

Ar Comprimido II-10: calculando tubulações

1 Comprimento equivalente (conceito)

A Figura 1 abaixo representa um trecho simples de tubulação, com um registro e duas curvas, conduzindo ar comprimido de A até D. O problema básico é saber a pressão em D, dados a pressão em A, a vazão e o diâmetro da tubulação. Ou seja, saber a perda de pressão (ou perda de carga) provocada pela tubulação e acessórios.

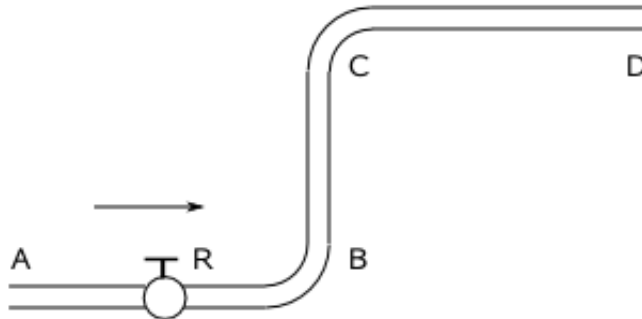


Fig. 1: Exemplo de perda de pressão

A perda de carga em trechos retilíneos é facilmente calculada por fórmulas teóricas ou empíricas da mecânica dos fluidos. Assim, no exemplo da Figura 1, o comprimento de tubulação é:

$$l = l_{AB} + l_{BC} + l_{CD} \quad (1.1)$$

Para o caso de acessórios (registros, curvas, etc), é usual considerar comprimentos equivalentes, isto é, comprimentos de trechos retos que produzem a mesma perda de carga do acessório.

Portanto, para o exemplo acima, o comprimento total para efeito de cálculo de perda de carga é:

$$l_{\text{total}} = l_{AB} + l_{BC} + l_{CD} + l_R + l_B + l_C \quad (1.2)$$

Onde as três últimas parcelas são os comprimentos equivalentes do registro R e das curvas B e C, respectivamente.

Uma vez determinado o comprimento total, isto é, da tubulação mais os equivalentes de acessórios, aplica-se uma fórmula para determinar a perda de pressão.

No caso de líquidos como água e outros, é obrigatório considerar a diferença de alturas físicas entre os pontos, devido à pressão hidrostática. Para gases, a baixa massa específica faz essa contribuição pequena e pode ser desprezada sem grandes desvios na maioria dos casos práticos.

2 Tabela de comprimentos equivalentes

A tabela abaixo dá os comprimentos equivalentes em metros de tubo de aço novo para alguns acessórios comuns.

	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10
Curva 45 raio médio rosca	0,21	0,28	0,39	0,52	0,64	0,83	0,97	1,20	1,70	...	...	...	...
Idem, flange	...	...	...	...	...	0,52	0,91	0,80	1,10	1,40	1,70	2,30	2,70
Curva 90 raio médio rosca	0,67	0,70	0,83	0,98	1,00	1,10	1,11	1,20	1,40	...	...	...	...
Idem, flange	...	...	...	...	...	0,83	0,88	1,00	1,30	1,50	1,70	2,10	2,40
Curva 180 raio médio rosca	1,10	1,13	1,60	2,00	2,30	2,60	2,80	3,40	4,00	...	...	...	...
Idem, flange	...	...	...	...	...	0,83	0,88	1,00	1,30	1,50	1,70	2,10	2,40
Filtro em Y rosca	1,50	2,00	2,30	5,50	8,10	8,30	8,80	10,4	12,8	16,2	18,6	...	...
Joelho 90 rosca	1,10	1,35	1,60	2,00	2,25	2,60	2,80	3,40	4,00	...	...	...	...
Idem, flange	...	...	...	...	...	0,95	1,10	1,30	1,80	2,20	2,70	3,70	4,30
Redução (valores médios)	...	...	0,50	...	0,70	1,00	...	2,00	2,50	...	...	...	...
Registro angular rosca	1,60	4,60	5,20	5,50	5,50	5,55	5,55	5,55	5,55	...	...	...	...
Idem, flange	...	...	...	...	...	6,40	6,70	8,50	11,6	15,2	19,2	27,4	36,6
Registro diafragma	...	...	1,20	...	2,00	3,00	...	4,50	6,00	8,00	10,0	...	...
Registro gaveta rosca	0,17	0,20	0,25	0,34	0,37	0,46	0,52	0,58	0,76	...	...	...	...
Idem, flange	...	...	...	...	...	0,80	0,83	0,85	0,88	0,95	0,98	0,98	0,98
Registro globo rosca	6,70	7,30	8,80	11,3	12,8	16,5	18,9	24,0	33,5	...	...	...	...
Idem, flange	...	...	...	...	...	21,4	23,5	28,7	36,6	45,7	47,9	79,3	94,5
Tee fluxo direto rosca	0,52	0,73	0,99	1,40	1,70	2,30	2,80	3,70	5,20	...	...	...	...
Idem, flange	...	...	...	...	...	0,55	0,58	0,67	0,85	1,00	1,20	1,40	1,60
Tee fluxo lateral rosca	1,30	1,60	2,00	2,70	3,00	3,70	3,90	5,20	6,40	...	...	...	...
Idem, flange	...	...	...	...	...	2,00	2,30	2,90	3,70	4,60	5,50	7,30	9,10
União	0,07	0,07	0,08	0,11	0,12	0,14	0,14	0,16	0,19	...	...	...	...
Válvula de retenção rosca	2,40	2,70	3,40	4,00	4,60	5,80	6,70	8,20	11,6	...	...	...	...
Idem, flange	...	...	...	...	...	5,20	6,40	8,30	11,6	15,2	19,2	27,4	36,6
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10

3 Fórmula para cálculo

Na literatura técnica, existem algumas fórmulas empíricas para o cálculo da perda de pressão em uma linha de ar comprimido. A seguinte fórmula será aqui empregada (usa unidades americanas. Observar as conversões adotadas):

$$\Delta p = \frac{CLQ^2}{rd^5} \quad (3.1)$$

Δp : perda de pressão. Unidade: psi (dividir por 14,504 para resultado em bar).

C : coeficiente que depende do material do tubo. Para aço comum, $C = 0,1025/d^{0,31}$. Unidade de d: polegada (= valor em metros / 0,0254).

L : comprimento total da tubulação, isto é, o seu comprimento físico mais os comprimentos equivalentes dos acessórios que existirem. Unidade de L: pé (= valor em metros / 0,3046).

Q : vazão volumétrica de ar livre que flui pela tubulação. Unidade de Q: pé cúbico por segundo (= valor em metros cúbicos por hora * 0,0098).

r : relação de compressão, isto é, a razão entre pressão absoluta do ar na linha e a pressão absoluta da atmosfera. Unidade de r: adimensional (naturalmente, ambas as pressões devem estar na mesma unidade).

d : diâmetro interno da tubulação. Unidade de d: polegada (= valor em metros / 0,0254). A partir da vazão de ar livre Q, pode-se calcular a vazão de ar na linha:

$$Q_{\text{linha}} = \frac{T_{\text{linha}} p_{\text{atm}} Q}{(p_{\text{atm}} + p_{\text{linha}}) T_{\text{atm}} 3600} \quad (3.2)$$

Q_{linha} : vazão de ar na tubulação em m³/s.

T_{linha} : temperatura absoluta (em K) do ar na tubulação.

p_{atm} : pressão da atmosfera em bar.

Q: vazão de ar livre em m³/h.

p_{linha} : pressão relativa (em bar) do ar na tubulação.

T_{atm} : temperatura absoluta (em K) da atmosfera.

E a velocidade do ar na tubulação é calculada por:

$$c \cong \frac{4 Q_{\text{linha}}}{3,1416 d^2} \quad (3.3)$$

c: velocidade em m/s.

Q_{linha} : conforme anterior.

d: diâmetro interno da tubulação em m.

A perda de pressão e a velocidade do escoamento são parâmetros usuais para dimensionamento. Ver exemplo no último tópico desta página.

4 Exemplo de cálculo

Será usada a Figura 1 do primeiro tópico. Supõe-se que A está ligado a um ramal ou reservatório de ar e D alimenta equipamento(s) consumidor(es).

São dados os comprimentos: AB = 120 m, BC = 5 m, CD = 15 m. As curvas são de raio médio e o registro é tipo diafragma. Todas as conexões são rosqueadas.

O consumo dos equipamentos previsto é 1500 m³/h de ar livre e a pressão em A é de 6 bar. Estima-se uma tubulação de 4" e deseja-se saber a perda de pressão correspondente.

Resultados:

Comprimento total = 120 + 5 + 15 + 1,4 + 1,4 + 6 = 148,8 m (as 3 últimas parcelas correspondem aos comprimentos equivalentes das curvas e registro conforme tabela desta página).

Aplicando as fórmulas, são obtidos: perda de pressão 0,068 bar e velocidade do fluxo 7,55 m/s.

Comentários:

Em geral, o comportamento de uma linha de ar deve obedecer a dois critérios simultâneos: a máxima perda de pressão e a máxima velocidade.

Segundo a fonte consultada, para ramais principais, a máxima perda recomendada deve estar na faixa de 0,02 bar/100 m e para ramais secundários, 0,08 bar/100 m. A máxima velocidade recomendada deve ser 8 m/s para ramais principais e 10 m/s para secundários.

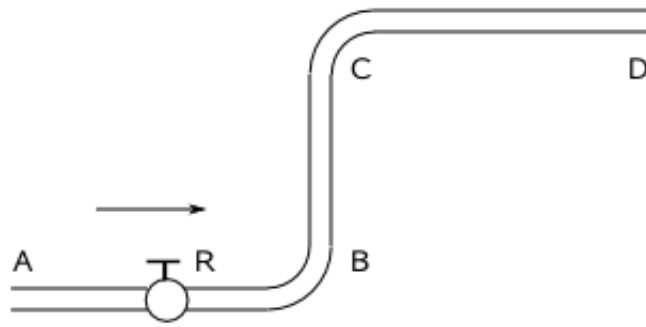


Fig. 2: Exemplo para cálculo

A perda de pressão calculada é $0,068 / 1,4 = 0,048$ e está acima da faixa para ramal principal. A velocidade calculada (7,55 m/s) está dentro da faixa para ambos. E o cálculo pode ser repetido com outros diâmetros até se chegar a um resultado satisfatório, que depende muito de cada caso particular.

Condições de uso na página inicial do site