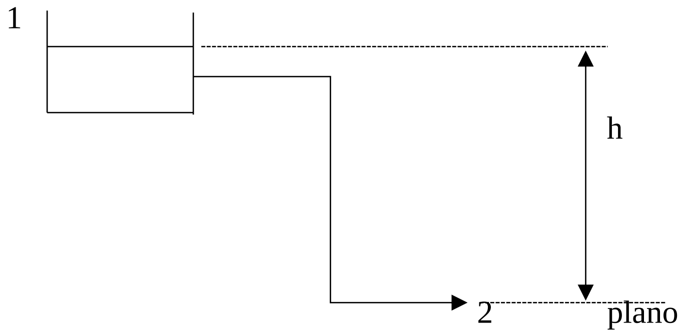
AVALIAÇÃO E PROJETO DE TUBULAÇÕES

Muitas vezes, há tubulações existentes que devem ser utilizadas para transportar um fluido. Neste caso, deve-se avaliar a vazão que é possível se obter com a tubulação. Em outras vezes, necessita-se de uma determinada vazão para um dado processo e, para isso, há a necessidade de se projetar a tubulação.
Analisando cada tipo de problema:

<u>Avaliação de tubulação:</u>



plano de referência para contagem das cotas

Supondo a drenagem do tanque mostrada na figura anterior. Sabe-se que todo o sistema está aberto à atmosfera, o desnível entre a superfície do tanque e o ponto de descarga seja h. a tubulação é de um material específico definido, tem diâmetro interno D definido e apresenta um comprimento total L conhecido. No comprimento L, inclui-se o comprimento equivalente de todas as singularidades existentes na tubulação.
Aplicando-se a equação de Bernoulli no Volume de controle compreendido entre a superfície livre do tanque e o ponto de descarga, pontos 1 e 2, tem-se:

$$\frac{\Delta v_b^2}{2} + g\Delta z + \frac{\Delta p}{\rho} + \eta_p W_s + lwf = 0$$

$v_{b1} = 0$
$v_{b2} = ?$

z1=h
z2=0

p1=p2=0

$\eta_p W_s = 0$ (sem trabalho de eixo)

$$lwf = \frac{2fLv_b^2}{D}$$

Em lwf, a velocidade vb é a a velocidade que o fluido tem no ponto de descarga, vb2, que a a incógnita do problema. Uma vez que se tenha essa velocidade,, conhecido o diâmetro da tubulação, a vazão está determinada.

A equação de Bernoulli simplificada fica então como:

$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + lwf = 0 \text{ (eq A)}$$

Ou

$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + \frac{2fLv_{b2}^2}{D} = 0 \text{ (eq B)}$$

<u>Procedimento de cálculo: utilização do Diagrama de Moody.</u>

1)Com o material da tubulação e o Diâmetro interno D, obtém-se a rugosidade relativa e/D.
2)Na curva de e/D determinada, obtém-se o valor do fator de atrito, f_1, na região em que o fator de atrito fica independente do número de Re, no Diagrama de Moddy
3)Com o valor de f, na equação B, obtém-se uma primeira estimativa da velocidade $vb2_1$ (primeira estimativa de vb2).
4)Com o valor de $vb2_1$, pode-se estimar o número de Reynolds:

$$Re_1 = \frac{Dv_{b21}\rho}{\mu}$$

5)Com Re1 e e/D obtém-se um novo valor para o fator de atrito: f_2.
6)Com f2, na eq B, obtém-se uma nova estimativa para vb2: $vb2_2$.
7)Comparam-se as velocidades: última estimativa com a velocidade calculada anteriormente: $vb2_2$ com $vb2_1$:
-se forem iguais: o cálculo está encerrado.
-se forem diferentes, deve-se retornar ao passo 4, com o último valor de vb2 calculado.
Prossegue-se com o cálculo até que ocorra convergência: $vb2_{(i)}$ seja igual a $vb2_{(i-1)}$.
Como o valor de vb2 final, obtém-se a vazão volumétrica fornecida pela tubulação existente:

$$\dot{q} = \frac{\pi D^2}{4} v_{b2}$$

<u>Procedimento de cálculo: utilização do Número de Kárman – Λ</u>

Sabe-se que:

$$Re = \frac{Dv_b\rho}{\mu}$$

$$lwf = \frac{2fLv_b^2}{D}$$

Desta equação, obtém-se a expressão para o fator de atrito:

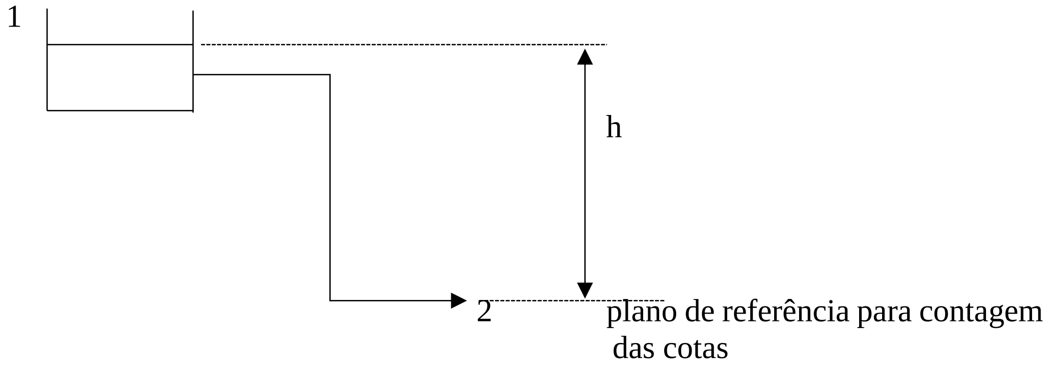
$$f = \frac{lwfD}{2Lv_b^2}$$

Fazendo-se: $Re\sqrt{f} = \frac{D\rho}{\mu}\sqrt{\frac{lwfD}{2L}} = \Lambda$ (número de Kárman) (eq C)

Procedimento, empregado o número de Kárman:

1)Pela eq A, desprezando-se, inicialmente, o termo de energia cinética, estima-se lwf_1.
2)Com lwf_1 na eq C, estima-se Λ_1.
3)Com Λ_1 e e/D, obtém-se uma primeira estimativa do fator de atrito f_1.
4)Com f_1 na eq B, obtém-se uma primeira estimativa de $vb2_1$.
5)Com $vb2_1$ na eq A, obtém-se uma segunda estimativa para lwf: lwf_2.
6)Com lwf_2 na eq C, obtém-se uma novo valor de Λ_2.
7)Com Λ_2 e e/D, obtém-se um novo fator de atrito, f_2.
8)Com f_2, na eq B, estima-se um novo valor par vb2: $vb2_2$.
9)Comparam-se a última estimativa de vb2 com a estimativa anterior: $vb2_2$ e $vb2_1$:
-se forem iguais: o procedimento de cálculo está terminado.
-se forem diferentes, volta-se ao passo 5 e repete-se o processo até que convergência: $vb2_{(i)}$ seja igual a $vb2_{(i-1)}$.

Projeto de Tubulação:



Supondo a drenagem do tanque mostrada na figura anterior. Sabe-se que todo o sistema está aberto à atmosfera, o desnível entre a superfície do tanque e o ponto de descarga seja h. a tubulação é de um material específico definido, e apresenta um comprimento total L conhecido. No comprimento L, inclui-se o comprimento equivalente de todas as singularidades existentes na tubulação. Deseja-se, com a tubulação, obter uma determinada vazão $\dot{q}$. Neste caso, a tubulação não é existente. Dispõe-se do comprimento necessário de tubo em função do ponto de alimentação e de descarga conhecidos. Este é um caso de projeto de tubulação.
Aplicando-se a equação de Bernoulli no Volume de controle compreendido entre a superfície livre do tanque e o ponto de descarga, pontos 1 e 2, tem-se:

$$\frac{\Delta v_b^2}{2} + g\Delta z + \frac{\Delta p}{\rho} + \eta_p W_s + lwf = 0$$

$v_{b1} = 0$
$v_{b2} = ?$

z1=h
z2=0

p1=p2=0

$\eta_p W_s = 0$ (sem trabalho de eixo)

$$lwf = \frac{2fLv_b^2}{D}$$

Em lwf, a velocidade vb é a a velocidade que o fluido tem no ponto de descarga, vb2, que a a incógnita do problema. Uma vez que se tenha essa velocidade, conhecido o diâmetro da tubulação, a vazão está determinada.

A equação de Bernoulli simplificada fica então como:

$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + lwf = 0 \text{ (eq A)}$$

Ou

$$\frac{v_{b2}^2}{2} - gh + \frac{2fLv_{b2}^2}{D} = 0 \text{ (eq B)}$$

Sabe-se também que:

$$\dot{q} = \frac{\pi D^2}{4} v_{b2}$$

Desta equação obtém-se:

$$v_{b2} = \frac{4\dot{q}}{\pi D^2} \text{ (eq C)}$$

Ou

$$D = \sqrt{\frac{4\dot{q}}{\pi v_{b2}}} \text{ (eq D)}$$

Procedimento utilizando o Diagrama de Moody:

1)Adotar um valor de velocidade recomendada para o processo em questão, como primeira estimativa para vb2: $vb2_1 = vb2_{rec}$.
2)Com vb2rec na eq D, estima-se D_1 (primeira estimativa para o diâmetro da tubulação).
3)Com $vb2_{rec}$ e D_1, determina-se Re_1 e e/D_1: $Re_1 = \frac{D_1 v_{b2rec} \rho}{\mu}$
4)Com Re_1 e e/D_1, no diagrama de Moody, obtém-se um primeiro valor para o fator de atrito, f_1.
5)Com f_1 e $vb2_{rec}$, na eq B, estima-se um novo valor de diâmetro: D_2.
6)Comparam-se D_2 e D_1:
-se iguais, o processo de cálculo convergiu.
-se diferentes, seguir para o passo 7.
7)Com a estimativa de diâmetro D_2, na eq C, estima-se $vb2_2$.
8)Com D2 e vb22:

$\mathrm{Re}_2 = \frac{D_2 v_{b22} \rho}{\mu}$ e e/D_2.
9)Com Re_2 e e/D_2, obtém-se um novo valor para o fator de atrito f_2.
10)Com $vb2_2$ e f_2, na eq B estima-se um novo valor par o diâmetro D_3.
11)Comparam-se os dois últimos diâmetros obtidos: D_3 e D_2.
-se iguais, houve convergência;
-se diferentes, volta-se ao passo 7, até que ocorra convergência.

Para a seleção do diâmetro comercial adequado:

Diâmetro comercial
Diâmetro calculado final
Diâmetro comercial

A seta indica o aumento do valor do diâmetro. Deve-se selecionar o maior diâmetro comercial imediatamente acima do diâmetro calculado. Justifica-se taç fato pelo cálculo do valor da perda de energia mecânica, lwf:

$$\mathrm{lwf} = \frac{2fLv_b^2}{D}$$

Como o objetivo é minimizar lwf, com o maior diâmetro comercial imediatamente acima, tem-se uma diminuição da velocidade média e, como mostra a eq para lwf, o valor deste diminui.

<u>Procedimento, empregado o número de Kárman:</u>

1)Adotar um valor de velocidade recomendada para o processo em questão, como primeira estimativa para vb2: $vb2_1 = vb2_{rec}$.
2)Com vb_{rec} na eq A, faz-se uma primeira estimativa de lwf: lwf_1.
2)Com $vb2_{rec}$ na eq D, estima-se D_1.
3)Com lwf1 e D1, estima-se Λ_1.
4)Com Λ_1 e e/D_1, obtém-se a primeira estimativa do fator de atrito: f_1.
5)Com f_1 e $vb2_1$=vbrec, na eq B, estima-se D_2.
6))Comparam-se D_2 e D_1:
-se iguais, o processo de cálculo convergiu.
-se diferentes, seguir para o passo 7.
7)Com D_2 na eq C, estima-se $vb2_2$.
8)Com $vb2_2$, na eq A, estima-se lwf_2.
9)Com D_2 e lwf_2, obtém-se Λ_2.
10)Com Λ_2 e e/D_2, estima-se f_2.
11)Com f_2 e $vb2_2$, na eq B, estima-se D_3.
12)Comparam-se os dois últimos diâmetros obitdos:
-se iguais, o cálculo convergiu;
-se diferentes, voltar ao passo 7 até que $D_{(i)}$ e $D_{(i-1)}$ sejam iguais.

A seleção do diâmetro comercial a ser adotado é como já comentado.