

# Trabalho de Sistema de Medição

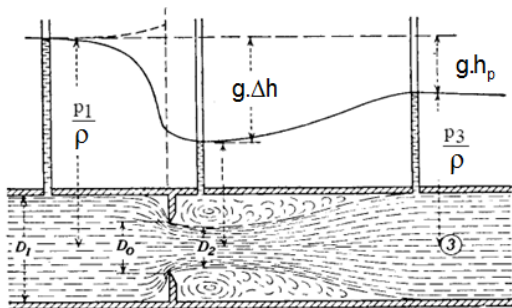
## Roteiro para cálculo preliminar de medidor de vazão de pressão diferencial

O presente roteiro visa estabelecer sequência de cálculos relativa a projetos preliminares de medidores de vazão de pressão diferencial (placa de orifício, bocal e Venturi) utilizada em medição de vazão em tubulações.

Este tipo de medidor de vazão apresenta como princípio de funcionamento a geração de uma pressão diferencial entre duas seções no escoamento causada por uma restrição física, uma seção de menor diâmetro do que o diâmetro da tubulação, cujo valor medido de pressão diferencial está relacionada a vazão do fluido pela tubulação.

# I - Conceitos Fundamentais

## I.1 - Equação teórica para fluidos incompressíveis



Os medidores de vazão de pressão diferencial (também chamados de medidores de vazão deprimogênitos) são projetados levando em consideração as equações da conservação de massa e da conservação da energia, na forma utilizada para fluidos incompressíveis:

$$Q = A_1 \bar{V}_1 = A_2 \bar{V}_2 \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad \text{e} \quad \frac{p_1}{\rho} + \frac{\bar{V}_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{\bar{V}_2^2}{2} \quad [\text{m}^2/\text{s}^2]$$

Combinando as duas equações obtém-se:

$$V_1^2 \left[ \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right] = 2 \frac{(p_1 - p_2)}{\rho}$$

Definindo o coeficiente  $\beta$ , dado pela a relação entre o diâmetro da restrição e o diâmetro da tubulação ( $\beta=d/D=D_0/D_1$ ) obtém-se a velocidade média e a vazão em volume na seção da tubulação:

$$V_1 = E\beta^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad \text{e} \quad \boxed{Q = A_1 \cdot E \cdot \beta^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{\Delta p}} \quad \text{onde} \quad E = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

Observa-se, pela equação teórica, que a vazão pode ser obtida indiretamente pela medição da diferença de pressão,  $\Delta p$  (diferença entre os valores da pressão nas seções da tubulação, seção 1, e na seção com a restrição, seção 2). Resumidamente a equação teórica do medidor de vazão de pressão diferencial será:

$$Q = C_0 \cdot \sqrt{\Delta p}$$



## I.2 - Equação prática

Devidos as condições de escoamento reais (fluido viscoso e outros efeitos), a equação teórica pode ser ajustada para uma equação empírica, cujo coeficiente de vazão (também chamado de coeficiente de descarga) foi determinado experimentalmente.

$$Q_R = C.Q = C.C_0 \cdot \sqrt{\Delta p}$$

O coeficiente de vazão será função de alguns parâmetros do fluido e da geometria do medidor,  $C=f(\beta, D, Re_D)$ .

Compactadamente, escrevemos para qualquer medidor de pressão diferencial :

$$\boxed{Q_R = C_Q \cdot \sqrt{\Delta p}}$$

Com  $Q_R$  em  $[m^3/s]$  e  $\Delta p$  em  $[N/m^2]$

### 1.3 - Formato da equação utilizada para Placas de Orifício

$$Q_R = CE\beta^2 \cdot A_1 \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{\Delta p}$$

Para cada configuração de tomada de pressão serão utilizadas as tabelas que fornecerão o coeficiente  $CE\beta^2$  em função do número de Reynolds (com base no diâmetro D da tubulação) e da relação  $\beta$  da placa de orifício.

### 1.4 - Indicações para projeto de medidores de vazão

Velocidade média:    tubulações para ar : 15 [m/s]  
                              tubulações para água : 5 [m/s]

Diferença de pressão máxima:  
                              Utilizar para vazão máxima uma diferença de pressão de 1 [mCA]

Observação : A equação para os medidores possuem dado de entrada (diferença de pressão) e resultado (vazão) em unidades específicas. Para transformar unidades da diferença de pressão e da vazão proceda como o exemplo:

$$Q_R = C_Q \cdot \sqrt{\Delta p} \quad \text{Com } Q_R \text{ em [m}^3/\text{s]} \text{ e } \Delta p \text{ em [N/m}^2\text{]}$$

$$Q_R [\text{m}^3 / \text{s}] = Q_R [\text{m}^3 / \text{h}] / 3600$$

$$\Delta p [\text{N/m}^2] = \gamma_{\text{Hg}} \Delta H [\text{mmHg}] / 1000$$

$$\Delta p [\text{N/m}^2] = 13,56 \gamma_{\text{água}} \Delta H [\text{mmHg}] / 1000$$

$$\Delta p [\text{N/m}^2] = 132,35 \Delta H [\text{mmHg}]$$

$$Q_R [\text{m}^3 / \text{h}] / 3600 = C_Q \cdot \sqrt{132,35 \Delta h [\text{mmHg}]}$$

$$\boxed{Q_R = 41.415,89 C_Q \cdot \sqrt{\Delta h}} \quad Q_R [\text{m}^3/\text{h}] \text{ e } \Delta h [\text{mmHg}]$$

## II - Projeto de medidores

### A) Placa de orifício

Placas de orifício são os medidores de vazão de pressão diferencial de construção mais simples, que podem ser construídos nas configurações concêntrica, excêntrica e segmental (Neste trabalho serão utilizadas placas de orifício concêntrica).

Apesar do medidor placa de orifício concêntrico em si possuir geometria simples, podem ser utilizados cinco configurações diferentes para obtenção da diferença de pressão provocada pelo medidor (designação em inglês compacto): 1) flange taps, 2) radius taps, 3) vena contracta taps, 4) Corner taps e 5) Pipe taps.

Para cada um dos tipos de medidores haverá uma sequência de cálculos do respectivo coeficiente de vazão, bem como a definição do posicionamento da tomada de pressão a montante e a jusante da placa.



## II.A.1 - Flange taps

- a) Localização das tomadas de pressão: Ver tabela III.1a  
b) Coeficiente de vazão: Ver tabela II.1f

$$CE.\beta^2 = C'E.\beta^2 \cdot \left(1 + \frac{A_f}{R_D}\right)$$

- c) Limite de aplicação  $0,1 < \beta < 0,75$   
 $50 \text{ [mm]} < D < 760 \text{ [mm]}$

## II.A.2 - Radius taps

- a) Localização das tomadas de pressão: Ver tabela III.1a  
b) Coeficiente de vazão: Ver tabela II.1r

$$CE.\beta^2 = C'E.\beta^2 \cdot \left(1 + \frac{A_f}{\sqrt{R_D}}\right)$$

- c) Limite de aplicação  $0,15 < \beta < 0,75$   
 $50 \text{ [mm]} < D < 760 \text{ [mm]}$

### II.A.3 - Vena contracta taps

### II.A.4 - Corner taps

a) Localização das tomadas de pressão:

b) Coeficiente de vazão: Ver tabela II.1h

c) Limite de aplicação  $0,22 < \beta < 0,8$   
 $50 \text{ [mm]} < D < 1.000 \text{ [mm]}$

### II.A.5 - Pipe taps

a) Localização das tomadas de pressão: Ver tabela III.1a

b) Coeficiente de vazão: Ver tabela II.1t

$$C_E \cdot \beta^2 = C' E \cdot \beta^2 \cdot \left( 1 + \frac{A_f}{R_D} \right)$$

c) Limite de aplicação  $0,2 < \beta < 0,7$   
 $50 \text{ [mm]} < D < 300 \text{ [mm]}$

## Propriedades Físicas da Água<sup>a</sup>

Tempe- ratura (°C)	Massa específica $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Peso específico <sup>b</sup> $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Viscosidade dinâmica $\mu$ (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidade cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	999,9	9,806	1,787 E - 3	1,787 E - 6
5	1000,0	9,807	1,519 E - 3	1,519 E - 6
10	999,7	9,804	1,307 E - 3	1,307 E - 6
20	998,2	9,789	1,002 E - 3	1,004 E - 6
30	995,7	9,765	7,975 E - 4	8,009 E - 7
40	992,2	9,731	6,529 E - 4	6,580 E - 7
50	988,1	9,690	5,468 E - 4	5,534 E - 7
60	983,2	9,642	4,665 E - 4	4,745 E - 7
70	977,8	9,589	4,042 E - 4	4,134 E - 7
80	971,8	9,530	3,547 E - 4	3,650 E - 7
90	965,3	9,467	3,147 E - 4	3,260 E - 7
100	958,4	9,399	3,818 E - 4	2,940 E - 7

## Propriedades Físicas do Ar Referentes a Pressão Atmosférica Padrão<sup>a</sup>

Temperatura (°C)	Massa específica $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Peso específico <sup>b</sup> $\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	Viscosidade dinâmica $\mu$ (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidade cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
-40	1,514	14,85	1,57 E - 5	1,04 E - 5
-20	1,395	13,68	1,63 E - 5	1,17 E - 5
0	1,292	12,67	1,71 E - 5	1,32 E - 5
5	1,269	12,45	1,73 E - 5	1,36 E - 5
10	1,247	12,23	1,76 E - 5	1,41 E - 5
15	1,225	12,01	1,80 E - 5	1,47 E - 5
20	1,204	11,81	1,82 E - 5	1,51 E - 5
25	1,184	11,61	1,85 E - 5	1,56 E - 5
30	1,165	11,43	1,86 E - 5	1,60 E - 5
40	1,127	11,05	1,87 E - 5	1,66 E - 5