65	34.80	9.510*10 ⁻⁴
		2.11	33.88	9.017*10 ⁻⁴
1 3/4	44.45	1.65	41.15	1.330*10 ⁻³
		2.11	40.23	1.271*10 ⁻³
2	50.80	1.65	47.50	1.772*10 ⁻³
		2.11	46.58	1.704*10 ⁻³

D. Dimensiones de las tuberías de cobre tipo K

Tamaño nominal de la tubería	Diámetro Exterior (mm)	Grosor de la pared (mm)	Diámetro Interior (mm)	Área de Flujo (m ²)
1/8	6.35	0.889	4.572	1.642*10 ⁻⁵
1/4	9.53	1.245	7.036	3.888*10 ⁻⁵
3/8	12.70	1.245	10.21	8.189*10 ⁻⁵
1/2	15.88	1.245	13.39	1.407*10 ⁻⁴
5/8	19.05	1.245	16.56	2.154*10 ⁻⁴
3/4	22.23	1.651	18.92	2.812*10 ⁻⁴
1	28.58	1.651	25.27	5.017*10 ⁻⁴
1 1/4	34.93	1.651	31.62	7.854*10 ⁻⁴
1 1/2	41.28	1.829	37.62	1.111*10 ⁻³
2	53.98	2.108	49.76	1.945*10 ⁻³
2 1/2	66.68	2.413	61.85	3.004*10 ⁻³
3	79.38	2.769	73.84	4.282*10 ⁻³
3 1/2	92.08	3.048	85.98	5.806*10 ⁻³
4	104.8	3.404	97.97	7.538*10 ⁻³
5	130.2	4.064	122.0	1.170*10 ⁻²
6	155.6	4.877	145.8	1.670*10 ⁻²
8	206.4	6.883	192.6	2.914*10 ⁻²
10	257.2	8.585	240.0	4.524*10 ⁻²
12	308.0	10.287	287.4	6.487*10 ⁻²

E. Dimensiones de las tuberías de PVC.

Tabla E.1

TUBERÍA PVC Presión PAVCO	Diámetro Nominal		Peso g/m	Diámetro Exterior		Espesor de Pared	
	mm	Pulg.		mm	Pulg.	mm	Pulg.
RDE 13.5 PVC Tipo 1 grado 1 Presión de trabajo a 23°C: 315PSI – 22.14 kgf/cm ²	21	½	157	21.34	0.840	1.575	0.062
	33	1	364	33.40	1.315	2.464	0.097
RDE 21 PVC Tipo 1, Grado 1 Presión de trabajo a 23°C: 200PSI – 14.06 kgf/cm ²	26	¾	189	26.67	1.050	1.524	0.060
	33	1	252	33.40	1.315	1.600	0.063
	42	1 ¼	395	42.16	1.660	2.007	0.079
	48	1 ½	514	48.26	1.900	2.286	0.090
	60	2	811	60.33	2.375	2.870	0.113
	73	2 ½	1 185	73.03	2.875	3.480	0.137
	88	3	1 761	88.90	3.500	4.242	0.167
14	4	2 904	114.30	4.500	5.436	0.214	

Tabla E.2

TUBERÍA PVC Unión Z PAVCO	Diámetro Nominal		Peso g/m	Diámetro Exterior		Espesor de Pared	
	Mm	Pulg.		mm	Pulg.	mm	Pulg.
RDE 21 PVC Tipo 1, grado 1 Presión de trabajo a 23°C: 1.38 Mpa 200 psi – 14.06 Kgf/cm ²	60	2	811	60.32	2.375	2.87	0.113
	73	2 ½	1 185	73.03	2.875	3.48	0.137
	88	3	1 761	88.90	3.500	4.24	0.167
	114	4	2 904	114.30	4.500	5.44	0.214
	168	6	6 314	168.28	6.625	8.03	0.316
	219	8	10 672	219.03	8.623	10.41	0.409
	273	10	16 632	273.05	10.750	12.98	0.511
	323	12	23 453	323.85	12.750	15.39	0.605
RDE 26 PVC Tipo 1, grado 1 Presión de trabajo a 23°C: 1.10 Mpa 160 psi – 11.25 Kgf/cm ²	60	2	655	60.32	2.375	2.31	0.091
	73	2 ½	964	73.03	2.875	2.79	0.110
	88	3	1 438	88.90	3.500	3.43	0.135
	114	4	2 376	114.30	4.500	4.39	0.173
	168	6	5 148	168.28	6.625	6.48	0.255
	219	8	8 735	219.03	8.623	8.43	0.331
	273	10	13 666	273.05	10.750	10.49	0.412
	323	12	19 288	323.85	12.750	12.45	0.490

G. Valor de la gravedad para varias ciudades

Ámsterdam	9.813 m/s ²	Manila	9.784 m/s ²
Atenas	9.800 m/s ²	Ciudad de México	9.779 m/s ²
Bangkok	9.783 m/s ²	New York	9.802 m/s ²
Bruselas	9.811 m/s ²	Ottawa	9.806 m/s ²
Buenos Aires	9.797 m/s ²	Paris	9.809 m/s ²
Calcuta	9.788 m/s ²	Río de Janeiro	9.788 m/s ²
Chicago	9.803 m/s ²	Roma	9.803 m/s ²
Habana	9.788 m/s ²	San Francisco	9.800 m/s ²
Lisboa	9.801 m/s ²	Taiwán	9.788 m/s ²
Londres	9.812 m/s ²	Tokio	9.798 m/s ²
Los Ángeles	9.796 m/s ²	Washington	9.801 m/s ²
Madrid	9.800 m/s ²	Zurich	9.807 m/s ²

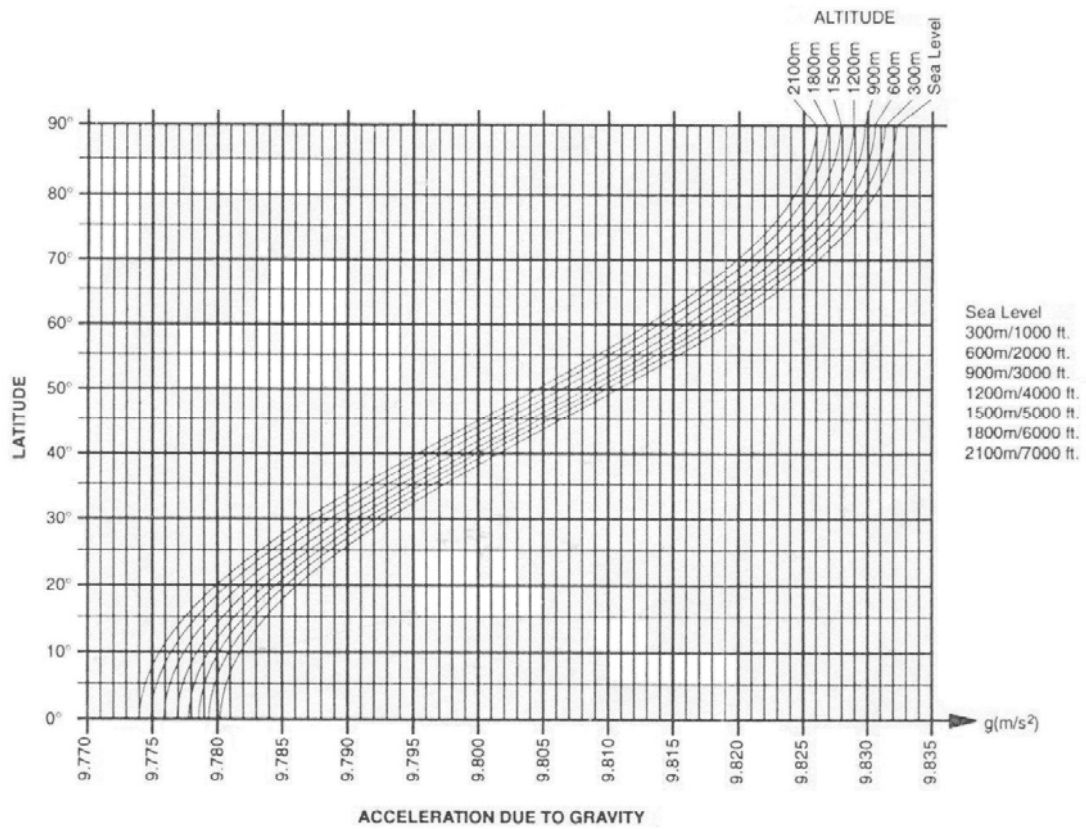


Figura G1 Aceleración debida a la gravedad en función de la latitud y altitud

H. Propiedades de la atmósfera estándar

Tabla H.1.

Altitud	Temperatura °K	Presión kPa	Densidad kg/m ³	Velocidad del sonido m/s
0	288.2	101.30	1.225	340
500	284.9	95.43	1.167	338
1 000	281.7	89.85	1.112	336
2 000	275.2	79.48	1.007	333
4 000	262.2	61.64	0.8194	325
6 000	249.2	47.21	0.6602	316
8 000	236.2	36.65	0.5258	308
10 000	223.3	26.49	0.4136	300
12 000	216.7	19.40	0.3119	295
14 000	216.7	14.17	0.2278	295
16 000	216.7	10.35	0.1665	295

I. Raíces de ecuaciones algebraicas no lineales¹

I.1 Iteración de punto fijo

El método de iteración de punto fijo, también denominado método de aproximación sucesiva, requiere volver a escribir la ecuación de la forma $f(x) = 0$, en la forma:

$$x = g(x)$$

El procedimiento empieza con una estimación inicial de x , que es mejorada por iteración hasta alcanzar la convergencia. Para que ocurra la convergencia, la derivada dg/dx debe ser menor que 1 en magnitud (al menos para los valores x que se encuentren durante las iteraciones). La convergencia será establecida mediante el requisito de que el cambio en x de una iteración a la siguiente no sea mayor en magnitud que una pequeña cantidad ε .

El método se describe en el siguiente procedimiento:

Procedimiento I.1. Algoritmo para iteración de punto fijo.

1. Se elige un valor inicial x_0 y se elige un parámetro de convergencia ε .
2. Se calcula un valor mejorado $x_{mejorado}$ a partir de $x_{mejorado} = g(x_0)$
3. Si $|x_{mejorado} - x_0| > \varepsilon$, x_0 se iguala a $x_{mejorado}$ y se vuelve al paso 2; en caso contrario, $x_{mejorado}$ es la raíz aproximada.

Ejemplo I.1 Se desea conocer el factor de fricción en cierta tubería utilizando la ecuación de Colebrook – White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{N_R \sqrt{f}} \right)$$

En la cual se tienen las siguientes propiedades: $\varepsilon = 4.6 \cdot 10^{-5}$, $N_R = 10044.99$, $D = 0.1463$.

Solución: Primero debemos reescribir la ecuación en la forma $f = g(f)$, así:

$$f = \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{N_R \sqrt{f}} \right) \right]^{-2}$$

Para iniciar la iteración tomamos un valor inicial de $f=0.0140$, iniciando el proceso que se tabula así:

¹ Para mayor información se recomienda consultar el texto: Métodos numéricos aplicados a la ingeniería, Terence J. Akai, Editorial Limusa, México D.F., 1999

Iteración	f Inicial	f Mejorado	Diferencia
1	0.0140	0.0354	0.0214
2	0.0354	0.0308	0.0046
3	0.0308	0.0314	0.0006
4	0.0314	0.0313	0.0001
5	0.0313	0.0313	0.0000

Luego el valor buscado es $f = 0.0313$.

Observemos, en este caso en particular, que si obtenemos el valor f inicial a partir de la ecuación de Swamee – Jain tenemos lo siguiente:

$$f_i = \frac{0.25}{\left[\text{Log} \left(\frac{4.6 * 10^{-5}}{3.70 * 0.1463} + \frac{5.74}{10044.99 \frac{0.9}{R}} \right) \right]^2} = 0.0315$$

Iteración	f Inicial	f Mejorado	Diferencia
1	0.0315	0.0313	0.0002
2	0.0313	0.0313	0.0000

Teniendo así menos iteraciones, por eso se recomienda este último procedimiento para hallar el factor de fricción de la ecuación de Darcy – Weisbach.