

## 11– CENTRÍFUGAS

### 11.1 FUNDAMENTOS:

Em algumas separações, principalmente com partículas muito pequenas, emprega-se a força centrífuga cuja ação pode chegar várias vezes a força da gravidade, ou seja, aceleração equivalente a várias vezes “g”.

Lembrando que quando um móvel percorre uma trajetória circular, está sujeito a uma força CENTRÍPETA que age de modo a conservá-lo nessa trajetória.

Para que esse móvel se mantenha a igual distância do centro do círculo, a força CENTRÍPETA deve ser contrabalançada com outra força igual e contrária que é a força CENTRÍFUGA.

$$F(\text{centrífuga}) = m \cdot (v^2/R) \text{ ou } = (1/g_c) \cdot m \cdot \omega^2 \cdot R$$

Sendo o trajeto de uma volta completa no tempo T, esse tempo é chamado de período.

$$v = (2 \times 3,1416 \times R)/(T)$$

$$F(\text{centrífuga}) = (1/g_c) \cdot m \cdot (4 \times 3,1416^2 \times R^2)/(T^2) \times (1/R)$$

Sendo a rotação (N) = n° de voltas por unidade de tempo,  $N = 1/T$

$$F(\text{centrífuga}) = (1/g_c) \cdot m \cdot (4 \times 3,1416^2 \times R \times N^2)$$

Então a aceleração centrífuga será:

$$F(\text{centrífuga})/m = (1/g_c) \cdot (4 \times 3,1416^2 \times R \times N^2)$$

Em unidades SI com D = diâmetro do círculo em (cm)

$$\text{Aceleração} = F(\text{centrífuga})/m = 0,56 \times 10^{-5} \times (\text{rpm})^2 \times D$$

Em unidades americanas de Engenharia com D = diâmetro do círculo em (polegadas).

$$\text{Aceleração} = F(\text{centrífuga})/m = 1,42 \times 10^{-5} \times (\text{rpm})^2 \times D$$

Com essas expressões é que se compara com a gravidade e devem ser os múltiplos da aceleração da gravidade (g) criados pela força centrífuga.

NAS CENTRÍFUGAS TUDO SE PASSA COMO SE O PESO DAS PARTÍCULAS FOSSE MULTIPLICADO POR UM FATOR MUITO MAIOR QUE 1,0 A DEPENDER DA ROTAÇÃO ESCOLHIDA PARA A OPERAÇÃO.

DESSE MODO A SEPARAÇÃO DAS PARTÍCULAS NO SEIO DO LÍQUIDO PODERÁ SER TÃO RÁPIDA QUANTO FOR DESEJADO.

É, PORTANTO, UMA GRANDE SOLUÇÃO NA SEPARAÇÃO DE PARTÍCULAS PEQUENAS.

PARA SE TER UMA IDÉIA DOS VALORES DESSE FATOR, QUE CHAMAREMOS DE K = FATOR DE SEPARAÇÃO.

Se o peso da partícula é (P) = m.g/g<sub>c</sub> e a força centrífuga (F)

$$(F) = m.w^2.R/g_c \text{ sendo } C = 9,81 \text{ (kg.m)/(kgf.s}^2\text{)}$$

$$(F) = m.(2 \times 3,1416 \times N/60)^2 \times R/g_c \quad (F) = (1,12/1000).m.R.N^2$$

$$K = (F)/(P) \quad K = (1,12/1000).R.N^2$$

ENTÃO: SE UMA CENTRÍFUGA DE MEIO METRO DE RAIOS GIRAR COM A ROTAÇÃO DE 2000 RPM, O VALOR DE K (FATOR DE SEPARAÇÃO) SERÁ 2240.

ISTO SIGNIFICA QUE ATUARÁ SOBRE AS PARTÍCULAS UMA FORÇA IGUAL A 2240 VEZES O SEU PRÓPRIO PESO. OU DE OUTRO MODO PODER-SE-IA

DIZER QUE ESTARÁ SUBMETIDA A UMA ACELERAÇÃO IGUAL A 2240 VEZES A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE.

NA INDÚSTRIA QUÍMICA TRABALHA-SE COM K ENTRE 300 E 3500 A 19000 NAS CENTRÍFUGAS DECANTADORAS E 45000 A 300 MIL NAS ULTRACENTRÍFUGAS.

### 11.2 TIPOS DE OPERAÇÃO:

AS OPERAÇÕES PODEM SER:

DESCONTÍNUA- TANTO A CARGA COMO A DESCARGA É FEITA COM A CENTRÍFUGA PARADA.

SEMI-CONTÍNUA- É TAMBÉM UMA OPERAÇÃO EM BATELADA, PORÉM A CENTRÍFUGA NÃO É PARADA PARA CARGA E DESCARGA. MUITO USADAS NAS USINAS DE AÇÚCAR, COM CICLOS DE 2 A 3 MINUTOS E PODEM PRODUZIR ATÉ 5 t/h DE CRISTAL.

CONTÍNUA- A ALIMENTAÇÃO E A DESCARGA SÃO FEITAS DURANTE A OPERAÇÃO EM REGIME PERMANENTE.

### 11.3 TIPOS DE CENTRÍFUGAS

CENTRÍFUGAS DECANTADORAS

CENTRÍFUGAS FILTRANTES

CENTRÍFUGAS DECANTADORAS

SERVEM PARA CLARIFICAR OU ESPESSAR SUSPENSÕES.

UM TAMBOR VERTICAL, HORIZONTAL OU INCLINADO GIRA EM ALTA ROTAÇÃO EM TORNO DE UM EIXO E AS PARTÍCULAS SÃO DIRIGIDAS PARA A PERIFERIA DA CENTRÍFUGA.

USA-SE PARA SOLUÇÕES DILUIDAS (1 A 2% DE SÓLIDOS).

AO MESMO TEMPO EM QUE É FEITA A CLARIFICAÇÃO PODE-SE REALIZAR A DECANTAÇÃO DE DOIS LÍQUIDOS.

PARA HAVER CLARIFICAÇÃO AS PARTÍCULAS DEVERÃO TER TEMPO SUFICIENTE PARA ATINGIR A PAREDE OU OS BOCAIS DE SAIDA DA CENTRÍFUGA.

NO VOLUME ELEMENTAR DE ESPESSURA  $dr$  E ALTURA  $Z$  O TEMPO DE RESIDÊNCIA DA SUSPENSÃO É: (volume/vazão)

$$d\theta = (2 \times 3,1416 \times Z \times dr)/Q_a$$

$Z$  = altura da cesta da centrífuga

$Q_a$  = vazão volumétrica alimentada

A DISTÂNCIA PERCORRIDA PELA PARTÍCULA EM DIREÇÃO À PAREDE DURANTE ESTE TEMPO É:

$$dy = v \cdot d\theta$$

SUBSTITUINDO  $v$  (VELOCIDADE DE DECANTAÇÃO LIVRE DADA PELA LEI DE STOKES). E  $d\theta$  ENTÃO:

$$dy = w^2 \cdot R \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot D^2 / 18\mu \times (2 \times 3,1416 \times Z \times dR) / (Q_a)$$

A DISTÂNCIA PERCORRIDA PELA PARTÍCULA DURANTE O TEMPO DE RESIDÊNCIA TOTAL NA CENTRÍFUGA É OBTIDO INTEGRANDO A EXPRESSÃO ENTRE  $r_1$  (RAIO INTERNO DA SUSPENSÃO) E  $r_2$  (RAIO EXTERNO):

$$y = [3,1416 \times Z \times w^2 \times (\rho_s - \rho_f) \times D^2 \times (r_2^3 - r_1^3)] / 27 \cdot \mu \cdot Q_a$$

REPRESENTANDO POR  $D_c$  O DIÂMETRO DE CORTE, DEFINIDO COMO O DIÂMETRO DA PARTICULA QUE DURANTE O TEMPO DE RESIDÊNCIA

DISPONÍVEL PERCORRE A METADE DA DISTÂNCIA  $(r_2 - r_1)$ , E SUBSTITUINDO  $y$  POR METADE DE  $(r_2 - r_1)$ ,

E TAMBÉM D POR  $D_c$ .

ENTÃO FICARÁ:

$$Q_a = 2 \times 3,1416 \times Z \times w^2 \times (\rho_s - \rho_f) \times D_c^2 \times (r_2^2 + r_1 \cdot r_2 + r_1^2) / 27\mu$$

ASSIM A MAIOR PARTE DAS PARTÍCULAS MAIORES DO QUE  $D_c$  SERÁ CENTRIFUGADA ENQUANTO AS PARTÍCULAS MENORES FICARÃO QUASE TODAS NA SUSPENSÃO.

### CENTRÍFUGAS FILTRANTES

CONSTAM DE UMA CESTA QUE GIRA EM ALTA VELOCIDADE EM TORNO DE UM EIXO VERTICAL OU HORIZONTAL E CUJA PAREDE É FEITA DE TELA OU PLACA PERFURADA.

OS SÓLIDOS VÃO PARA A PERIFERIA E FORMAM UMA TORTA CUJA ESPESSURA VAI AUMENTANDO À MEDIDA QUE A OPERAÇÃO PROSSEGUE.

TORTA É O NOME QUE SE DÁ AO LEITO POROSO FORMADO PELAS PARTÍCULAS SÓLIDAS FILTRADAS.

O LÍQUIDO FILTRADO PASSA ATRAVÉS DA TORTA E DA TELA, SENDO RECOLHIDO NUM TAMBOR FIXO EM CUJO INTERIOR ESTÁ GIRANDO A CESTA.

A DESCARGA DA TORTA É SEMPRE FEITA COM UMA LÂMINA QUE RASPA OS SÓLIDOS DEPOSITADOS.

A MAIOR VANTAGEM DAS CENTRÍFUGAS FILTRANTES SOBRE OS FILTROS COMUNS É A REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE FILTRADO QUE FICA RETIDO NA TORTA.

NUM FILTRO COMUM MAIS OU MENOS 7% DO LÍQUIDO FICA NOS POROS DA TORTA, ENQUANTO QUE NUMA CENTRÍFUGA O FILTRADO RETIDO É DE APENAS 3%.

#### 11.4 CÁLCULO DA POTÊNCIA CONSUMIDA

O CONSUMO DE ENERGIA É MÁXIMO QUANDO A CENTRÍFUGA ESTÁ ACELERANDO E DIMINUI SIGNIFICATIVAMENTE QUANDO A OPERAÇÃO ESTÁ EM REGIME, PORQUE NESTA SITUAÇÃO É NECESSÁRIO APENAS VENCER OS ATRITOS DA MÁQUINA.

A POTÊNCIA (Pot) em (hp) NECESSÁRIA PARA ACELERAR UMA CENTRÍFUGA DE RAIO r DESDE O REPOUSO ATÉ A ROTAÇÃO N PODE SER CALCULADA PELA EXPRESSÃO ABAIXO:

$$\text{Pot} = [(1,341/1000) \times m \times r^2 \times (2 \times 3,1416 \times N/60)^2]/\theta$$

$$\text{Pot} = (1,47/100.000) \times m \times (r.N)^2/\theta$$

m = massa total (centrífuga + carga) (kg)

r = raio de giração (m)

N = rotação (rpm)

$\theta$  = tempo de aceleração (segundos)