

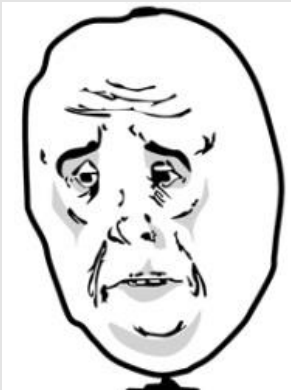
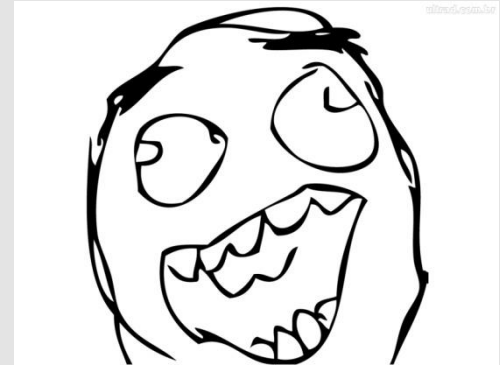


MECÂNICA DOS FLUIDOS II

THAÍS MATOSO
SOMBRA
-2013-

Método Maroto para estimar vazão

- Vantagens
 - ✓ Prático, rápido e funcional



- Desvantagens
 - ✓ Só pode ser empregado para água

Quem foi o
“ser humano”
que pensou nisso?

Hazen

Engenheiro
Civil

Sanitarista

Allen
Hazen



Williams

Professor
de
Hidráulica



Gardner
S.
Williams



HAZEN-WILLIAMS



YOU DON'T SAY?



Fórmula original de Hazen-Williams

$$v = 0,8494 \times C \times R_H^{0,63} \times S^{0,54}$$

$$S = \frac{h_f}{L} = J$$

$$R_H = \frac{D_H}{4} = \frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{\sigma} \right)$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$A \rightarrow$ pode ser qualquer

$$\frac{Q}{A} = 0,8494 \times C \times \left(\frac{D_H}{4} \right)^{0,63} \times J^{0,54}$$

$$J = \left[0,8494 \times C \times \left(\frac{D_H}{4} \right)^{0,63} \times \frac{A}{Q} \right]^{\frac{1}{0,54}}$$

$$J \cong 6,818312812 \times \frac{1}{C^{1,851851852} \times D_H^{1,166666667} \times A^{1,851851852}} \times Q^{1,851851852}$$

Considerando um caso particular de tubo de seção transversal circular e forçado, temos:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$\left[\left(\frac{\pi}{4} \right) \right]^{1,851851852}$$

Hazen-Williams

$$\frac{h_f}{L} = J$$

$$J \cong \frac{10,665}{C^{1,852}} \times D^{-4,870} \times Q^{1,852}$$

Onde :

- J = perda de carga unitária(m/m);
- D = Diâmetro (m)
- Q = Vazão (m³/s)
- C = Coeficiente adimensional que depende da natureza (material e estado) das paredes do tubo.

tubo



YOU DON'T SAY?

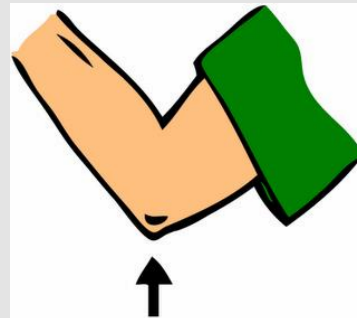
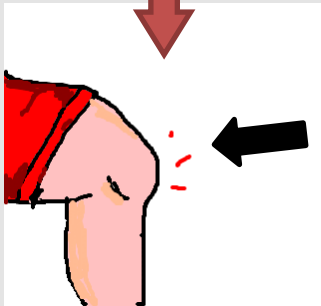


Tubulação

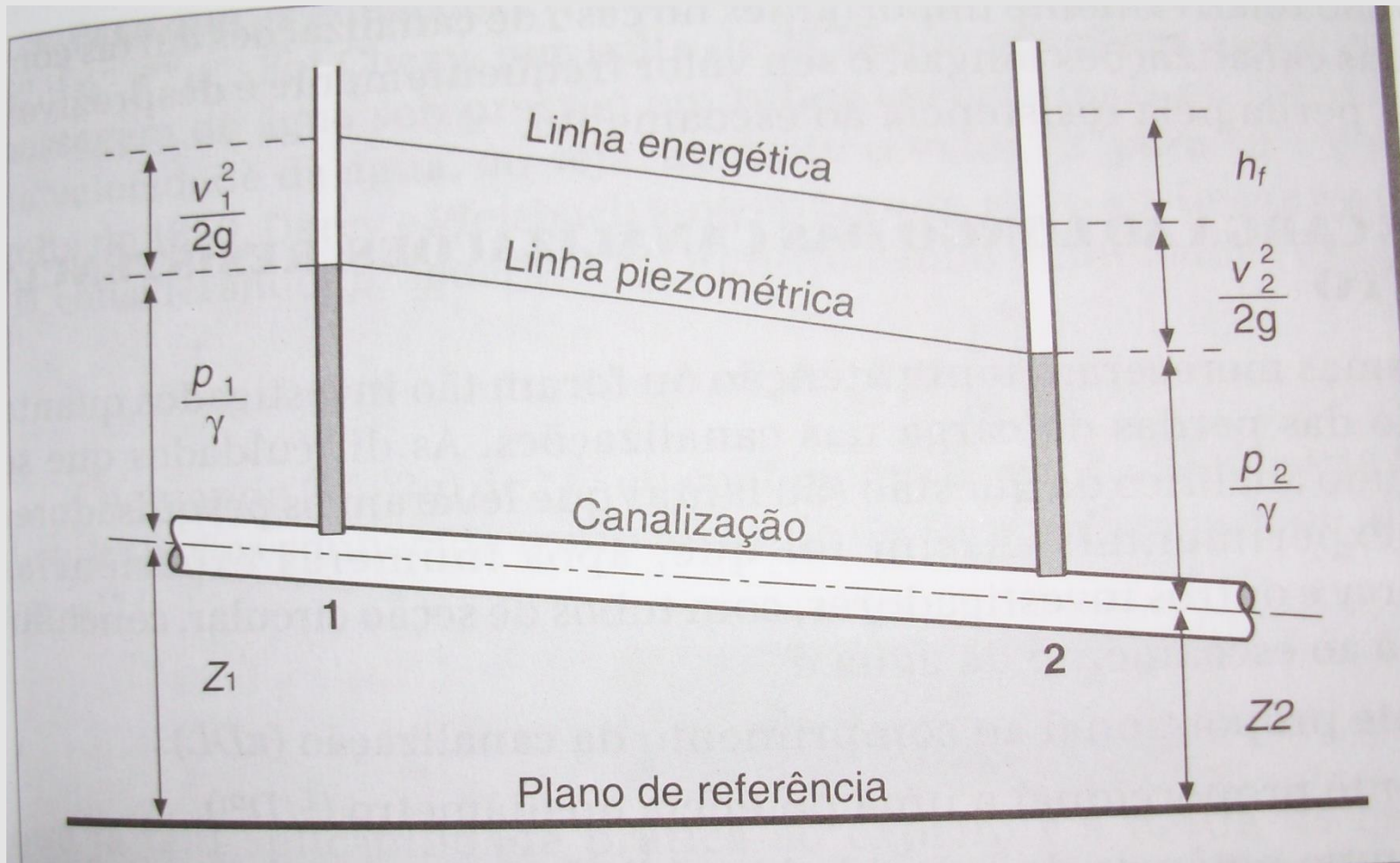


Perda de carga

- ✓ Perda pelo escoamento do fluido (água) e a sua viscosidade
- Pelo tubo: rugosidade e não esquecer do envelhecimento
- ✓ Singularidades

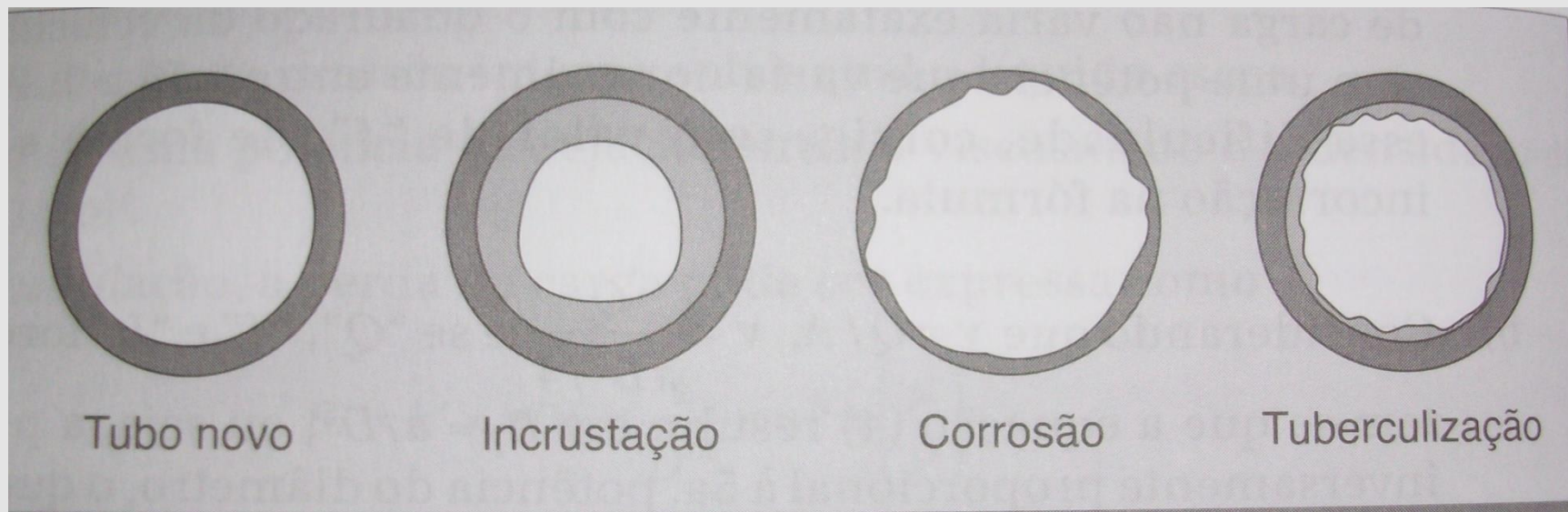


h_f



Extraído de: NETO, 1998

Alterações do coeficiente C



Extraído de: NETO, 1998

Escolha do coeficiente C

- C não é um valor fixo e invariável
- Para todos os tubos, por exemplo: ferro ou de aço, o coeficiente C é uma função do tempo
- É comum para tubos metálicos adotar $C=100$ (15 a 20 anos)

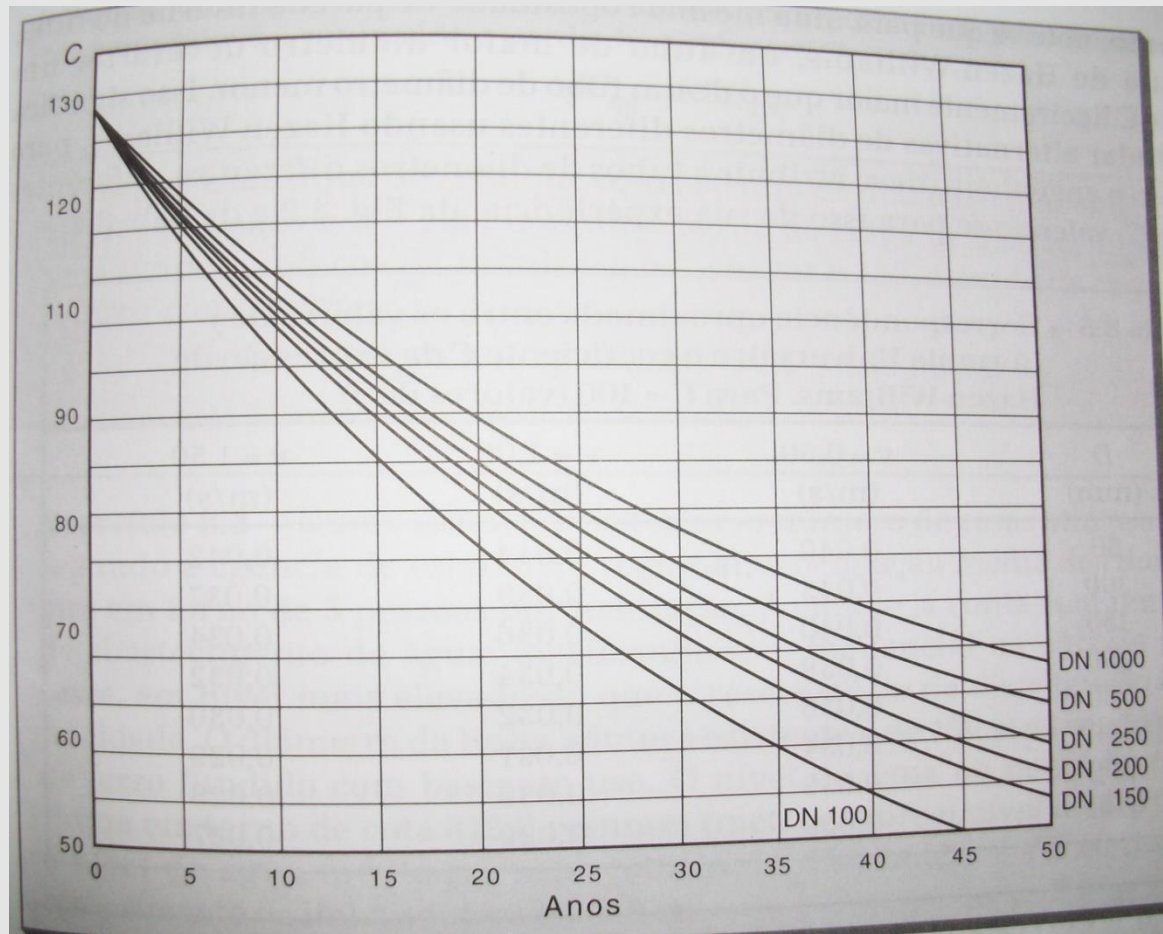
Valor de C sugerido

QUADRO 8.3 – Valor do coeficiente C sugerido para a fórmula de Hazen-Williams

| Tubos | Novos | Usados ± 10 anos | Usados ± 20 anos |
|---|-------|------------------------|------------------------|
| Aço corrugado (chapa ondulada) | 60 | — | — |
| Aço galvanizado roscado | 125 | 100 | — |
| Aço rebitado, novos | 110 | 90 | 80 |
| Aço soldado, comum (revestimento betuminoso) | 125 | 110 | 90 |
| Aço soldado com revestimento epóxico | 140 | 130 | 115 |
| Chumbo | 130 | 120 | 120 |
| Cimento-amianto | 140 | 130 | 120 |
| Cobre | 140 | 135 | 130 |
| Concreto, bom acabamento | 130 | — | — |
| Concreto, acabamento comum | 130 | 120 | 110 |
| Ferro fundido, revestimento epóxico | 140 | 130 | 120 |
| Ferro fundido, revestimento de argamassa de cimento | 130 | 120 | 105 |
| Grés cerâmico, vidrado (manilhas) | 110 | 110 | 110 |
| Latão | 130 | 130 | 130 |
| Madeira, em aduelas | 120 | 120 | 110 |
| Tijolos, condutos bem executados | 100 | 95 | 90 |
| Vidro | 140 | 140 | 140 |
| Plástico (PVC) | 140 | 135 | 130 |

Extraído de: NETO, 1998

Influência do envelhecimento dos tubos



Extraído de: NETO, 1998

Fórmula de Darcy-Weisbach

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

Onde :

- h_f = perda de carga distribuída (m);
- f = coeficiente de atrito; coeficiente de perda de carga distribuída ou coeficiente de Darcy-Weisbach
- L = comprimento do tubo (m);
- v = velocidade média de escoamento (m/s)
- g = aceleração da gravidade (9,8 m/s²)

Comparação H-W e universal

Tabela 8.14a - Fórmula de Hazen - Williams e Tabela 8.14b - Fórmula Universal (4°C)

Perdas de carga em metros por 100 metros

Diâmetro 50mm (0,002 m²)

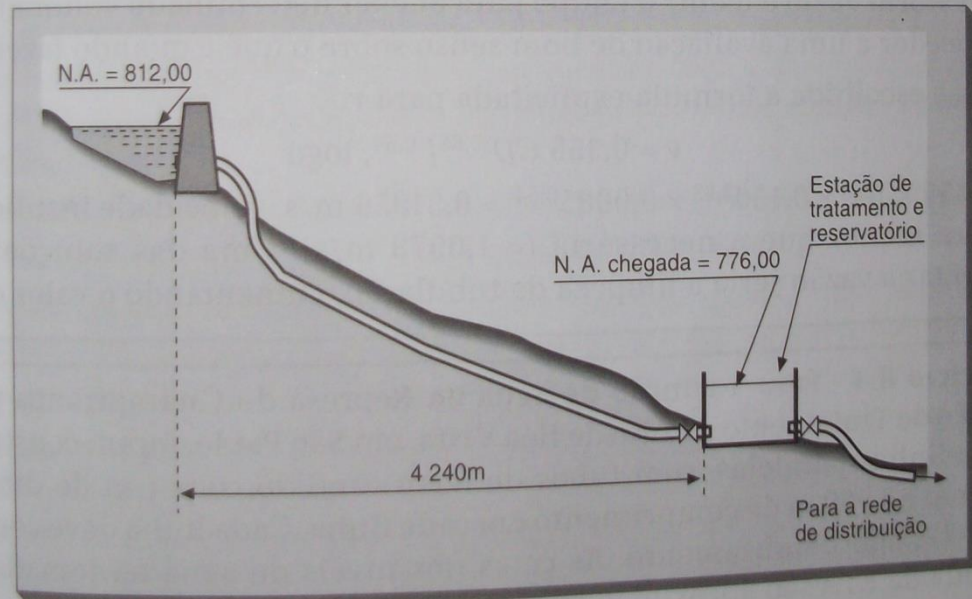
| Coeficiente C [Hazen-Williams] | | | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | | | | | | | |
|--------------------------------|------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Rugosidade e (mm) [Colebrook] | | | 4,00 | 2,00 | 1,50 | 1,00 | 0,50 | 0,10 | 0,05 | | | | | | | |
| Vazão (l/s) | Vel. (m/s) | V ² /2g (m) | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,4 | 0,20 | 0,0021 | 0,39 | 0,35 | 0,28 | 0,28 | 0,25 | 0,23 | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,17 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,13 |
| 0,6 | 0,31 | 0,0048 | 0,87 | 0,75 | 0,63 | 0,60 | 0,56 | 0,49 | 0,49 | 0,41 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,30 | 0,28 | 0,27 |
| 0,8 | 0,41 | 0,0085 | 1,54 | 1,27 | 1,12 | 1,02 | 0,99 | 0,84 | 0,85 | 0,71 | 0,69 | 0,60 | 0,50 | 0,52 | 0,47 | 0,45 |
| 1,0 | 0,51 | 0,0132 | 2,40 | 1,92 | 1,74 | 1,55 | 1,54 | 1,27 | 1,33 | 1,07 | 1,06 | 0,91 | 0,76 | 0,78 | 0,71 | 0,68 |
| 1,2 | 0,61 | 0,0190 | 3,45 | 2,70 | 2,49 | 2,17 | 2,21 | 1,78 | 1,90 | 1,50 | 1,51 | 1,27 | 1,07 | 1,10 | 0,99 | 0,96 |
| 1,4 | 0,71 | 0,0259 | 4,70 | 3,59 | 3,39 | 2,89 | 3,01 | 2,37 | 2,58 | 1,99 | 2,05 | 1,69 | 1,43 | 1,46 | 1,31 | 1,27 |
| 1,6 | 0,81 | 0,0338 | 6,13 | 4,60 | 4,42 | 3,70 | 3,92 | 3,04 | 3,36 | 2,55 | 2,66 | 2,17 | 1,83 | 1,87 | 1,68 | 1,63 |
| 1,8 | 0,92 | 0,0428 | 7,75 | 5,72 | 5,59 | 4,60 | 4,95 | 3,78 | 4,24 | 3,17 | 3,36 | 2,70 | 2,29 | 2,33 | 2,08 | 2,03 |
| 2,0 | 1,02 | 0,0529 | 9,57 | 6,95 | 6,69 | 5,59 | 6,11 | 4,60 | 5,22 | 3,85 | 4,13 | 3,28 | 2,80 | 2,83 | 2,54 | 2,46 |
| 2,2 | 1,12 | 0,0640 | 11,57 | 8,29 | 8,33 | 6,67 | 7,38 | 5,48 | 6,31 | 4,60 | 4,99 | 3,91 | 3,36 | 3,37 | 3,03 | 2,94 |
| 2,4 | 1,22 | 0,0761 | 13,77 | 9,74 | 9,91 | 7,83 | 8,78 | 6,44 | 7,50 | 5,40 | 5,92 | 4,60 | 3,96 | 3,96 | 3,57 | 3,45 |
| 2,6 | 1,32 | 0,0894 | 16,16 | 11,30 | 11,62 | 9,08 | 10,30 | 7,47 | 8,80 | 6,26 | 6,93 | 5,33 | 4,62 | 4,60 | 4,14 | 4,01 |
| 2,8 | 1,43 | 0,1036 | 18,73 | 12,96 | 13,48 | 10,42 | 11,94 | 8,57 | 10,19 | 7,18 | 8,03 | 6,12 | 5,33 | 5,27 | 4,77 | 4,60 |
| 3,0 | 1,53 | 0,1190 | 21,50 | 14,72 | 15,46 | 11,84 | 13,70 | 9,74 | 11,69 | 8,16 | 9,20 | 6,95 | 6,09 | 5,99 | 5,43 | 5,22 |
| 3,2 | 1,63 | 0,1355 | 24,57 | 16,67 | 17,61 | 13,00 | 15,70 | 11,00 | 13,40 | 9,20 | 10,40 | 7,80 | 6,80 | 6,70 | 6,10 | 5,90 |
| 3,4 | 1,73 | 0,1530 | 27,94 | 18,81 | 19,96 | 14,50 | 18,00 | 12,20 | 15,40 | 10,40 | 11,70 | 8,80 | 7,80 | 7,70 | 7,10 | 6,90 |
| 3,6 | 1,83 | 0,1715 | 31,61 | 21,14 | 22,51 | 16,20 | 20,60 | 13,40 | 17,80 | 11,70 | 13,20 | 10,00 | 8,90 | 8,80 | 8,20 | 7,90 |
| 3,8 | 1,93 | 0,1910 | 35,68 | 23,66 | 25,26 | 18,10 | 23,50 | 14,80 | 20,60 | 13,20 | 14,90 | 11,40 | 10,20 | 10,10 | 9,50 | 9,20 |
| 4,0 | 2,03 | 0,2115 | 40,15 | 26,37 | 28,21 | 20,20 | 26,70 | 16,40 | 23,80 | 14,90 | 16,80 | 12,90 | 11,60 | 11,50 | 10,90 | 10,60 |
| 4,2 | 2,13 | 0,2330 | 45,02 | 29,27 | 31,36 | 22,50 | 30,20 | 18,20 | 27,40 | 17,00 | 18,90 | 14,80 | 13,00 | 12,90 | 12,30 | 12,00 |
| 4,4 | 2,23 | 0,2555 | 50,29 | 32,37 | 34,71 | 25,00 | 33,90 | 20,20 | 30,40 | 19,20 | 21,20 | 17,00 | 15,30 | 15,20 | 14,60 | 14,30 |
| 4,6 | 2,33 | 0,2790 | 56,06 | 35,67 | 38,36 | 27,70 | 37,90 | 22,40 | 33,80 | 21,50 | 23,70 | 19,40 | 17,00 | 17,10 | 16,00 | 15,70 |
| 4,8 | 2,43 | 0,3035 | 62,33 | 39,27 | 42,31 | 30,70 | 42,20 | 24,80 | 37,60 | 23,90 | 26,40 | 21,80 | 19,60 | 19,20 | 18,00 | 17,50 |
| 5,0 | 2,53 | 0,3290 | 69,10 | 43,07 | 46,56 | 33,90 | 46,90 | 27,40 | 41,80 | 26,40 | 29,30 | 24,30 | 22,00 | 22,10 | 20,00 | 19,50 |
| 5,2 | 2,63 | 0,3555 | 76,37 | 47,07 | 51,11 | 37,30 | 51,90 | 30,20 | 46,40 | 29,00 | 32,40 | 27,00 | 24,90 | 24,20 | 22,00 | 21,50 |
| 5,4 | 2,73 | 0,3830 | 84,14 | 51,27 | 55,96 | 40,90 | 57,20 | 33,20 | 51,20 | 31,80 | 35,70 | 29,90 | 27,90 | 27,10 | 24,00 | 23,50 |
| 5,6 | 2,83 | 0,4115 | 92,41 | 55,67 | 61,11 | 44,70 | 62,90 | 36,40 | 56,40 | 34,80 | 39,20 | 33,00 | 31,00 | 30,20 | 27,00 | 26,00 |
| 5,8 | 2,93 | 0,4410 | 101,18 | 60,27 | 66,56 | 48,70 | 69,00 | 40,00 | 62,00 | 38,00 | 42,80 | 36,30 | 34,30 | 33,50 | 30,00 | 29,50 |
| 6,0 | 3,03 | 0,4715 | 110,45 | 65,07 | 72,31 | 52,90 | 75,50 | 44,40 | 68,00 | 41,40 | 46,60 | 40,00 | 37,60 | 37,00 | 33,00 | 32,50 |
| 6,2 | 3,13 | 0,5030 | 120,22 | 70,07 | 78,36 | 57,30 | 82,40 | 49,00 | 74,40 | 45,00 | 50,60 | 43,60 | 41,00 | 41,50 | 36,00 | 35,50 |
| 6,4 | 3,23 | 0,5355 | 130,49 | 75,27 | 84,71 | 61,90 | 90,70 | 53,80 | 81,20 | 48,80 | 54,80 | 47,60 | 44,30 | 44,00 | 39,00 | 38,50 |
| 6,6 | 3,33 | 0,5690 | 141,26 | 80,67 | 91,36 | 66,70 | 99,40 | 58,80 | 89,40 | 52,80 | 59,20 | 51,80 | 48,30 | 48,50 | 43,00 | 42,50 |
| 6,8 | 3,43 | 0,6035 | 152,53 | 86,27 | 98,31 | 71,70 | 108,60 | 64,00 | 99,00 | 57,00 | 63,80 | 56,00 | 52,30 | 52,00 | 46,00 | 45,50 |
| 7,0 | 3,53 | 0,6390 | 164,30 | 92,07 | 105,56 | 76,80 | 118,30 | 69,40 | 109,00 | 61,40 | 68,60 | 60,40 | 56,00 | 56,50 | 50,00 | 49,50 |
| 7,2 | 3,63 | 0,6755 | 176,57 | 98,07 | 113,11 | 82,10 | 128,60 | 75,00 | 119,40 | 66,00 | 73,60 | 64,00 | 60,00 | 61,00 | 54,00 | 53,50 |
| 7,4 | 3,73 | 0,7130 | 189,34 | 104,27 | 120,96 | 87,60 | 139,50 | 80,80 | 130,20 | 70,80 | 78,80 | 68,00 | 64,30 | 66,00 | 58,00 | 57,50 |
| 7,6 | 3,83 | 0,7515 | 202,61 | 110,67 | 129,11 | 93,30 | 151,00 | 86,80 | 141,40 | 75,80 | 84,20 | 72,40 | 69,00 | 71,00 | 62,00 | 61,50 |
| 7,8 | 3,93 | 0,7910 | 216,38 | 117,27 | 137,56 | 99,20 | 163,20 | 93,00 | 153,00 | 81,00 | 89,80 | 76,80 | 74,30 | 75,00 | 66,00 | 65,50 |
| 8,0 | 4,03 | 0,8315 | 230,65 | 124,07 | 146,31 | 105,30 | 176,10 | 99,40 | 165,00 | 86,40 | 95,60 | 81,40 | 79,60 | 80,00 | 70,00 | 69,50 |
| 8,2 | 4,13 | 0,8730 | 245,42 | 131,07 | 155,36 | 111,60 | 189,80 | 106,00 | 177,40 | 92,00 | 101,60 | 86,00 | 84,00 | 85,00 | 74,00 | 73,50 |
| 8,4 | 4,23 | 0,9155 | 260,69 | 138,27 | 164,71 | 118,10 | 204,30 | 112,80 | 190,20 | 97,80 | 107,80 | 90,80 | 89,00 | 90,00 | 78,00 | 77,50 |
| 8,6 | 4,33 | 0,9590 | 276,46 | 145,67 | 174,36 | 124,80 | 219,60 | 119,80 | 203,40 | 103,80 | 114,20 | 95,80 | 94,30 | 95,00 | 82,00 | 81,50 |
| 8,8 | 4,43 | 0,10035 | 292,73 | 153,27 | 184,31 | 131,70 | 235,80 | 127,00 | 217,00 | 110,00 | 120,80 | 101,00 | 100,00 | 100,00 | 86,00 | 85,50 |
| 9,0 | 4,53 | 0,10170 | 309,50 | 161,07 | 194,56 | 138,80 | 253,30 | 134,40 | 231,00 | 116,40 | 127,60 | 106,40 | 105,30 | 105,00 | 90,00 | 89,50 |

Extraído de: NETO, 1998

Exercício Maroto

Exercício 8.3 – Numa cidade do interior, o número de casas atinge a 1 340 e, segundo a agência de estatística regional, a ocupação média dos domicílios gira em torno de 5 pessoas por habitação. A cidade já conta com um serviço de abastecimento de água, localizando-se o manancial na encosta de uma serra, em nível mais elevado do que o reservatório de distribuição de água na cidade. O diâmetro da linha adutora existente é de 150 mm, sendo os tubos de ferro fundido com bastante uso. O nível de água no ponto de captação flutua em torno de cota 812,0 msnmm (metros sobre o nível médio do mar); o nível de água médio no reservatório de distribuição é 776,00 msnmm; o comprimento da linha adutora é 4 240 m.

Verificar se o volume de água aduzido diariamente pode ser considerado satisfatório para o abastecimento atual da cidade, admitindo-se o consumo individual médio como sendo de 200 litros por habitante por dia, aí incluídos todos os usos da cidade, mesmo aqueles não domésticos, e que nos dias de maior calor a demanda é cerca de 25% maior que a média.



Extraído de: NETO, 1998

$$1340 \text{ domicílios} \times \frac{5 \text{ habitantes}}{\text{domicílio}} \times \frac{200 \text{ l}}{\text{hab} \times \text{dia}} \times 1,25 = 1675 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

$$1675 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times \frac{1}{86400 \frac{\text{segundos}}{\text{dia}}} = 0,0194 \frac{\text{m}^3}{\text{segundos}}$$

$$H = 812 \text{ m} - 776 \text{ m} = 36 \text{ m}$$

$$J = \frac{H}{L} = \frac{36 \text{ m}}{4240 \text{ m}} = 0,0085 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

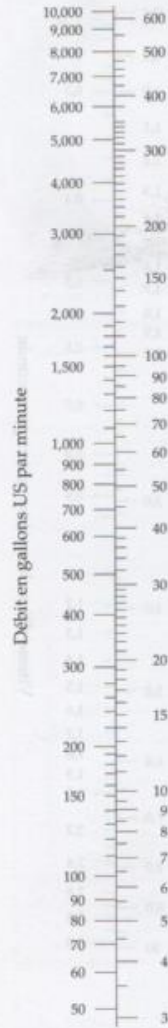
$$Q = 0,8494 \times C \times \left(\frac{D_H}{4} \right)^{0,63} \times J^{0,54} \times \frac{\pi \times D_H^2}{4}$$

$$Q = 0,2786 \times C \times D^{2,63} \times J^{0,54}$$

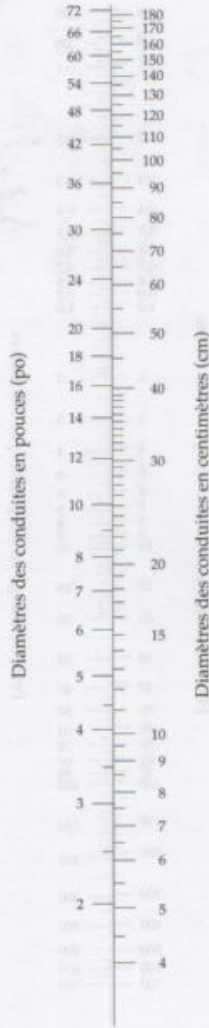
$$Q = 0,2786 \times 100 \times 0,150^{2,63} \times 0,0085^{0,54}$$

$$Q = 0,01445 \frac{m^3}{s} = 14,45 \frac{l}{s}$$

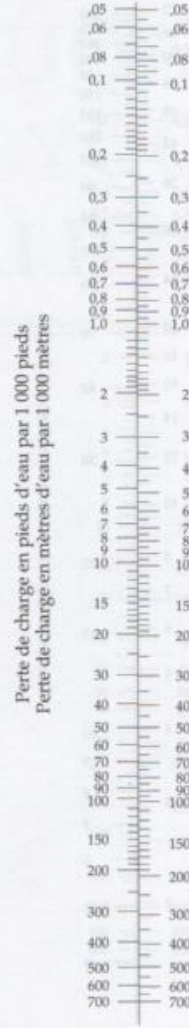
ÉCOULEMENT EN CONDUITE
 (Formule de HAZEN-WILLIAMS)
 Tiré de *Water and Sewage Works Journal*



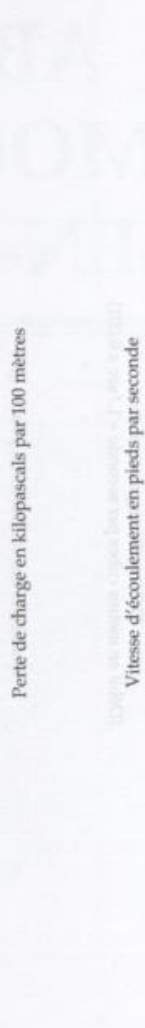
Débit en litres par seconde
 (Débit en mètres cubes par seconde = L/sec x 0,001)



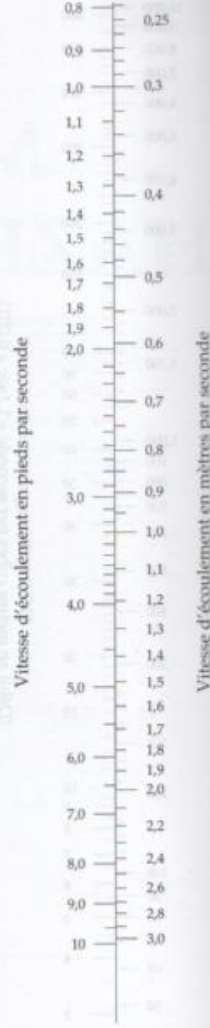
Diamètres des conduites en centimètres (cm)



Perte de charge en pieds d'eau par 1 000 pieds
 Perte de charge en mètres d'eau par 1 000 mètres

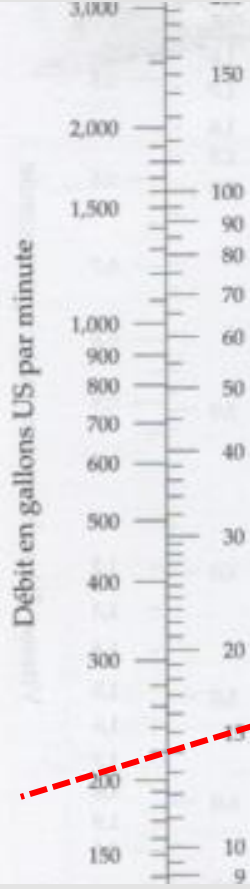


Perte de charge en kilopascals par 100 mètres

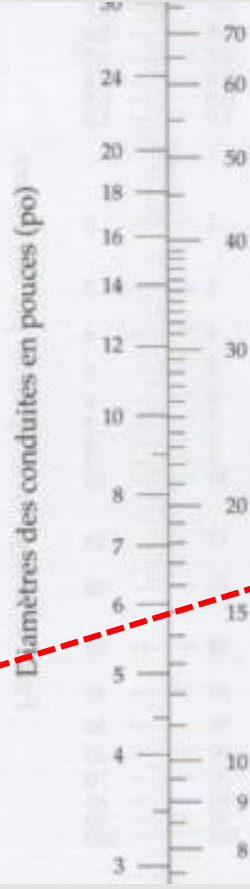


Vitesse d'écoulement en mètres par seconde

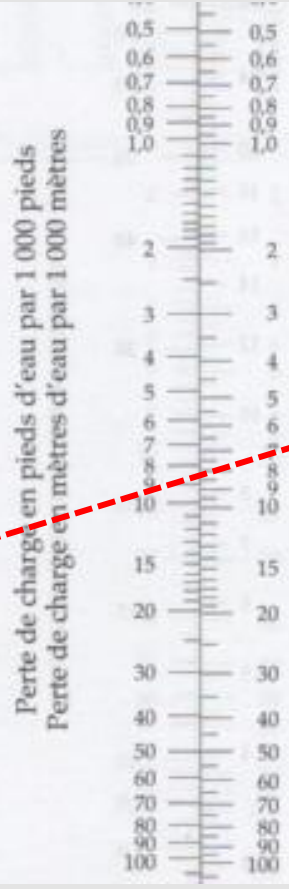
C = 100



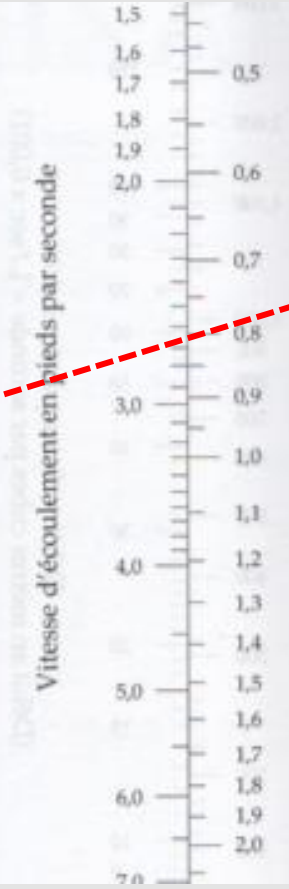
Débit en litres par seconde
 (Débit en mètres cubes par seconde = L./sec × 0,001)



Diamètres des conduites en centimètres (cm)



Perte de charge en kilopascals par 100 mètres



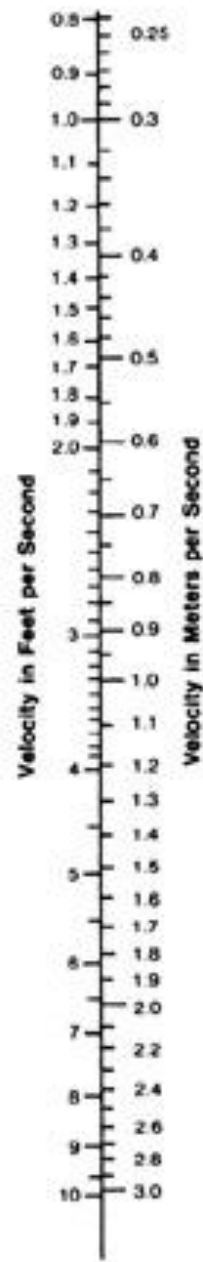
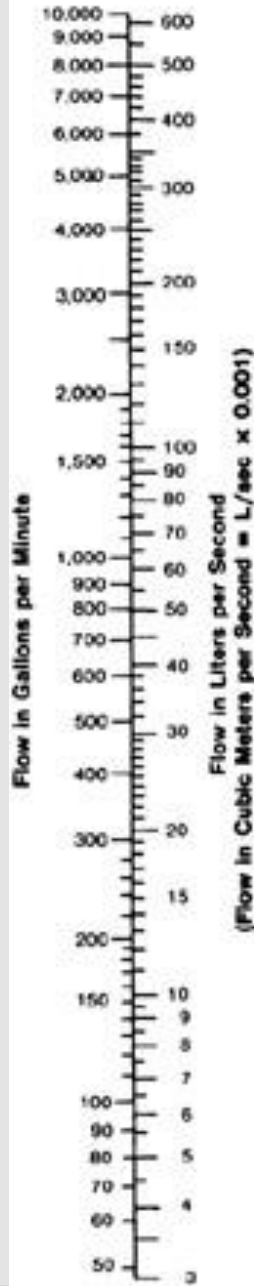
Vitesse d'écoulement en mètres par seconde

$$\% \textit{ Erro} = \frac{|Q_{\textit{gráfico}} - Q_{\textit{equação}}|}{Q_{\textit{equação}}} \times 100$$

$$\% \textit{ Erro} = \frac{|14 - 14,45|}{14,45} \times 100$$

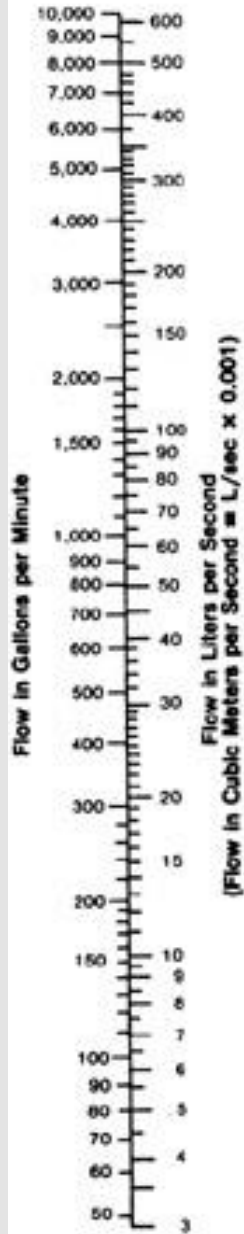
$$\textit{ Erro} = 3,11\%$$

English/Metric Units

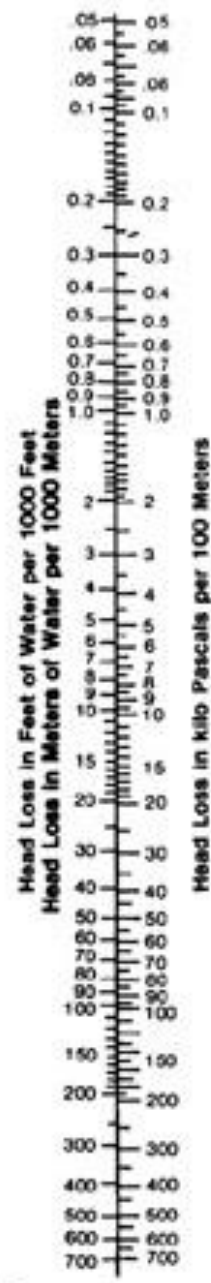
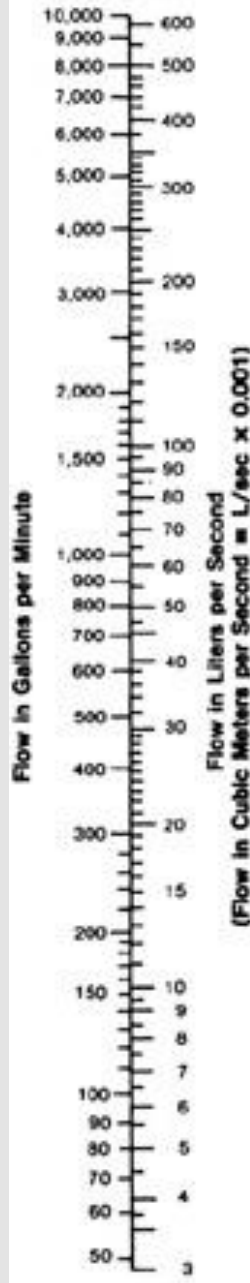


C=80

English/Metric Units



English/Metric Units

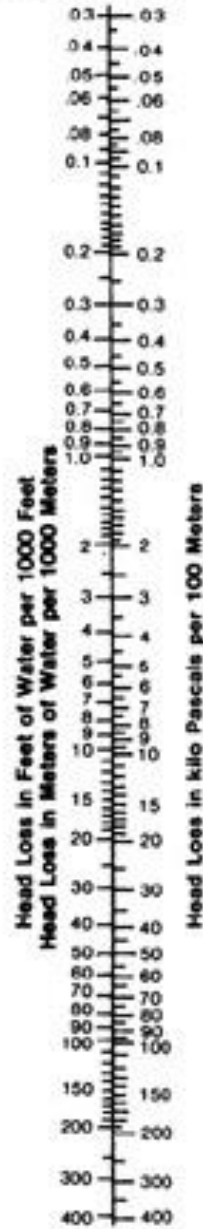
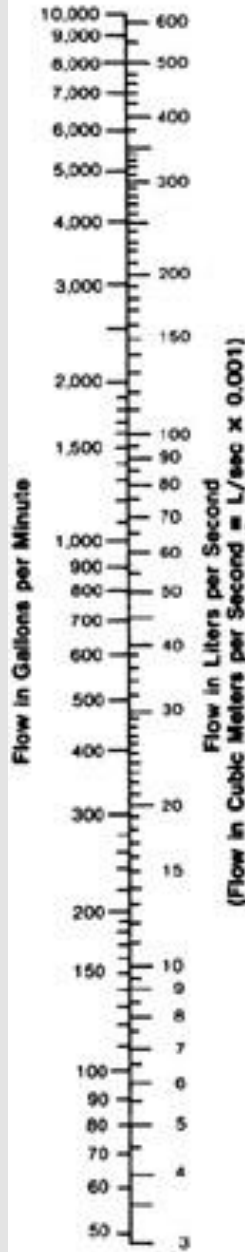


C = 100

English/Metric Units

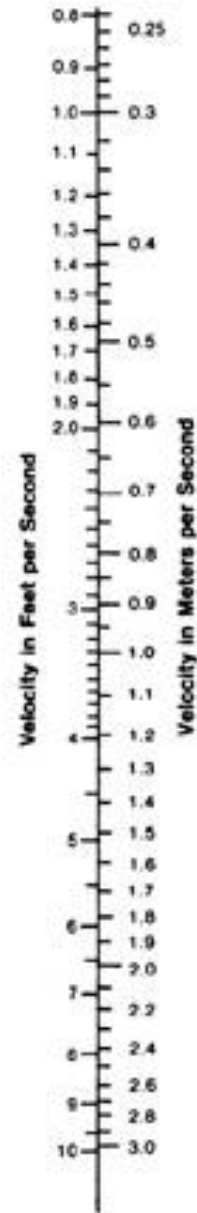
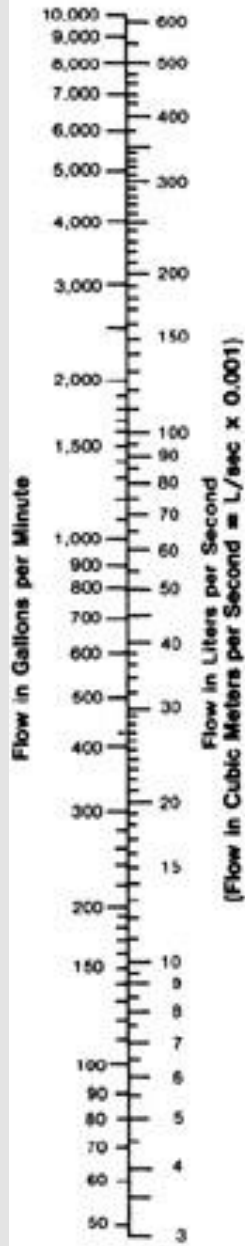


English/Metric Units

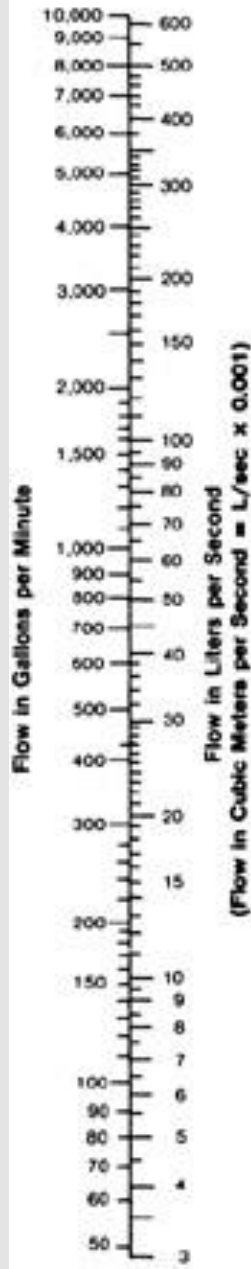


C=120

English/Metric Units

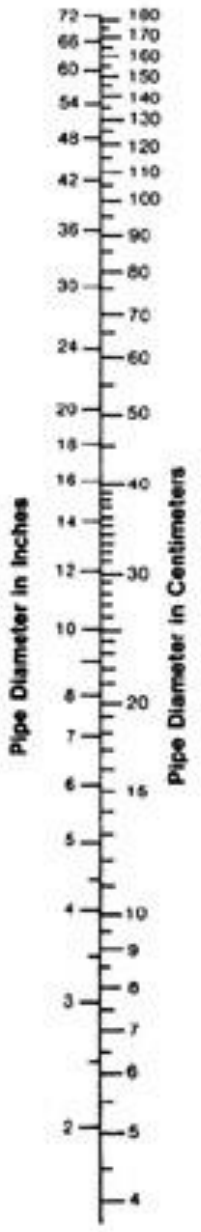
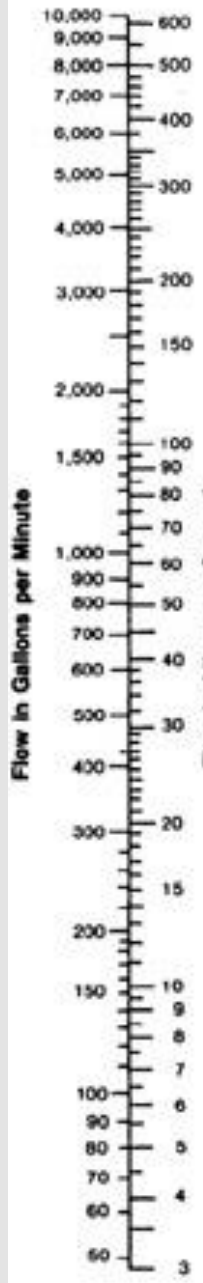


English/Metric Units



C=140

English/Metric Units



C=150

Referências marotas

- NETO, J. M. A. Manual de Hidráulica, 8ª ed., São Paulo: Editora Blücher, 1998, pg 114 e 115; 118; 147-155; 181.
- Appendix 5: Hazen-Williams Formula Pipe Flow Chart. Disponível em: <http://www.globalspec.com/reference/60786/203279/appendix-5-hazen-williams-formula-pipe-flow-chart>. Acesso em : 02/05/13.