



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PQI 3202 Fenômenos de Transporte I

Ardson dos Santos Vianna Júnior - ASVJ

e-mail: ardson@usp.br





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Aula 31.3 – Deduções para Equações para leitos

PQI 3202 Fenômenos de Transporte I



Equações para perda de carga

1. Carman-Kozeny (CK)
2. Burke-Plummer (BP)
3. Ergun



Carman-Kozeny

- Fluxo laminar
- Partir do fator de fricção para tubos
- $f = \frac{F_k}{A k}$ F_k força relacionada com a E.C.; A- área característica; K=E.C./volume
 1. Tubos
 2. Corpos sólidos
 3. leitos
- Leitos: $f = \frac{1}{2} \frac{D}{L} \frac{\mathcal{P}_o - P_L}{\frac{1}{2} \rho \bar{v}^2} = \phi(Re)$



Carman-Kozeny

1. Adaptações

1. Diâmetro: raio hidráulico
2. Partícula não esférica
3. Velocidade superficial e dentro dos canais
4. Características do leito - ϵ



Carman-Kozeny

1. Diâmetro: raio hidráulico ou diâmetro equivalente

$$D_{eq} = (\text{área livre}) / (\text{perímetro molhado})$$

se $x(L/L) \rightarrow D_{eq} = 4 (\text{volume total de vazios}) / (\text{área superficial total})$, mas

$$\varepsilon = \frac{\text{vol. vazios}}{\text{vol. vazios} + \text{volume total de partículas}}$$

$$\frac{1}{\varepsilon} = 1 + \frac{\text{volume total de partículas}}{\text{vol. vazios}} \rightarrow \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \text{vol. vazios} = N_P V_P$$



Carman-Kozeny

1. Partícula não esférica

$$vol.vazios = N_P V_P \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}$$

$$D_{eq} = \frac{4 \text{ vol.vazios}}{\text{area total}} = \frac{4 N_P V_P \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}}{N_P A_P} = \frac{4 V_P \varepsilon}{A_P (1-\varepsilon)}$$

2. Definição de esfericidade (ψ): $\psi = \frac{6 V_P}{D_P A_P}$, logo

$$D_{eq} = \frac{4 \varepsilon}{(1-\varepsilon)} \frac{\psi D_P}{6}$$



Carman-Kozeny

1. Velocidade superficial e dentro dos canais

Def: velocidade superficial (v_s) é a velocidade que se teria se o duto fosse vazio

$$v_s = \varepsilon \bar{v}$$



Carman-Kozeny

- Fluxo laminar

- Leitos: $f = \frac{1}{2} \frac{D}{L} \frac{\mathcal{P}_o - \mathcal{P}_L}{\frac{1}{2} \rho \bar{v}^2} = \phi(Re) = \frac{64}{Re}$

$$f = \frac{64}{\frac{\rho v_s D_{eq}}{\mu}}$$



Carman-Kozeny

- Juntando tudo

- Leitamos:
$$\frac{1}{2} \frac{D_{eq}}{L} \frac{\mathcal{P}_o - \mathcal{P}_L}{\frac{1}{2} \rho v_s^2 / \varepsilon^2} = \frac{64}{\frac{\rho v_s D_{eq}}{\mu}}$$

$$\frac{1}{2} \frac{\left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \frac{\psi D_p}{6} \right)^2}{L} \frac{\mathcal{P}_o - \mathcal{P}_L}{\frac{1}{2} \rho v_s^2 / \varepsilon^2} = \frac{64}{\frac{\rho v_s}{\mu}}$$

$$\frac{\mathcal{P}_o - \mathcal{P}_L}{L} = \frac{K_1 (1 - \varepsilon)^2 \mu v_s}{\varepsilon^3 (\psi D_p)^2}$$



Carman-Kozeny

- Modelo semi-empírico
- $K_1 = 180$

$$\frac{\mathcal{P}_o - \mathcal{P}_L}{L} = \frac{180 (1 - \varepsilon)^2 \mu v_s}{\varepsilon^3 (\psi D_P)^2}$$

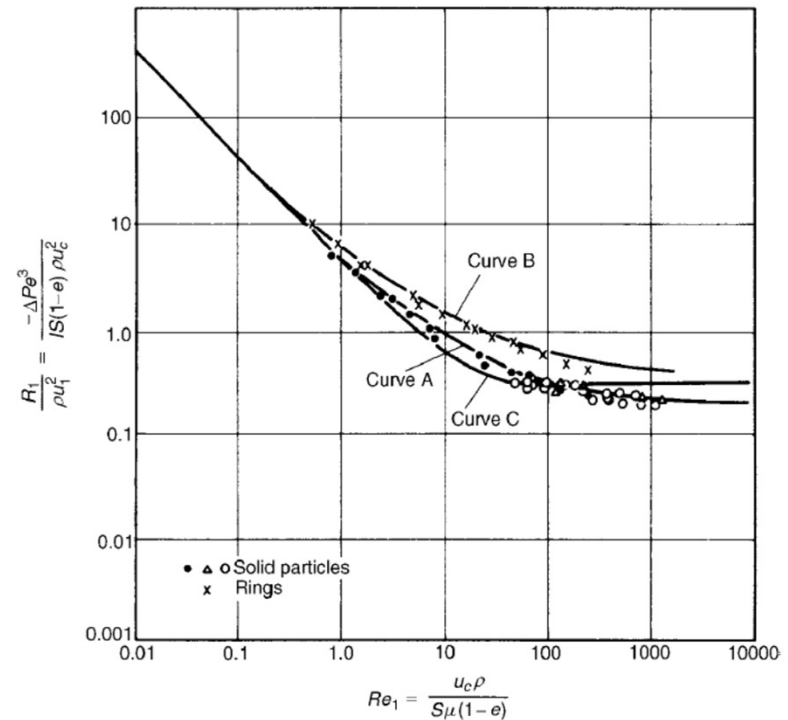


Figure 4.1. Carman's graph of $R_1/\rho u_1^2$ against Re_1



Conclusões

- Modelo semiempírico
- Ponto de partida: fluxo laminar em tubos
- Considerar leito



Bibliografia

- CREMASCO, M.A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos**, Blucher, 2012.
- JM Coulson, JF Richardson, JR Backhurst, JH Harker, Chemical Engineering: Vol. 2. Particle Technology and Separation Processes, 6th ed., Butterworth-Heinemann, 2019.
- Foust, Wenzel, Clump et al., Princípios das Operações Unitárias, LTC; 2^a edição, 1982.