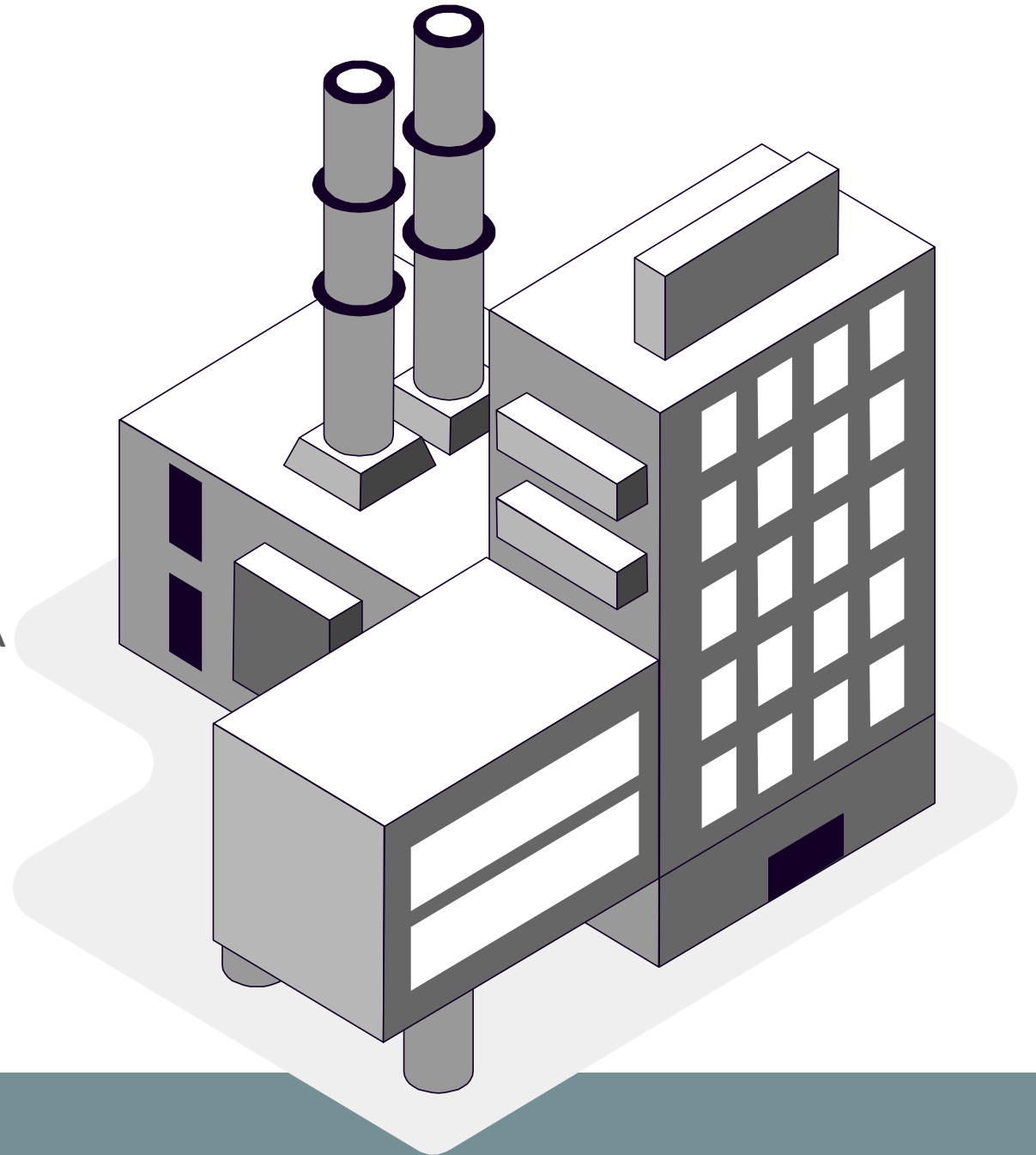


OPERAÇÕES UNITÁRIAS III

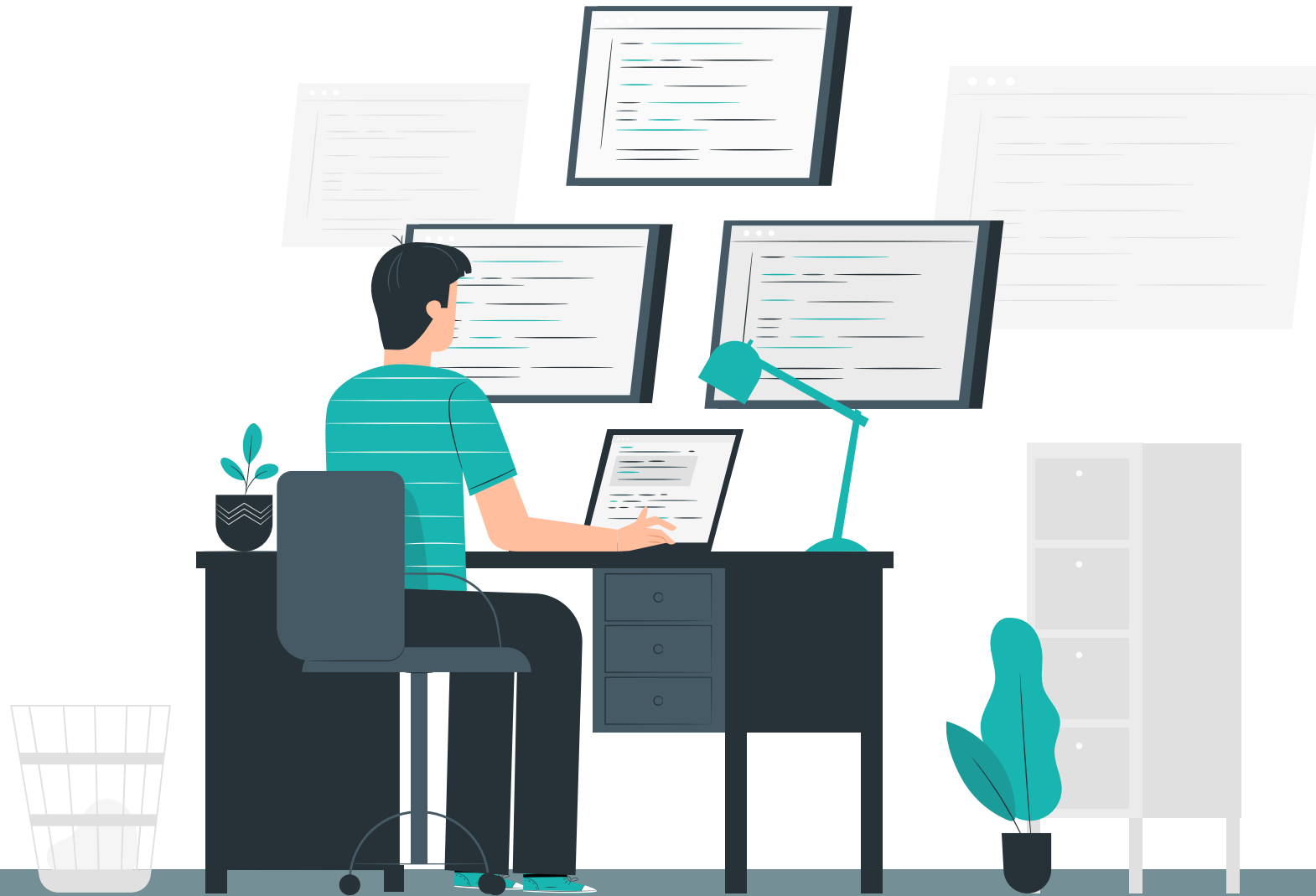
PROFª KASSIA G SANTOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
UFTM



AULA 10 e

11

HIDROCICLONES



HIDROCICLONES

Equipamentos de separação
sólido-líquido devido a
diferença de densidade das
partículas e fluido sob a
ação do campo centrífugo



Princípio de Funcionamento do Hidrociclone

- A primeira patente de um hidrociclone data de 1891, entretanto, sua utilização industrial só começou no final da década de 40, nas indústrias de extração e processamento de minério.
- A suspensão no duto de alimentação, dotada de energia de pressão, é injetada tangencialmente no topo da parte cilíndrica do hidrociclone, um movimento rotacional.
- O campo centrífugo age diretamente nas partículas da suspensão, forçando-as a moverem-se em direção à parede do equipamento.
- Na medida em que o líquido adentra a parte cônica do hidrociclone, maiores são as velocidades da suspensão.
- A seção disponível vai se reduzindo em direção ao orifício do “underflow”, que é relativamente pequeno, o que permite apenas parte da suspensão inicialmente alimentada no hidrociclone seja descarregada.
- Sendo assim, a parcela que não é descarregada no “underflow” migra para o centro do eixo do equipamento, formando um vórtice interno ascendente com movimento rotacional inverso àquele criado pelo primeiro vórtice.
- A maior parte da suspensão de alimentação deixa o hidrociclone através do tubo de diluído (“overflow”).

Grupos Adimensionais Relevantes

❑ A descrição matemática do escoamento em um hidrociclone é bastante complexa (tridimensional: radial, axial e tangencial).

❑ Grande parte dos estudos com hidrociclone tem-se fundamentado nos grupos adimensionais relevantes desse fenômeno para o caso de suspensões, para líquidos newtonianos (SVAROVSKY, 2000).

Stokes
$$Stk_{50} = \frac{(\rho_s - \rho)u_c (d'_{50})^2}{18\mu D_c}$$

Poder de classificação

Euler
$$Eu = \frac{2(-\Delta P)}{\rho u_c^2}$$

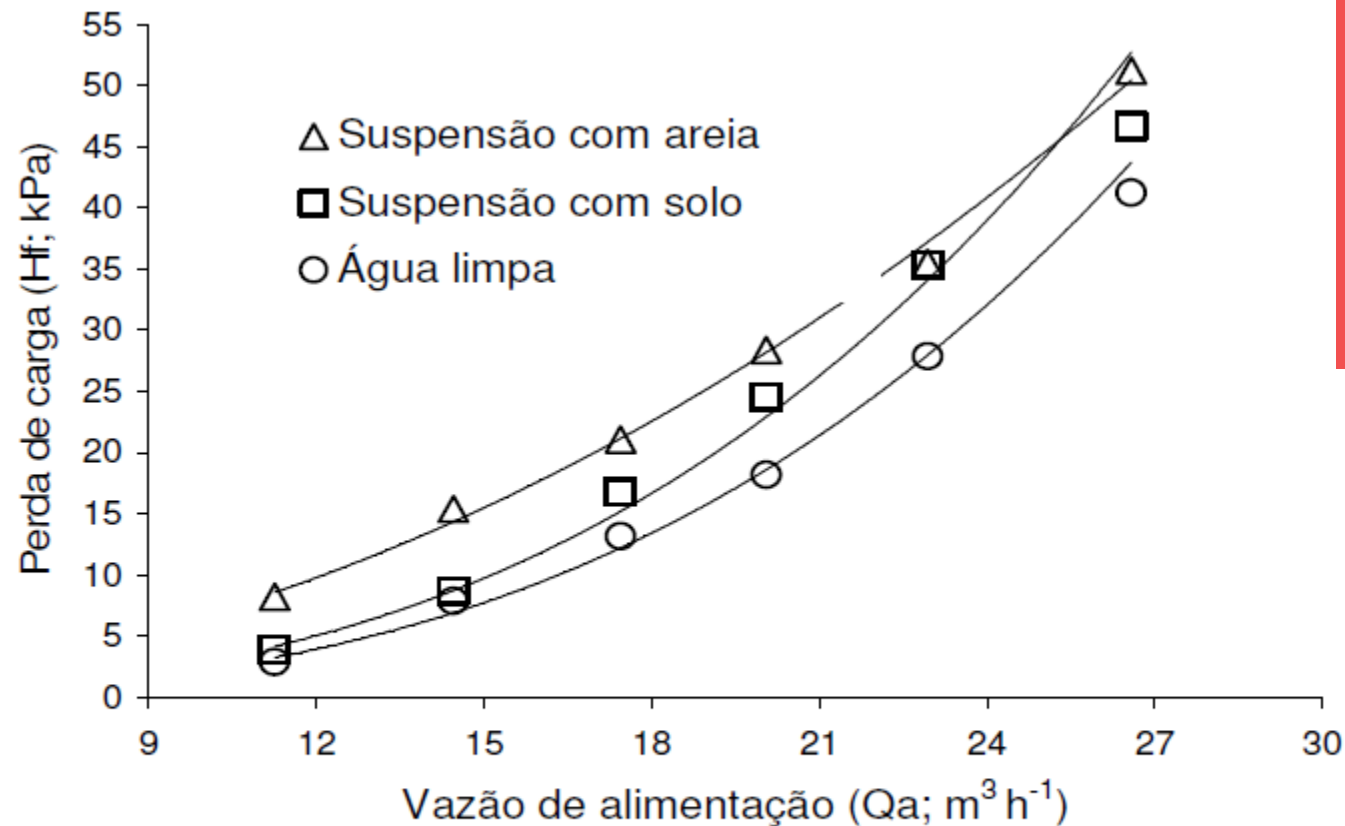
Custos energéticos

Reynolds
$$Re = \frac{\rho D_c u_c}{\mu}$$

Tipo de Escoamento

Perda de carga nos Hidrociclones

O conhecimento da perda de carga em hidrociclones é importante, sendo necessário para estabelecer o consumo de energia do equipamento em operação.



As perdas de carga nos hidrociclones são da ordem de 30 a 70 kPa, dependendo da vazão.

Variação da perda de carga em função da vazão de alimentação no hidrociclone operando com água e com suspensões de areia e solo.

APLICAÇÕES

Espessamento: eliminação da maior parte da água de uma suspensão.

Deslamagem: eliminar as partículas mais finas (necessário para melhorar o produto)

Recuperação de sólidos: de efluentes turvos em equipamentos de lavagem e espessamento.

Fracionamento: a separação em duas frações para um tratamento posterior.

Pré-concentração: se baseia na diferença de densidade entre os componentes minerais

Recuperação de líquidos (clarificação)

VANTAGENS



Simples de construir;

Investimento pequeno e pequenos custos de instalação e manutenção;

Espaço pequeno para instalação: razão entre a área de um sedimentador e um hidrociclone é 10.000 a 100.000.

Grandes forças cisalhantes quebram os aglomerados.

As partículas são classificadas de acordo com o seu tamanho individual.

DESVANTAGEM

São bastante susceptíveis à
ABRASÃO



HIDROCICLONES COM CONE FILTRANTE: SEPARAÇÃO DE ROCHA FOSFÁTICA

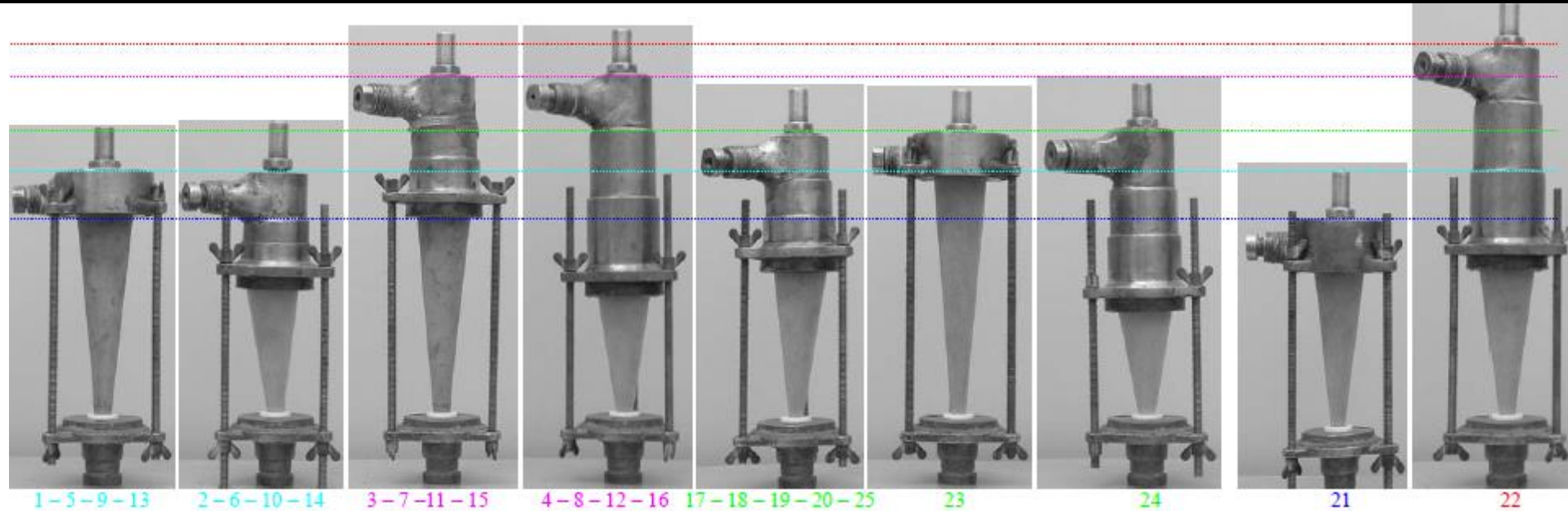
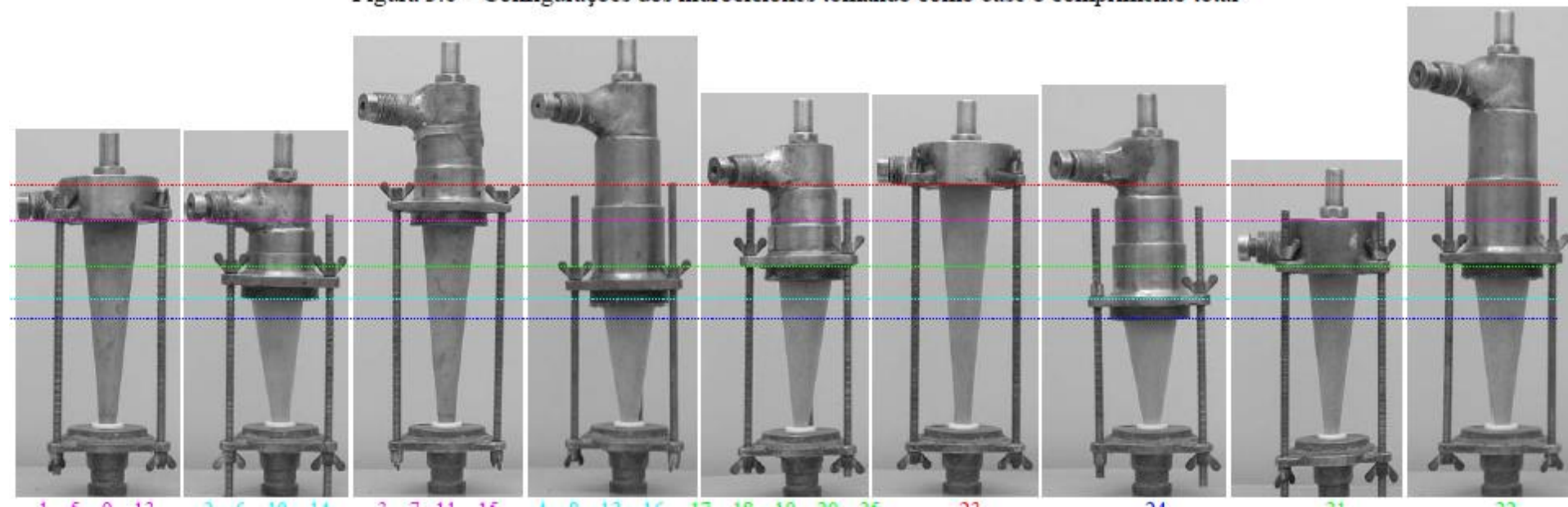


Figura 3.6 – Configurações dos hidrociclones tomando como base o comprimento total

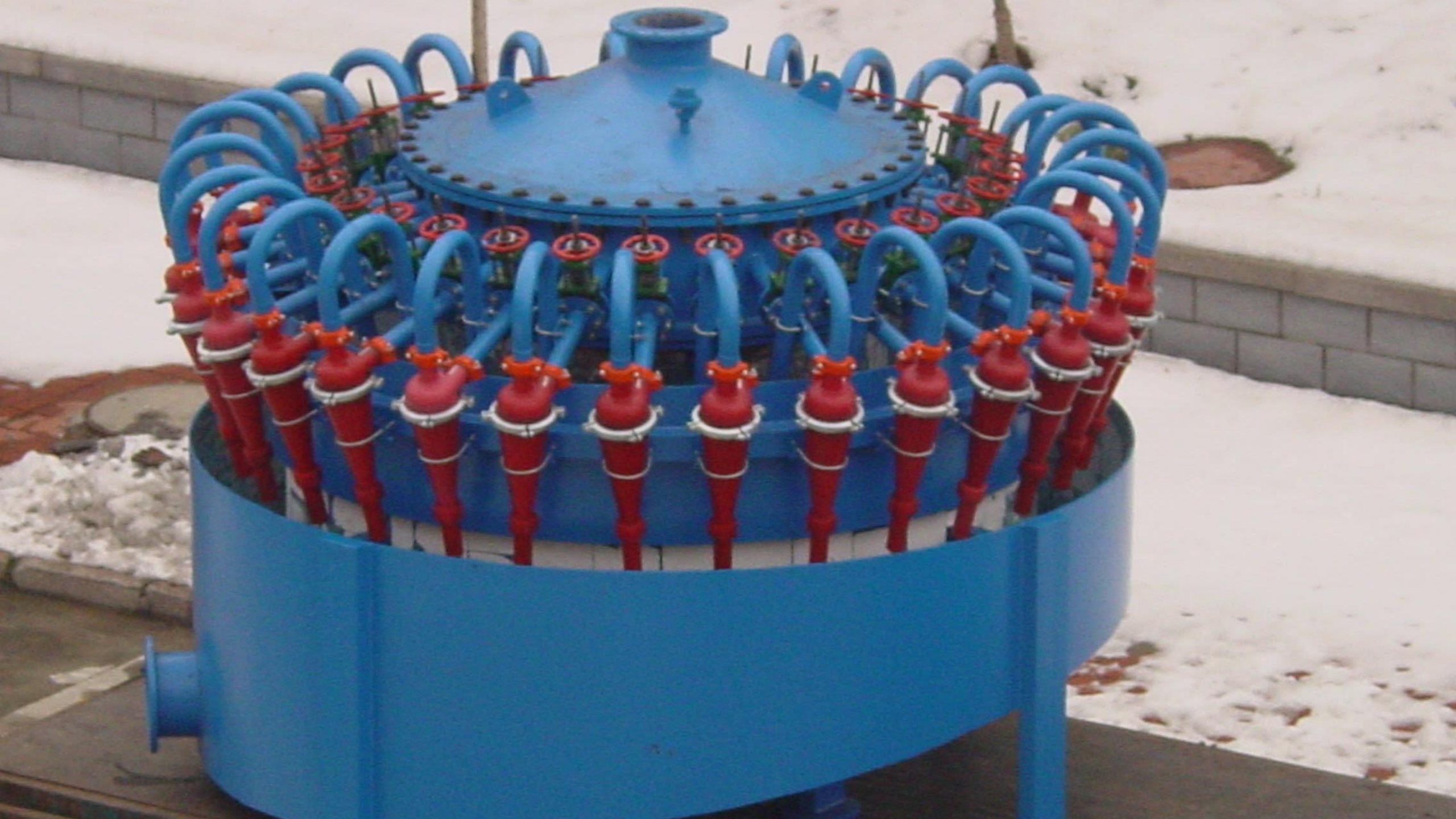


HIDROCICLONES COM CONE FILTRANTE: SEPARAÇÃO DE ROCHA FOSFÁTICA

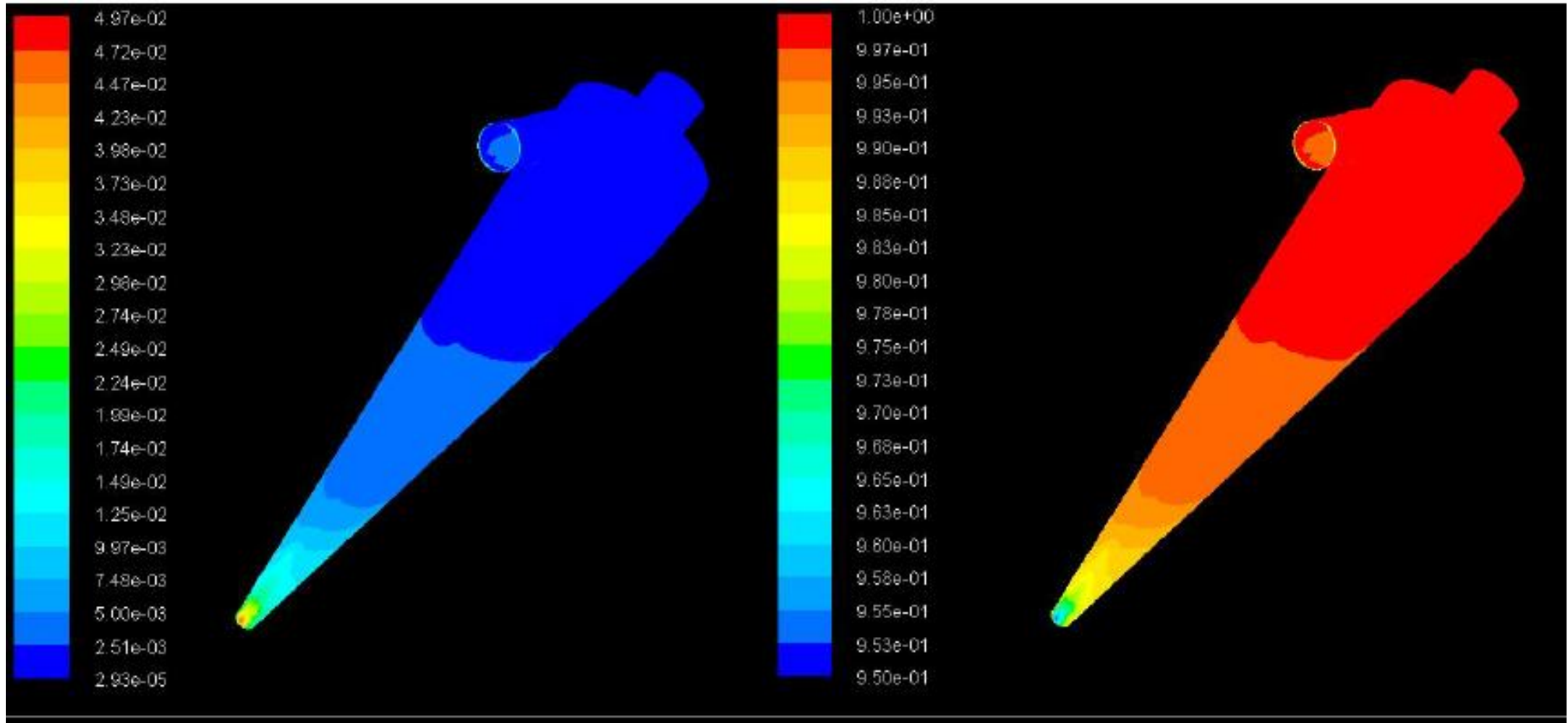


Figura 3.11 – Sistema de homogeneização do tanque e um hidrociclone filtrante





Separação líquido-líquido de uma mistura de glicerina e biodiesel



Fração volumétrica de glicerina

Fração volumétrica de biodiesel

Diâmetro de corte

$$\frac{d^*}{D_c} = K \left[\frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right]^{1/2} f(R_L) P$$

d^* - diâmetro de corte ($\eta=0,5$)

D_c - diâmetro da parte cilíndrica - caracteriza o hidrociclone

K - constante específica para cada família (tipo) do hidrociclone

Q - vazão volumétrica da suspensão na alimentação

$f(R_L)$ - função que leva em conta as relações volumétricas no "underflow" e na alimentação (importante só para hidrociclones), relacionado ao conceito de eficiência reduzida.

P - fator que leva em conta a concentração de sólidos na alimentação

$d^* \Rightarrow D_c \downarrow (\rho_s - \rho) \uparrow Q \uparrow K \downarrow$

Relação entre queda de pressão e a vazão

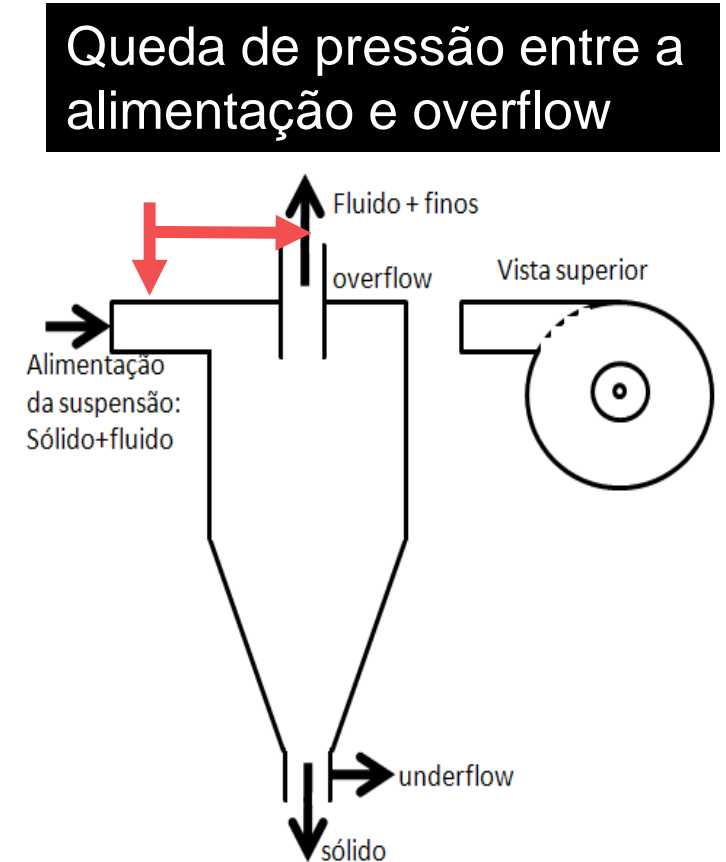
$$\beta = \left[\frac{(-\Delta P)}{\left(\rho \frac{u_c^2}{2} \right)} \right]$$

$\therefore \beta$ – constante adimensional, função do tipo de hidrociclone (Eu)

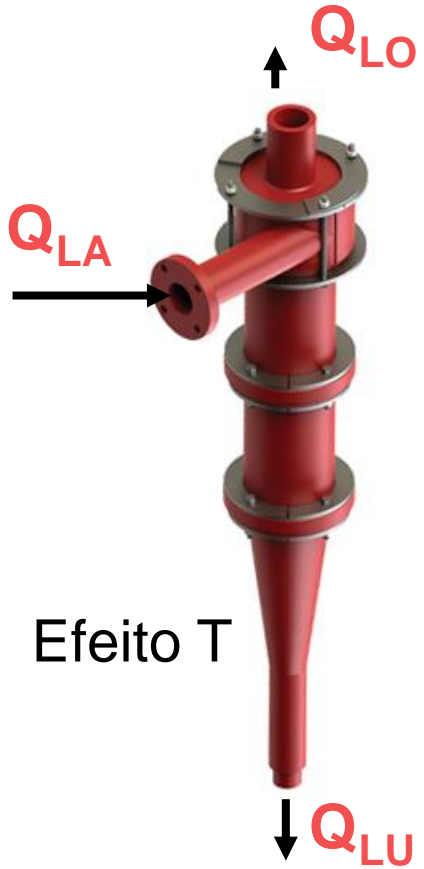
ΔP -queda de pressão medida entre a alimentação e "overflow"

$$u_c = \frac{Q}{\left(\frac{\pi D_c^2}{4} \right)} - \text{velocidade da suspensão na seção cilíndrica}$$

eficiência \uparrow $\Delta P \uparrow$



R_L – razão entre vazões volumétricas de líquido do “underflow” e da alimentação.



$$R_L = \frac{Q_{LU}}{Q_{LA}} = \frac{Q_U (1 - c_{vU})}{Q (1 - c_v)}$$

$$R_L = B \left(\frac{D_U}{D_C} \right)^c$$

Parâmetros relacionados à família

Q_U - vazão volumétrica de suspensão no *underflow*

Q_{LU} - vazão volumétrica de líquido no *underflow*

Q - vazão volumétrica de suspensão na alimentação

Q_{LA} - vazão volumétrica de líquido na alimentação

c_{vU} - Concentração volumétrica de sólidos na suspensão do *underflow*

c_v - Concentração volumétrica de sólidos na alimentação

Eficiência individual de coleta (η)

❑ Específica para cada tipo de equipamento. Obtida a partir de dados experimentais.



$$\eta = f\left(\frac{D}{d^*}\right)$$

se $D = d^* \rightarrow \eta = 0,5$

$$\left. \begin{array}{l} D < d^* \rightarrow \eta < 0,5 \\ D > d^* \rightarrow \eta > 0,5 \end{array} \right\}$$

$\downarrow d^* \quad \uparrow \eta$

$$\eta = \frac{\exp\left(5D/d^*\right) - 1}{\exp\left(5D/d^*\right) + 146}$$

Eficiência Global de coleta:

$$\bar{\eta} = \frac{W_{SU}}{W_s}$$

Razão entre a taxa
mássica de sólidos no
underflow e na
alimentação

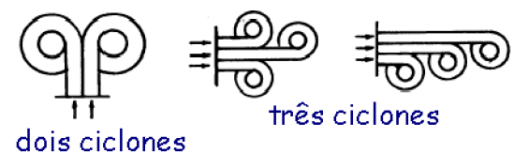
$$\bar{\eta} = (1 - R_L)I + R_L$$

$$I = \int_0^1 \eta dX \quad I = \int_0^1 \eta dX = \int_0^\infty \eta \frac{dX}{dD} dD$$

I - Eficiência Global reduzida, devido ao campo centrífugo

PARALELO

Vazão:



$$Q_T = \sum_{i=1}^n Q_i$$

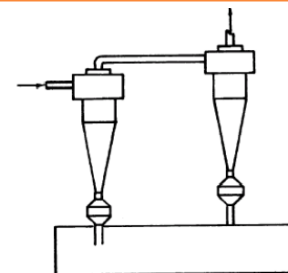
$$n = \frac{Q_T}{Q_i}$$

Potência do soprador ou bomba:

$$\text{Pot (HP)} = n \frac{Q_1 (\text{m}^3/\text{s}) * \Delta P_1 (\text{mmH}_2\text{O})}{75 \eta}$$

SÉRIE

Vazão:



$$Q_T = Q_1 = Q_n$$

Potência do soprador ou bomba:

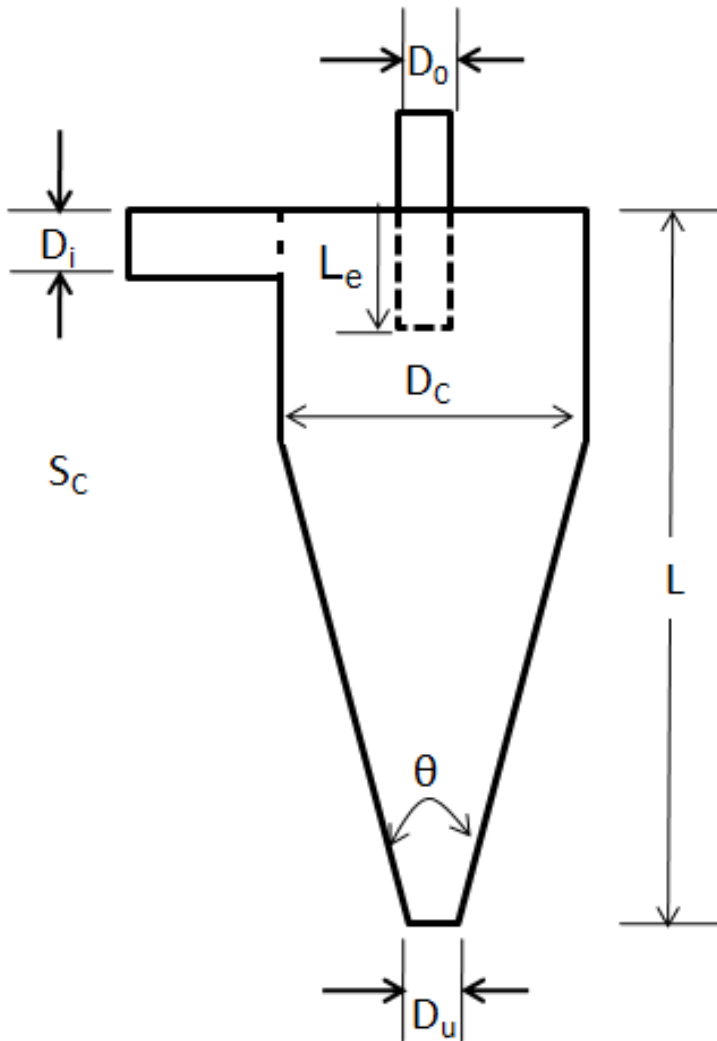
$$\Delta P_{\text{série}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \dots + \Delta P_n$$

$$\text{Pot (HP)} = \frac{Q_1 (\text{m}^3/\text{s}) * \Delta P_{\text{série}} (\text{mmH}_2\text{O})}{75 \eta}$$

Eficiência Global Reduzida:

$$I_1 = \int_0^1 \eta_1 dX$$

$$I_2 = \int_0^1 (1 - \eta_1) \eta_2 dX$$



Geometria

Hidrociclone CBV/DEMCO

$$\frac{D_i}{D_c} = 0,244 \quad \frac{D_o}{D_c} = 0,313$$

$$\frac{L_e}{D_c} = 0,833 \quad \frac{L}{D_c} = 3,9$$

$$\theta = 20^\circ$$

Velocidade na entrada

$$u = \frac{4Q}{\pi D_i^2}$$

ATENÇÃO!!!
Não possui saída
de líquido no
Underflow

O catálogo do fabricante menciona a existência dos seguintes valores de D_c : *2in*, *3in*, *4in* (*4H*), *8in* e *12in*

Os valores de ΔP se situam entre: $20\text{psi} < \Delta P < 60\text{psi}$

a) Cálculo do d^*

Equação Geral: $\frac{d^*}{D_c} = K \left[\frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right]^{1/2} f(R_L) P$

$P = e^{4C_V}$
 $K=0,056$
 $f(R_L)=1$

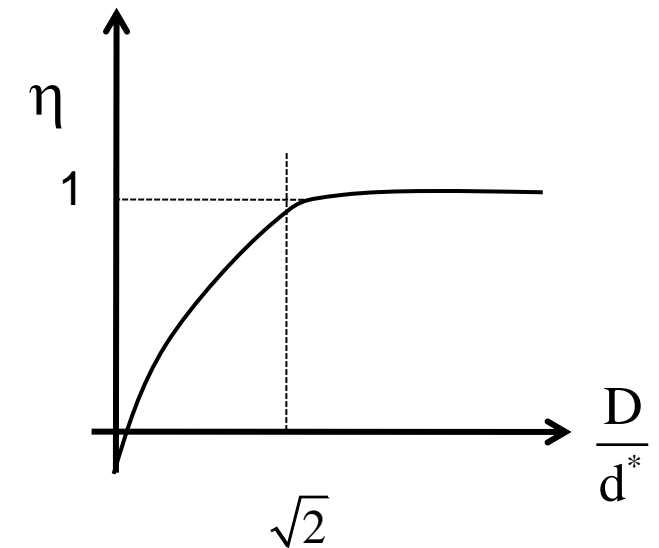
Concentração volumétrica de sólidos

$$C_V = \frac{V \text{ sólidos}}{(V \text{ sólidos} + V \text{ líquido})}$$

Massarani: $\frac{d^*}{D_c} = 0,056 \left(\frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right)^{1/2} e^{4C_V}$

b) Eficiência individual de coleta para CBV/DEMCO (Peçanha, 1979):

$$\eta = \begin{cases} 0,5 \left(\frac{D}{d^*} \right)^2 & \frac{D}{d^*} < \sqrt{2} \\ 1 & \frac{D}{d^*} \geq \sqrt{2} \end{cases}$$



c) Eficiência Global de coleta:

$$\bar{\eta} = I = \int_0^1 \eta dX = \int_0^\infty \eta \frac{dX}{dD} dD$$

Se conheço o modelo: tenho a distribuição de frequência

Para o modelo GGS, a solução analítica para o cálculo da eficiência global é facilmente obtida e vale:

$$\bar{\eta} = I = \frac{m}{2 + (2 + m)} \left(\frac{k}{d^*} \right)^2; \quad \frac{k}{d^*} < \sqrt{2}$$

$$\bar{\eta} = I = 1 - \frac{2^{\left[\frac{(2+m)}{2} \right]}}{(2 + m)} \left(\frac{d^*}{k} \right)^m; \quad \frac{k}{d^*} \geq \sqrt{2}$$

Para os modelos Log-Normal e RRB, não há solução analítica e sim numérica. Assim, deve-se usar os gráficos e tabelas a seguir.

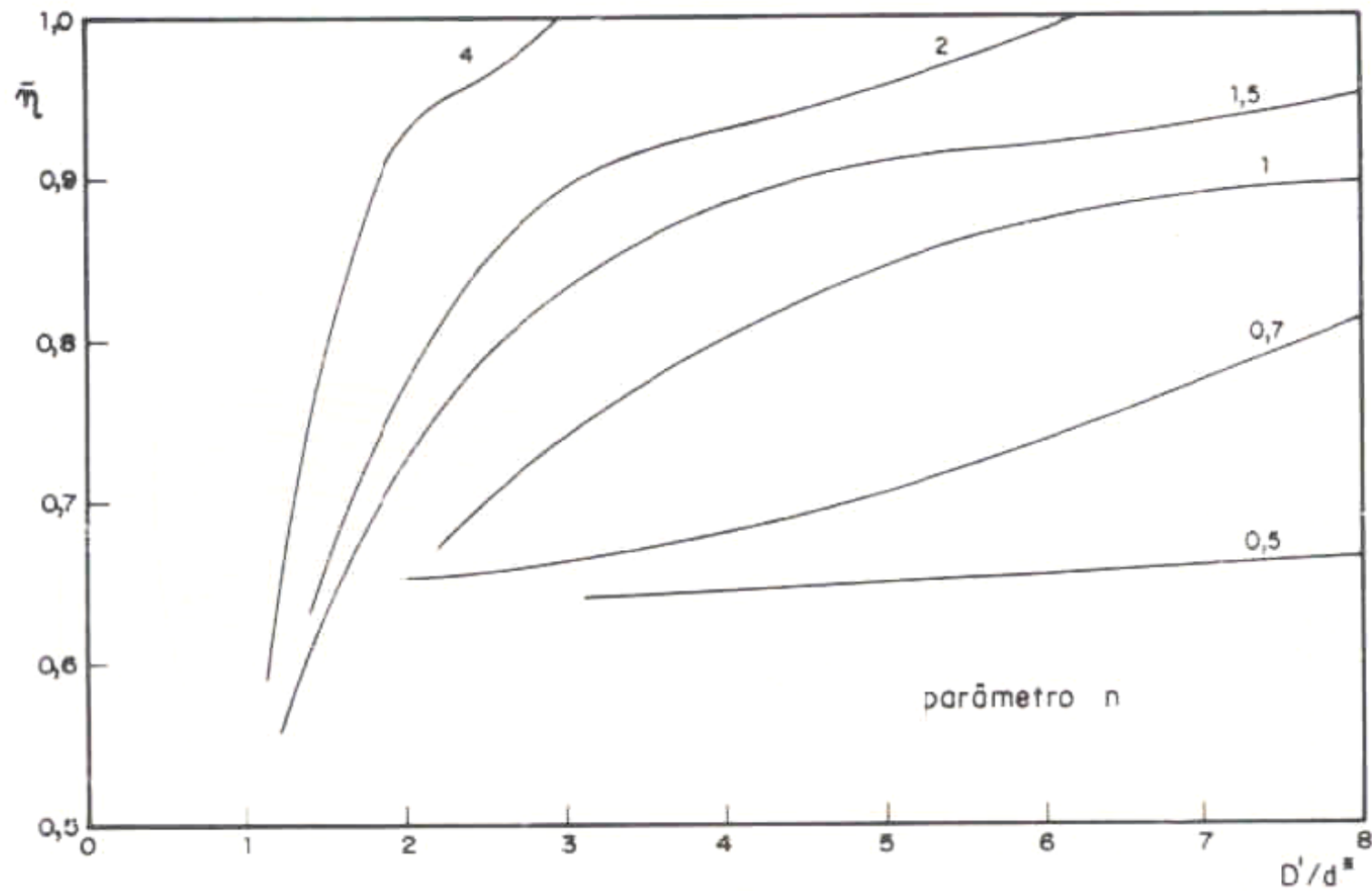


Figura 1- Desempenho do hidrociclone CBV/DEMCO (Modelo RRB).

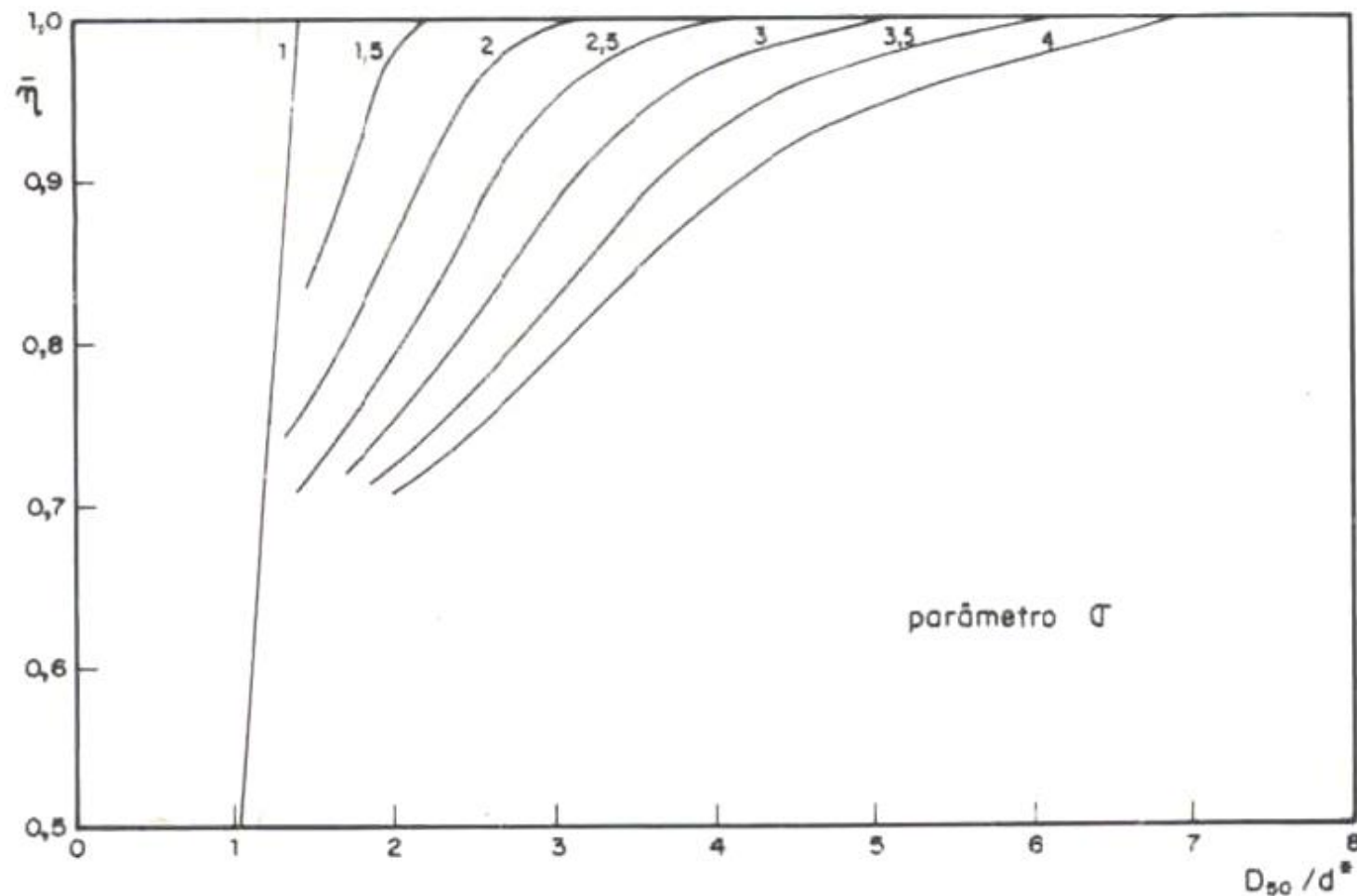
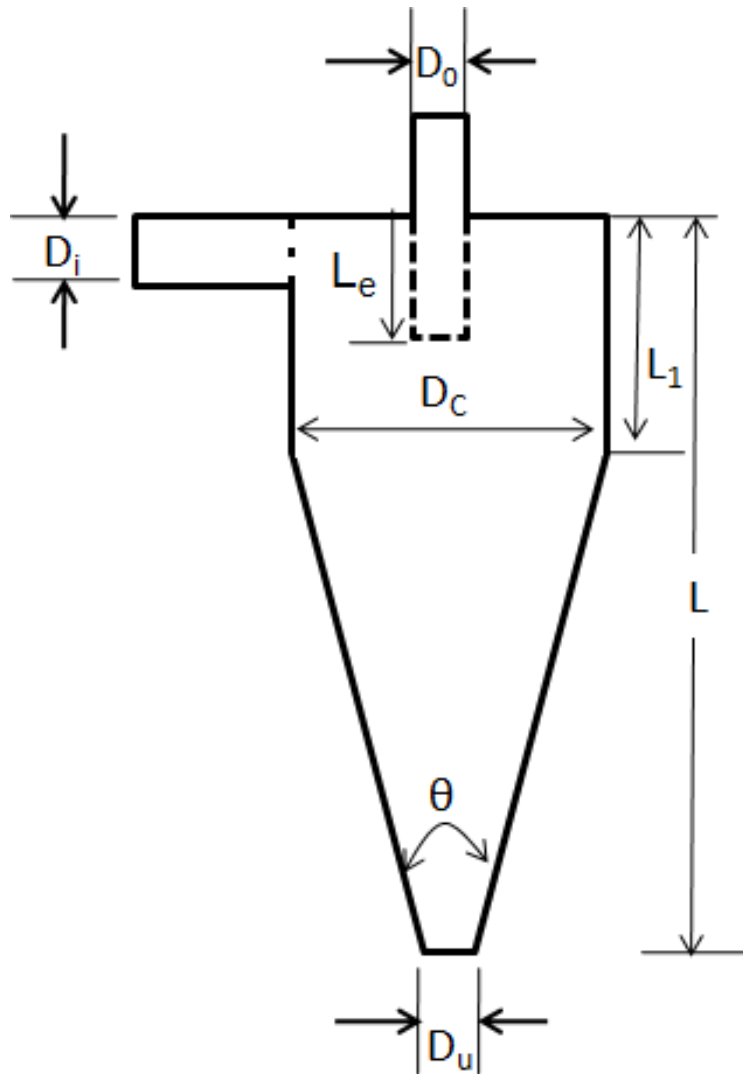


Figura 2 - Desempenho do hidrociclone CBV / DEMCO (Modelo Log - Normal).



Geometria

$$\begin{aligned} D_i &= \frac{D_c}{7} & D_o &= \frac{D_c}{5} \\ L_e &= \frac{D_c}{3} & L &= 6,8 D_c \\ \theta &= 9^\circ & L_1 &= \frac{D_c}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{D_U}{D_c} &= 0,07 - 0,15 \\ 3 \cdot 10^3 &< Re < 2 \cdot 10^4 \\ Re &= \frac{D_c u_c \rho}{\mu} \end{aligned}$$

a) Cálculo do d^{*}

Massarani:

$$\frac{d^{*}}{D_c} = 0,016 \left(\frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right)^{1/2} \frac{\overbrace{f(R_L)}^1}{[1 + 1,73R_L]} \frac{\overbrace{P}^1}{[4,8(1 - C_v)^2 - 3,8(1 - C_v)]^{0,5}}$$

$$R_L = 55,3 \left(\frac{D_U}{D_C} \right)^{2,63} \Rightarrow D_U \uparrow R_L \uparrow d^{*} \downarrow$$

b) Eficiência INDIVIDUAL de coleta

$$\eta = \frac{\exp\left[\frac{5D}{d^{*}}\right] - 1}{\exp\left[\frac{5D}{d^{*}}\right] + 146}$$

c) Eficiência GLOBAL de coleta

$$\bar{\eta} = (1 - R_L) I + R_L$$

Eficiência GLOBAL de coleta reduzida:

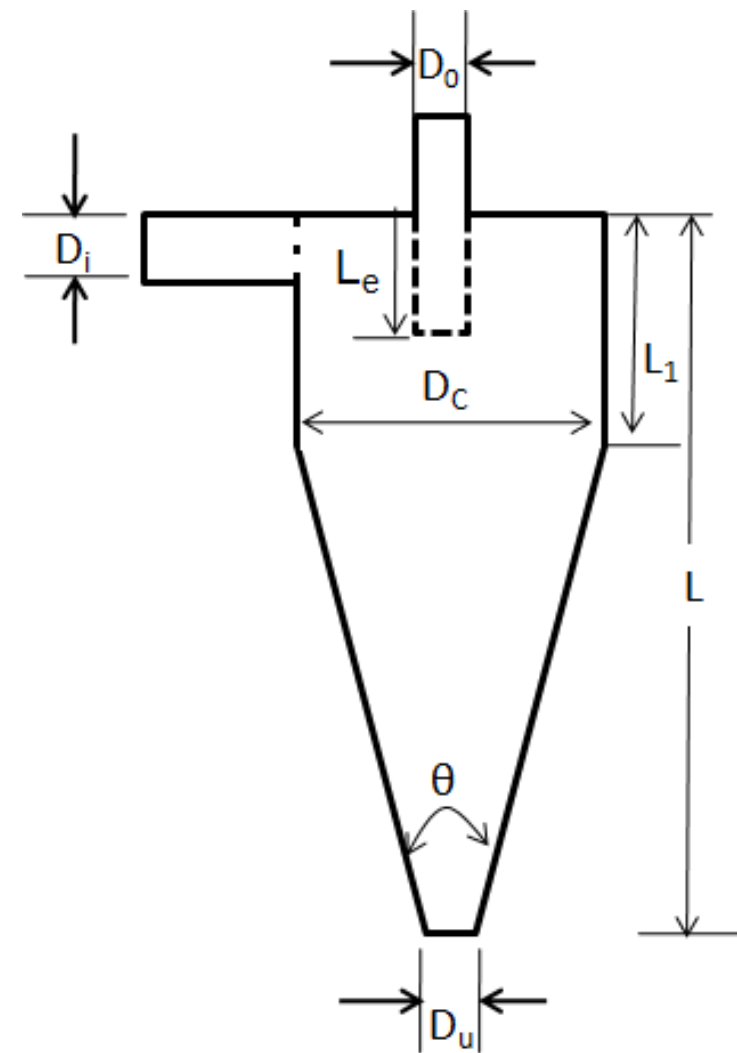
$$I = \int_0^1 \eta dX$$

$$I = \frac{\left(\frac{1,13n}{0,138 + n} \right) \left(\frac{D'}{d^{*'}} \right)}{\left[1,44 - 0,279n + \left(\frac{D'}{d^{*'}} \right) \right]}$$

Válida para modelo RRB

d) Perda de carga entre a Alimentação e a descarga do overflow:

$$\beta = 7500; \quad 7500 = \left[\frac{(-\Delta P)}{\rho \frac{u_c^2}{2}} \right] \quad \text{lembrando que: } u_c = \frac{Q}{\left(\pi \frac{D_c^2}{4} \right)}$$



Geometria

$$\begin{aligned} \frac{D_i}{D_c} &= 0,28 & \frac{D_o}{D_c} &= \frac{1}{3} \\ \frac{L_e}{D_c} &= 0,4 & \frac{L}{D_c} &= 5 \\ 10^0 &< \theta < 20^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{D_U}{D_c} &= 0,10 - 0,30 \\ 5 \cdot 10^3 &< Re < 5 \cdot 10^4 \\ Re &= \frac{D_c u_c \rho}{\mu} \end{aligned}$$

a) Cálculo do d^{*}

Massarani:

$$\frac{d^{*}}{D_c} = 0,039 \left(\frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right)^{1/2} \frac{\overbrace{1}^{f(R_L)}}{[1 + 1,73R_L]} \frac{\overbrace{1}^P}{[4,8(1 - C_v)^2 - 3,8(1 - C_v)]^{0,5}}$$

$$R_L = 145 \left(\frac{D_U}{D_C} \right)^{4,75}$$

b) Eficiência INDIVIDUAL de coleta: (mesma do Bradley)

$$\eta = \frac{\exp\left[\frac{5D}{d^{*}}\right] - 1}{\exp\left[\frac{5D}{d^{*}}\right] + 146}$$

c) Eficiência GLOBAL de coleta

$$\bar{\eta} = (1 - R_L) I + R_L$$

Eficiência GLOBAL de coleta reduzida:

$$I = \int_0^1 \eta dX$$

$$I = \frac{\left(\frac{1,13n}{0,138 + n} \right) \left(\frac{D'}{d^{*'}} \right)}{\left[1,44 - 0,279n + \left(\frac{D'}{d^{*'}} \right) \right]}$$

Válida para modelo RRB
(mesma do Bradley)

d) Perda de carga entre a Alimentação e a descarga do overflow:

$$\beta = 1200; \quad 1200 = \left[\frac{(-\Delta P)}{\rho \frac{u_c^2}{2}} \right] \quad \text{lembrando que: } u_c = \frac{Q}{\left(\pi \frac{D_c^2}{4} \right)}$$

Segundo LOPES (1998), o diâmetro da parte cilíndrica (D_c) de um hidrociclone é definido em função do diâmetro das partículas que se pretende separar.

Diâmetro do hidrociclone (D_c) (cm)	Diâmetro de partículas (μm)
0,63 - 1,27	2 - 10
1,27 - 10,16	10 - 20
10,16 - 30,48	20 - 60
40,64 - 76,20	60 - 70

Razões entre as principais relações geométricas pertencentes a algumas das famílias clássicas de hidrociclones (SVAROVSKY, 1984).

Família de Hidrociclone	D_c (m)	Proporções Geométricas (Figura 1.1)				
		D_i/D_c	D_o/D_c	D_u/D_c	L/D_c	θ
Rietema	0,075	0,280	0,340	0,400	5,00	20°
Bradley	0,038	0,133	0,200	0,330	6,85	9°
Mosley	0,022	0,154	0,214	0,570	7,43	6°
Mosley	0,044	0,160	0,250	0,570	7,71	6°
Warman	0,076	0,290	0,200	0,310	4,00	15°
Hi-Klone	0,097	0,175	0,250	0,920	5,60	10°
RW 2515	0,125	0,200	0,320	0,800	6,24	15°
Demco	0,051	0,217	0,500	1,000	4,70	25°
Demco	0,102	0,244	0,313	0,833	3,90	20°

Referências:

- ❑ Cremasco, Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos, Blusher, 2012.
- ❑ Massarani, Fluidodinâmica de Sistemas Particulados, 2001.
- ❑ Svarovsky, Solid-Liquid Separation, Cap. 6
- ❑ R.P. Peçanha, “Avaliação e desempenho de hidrociclones”, dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ, 1979.
- ❑ M.A.P. Silva- “Hidrociclones de Bradley, dimensionamento e análise de desempenho”, dissertação de Msc., COPPE/UFRJ, 1989.

Atividades da Aula 10 e 11

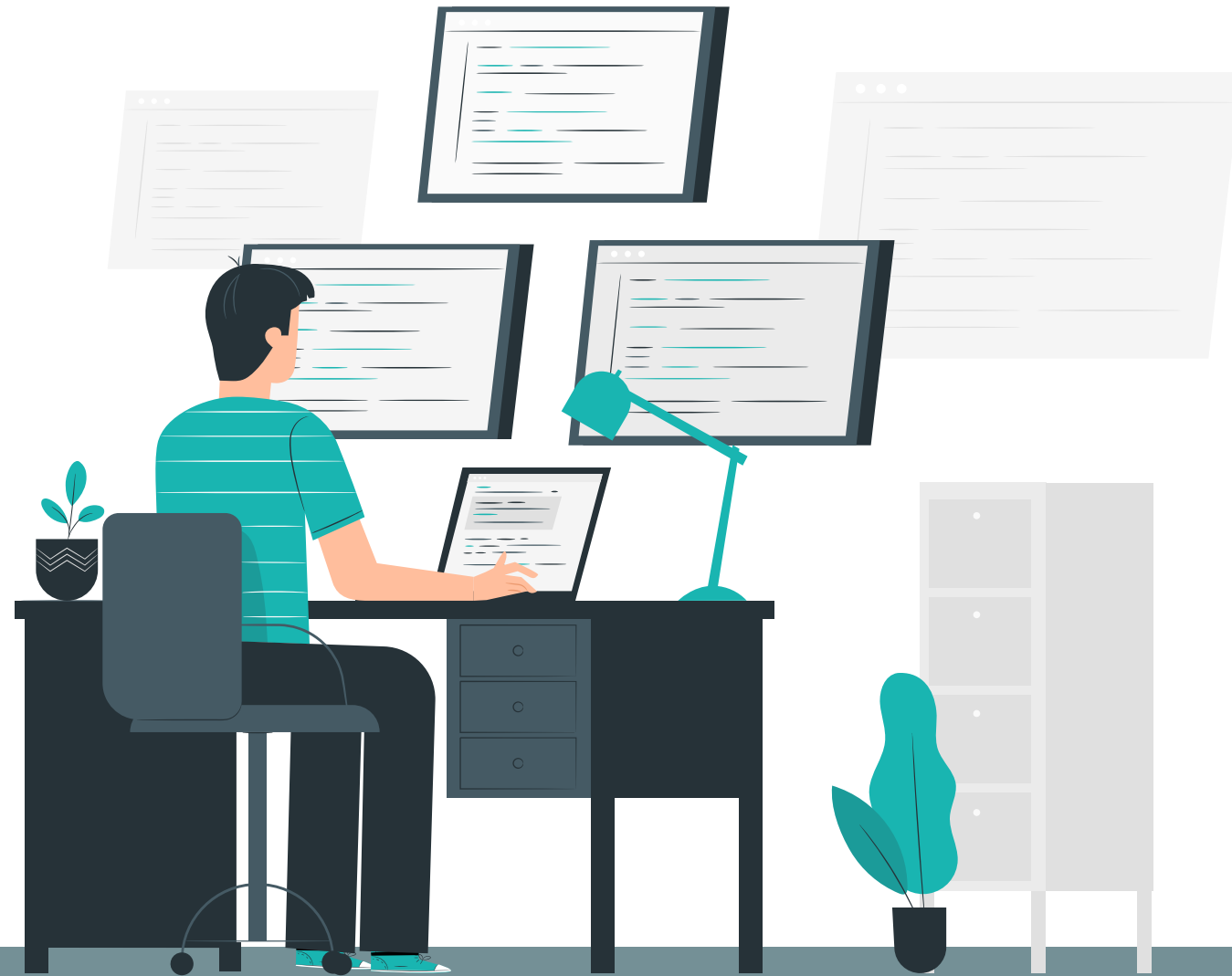
Empresa

- ❑ Procurar vídeos sobre o funcionamento de hidrociclones e suas aplicações industriais e colocar no site da empresa
- ❑ Escolher tema para o Projeto Orientado de hidrociclones



AULA 12

Exercícios de Dimensionamento de Hidrociclones



EX9- Especificar uma bateria de hidrociclones CBV/DEMCO 4H ($D_c = 4 \text{ in}$) para operar com 3000 l/min de uma suspensão aquosa de barita ($\rho_s = 4,1 \text{ g/cm}^3$) com uma concentração de 15% em peso de sólidos. Determinar também a eficiência global de coleta e a potência da bomba (consumida no bombeamento). O fluido é água ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ e $\mu = 0,0094 \text{ P}$). Partículas da alimentação seguem modelo GGS

Distribuição Granulométrica Alimentação

Catálogo do Fabricante ($D_c = 4 \text{ in}$):

D (μm)	8,4	11,1	15,8	21,6	29,4
X	0,18	0,24	0,34	0,49	0,64

$$X = \left(\frac{D}{45,5 \mu\text{m}} \right)^{1,02}$$

GGs tem
solução
analítica

ΔP (psi)	55	35	25
Q_1 (l/min)	375	300	250

Dados:

CBV/DEMCO

$D_c = 4 \text{ in} = \text{cm}$

$\mu = 0,0094 \text{ P}$

$\rho_s = 4,1 \text{ g/cm}^3$

15% m/m sólidos

$\eta = ???$

N = ??? Pot?

1º) Calcular cv

15% em peso de sólidos:

$\left\{ \begin{array}{l} 15 \text{ g de sólidos} \\ 85 \text{ g de água} \end{array} \right.$

$$C_v = \frac{15 / \rho_s}{15 / \rho_s + 85 / \rho} = \frac{15 / 4,1}{15 / 4,1 + 85 / 1,0} \Rightarrow C_v = 0,041 \frac{\text{cm}^3 \text{ sólidos}}{\text{cm}^3 \text{ suspensão}}$$

Atenção!!!

Cada vazão de operação levará a um d^* e N diferentes
Calcular pra cada opção: d^* , N, a eficiência Global e a potência da bomba

EX9- Especificar uma bateria de hidrociclones CBV/DEMCO 4H (Dc = 4 in) para operar com 3000 l/min de uma suspensão aquosa de barita ($\rho_s = 4,1 \text{ g/cm}^3$) com uma concentração de 15% em peso de sólidos. Determinar também a eficiência global de coleta e a potência da bomba (consumida no bombeamento). O fluido é água ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ e $\mu = 0,0094 \text{ P}$). Partículas da alimentação seguem modelo GGS

Dados:

$$X = \left(\frac{D}{45,5 \text{ } \mu\text{m}} \right)^{1,02}$$

CBV/DEMCO

Dc= 4in= cm

$\mu = 0,0094 \text{ P}$

$\rho_s = 4,1 \text{ g/cm}^3$

15% m/m sólidos

$\eta = ???$

N=??? Pot?

$$\frac{d^*}{D_c} = 0,056 \left(\frac{\mu D_c}{Q_i (\rho_s - \rho)} \right)^{1/2} e^{4C_v}$$

$$\bar{\eta} = \frac{m}{2 + (2 + m) \left(\frac{k}{d^*} \right)^2}; \quad \frac{k}{d^*} < \sqrt{2}$$

$$\text{Pot (HP)} = \frac{Q(\text{m}^3/\text{s}) * \Delta P(\text{mmH}_2\text{O})}{75 * 0,50}$$

$$\bar{\eta} = 1 - \frac{2^{\left[\frac{(2+m)}{2} \right]}}{(2 + m) \left(\frac{d^*}{k} \right)^m}; \quad \frac{k}{d^*} \geq \sqrt{2}$$

$$N = \frac{Q_T}{Q_i}$$

ΔP (psi)	Q_1 (l/min)	d^* (μm)	$\bar{\eta}$	N hidrociclones	Pot (HP)
55	375	14,9	69,9	8	6,45
35	300	16,7	66,2	10	3,28
25	250	18,3	62,9	12	1,95

N=12 tem a operação mais viável: ↓ Potência, Apesar do ↑ custo fixo

EX10- Deseja-se estimar a concentração no underflow (g de solução / L de suspensão) de uma suspensão aquosa de barita (180 g sólidos/ L de suspensão alimentada) que pode ser obtida na operação de uma bateria de hidrociclones **BRADLEY** (em paralelo) com $D_c = 5$ cm de diâmetro, operando com uma queda de pressão de 5 atm e com $D_u / D_c = 0,15$. Distribuição Granulométrica: Modelo RRB

$$X = 1 - \exp\left(-\frac{D}{D'}\right)^n; \begin{cases} D' = 12 \mu\text{m} \\ n = 1,5 \end{cases}$$

Dados:

Bateria Bradley

$C = ???$ g sol/ L susp

$D_c = 5$ cm;

$\Delta P = 5$ atm

$\Delta P = 5,07 \cdot 10^6$ dyn/cm²

$D_u/D_c = 0,15$

Ali: 180 g sol/ L susp

$\rho = 1,0$ g/cm³;

$\mu = 0,8$ cP

$\rho_s = 4,2$ g/cm³

1º) Calcular C_v

$$180 \text{ g de sólidos em } 1000 \text{ cm}^3 \rightarrow V_p = \frac{180}{4,2} = 42,9 \text{ cm}^3$$

$$C_v = \frac{42,9 \text{ cm}^3}{1000 \text{ cm}^3} \Rightarrow C_v = 0,0429 \frac{\text{cm}^3 \text{ sól}}{\text{cm}^3 \text{ susp}}$$

2º) Calcular R_L

$$R_L = 55,3 \cdot \left(\frac{D_u}{D_c}\right)^{2,63}$$

$$R_L = 55,3 \cdot (0,15)^{2,63} = 0,377$$

3º) Calcular u_c

$$u_c = \sqrt{\frac{(-\Delta P)}{\rho \cdot \frac{7500}{2}}} = 36,75 \text{ cm/s}$$

4º) Calcular Q_i

$$Q_i = u_c \frac{\pi D_c^2}{4}$$

$$Q_i = 36,75 \frac{\pi (5)^2}{4} = 721,6 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

5º) Calcular Q_i

$$\frac{d^{*'}}{D_c} = 0,016 \left(\frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right)^{1/2} \frac{1}{[1 + 1,73 R_L]} \frac{1}{[4,8(1 - C_v)^2 - 3,8(1 - C_v)]^{0,5}}$$

$$d^* = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ cm} = 2,3 \mu\text{m}$$

EX10- Deseja-se estimar a concentração no underflow (g de solução / L de suspensão) de uma suspensão aquosa de barita (180 g sólidos/ L de suspensão alimentada) que pode ser obtida na operação de uma bateria de hidrociclones BRADLEY (em paralelo) com $D_c = 5$ cm de diâmetro, operando com uma queda de pressão de 5 atm e com $D_u / D_c = 0,15$. Distribuição Granulométrica: Modelo RRB

$$X = 1 - \exp\left(-\frac{D}{D'}\right)^n; \begin{cases} D' = 12 \mu\text{m} \\ n = 1,5 \end{cases}$$

Dados:

Bateria Bradley

$C = ???$ g sol/ L susp

$D_c = 5$ cm;

$\Delta P = 5 \text{ atm}$

$\Delta P = 5,07 \cdot 10^6$ dyn/cm²

$D_u/D_c = 0,15$

Ali: 180 g sol/ L susp

$\rho = 1,0$ g/cm³;

$\mu = 0,8$ cP

$\rho_s = 4,2$ g/cm³

6º) Calculando a eficiência Global reduzida I (devido ao campo centrífugo)

$$I = \frac{\left(\frac{1,13n}{0,138+n}\right)\left(\frac{D'}{d^*}\right)}{\left[1,44 - 0,279n + \left(\frac{D'}{d^*}\right)\right]} = \frac{\left(\frac{1,13 \cdot 1,5}{0,138+1,5}\right)\left(\frac{12}{2,3}\right)}{\left[1,44 - 0,279 \cdot 1,5 + \left(\frac{12}{2,3}\right)\right]} = 0,865$$

7º) Calculando a eficiência Global

$$\bar{\eta} = (1 - R_L) \cdot I + R_L = (1 - 0,377) \cdot 0,865 + 0,377 = 0,916$$

$$\bar{\eta} = 0,916 = \frac{W_{s_u}}{W_s}$$

8º) Encontrando a Vazão mássica de sólidos na alimentação (W_s)

$$W_s = \frac{180 \text{ g sólidos}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ suspensão}} \cdot 721,6 \frac{\text{cm}^3 \text{ suspensão}}{\text{s}} \therefore W_s = 129,89 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

EX10- Deseja-se estimar a concentração no underflow (g de solução / L de suspensão) de uma suspensão aquosa de barita (180 g sólidos/ L de suspensão alimentada) que pode ser obtida na operação de uma bateria de hidrociclones BRADLEY (em paralelo) com $D_c = 5$ cm de diâmetro, operando com uma queda de pressão de 5 atm e com $D_u / D_c = 0,15$. Distribuição Granulométrica: Modelo RRB

$$X = 1 - \exp\left(-\frac{D}{D'}\right)^n; \begin{cases} D' = 12 \mu\text{m} \\ n = 1,5 \end{cases}$$

Dados:

Bateria Bradley

$C = ???$ g sol/ L susp

$D_c = 5$ cm;

$\Delta P = 5$ atm

$\Delta P = 5,07 \cdot 10^6$ dyn/cm²

$D_u/D_c = 0,15$

Ali: 180 g sol/ L susp

$\rho = 1,0$ g/cm³;

$\mu = 0,8$ cP

$\rho_s = 4,2$ g/cm³

9º) Vazão de sólidos no underflow:

$$W_{S_u} = 0,916 * 129,89 = 118,93 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

10º) Vazão líquida na alimentação (QL) :

$$Q_L = Q * (1 - C_v) = 721,6 \frac{\text{cm}^3 \text{ susp.}}{\text{s}} (1 - 0,0429) \frac{\text{cm}^3 \text{ líq.}}{\text{cm}^3 \text{ susp.}} \therefore Q_L = 690,69 \frac{\text{cm}^3 \text{ líq.}}{\text{s}}$$

11º) Vazão líquida na alimentação (QL) e no underflow (QLu) :

$$Q_{Lu} = R_L * Q_L = 0,377 * 690,69 = 260,09 \frac{\text{cm}^3 \text{ líq.}}{\text{s}}$$

12º) Concentração de sólidos em g/L no underflow (C):

$$C = \frac{118,93 \text{ g sol}}{\frac{118,93 \text{ g}}{4,2 \text{ cm}^3 / \text{s}} + 260,09 \text{ cm}^3 / \text{s}}$$

$$C = 0,412 \frac{\text{g sól}}{\text{cm}^3 \text{ susp}} = 412 \frac{\text{g sól}}{\text{L susp}}$$

Alimentação
180 g sol/L
↓
Underflow
412 g sol/L

Para casa (Atividade da Aula): Estuda-se a possibilidade de reduzir o teor de cinzas de um carvão através da separação em hidrociclone operando em fase densa. A alimentação contém 3 partes de carvão para 1 de cinzas, em massa. A concentração volumétrica de carvão e cinzas na alimentação é de 6%. Carvão e cinzas apresentam a mesma distribuição granulométrica:

$$X = 1 - \exp \left[- \left(\frac{D}{21,5} \right)^{1,35} \right], D \text{ em } \mu\text{m}.$$

Estimar o teor em cinzas do concentrado de carvão ("overflow") que deve ser obtido numa bateria de hidrociclones em paralelo com 2 in de diâmetro, nas configurações (a) Bradley e (b) Rietema operando a uma queda de pressão de 45 psi. Fornecer também a capacidade de cada hidrociclone.

Densidade do carvão e cinzas, respectivamente, 1,25 e 2,10 g/cm³.

Propriedades do fluido: densidade 1,21 g/cm³ e viscosidade 2,7 cP.

Referências:

- ❑ Cremasco, Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos, Blusher, 2012.
- ❑ Massarani, Fluidodinâmica de Sistemas Particulados, 2001.
- ❑ Svarovsky, Solid-Liquid Separation, Cap. 6
- ❑ R.P. Peçanha, “Avaliação e desempenho de hidrociclones”, dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ, 1979.
- ❑ M.A.P. Silva- “Hidrociclones de Bradley, dimensionamento e análise de desempenho”, dissertação de Msc., COPPE/UFRJ, 1989.

Atividades da Aula 12

Individual

- ❑ Refazer os exercícios, a atividade da aula e exemplos de outros livros. Postar o exercício resolvido valendo a presença na aula.

Empresa

- ❑ Fazer o Projeto Orientado de Hidrociclones

