EQUAÇÕES PARA ESCOAMENTO EM TUBOS COM CORRUGAÇÃO ANELAR

Eng° Luiz Camargo

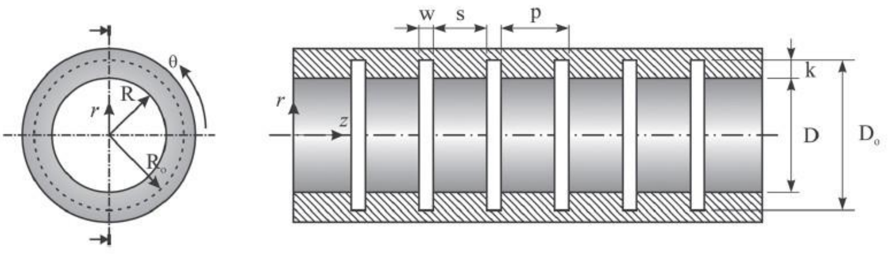
À semelhança da equação de Colebrook, Stel et al (2012), propõe, para determinação do fator de atrito f em escoamento em tubos corrugados anelares a seguinte equação:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2{,}05 log_{10}\left(\frac{w/D}{63{,}2} + \frac{2{,}3}{R_e\sqrt{f}}\right) \tag{1}$$

válida, segundo os autores, para $5000 \le R_e \le 100000$, $0{,}0075 \le w/D \le 0{,}045$, $w/k \le 2$ e $s/D = 0{,}11$ onde w é a largura da cavidade do corrugado, k é a altura da cavidade do corrugado, s é o afastamento entre corrugados, D é o diâmetro do tubo e R_e é o número de Reynolds. Informam os autores que simulações adicionais realizadas para $s/D = 0{,}165$ verificou-se que para este caso o fator de atrito é 6,5% maior do que aquele obtido com $s/D = 0{,}11$. Contudo, informam, esta equação fornece uma boa estimativa para o fator de atrito com valores de s/D ligeiramente maiores que 0,11.

Em comunicado pessoal um dos autores (Stel, H.) informa que em aplicações práticas, uma variação de 6,5% no fator de atrito fica em muitos casos dentro do próprio limite de incertezas dos instrumentos de medição, e que, portanto, para aplicações de engenharia, pode-se considerar a faixa $0{,}11 \le s/D \le 0{,}165$ satisfatória. Stel destaca dois detalhes importantes: se o espaçamento entre as corrugações for muito grande (digamos $s > 8w$), as cavidades se tornam tão espaçadas que, na prática, o tubo se comportaria como "não-corrugado" e que neste caso equações para tubo liso ou a de Colebrook poderiam ser usadas diretamente. Ressalta também que o trabalho parte do princípio de que o material do espaçamento é liso, ou muito próximo disso, ou seja, a única rugosidade relevante avaliada é a da própria cavidade. Se o material do tubo for naturalmente muito rugoso (como um aço bastante desgastado), o fator de atrito deve ser ainda maior, e esse efeito não foi investigado em seu trabalho.

A figura a seguir ilustra a configuração de tubo com corrugações anelares:



Da equação de Darcy-Weisbach tem-se:

$$f = \frac{J\pi^2 g D^5}{8Q^2} \quad \therefore \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = \sqrt{\frac{8Q^2}{J\pi^2 g D^5}} \tag{3}$$

Número de Reynolds:

$$R_e = \frac{4Q}{\pi D \nu} \tag{4}$$

Levando as eqs. (3) e (4) na eq. (1), obtém-se:

$$\sqrt{\frac{8Q^2}{J\pi^2 g D^5}} = -2{,}05 log_{10}\left(\frac{w/D}{63{,}2} + \frac{2{,}3\cdot\nu}{\sqrt{2J\pi^2 g D^3}}\right) \tag{5}$$

Da eq. (5) deduz-se que:

$$Q = -\frac{2{,}05\pi}{4}\sqrt{2gJD^5}\cdot log_{10}\left(\frac{w/D}{63{,}2}+\frac{2{,}3\cdot\nu}{\sqrt{2gJD^3}}\right) \tag{6}$$

$$V = -2{,}05\sqrt{2gJD}\cdot log_{10}\left(\frac{w/D}{63{,}2}+\frac{2{,}3\cdot\nu}{\sqrt{2gJD^3}}\right) \tag{7}$$

$$J = \left(\frac{2}{2{,}05}\right)^2\cdot\frac{2Q^2}{\pi^2 gD^5}\left[-log_{10}\left(\frac{w/D}{63{,}2}+\frac{2{,}3.\nu}{\sqrt{2gD^3J_o}}\right)\right]^{-2} \tag{8}$$

$$D = \left(\frac{2}{\pi^2 Jg}\right)^{0{,}2}\cdot\left(\frac{2Q}{2{,}05}\right)^{0{,}4}\cdot\left[-log_{10}\left(\frac{w/D_0}{63{,}2}+\frac{2{,}3.\nu}{\sqrt{2JgD_o^{\,3}}}\right)\right]^{-0{,}4} \tag{9}$$

onde:

D = diâmetro interno (m)
Q = vazão (m^3/s)
$J = h_f/L$ = perda de carga unitária (mca/m)
h_f = perda de carga total (mca)
L = comprimento do tubo (m)
V = velocidade do líquido (m/s)
f = fator de atrito (adimensional)
g = aceleração da gravidade (m/s^2)
w = largura da cavidade do corrugado (m)
k = profundidade da cavidade do corrugado (m)
ν = viscosidade cinemática do líquido (m^2/s) = μ(kg/m.s)/ρ(kg/m^3)
ρ = densidade (kg/m^3) (água a 20 ºC: ρ = 998,2 kg/m^3)
μ = viscosidade, ou viscosidade absoluta, ou viscosidade dinâmica
Obs: (Pa.s)=(N.s/m^2)=(kg/m.s)=(1/9,806).(kgf.s/m^2)

Ref.: Stel, H. et al; "Turbulent Flow in D-Type Corrugated Pipes: Flow Pattern and Friction Factor", Journal of Fluids Engineering, ASME, vol. 134, Nov., 2012.

LC - 19/07/2015.