UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA III

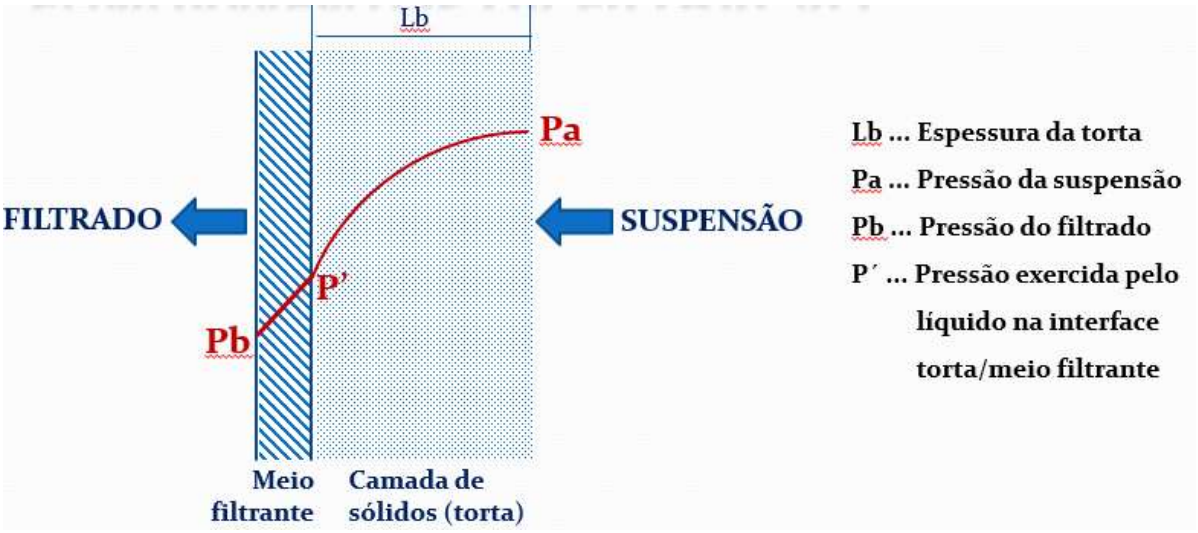
Prof. Antonio Carlos da Silva

AULA 02 – CÁLCULOS DE FILTRAÇÃO

FUNDAMENTOS DA FILTRAÇÃO

Do ponto de vista da Mecânica dos Fluidos um filtro é um sistema de fluxo.

Há uma diferença de pressão aplicada entre a entrada da suspensão e a saída do filtrado que força o líquido a escoar através do meio de filtração e da camada de sólidos (Torta)



O filtrado passa por três tipos de resistências em série:

a) Resistência ao escoamento nos tubos que conduzem a suspensão até o filtro e o filtrado a partir deste;
b) Resistência da torta; e
c) Resistência do meio filtrante.

A resistência dos tubos é muito menor que as outras duas, podendo ser desprezada.

Assim, devido às resistências do bolo e do meio filtrante, que provocam perdas de carga, a pressão de reduz de Pa a Pb.

Tem-se que: $\mathbf{\Delta P = Pb - Pa}$

$\mathbf{-\Delta P = Pa - Pb = (Pa - P') + (P' - Pb)}$

$\mathbf{-\Delta P = -\Delta P_T - \Delta P_m}$

$-\Delta P$ ... Queda de pressão total

$-\Delta P_T$ ... Queda de pressão na torta

$-\Delta P_m$ ... Queda de pressão no meio de filtração

OPERAÇÃO DE FILTROS

Formas de operação de filtros:

- Filtração contínua
- Filtração descontínua:
  - Pressão constante: se DP é constante, a velocidade de filtração é máxima no início e diminui com o tempo
  - Velocidade constante: a pressão de entrada aumenta com o tempo

RESISTÊNCIAS À FILTRAÇÃO

Resistência da Torta (ou Bolo): $\boldsymbol{\alpha = \frac{-\Delta P_T . g_c . A}{\mu . u . m_c}}$

Resistência do meio de filtração: $\boldsymbol{R_m = \frac{-\Delta P_m . g_c}{\mu . u}}$

A ... Área do meio de filtração

μ ... Viscosidade do filtrado

u ... Velocidade linear do filtrado

m_c ... Massa de sólidos na torta

g_c ... Fator de conversão massa-força

Valores da constante g_c:

$$g_c = 1 \frac{(kg.m)}{N.s^2} \quad \therefore \quad \textbf{Sistema Internacional}$$

$$g_c = 9,8067 \frac{kg.m}{kgf.s^2} \quad \therefore \quad \textbf{Sistema Técnico}$$

$$g_c = 32,2 \frac{lb.ft}{lbf.s^2} \quad \therefore \quad \textbf{Sistema Inglês}$$

Relações empíricas para a resistência do bolo

$$\alpha = \alpha_o.(-\Delta P)^s$$

$$\alpha = \alpha'_o.\left[1 + \beta.(-\Delta P)^{s'}\right]$$

α_o, α'_o, β, s, s' ... Constantes empíricas

Concentrações usuais:

- Concentração da suspensão:

$$C_s = \frac{m}{V_s} \ \ldots \ \frac{\textbf{massa de sólidos}}{\textbf{volume de solução}}$$

- Concentração em relação ao filtrado:

$$C = \frac{m}{V_f} \ \ldots \ \frac{\textbf{massa de sólidos}}{\textbf{volume de filtrado}}$$

Uma vez que o volume de filtrado é menor que o volume da suspensão (os sólidos em suspensão se separam do filtrado retendo ainda parte do filtrado nos seus poros) C é ligeiramente maior que Cs.

$$C = \frac{C_s}{1 - \left[\left(m_u/m_c\right) - 1\right].\frac{C_s}{\rho}}$$

m_u ... massa da torta (bolo) úmido

m_c ... massa da torta (bolo) seca

ρ ... massa específica do filtrado

FILTRAÇÃO A PRESSÃO CONSTANTE (DESCONTÍNUA)

Equação da variação de volume filtrado com tempo:

$$t = \frac{\mu}{g_c.(-\Delta P)}.\left[\frac{C.\alpha}{2}.\left(\frac{V}{A}\right)^2 + R_m.\frac{V}{A}\right]$$

t ... Tempo de operação do filtro (s)

V ... Volume de filtrado recolhido no tempo t (m^3/s)

Derivando t em relação a V: $\frac{dt}{dV} = \frac{C.\mu.\alpha}{g_c.(-\Delta P).A^2}.V + \frac{\mu.R_m}{g_c.A.(-\Delta P)}$

Ou ainda: $\frac{dt}{dV} = K.V + B$

Com: $K = \frac{C.\mu.\alpha}{g_c.(-\Delta P).A^2}$ e $B = \frac{\mu.R_m}{g_c.A.(-\Delta P)}$

Se forem realizadas diversas medições sucessivas de V a vários valores diferentes de t, pode-se calcular Dt/DV para cada duas medidas sucessivas.

Construindo-se um diagrama de Dt/DV em função de V (considerando V como a média de duas medidas consecutivas) obtém-se uma reta podendo-se calcular K e B.

EXEMPLO

Em ensaios de filtração realizados em laboratório a pressão constante, com uma suspensão aquosa de carbonato de cálcio, foram obtidos os dados da tabela apresentada. A área do filtro era 440 cm^2, a massa de sólidos por unidade de volume de filtrado era 23,5 g/L e a viscosidade do filtrado era 0,866 cP ou $0{,}866.10^{-3}$ Pa.s (kg/m.s). Calcular a e Rm em função da queda de pressão.

Experimento	1	2	3	4	5
-ΔP (kgf/cm²)	0,47	1,14	1,98	2,55	3,45
Volume filtrado V (L)	Tempo de filtração (s)				
0,5	17,3	6,8	6,3	5,0	4,4
1,0	41,3	19,0	4,0	11,5	9,5
1,5	72,0	34,6	24,2	19,8	16,3
2,0	108,3	53,4	37,0	30,1	24,6
2,5	152,1	76,0	51,7	42,5	34,7
3,0	201,7	102,0	69,0	56,8	46,1
3,5		131,2	88,8	73,0	59,0
4,0		163,0	110,0	91,2	73,6
4,5			134,0	111,0	89,4
5,0			160,0	133,0	107,3
5,5				156,8	
6,0				182,5	