

Folhas de Problemas para turnos TP

PROGRAMA DA UNIDADE CURRICULAR

- I. Classificação de partículas sólidas
- II. Redução da granulometria de sólidos
- III. Movimento de partículas num fluido
- IV. Fluxo de fluidos através de leitos granulares e colunas de enchimento
- V. Sedimentação e espessamento
- VI. Centrífuga
- VII. Fluidização
- VIII. Filtração
- IX. Limpeza de gases

Bibliografia principal:

J.M. Coulson and J.F. Richardson, Chemical Engineering, II Vol., 5ª Ed., 2002, Elsevier Butterworth-Heinemann (biblioteca, e-books, Engineering Village)

I - CLASSIFICAÇÃO DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

1. A análise por peneiração numa amostra de um sólido finamente moído produziu o seguinte resultado:

Peneiro	Dimensão da abertura (mm)	Percentagem do produto (% em número)
1	Passando por	6.00
2	Retido em	4.00
3	Retido em	2.00
4	Retido em	0.75
5	Retido em	0.50
6	Retido em	0.25
7	Retido em	0.125
8	Passando por	0.125

- Calcule a fração de superfície do sólido retido no peneiro 3
- Calcule a fração mássica do sólido retido no peneiro 5
- Determine os diâmetros médios em base comprimento, superfície, volume e peso
- Determine o diâmetro do comprimento médio, superfície média, volume médio e peso médio

2. A análise por peneiração numa amostra de um sólido finamente moído produziu o seguinte resultado:

Dimensão da abertura (mm)	Percentagem do produto (% em peso)
Passando por	12.00
Retido em	8.00
Retido em	4.00
Retido em	2.00
Retido em	1.00
Passando por	1.00

- Determine os diâmetros médios baseados em comprimento, superfície, volume e peso
- Determine o diâmetro do comprimento médio, superfície média, volume médio e peso médio

3. A análise granulométrica de um material em pó numa base de peso é representada por uma linha recta que vai de 0% em peso na dimensão de partícula de 1 micron até 100% em peso na dimensão de partícula de 101 microns.

- Calcular o diâmetro médio em volume das partículas que constituem o sistema.

b) Calcular o diâmetro médio superficial das partículas que constituem o sistema.

4. As equações que dão a curva de distribuição de números para um material em pó são $dn/dd = d$ para a gama de tamanhos de 0-10 microns, e $dn/dd = 100\,000/d^4$ para a gama de tamanhos de 10-100 microns. Esboçar as curvas de distribuição de número, superfície e peso. Calcular o diâmetro médio superficial para o pó.

Explicar sucintamente o modo como se obteriam experimentalmente os dados para a construção destas curvas.

5. A finura característica de um pó numa base cumulativa representa-se por uma linha recta desde a origem até 100% de finos a uma dimensão de partículas de 50 microns. Se o pó estiver de início uniformemente disperso numa coluna de líquido, calcular a proporção em peso que permanece em suspensão no instante, após um período desde o começo da sedimentação, tal que uma partícula de 40 microns cairia a altura total da coluna.

6. Numa mistura de quartzo, densidade=2.65, e galena, densidade=7.5, os tamanhos das partículas estão na gama de 0.00052 a 0.0025 cm.

Ao separar num classificador hidráulico em condições de queda desimpedida obtêm-se três fracções, uma constituída apenas por quartzo, outra que é uma mistura de quartzo e galena e outra só de galena. Quais são as gamas de tamanhos de partículas das duas substâncias na posição mista?

7. Deseja-se separar em duas fracções puras uma mistura de quartzo e galena de uma gama de tamanhos que vai desde 0.00058 até 0.00250 cm, usando um processo de sedimentação retardada. Qual é a massa específica aparente mínima do leito em separação que proporcionará esta separação? De que modo é que a viscosidade do leito afectará a massa específica mínima necessária?

Densidade da galena = 7.5 Densidade do quartzo = 2.65

II - REDUÇÃO DA GRANULOMETRIA DE SÓLIDOS

1. Tritura-se um material num triturador de maxilas Blake e reduz-se o tamanho médio das partículas de 50 mm para 10 mm, com um consumo de energia de $13.0 \text{ kw s kg}^{-1}$. Qual será o consumo de energia necessário para tritura o mesmo material do tamanho médio 75 mm até à dimensão média de 25 mm,

- (a) supondo aplicável a lei de Rittinger, e
- (b) supondo aplicável a lei de Kick?

Qual destes resultados considera de maior confiança e porquê?

2. Usou-se um triturador para tritura um material cuja resistência à compressão era de 22.5 MN/m^2 . O tamanho da alimentação era menor que 50 mm, maior que 40 mm e a potência necessária era $13.0 \text{ kw s kg}^{-1}$. A análise por peneiração do produto produziu o seguinte resultado:

	Dimensão da abertura (mm)	Percentagem do produto (% em número)
Passando por	6.00	100
Retido em	4.00	26
Retido em	2.00	18
Retido em	0.75	23
Retido em	0.50	8
Retido em	0.25	17
Retido em	0.125	3
Passando por	0.125	5

Qual seria a potência necessária para tritura um kg por segundo de um material com resistência à compressão de 45 MN/m^2 a partir de uma alimentação de menor que 45 mm, maior que 40 mm para dar um produto de tamanho médio de 0.50 mm?

3. Um triturador para moer cal de 70 MN/m^2 de resistência à compressão desde o tamanho médio de 6 mm de diâmetro até ao tamanho médio de 0.1 mm de diâmetro, precisa de ter 9 kw. A mesma máquina usa-se para tritura domolite ao mesmo ritmo de produção desde o tamanho médio de 6 mm de diâmetro até um produto que contém 20% com um diâmetro médio de 0.25 mm, 60% com um diâmetro médio de 0.125 mm, tendo o restante um diâmetro médio 0.085 mm. Fazer a estimativa da potência em kw necessária para accionar o triturador, supondo que a resistência ao esmagamento da domolite é 100 MN/m^2 e que a trituração obedece à lei de Rittinger.

4. Se se regularem uns rolos de moagem de 1 m de diâmetro de tal modo que as superfícies de moagem fiquem à distância de 12.5 mm e o ângulo de presa for 31° , qual é o tamanho máximo de partículas que se deveria introduzir nos rolos?

Se a capacidade real da máquina é 12% da teórica, calcular o ritmo de produção em kg por segundo, quando a funcionar a 2.0 Hz, se a superfície de trabalho dos rolos tiver 0.4 m de comprimento e se a alimentação pesar 2500 kg/m^3 .

5. Um triturador mói sal desde um tamanho médio de partícula de 45 mm até um produto assim

Dimensão (mm)	% do produto em número
12.5	0.5
7.5	7.5
5.0	45.0
2.5	19.0
1.5	16.0
0.75	8.0
0.40	3.0
0.20	1.0

e ao fazer isto consome 21 kJ/kg de material triturado.

Calcular a potência necessária para triturar o mesmo material ao mesmo caudal, a partir de uma alimentação com um tamanho médio de 25 mm até um produto com um tamanho médio de 1mm.

6. Um moinho de bolas com 1.2 m de diâmetro está a trabalhar a 0.80 Hz verificando-se que o moinho não está a trabalhar satisfatoriamente. Sugere alguma modificação nas condições de funcionamento?

7. É preciso fornecer 3 kw a uma máquina para esta triturar material ao caudal de 0.3 kg/s desde cubos de 12.5 mm até um produto com os seguintes tamanhos (% em número):

80%	3.175 mm
10%	2.5 mm
10%	2.25 mm

Que potência em kw teria de fornecer-se a esta máquina para triturar 0.3 kg/s do mesmo material de cubos de 7.5 mm até cubos de 2.0 mm?

8. Escreva uma pequena dissertação a explicar as circunstâncias em que se determinaria uma distribuição granulométrica por meio de medições ao microscópico ou por sedimentação num líquido. Indicar as características destes dois métodos de medição.

A tabela seguinte fornece a distribuição de tamanhos de um pó conforme se mede com o microscópio. Converter estes valores para obter a distribuição numa base ponderal e calcular a superfície específica, supondo partículas esféricas de densidade 2.65.

Gama de tamanhos (micons)	Nº de partículas na gama
0-2	2000
2-4	600
4-8	140
8-12	40
12-16	15
16-20	5
20-24	2

III - MOVIMENTO DE PARTÍCULAS NUM FLUIDO

1. Sujeita-se a elutriação uma mistura finamente moída de galena e calcário na proporção de 1 para 4 em peso, mediante uma corrente ascendente de água, que flui a 0.5 cm/s. Supondo que a distribuição de tamanhos é a mesma para ambos os materiais e corresponde à que se indica no quadro seguinte, faça a estimativa da percentagem de galena no material arrastado e no material que fica para trás. Considere a viscosidade absoluta da água igual a 1 mN s m^{-2} e use a equação de Stokes.

Diâmetro (mícrons)	20	30	40	50	60	70	80	100
% em peso de finos	15	28	48	54	64	72	78	88

Dados: densidade da galena = 7.5; densidade do calcário = 2.7

2. Calcular a velocidade limite de uma bola de aço com 2 mm de diâmetro (massa específica = 7.87 g/cm^3) em óleo (massa específica 0.9 g/cm^3 , viscosidade 50 mN s m^{-2}).

3. Qual será a velocidade de sedimentação de uma partícula de aço esférica, com 0.40 mm de diâmetro, num óleo de densidade 0.82 e viscosidade 10 mN s m^{-2} ? A densidade do aço é 7.87.

4. Quais são as velocidades de sedimentação de placas de mica com 1 mm de espessura e áreas na gama de 6 a 600 mm^2 num óleo de densidade 0.82 e viscosidade 10 mN s m^{-2} . A densidade da mica é 3.0.

5. Envia-se um material de densidade 2.5 a uma instalação de separação granulométrica em que o fluido separador é água que ascende com uma velocidade de 1.2 m/s. A componente vertical ascendente da velocidade das partículas é 6.0 m/s. Que distância subirá uma partícula aproximadamente esférica, com 6 mm de diâmetro, relativamente às paredes da instalação, antes de ficar em repouso no fluido?

6. Deixa-se uma partícula de vidro esférica com massa específica 2500 kg/m^3 sedimentar livremente em água. Se a partícula partir inicialmente do repouso e se o valor do número de Reynolds (Re') relativo à partícula for 0.1 quando esta atinge a sua velocidade limite de queda, calcular:

- a distância percorrida até a partícula alcançar 90% da sua velocidade limite de queda, e
- o tempo que decorreu até a partícula ter atingido um centésimo do valor da aceleração inicial.

7. No sacudidor hidráulico, separa-se uma mistura de dois sólidos nos seus constituintes sujeitando uma polpa aquosa do material a um movimento pulsado, e deixando as partículas sedimentar durante uma série de pequenos intervalos de tempo, tais que elas não atingem as

suas velocidades limites de queda. Deseja-se separar materiais de densidade 1.8 e 2.5 cuja gama de tamanhos de partículas vai de 0.3 mm a 3 mm de diâmetro. Pode supor-se que as partículas são aproximadamente esféricas e que a lei de Stokes é aplicável. Calcular aproximadamente o máximo intervalo de tempo durante o qual se pode deixar sedimentar as partículas de modo a que nenhuma partícula do material menos denso desça uma distância maior do que qualquer partícula do material mais denso (Viscosidade da água = 1 cP).

8. Efectua-se a análise granulométrica de um pó por sedimentação num recipiente que tem o ponto de amostragem 18 cm abaixo da superfície do líquido, Se a viscosidade do líquido for 1.2 cP e as massas específicas do pó e do líquido forem 2.65 e 1.00 g/cm³ respectivamente, determinar quanto tempo deve passar até que qualquer amostra exclua partículas maiores que 20 µm.

Se se verificarem condições turbulentas quando o número de Reynolds for maior que 0.2 qual é aproximadamente o máximo tamanho de partícula para o qual se pode aplicar a Lei de Stokes nas condições acima?

9. Calcular a distância de que uma partícula esférica de chumbo de caça de diâmetro $d=0.1$ mm sedimentará numa mistura glicerol/água antes de atingir 99% da sua velocidade limite de queda.

Massa específica do chumbo = 11.4 g/cm³; massa específicas do líquido = 1.0 g/cm³; viscosidade do líquido $\mu=10$ cP.

10. Determinar o peso de uma esfera de material de densidade 7.5 que cai com uma velocidade constante de 0.6 m/s num grande e profundo tanque de água.

11. Pretende-se separar dois minérios, de densidade 3.7 e 9.8, em água por um método de classificação hidráulica. Se as partículas forem todas aproximadamente da mesma forma e se cada uma delas for suficientemente grande para que a força de atrito seja proporcional ao quadrado da sua velocidade no fluido, calcular o máximo quociente de tamanhos que pode separar-se se as partículas atingirem as suas velocidades limites de queda. Explicar por que razão se pode separar uma gama mais larga de tamanhos se o tempo de sedimentação for tão pequeno que as partículas não atingem as suas velocidades limites.

Obter uma expressão explícita para a distância através da qual uma partícula sedimentará num dado tempo se partir do repouso e se a força de resistência for proporcional ao quadrado da velocidade. Deve ter-se em conta o período de aceleração.

12. Carrega-se sal, de densidade 2.35, no topo de um reactor que contém uma profundidade de 3 m de líquido aquoso (densidade 1.1 e viscosidade 2 cP) e os cristais têm de dissolver-se antes de chegar ao fundo. Se a velocidade de dissolução dos cristais for expressa pela relação

$$-\frac{dd}{dt} = 3 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4} u$$

em que d é o diâmetro do cristal (cm) no instante t (s) e u é a sua velocidade no fluido (cm/s), calcular o tamanho máximo de cristal que se pode carregar. Pode desprezar-se a inércia das partículas e considerar-se que a força de atrito é dada pela lei de Stokes, tomando como d o diâmetro da esfera equivalente às partículas.

13. Um balão com o peso de 7 g está carregado com hidrogénio a uma pressão de 104 kN/m² acima da atmosférica. Larga-se o balão do nível do chão e, à medida que ele sobe, escapa-se hidrogénio a fim de manter uma pressão diferencial constante de 2.7 kN/m², condição sob a qual o diâmetro do balão é 0.3 m. Supondo que as condições se mantêm isotérmicas em 0 °C à medida que o balão sobe, qual é a altura final alcançada e quanto tempo demora ele a subir os primeiros 3000 m?

Pode supor-se que o valor do número de Reynolds relativo ao balão excede sempre 500, de modo que o coeficiente de atrito é constantemente igual a 0.22. Desprezar a inércia do balão, isto é, supor que ele sobe à sua velocidade de equilíbrio em qualquer instante.

14. Pretende separar-se uma mistura de quartzo de densidade 3.7 e galena de densidade 9.8 cuja gama de tamanhos é 0.3 – 1 mm, por um processo de sedimentação. Supondo aplicável a lei de Stokes, qual é a massa específica mínima que o líquido deve ter, se as partículas sedimentarem todas às respectivas velocidades limites?

Considerou-se a hipótese de projectar um sistema de separação que use água como líquido. Neste caso pretendia-se deixar as partículas sedimentar durante uma série de pequenos intervalos de tempo de tal modo que a mais pequena das partículas de galena sedimentasse de uma distância inferior à da maior partícula de quartzo. Qual é aproximadamente o máximo período de sedimentação permissível? (Considere válida a lei de Stokes; viscosidade da água = 1 cP)

IV – SEDIMENTAÇÃO E ESPESSAMENTO

1. Um ensaio de decantação em tubo de ensaio foi realizado com uma suspensão de carbonato de cálcio (massa específica = 2710 kg/m^3) em água, cuja concentração inicial é de 236 g/l . Os resultados do ensaio vêm expressos na seguinte tabela.

Tempo (h)	Altura de interface (cm)
0	36.0
0.25	32.4
0.5	28.6
1.0	21.0
1.75	14.7
3.0	12.3
4.75	11.6
12.0	9.8
20.0	8.0

- a) Determine a concentração de sólidos na zona de espessado em função do tempo
b) Determine a porosidade na zona de espessado em função do tempo.
c) Determine a velocidade de sedimentação em função da concentração de sólidos (represente graficamente).
d) Determine o fluxo (médio) de sólidos em função da concentração de sólidos.
e) Estime a velocidade de sedimentação usando uma lei apropriada assumindo que o diâmetro médio das partículas é $5 \mu\text{m}$.
2. Pretende-se projectar um sedimentador a operar em contínuo para concentrar uma polpa com 5 kg de água por kg de sólidos numa lama que contenha 1.5 kg de água por kg de sólidos. O caudal de entrada ao sedimentador é 0.6 kg-sólido/s e a massa específica do sólido é 2500 kg/m^3 . Ensaio laboratoriais de decantação determinaram que o tempo necessário para concentrar de $5 \text{ kg-água/kg-sólido}$ a $1.5 \text{ kg-água/kg-sólido}$ é de 3 horas de acordo com o seguinte perfil de velocidade de sedimentação:

Concentração (kg de água/kg de sólidos)	5.0	4.2	3.7	3.1	2.5
Velocidade de sedimentação (mm/s)	0.17	0.10	0.08	0.06	0.042

- a) Calcule o caudal de água em kg/s na corrente do clarificado.
b) Calcule a área mínima por forma a assegurar que não passa sólido para a corrente de clarificado.
c) Calcule o fluxo de sedimentação (em $\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$)
d) Calcule a área mínima por forma a assegurar o fluxo de sólidos pretendido na corrente de espessado pelo método de Kynch.
e) Determine a altura e o diâmetro do sedimentador

3. Pretende-se dimensionar um sedimentador para tratar $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ duma suspensão de sólidos com uma concentração de 150 kg/m^3 . A concentração pretendida no espessado é de 1290 kg/m^3 . Um ensaio laboratorial de decantação com a mesma suspensão forneceu os resultados indicados na tabela. O ensaio de decantação demonstrou que são necessárias 19 horas para a suspensão decantar duma concentração inicial de 150 kg/m^3 a uma concentração final de 1290 kg/m^3 .

Concentração de sólidos (kg/m^3)	Velocidade de sedimentação ($\mu\text{m/s}$)
100	148
200	91
300	55.33
400	33.25
500	21.40
600	14.50
700	10.29
800	7.38
900	5.56
1000	4.20
1100	3.27

4. Um ensaio de decantação foi realizado com uma suspensão de carbonato de cálcio, cuja concentração inicial é de 236 g/l . Deseja-se calcular o diâmetro de um decantador com capacidade para processar 8 t/h de suspensão, alimentada ao decantador contendo 236 kg/m^3 de CaCO_3 . A lama espessada deverá conter 550 kg/m^3 de CaCO_3 . Os resultados do ensaio de decantação encontram-se na tabela abaixo.

Tempo (h)	Altura da interface (cm)
0	36.0
0.25	32.4
0.5	28.6
1.0	21.0
1.75	14.7
3.0	12.3
4.75	11.6
12.0	9.8
20.0	8.0

5. Uma lama biológica de uma estação de tratamento de efluentes (2500 mg/l) deverá ser concentrada até 10900 mg/l num sedimentador contínuo. A estação de tratamento deverá processar $4.5 \times 10^6 \text{ l/dia}$ de lama. Determine a área necessária considerando a seguinte informação obtida por um teste em batch:

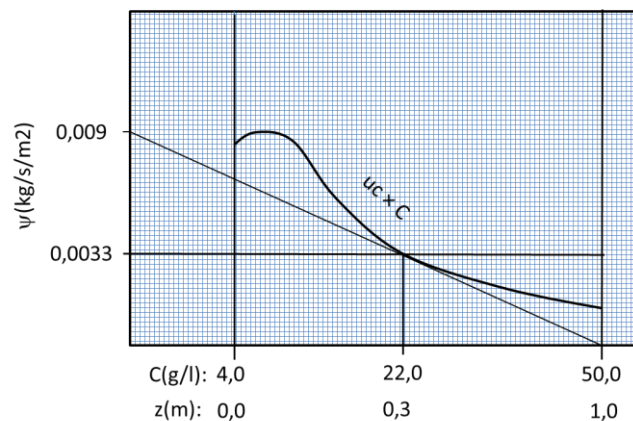
Tempo (min)	0	1	2	3	5	8	12	16	20	25
Altura da interface (cm)	51	43.5	37.0	30.6	23.0	17.9	14.3	12.2	11.2	10.7

6. Um sedimentador com área 100 m² e altura de zona de sólidos de 3 m é usado para tratamento duma suspensão aquosa com caudal volumétrico 10 m³/h composta por água e partículas de CaCO₃ com concentração 200 kg/m³. A massa específica do CaCO₃ é 2710 kg/m³. Foi efectuado um ensaio de decantação em descontinuo conforme indicado na tabela.

Tabela - Ensaio em tubo de decantação

Tempo (horas)	Conc. sólidos (kg/m ³)	vel. Sedim. (μm/s)
0	200	180,0
15	600	14,5
30	1000	4,2

- A concentração de sólidos na corrente de espessado é 1000 kg/m³. Justifique recorrendo a cálculos apropriados.
 - Determine o caudal volumétrico das correntes de espessado e clarificado.
 - Verifique com cálculos se esta operação de sedimentação obedece ao critério de Kynch.
 - Se pudesse redimensionar este sedimentador, que área escolheria? Justifique recorrendo aos cálculos que achar adequados.
7. Pretende-se agora separar a mesma lama biológica num decantador em contínuo. A concentração de lama inicial é $C_0=4$ g/l (condição de entrada) até $C_u=50$ g/l (espessado final).
- Se a área do decantador for 750 m², qual o caudal máximo de lama que posso tratar
 - Nas condições definidas em a) determine o fluxo de sólidos em kg/s/m² à distância $z=0,3$ m.
 - Determine o caudal volumétrico de clarificado



V – SEPARAÇÃO CENTRÍFUGA

CENTRÍFUGA

1. Se uma centrífuga industrial tiver 0.9 m de diâmetro e rodar a 1200 rpm, a que velocidade deve rodar uma centrífuga laboratorial de 150 mm de diâmetro se se pretender que ela reproduza as condições na fábrica?

2. Qual é a máxima velocidade de rotação segura de um cesto de centrífuga em bronze fosforoso, com 0.3 m de diâmetro e 5 mm de espessura, quando contém um líquido (densidade=1) que forma uma camada de 75 mm de espessura nas paredes? Considerar a densidade do bronze fosforoso igual a 8.9 e a tensão de segurança igual a $55 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.

3. Pretende rodar-se uma centrífuga com um cesto de bronze fosforoso com 375 mm de diâmetro a 1800 rpm, com uma camada de 100 mm de sólidos nas paredes, cuja massa específica a granel é de 2000 kg/m^3 . Qual deve ser a espessura das paredes do cesto se as perfurações forem tão pequenas que tenham um efeito desprezável sobre a resistência?

Massa específica do bronze fosforoso = 8900 kg/m^3

Máxima tensão segura para o bronze fosforoso = $55 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

4. Introduce-se uma suspensão aquosa constituída por partículas de densidade 2.5 na gama de tamanhos 1-10 microns numa centrífuga com um cesto de 450 mm de diâmetro, que roda a 4800 rpm. Se a suspensão formar uma camada de 75 mm de espessura, quanto tempo levará aproximadamente para que a partícula mais pequena sedimente?

5. Pretende rodar-se uma centrífuga com um cesto de bronze fosforoso com 375 mm de diâmetro a 3600 rpm, com uma camada de 75 mm de líquido de densidade 1.2 no cesto. Qual é a espessura de parede necessária para o cesto?

Massa específica do bronze fosforoso = 8900 kg/m^3

Máxima tensão segura para o bronze fosforoso = $55 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

6. Um cesto de centrífuga com 600 mm de comprimento e 100 mm de diâmetro interno tem uma represa de descarga com 25 mm de diâmetro. Qual é o caudal volumétrico máximo de líquido através da centrífuga, de tal modo que quando o cesto rodar a 12000 rpm todas as partículas de diâmetro superior a 1 micron fiquem retidas na parede da centrífuga? Considere que a força de retardação sobre uma partícula que se move num líquido pode ser calculada pela lei de Stokes.

Dados:

Lei de Stokes: $F = 3\pi\mu du$

u = velocidade da partícula em relação ao fluido

μ = viscosidade do líquido, e

d = diâmetro da partícula

Densidade do líquido = 1.0

Densidade do sólido = 2.0

Viscosidade do líquido = 1 cP

7. Uma centrífuga tubular industrial é usada para centrifugar em contínuo uma lama biológica composta por células cuja velocidade terminal de queda é $3,72 \times 10^{-7}$ m/s. O cesto da centrífuga tem um comprimento de 1 m, diâmetro interno de 0,25 m e diâmetro de represa de descarga de 0,15 m. Determine o fator sigma por forma a processar $0,75 \text{ m}^3/\text{hora}$ de lama.
Se a velocidade de rotação for 12 000 rpm, calcule a velocidade de sedimentação duma célula com massa 1×10^{-9} g na posição de 0,145 m relativamente ao eixo central.
8. Uma centrífuga tubular possui um cesto com 660 mm de comprimento e 110 mm de diâmetro interno tem uma represa de descarga com 25 mm de diâmetro. Qual é o caudal volumétrico máximo de suspensão através da centrífuga, de tal modo que quando o cesto rodar a 13000 rpm todas as partículas de diâmetro superior a 1 micron fiquem retidas na parede da centrífuga? (Densidade do líquido = 1.0, Densidade do sólido = 2.13, Viscosidade do líquido = 1 cP)
9. Uma centrífuga tubular é operada em contínuo para processar uma suspensão aquosa de CaCO_3 (massa específica = 2710 kg/m^3) com caudal volumétrico $10 \text{ m}^3/\text{hora}$. A centrífuga possui as seguintes características: comprimento=1,2 m; diâmetro interno = 0,4 m; diâmetro de represa de descarga= 25 mm; espessura da parede = 50 mm; o material que compõe a parede é o bronze fosforoso (massa específica = 8900 kg/m^3 ; máxima tensão segura = 55 MN/m^2); velocidade de rotação máxima = 1500 rpm. a) Determine o tamanho da menor partícula de CaCO_3 que a centrífuga consegue separar (considere valida geometria esférica). b) Calcule a tensão desenvolvida na parede do cesto quando a centrifuga opera à velocidade de rotação máxima. É seguro operar nestas condições?

CICLONE

10. A distribuição de tamanhos em peso do pó arrastado num gás é dado pelo quadro seguinte, juntamente com a eficiência de recolha para cada gama de tamanhos.

Gama de tamanhos (microns)	0-5	5-10	10-20	20-40	40-80	80-160
Percentagem em peso	10	15	35	20	10	10
Eficiência (ou rendimento) em percentagem	20	40	80	90	95	100

Calcular a eficiência global do colector e a percentagem em peso da poeira emitida . que tem menos do que 20 microns de diâmetro. Se a carga de poeira for de 18 g/m^3 à entrada e o fluxo de gás $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$, calcular o peso de poeira emitida em toneladas por dia.

11. A eficiência de recolha de um ciclone é de 45% na gama de tamanhos 0-5 microns, 80% na gama de tamanhos 5-10 microns e 96% para partículas maiores que 10 microns. Calcular a eficiência de recolha para o seguinte pó :

Distribuição em peso:	50%	0-5 microns
	30%	5-10 microns
	20%	acima de 10 microns

12. Recolheu-se uma amostra de poeira do ar numa fábrica sobre uma lâmina de vidro. Se a poeira que está sobre a lâmina tiver sido depositada a partir de um centímetro cúbico de ar, fazer a estimativa do peso de poeira em gramas por metro cúbico de ar da fábrica, sabendo que o número de partículas nas várias gamas de tamanhos é o indicado no quadro seguinte:

Gama de tamanhos em microns:	0-1	2-4	4-6	6-10	10-14
Número de partículas:	2000	500	200	100	40

Suponha que a densidade do pó é 2.6 e dê uma margem adequada para entrar em consideração com a forma da partícula.

13. Um separador de ciclone, com 0.3 m de diâmetro e 1.2 m de comprimento, tem uma entrada circular com 25 mm de diâmetro e uma saída do mesmo tamanho. Se o gás entrar a 1.5 m/s, a que tamanho de partícula se verificará o corte teórico?

Viscosidade do ar = 0.018 cP

Massa específica do ar = 1.3×10^{-3} g/cm³

Massa específica das partículas = 2.7 g/cm³

VI - FLUXO DE FLUIDOS ATRAVÉS DE LEITOS GRANULARES E COLUNAS DE ENCHIMENTO

1. Numa fábrica de ácido sulfúrico pelo processo contacto o convertidor secundário é um convertidor do tipo de tabuleiros de 2.3 m de diâmetro, com o catalisador disposto em três camadas de 0.45 m de espessura cada. O catalisador está na forma de pastilhas cilíndricas com 9.5 mm de diâmetro e 9.5 mm de comprimento. A fracção de vazios (porosidade) é 0.35. O gás entra no convertidor a 400 °C e sai a 445 °C. A sua composição de entrada é:

SO₃ 6.6; SO₂ 1.7; O₂ 10.0; N₂ 81.7% molar,

e a sua composição de saída

SO₃ 8.2; SO₂ 0.2; O₂ 9.3; N₂ 82.3% molar .

O caudal de gás é 0.68 kg m⁻² s⁻¹. Calcular a queda de pressão através do convertidor.
 $\mu = 0.032 \text{ mN s m}^{-2}$

2. Usa-se uma coluna de 0.6 m de diâmetro e 4 m de altura cheia de anéis Raschig cerâmicos de 25.4 mm, num processo de absorção de gases realizado à pressão atmosférica e 20 °C. Se puder considerar-se que o líquido e o gás têm as propriedades da água e do ar, e se os seus caudais forem 6.5 e 0.6 kg m⁻² s⁻¹ respectivamente, qual será a queda de pressão através da coluna?

- (a) Determine a queda de pressão para o caso de coluna seca (L=0)
- (b) Determine a queda de pressão para o caso de gás-líquido em contracorrente pelo método de Carman,
- (c) Repita a alínea b) pelo método Morris&Jackson.
- (d) De quanto se pode aumentar o caudal de líquido até a coluna se inundar?

3. Mostre como se pode modificar uma equação para a perda de pressão numa coluna com enchimento para ser válida para casos em que a pressão total e a queda de pressão sejam da mesma ordem de grandeza. Exemplifique com a correlação de Ergun.

4. Usa-se uma coluna com enchimento, com 1.2 m de diâmetro e 9 m de altura cheia com anéis Raschig de 25.4 mm, para destilação sob vácuo de uma mistura de isómeros de peso molecular 155 g/mol. A temperatura média é 100 °C , a pressão no condensador é mantida a 0.13 kN/m² e a pressão no destilador varia entre 1.3 e 3.3 kN/m².

- (a) Obtenha uma expressão para a queda de pressão supondo que não é apreciavelmente afectada pelo caudal de líquido e que pode ser calculada usando uma forma modificada da equação de Carman.

- (b) Mostrar que na gama de pressões usadas, a queda de pressão é aproximadamente directamente proporcional ao caudal em massa de vapor e calcular a queda de pressão para um caudal de vapor de $0.125 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Dados: Área específica do enchimento: $S_B = 190 \text{ m}^2/\text{m}^3$
Porosidade média do leito: $e=0.71$
Viscosidade do vapor: $\mu=0.018 \text{ cP}$
Volume molecular = $22.4 \text{ m}^3/\text{kmol}$

5. Usa-se uma coluna com enchimento, com 1.22 m de diâmetro e 9 m de altura e cheia com anéis Raschig de 25.4 mm, para destilação sob vácuo de uma mistura de isómeros de peso molecular 155 g/mol. A temperatura média é 100°C , a pressão no condensador é mantida a 0.13 kN/m^2 e a pressão no destilador é 33 kN/m^2 . Obtenha uma expressão para a queda de pressão supondo que não é apreciavelmente afectada pelo caudal de líquido e que pode ser calculada usando uma forma modificada da equação de Ergun. Mostrar que na gama de pressões usadas, a queda de pressão é aproximadamente directamente proporcional ao caudal em massa de vapor e calcule aproximadamente a o caudal em massa de vapor para as condições de operação da coluna.

6. Dois líquidos orgânicos sensíveis ao calor (peso molecular médio=155 g/mol) vão ser separados por destilação sob vácuo numa coluna com 10 cm de diâmetro cheia com anéis Raschig cerâmicos de 6.35 mm (0.25 polegadas). O número de pratos teóricos necessários é 16 e verificou-se que o HEPT é 150 mm. Se o caudal de produto for 5 g/s com um quociente de refluxo de 8, calcular a pressão no condensador para que a temperatura no destilador não exceda 395 K (equivalente a uma pressão de 8 kN/m^2). Considere que $S=800 \text{ m}^2/\text{m}^3$, $\mu=0.02 \text{ cP}$, $e=0.72$ e despreze as variações de temperatura e a correcção para o caudal de líquido.

VII – FLUIDIZAÇÃO

1- Passa óleo de densidade 0.9 e viscosidade 3 cP, ascendendo verticalmente através de um leito de catalisador constituído por partículas aproximadamente esféricas com 0.1 mm de diâmetro e densidade 2.6. Aproximadamente que caudal em massa por unidade de área é que se verificará

- (a) fluidização?
- (b) Transporte de partículas?

2- Calcular a velocidade mínima a que fluidizarão partículas esféricas (densidade 1.6) de 1.5 mm de diâmetro numa coluna de 1 cm de diâmetro. Discutir as incertezas deste cálculo (viscosidade da água= 1cP, constante de Kozeny=5)

3 – A relação entre a porosidade do leito e e a velocidade do fluido u_c para fluidização homogénea de partículas uniformes e pequenas em comparação com o diâmetro da coluna é dado por:

$$\frac{u_c}{u_0} = e^n$$

em que u_0 é a velocidade terminal de queda.

- (a) Discutir a variação do expoente n com as condições de fluxo, indicando por que é independente do número de Reynolds Re relativo à partícula para valores muito elevados e muito baixos de Re .
- (b) Quando é que se observam apreciáveis desvios de esta relação no caso de sistemas fluidizados por líquidos?
- (c) Para partículas de *ballotini* de vidro com velocidades limites de queda de 10 e 20 mm/s o expoente $n=2.39$. Fluidizando uma mistura de volumes iguais das duas partículas, qual será a relação entre a porosidade e velocidade do fluido se se supuser que se obtém segregação completa?

4- Um fluido (massa específica=1000 kg/m³, viscosidade=1 cP) ascende verticalmente através de uma coluna de 0.2 m de diâmetro e 1 m de altura com um leito constituído por partículas esféricas com diâmetro de 0.15 mm e densidade 2.2. Se o caudal em massa por unidade de área de secção recta da coluna for 5 kg s⁻¹m⁻²

- a) o leito encontra-se fluidizado?
- b) Calcule a porosidade do leito.

5- Num leito fluidizado adsorve-se iso-octano a partir de uma corrente de ar para a superfície de micro-esferas de alumina. A fracção molar do iso-octano no gás de entrada é 0.01442 e verifica-se que a fracção molar do gás de saída varia com o tempo da seguinte maneira:

Tempo decorrido desde o início (s)	Fracção molar do gás à saída $\times 10^2$
250	0.223
500	0.601
750	0.857
1000	1.062
1250	1.207
1500	1.287
1750	1.338
2000	1.373

Mostrar que os resultados podem ser interpretados com base nas hipóteses de que os sólidos estão completamente misturados, de que o gás sai em equilíbrio com os sólidos e de que a isotérmica de adsorção é linear na gama considerada. Se o caudal de gás for 0.67×10^{-3} mole/s e a massa de sólido no leito for 4.66 g, calcular a inclinação da isotérmica de adsorção. Que indicação fornecem os resultados quanto ao padrão de fluxo de gás?

6- Discutir as razões das boas propriedades de transferência de calor dos leitos fluidizados. Fluidizam-se partículas frias de “ballotoni” de vidro com ar aquecido, num leito no qual se mantém um fluxo constante de partículas numa direcção horizontal. Quando se atingiram condições estacionárias, as temperaturas registadas por um termopar não revestido imerso no leito foram as seguintes:

Distância acima do suporte do leito (mm)	Temperatura (°C)
0	66.3
0.64	64.5
1.27	61.8
1.91	60.4
2.54	60.1
3.81	60.0

Calcular o coeficiente de transferência de calor entre o gás e as partículas e os valores correspondentes dos números de Reynolds de partícula e de Nusselt. Comentar os resultados e hipóteses assumidas.

Dados do problema:

Caudal de gás = $0.2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ s})$
Calor específico do ar = $0.88 \text{ kJ}/(\text{kg K})$
Viscosidade do ar = 0.015 cP
Diâmetro da partícula = 0.25 mm
Conductividade térmica do ar = $0.03 \text{ W}/(\text{m K})$

7 - Obtenha a relação para a razão da velocidade terminal de queda de uma partícula pela velocidade mínima de fluidização para um leito de partículas uniformes em regime laminar. Assuma que a lei de Stokes e a equação de Kozeny se aplicam. Qual é o valor dessa razão se a porosidade do leito à velocidade mínima de fluidização for 0.48?

8 - Um leito de partículas esféricas uniformes, de diâmetro 0.15 mm e densidade $2000 \text{ kg}/\text{m}^3$, é fluidizado por um líquido de viscosidade $0.001 \text{ Ns}/\text{m}^2$ e densidade 1.1 . a) Usando a equação de Ergun que conhece para calcular a queda de pressão através de um leito de altura L e porosidade e , calcule a velocidade mínima para fluidização ($e = 0.48$). b) Calcule ainda a velocidade terminal de queda assumindo que o regime de escoamento é laminar e a lei de Stokes se aplica. Se o regime de escoamento não for laminar, proponha um método para determinar a velocidade terminal de queda e calcule-a.

VIII – FILTRAÇÃO

1.

a) Envia-se uma polpa, contendo 0,2 kg de sólido (massa específica 3.0) por kg de água, para um filtro rotativo de tambor com 0.6 m de comprimento e 0.6 m de diâmetro. O tambor roda a uma volta em 350 segundos e 20% da superfície filtrante está em contacto com a polpa em qualquer instante. Se se produzir filtrado ao caudal de 0.125 kg/s e se o bolo tiver uma porosidade de 0.5, que espessura de bolo se forma quando se filtra com um vácuo de 35 kN/m²?

b) Determine a resistência específica do bolo

c) O filtro rotativo avaria e há que efectuar a operação temporariamente num filtro prensa com caixilhos quadrados de 0.3 m. A prensa leva 100 s a desmontar e 100 s a montar novamente e, além disso, são precisos 100 s para retirar o bolo de cada caixilho. Se se pretender realizar a filtração à mesma velocidade global como antes, com uma pressão de funcionamento de 275 kN/m², qual é o número mínimo de caixilhos que há que usar e qual é a espessura de cada um deles? Supor os bolos incompressíveis e desprezar a resistência do meio filtrante.

2. Filtra-se uma polpa, que contém 100 kg de cré (densidade=3.0) por m³ de água, num filtro prensa de placas e caixilhos, que leva 15 min a desmontar, limpar e voltar a montar. Se o bolo de filtração for incompressível e tiver uma porosidade de 0.4, qual é a espessura óptima de bolo para uma pressão de filtração de 1000 kN/m²? Se o bolo for lavado a 550.65 kN/m² e se o volume total de água de lavagem empregue for um quarto do filtrado, de que modo é afectada a espessura óptima do bolo? Desprezar a resistência do meio filtrante e considerar a viscosidade da água igual a 1 cP. Num ensaio, uma pressão de 165 kN/m² produziu um caudal de água de 0.02 cm³/s através de um centímetro cúbico de bolo (A=1 cm² e l=1 cm) de filtração.

3. Um filtro prensa de pratos e caixilhos, a filtrar uma polpa, produziu um total de 8 m³ de filtrado em 30 minutos e 11 m³ em 60 minutos, altura em que se parou a filtração. Fazer a estimativa do tempo de lavagem em minutos se se usarem 3 m³ de água de lavagem. Pode desprezar-se a resistência do pano e usa-se em toda a operação uma pressão constante.

4. Na filtração de uma certa lama num filtro prensa de pratos e caixilhos, o período inicial efectua-se a caudal constante com a bomba de alimentação à capacidade máxima até que a pressão atinge 400 kN/m². Mantém-se depois a pressão neste valor durante o resto da filtração. O funcionamento a caudal constante demora 15 minutos e obtém-se um terço da totalidade de filtrado durante este período. Desprezando a resistência do meio filtrante, determinar:

(a) o tempo total de filtração e

(b) o ciclo de filtração com a bomba existente para a máxima capacidade diária, se o tempo para remover o bolo e voltar a montar a prensa for de 20 minutos. Não se lava o bolo.

5. Um filtro rotativo, a funcionar a 2 rpm, filtra $7.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. A trabalhar sob o mesmo vácuo e desprezando a resistência do pano filtrante, a que velocidade se deve accionar o filtro para se obter uma velocidade de filtração de $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$?

6. Filtra-se uma polpa numa prensa de pratos e caixilhos que contém 12 caixilhos quadrados de 0.3 m e 25 mm de espessura. Durante os primeiros 200 s, eleva-se lentamente a pressão até ao valor final de 500 kN/m^2 e, durante este período, mantém-se constante o caudal de filtração. Após o período inicial, a filtração efectua-se a pressão constante e os bolos acabam de formar-se nos 15 minutos seguintes. Em seguida lavam-se os bolos a 375 kN/m^2 durante 10 minutos usando “lavagem completa”. Qual é o volume de filtrado que se recolhe por ciclo e que quantidade de água de lavagem é que se usa?

Tinha-se ensaiado previamente uma amostra de polpa, usando um filtro de folha de vácuo com 0.05 m^2 de superfície filtrante e um vácuo de 30 kN/m^2 . O volume de filtrado recebido nos primeiros 5 minutos foi de 250 cm^3 e, após mais 5 minutos, receberam-se mais 150 cm^3 . Supor o bolo incompressível e que a resistência do pano é a mesma na folha e no filtro prensa.

7. Filtra-se uma polpa numa prensa de pratos e caixilhos equipada com caixilhos de 25 mm de espessura. Durante os primeiros 10 minutos a bomba de polpa debita à capacidade máxima. Durante este período a pressão sobe até 500 kN/m^2 e obtém-se um quarto da totalidade do filtrado. A filtração leva mais uma hora para se completar a pressão constante e são necessários 15 minutos para esvaziar e reajustar a prensa.

Verifica-se que, se os panos forem previamente cobertos com auxiliar de filtração até uma profundidade de 1.6 mm, a resistência do pano reduz-se a um quarto do seu valor anterior. Qual será o aumento na capacidade de filtração da prensa se o auxiliar de filtração puder ser aplicado em 3 minutos?

8. Efectua-se filtração num filtro prensa de pratos e caixilhos, com 20 caixilhos quadrados de 0.3 m e 50 mm de espessura, e mantém-se constante o caudal de filtração durante os primeiros 5 minutos. Durante este período eleva-se a pressão a 350 kN/m^2 e obtém-se um quarto da totalidade de filtrado por ciclo. No fim do período de caudal constante, continua-se a filtração a uma pressão constante de 350 kN/m^2 durante mais 30 minutos, tempo ao fim do qual os caixilhos se encontram cheios. O volume total de filtrado por ciclo é 0.7 m^3 e a desmontagem e montagem da prensa leva 8.3 minutos.

Decide-se usar um filtro de tambor rotativo, com 1.5 m de comprimento e 2.2 m de diâmetro, em lugar do filtro prensa. Supondo que a resistência do pano é a mesma nas duas instalações e que o bolo de filtração é incompressível, calcular a velocidade de rotação do tambor que conduz à mesma velocidade global de filtração que se obtinha com o filtro prensa. A filtração no filtro rotativo efectua-se a uma diferença de pressão constante de 70 kN/m^2 e o filtro funciona com 25% do tambor submerso na polpa em qualquer instante.

9. Pretende-se filtrar uma certa polpa para produzir 2.25 m^3 de filtrado por dia de trabalho de 8 h. O processo efectua-se num filtro prensa com caixilhos quadrados de 0.45 m e uma pressão de trabalho de 450 kN/m^2 . A pressão sobe lentamente durante um periodo de 5 minutos e, durante este período, mantém-se constante o caudal de filtração.

Quando se filtrou uma amostra de polpa, usando usando um vácuo de 35 kN/m^2 , sobre um filtro de uma única folha com 0.05 m^2 de área filtrante, recolheram-se 400 cm^3 de filtrado nos primeiros 5 minutos e mais 400 cm^3 nos 10 minutos seguintes. Supondo que o desmontar do filtro prensa, a remoção dos bolos e o reajuste da prensa leva um tempo global de 5 minutos, mais outros 3 minutos por cada bolo produzido, qual é o número mínimo de caixilhos que é preciso utilizar? Considere que a resistência do pano de filtração é a mesma nos ensaios de laboratório e na fábrica.

10. A relação entre caudal e carga para uma certa bomba de polpa pode representar-se aproximadamente por uma linha recta, sendo o caudal máximo, a carga zero, de $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$ e a carga máxima, a caudal nulo, de 760 m de líquido. Se usarmos esta bomba para enviar uma dada polpa para um filtro de folhas de pressão,

- (a) quanto tempo levará a produzir 1 m^3 de filtrado, e
- (b) qual será a pressão no filtro ao fim deste tempo?

Filtrou-se uma amostra da polpa ao caudal constante de $0.00015 \text{ m}^3/\text{s}$ através de um filtro de folha coberto com um pano filtrante semelhante, mas com um décimo da área da unidade de plena escala e após 10.4 minutos a pressão através do filtro era de 360 m de líquido. Após mais 8 minutos a pressão era 600 m de líquido.

11. Pretende-se filtrar uma polpa, que contém 40% em peso de sólidos, num filtro de tambor rotativo com 2 m de diâmetro e 2 m de comprimento, o qual normalmente funciona com 40% da sua superfície imersa na polpa e sob um vácuo de 17 kN/m^2 . Um ensaio laboratorial sobre uma amostra da polpa, que usou um filtro com a área de 200 cm^2 e coberto com um pano semelhante ao do tambor, produziu 300 cm^3 de filtrado no primeiro minuto e 140 cm^3 no minuto seguinte, quando a folha estava sob um vácuo de 17 kN/m^2 . A massa específica global do bolo seco foi de 1.5 g/cm^3 e a massa específica do filtrado 1.0 g/cm^3 . A espessura mínima de bolo que podia remover-se, com facilidade, do pano era de 5 mm.

A que velocidade deve rodar o tambor para se obter capacidade máxima de filtração e qual é esta capacidade em termos de peso de polpa enviada para o filtro por unidade de tempo?

12. Pretende-se um filtro rotativo contínuo para um processo industrial para a filtração de uma suspensão para produzir $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ de filtrado. Ensaiou-se uma amostra num pequeno filtro de laboratório com a área de 0.023 m^2 para o qual se enviou mediante uma bomba de polpa de modo a produzir filtrado a um caudal constante de $12.5 \text{ cm}^3/\text{s}$. A diferença de pressão através do filtro de ensaio aumentou de 14 kN/m^2 ao fim de 300 s de filtração até 28 kN/m^2 após 500 s, instante em que a espessura do bolo tinha alcançado 38 mm. Sugerir dimensões e condições de funcionamento apropriadas para o filtro rotativo, supondo que a resistência do pano usado é metade da do filtro de ensaio, e que o sistema de vácuo é capaz de manter uma diferença de pressão constante de 70 kN/m^2 através do filtro.

13. Um filtro de tambor rotativo, com 1.2 m de diâmetro e 1.2 m de comprimento, pode tratar 6.0 kg/s de polpa contendo 10% de sólidos, quando roda a 0.005 Hz . Aumentando a

velocidade para 0.008 Hz verifica-se que pode tratar 7.2 kg/s. Qual a variação em percentagem na quantidade de água de lavagem que se pode aplicar a cada kg de bolo devido a este aumento de velocidade? Quais são as limitações ao aumento de produção pelo aumento da velocidade de rotação no tambor e qual é a quantidade máxima teórica de polpa que pode ser tratada?