

SEPARAÇÃO SÓLIDO - SÓLIDO

1 – PENEIRAMENTO

No processamento de alimentos sólidos é freqüente a necessidade de se separar materiais com respeito ao seu tamanho. As técnicas de separação são baseadas nas diferenças físicas entre as partículas como tamanho, forma ou densidade. Em muitos processos os pós sólidos obtidos, raramente possuem um único tamanho, que estão distribuídos em torno de um tamanho médio.

O peneiramento é um método de separação de partículas que leva em consideração apenas o tamanho. No peneiramento industrial, os sólidos são colocados sobre uma superfície com um determinado tamanho de abertura. As partículas menores, ou finas, passam através das aberturas da peneira; as partículas maiores não.

A necessidade de separar sólidos está associada a duas finalidades:

- 1 – dividir o sólido granular em frações homogêneas, e;
- 2 – obter frações com partículas de mesmo tamanho.

No entanto é difícil se conseguir os dois objetivos simultaneamente.

Princípio do Peneiramento: O sólido alimentado (A) é movimentado sobre a peneira; as partículas que passam pelas aberturas constituem os *finos* (F) e as que ficam retidas são os *grossos* (G) (Figura 1). O objetivo da operação é indicado pelo seu próprio nome: eliminação de finos, separação de grossos ou “corte” do material visando sua posterior concentração.

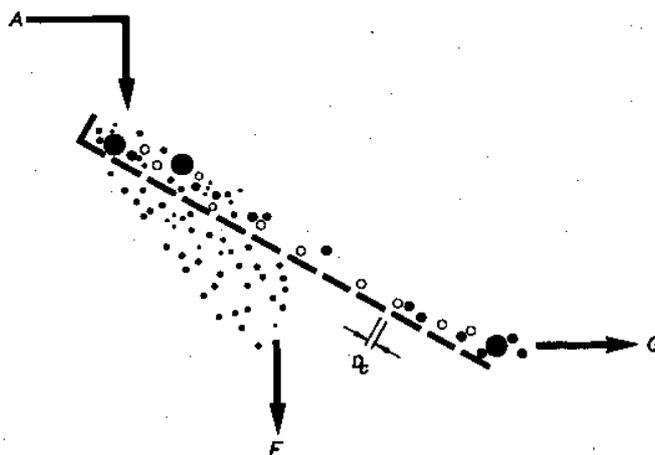


Figura 1 – Frações sólidas obtidas em um peneiramento (Gomide, 1980).

Uma peneira separa apenas duas frações que são chamadas *não classificadas* porque se conhece apenas as medida extrema de cada fração (a da maior partícula da fração fina e a menor da fração grossa). Com mais peneiras é possível obter *frações classificadas*; neste caso, não é mais um simples peneiramento, mas uma classificação granulométrica.

O objetivo do peneiramento é separar a alimentação A nas frações F e G. Em um processo ideal existe um diâmetro de corte (D_c) que limita o tamanho máximo das partículas da fração fina e o mínimo da fração grossa. Geralmente D_c é escolhido em função do fim desejado na separação, podendo coincidir ou não com a abertura de uma peneira padrão.

Se um material A, com a análise granulométrica acumulada dos retidos mostrado na Figura 2.a, for peneirado de maneira ideal em uma peneira de abertura D_c , o ponto C da curva será o ponto de corte. A operação origina uma fração F_i (partículas mais finas que D_c) e uma fração G_i (partículas maiores que D_c). Na Figura 2.c os três valores indicados, φ_A , φ_F e φ_G representam respectivamente as frações acumuladas de grossos D_c em cada um dos materiais A, F e G.

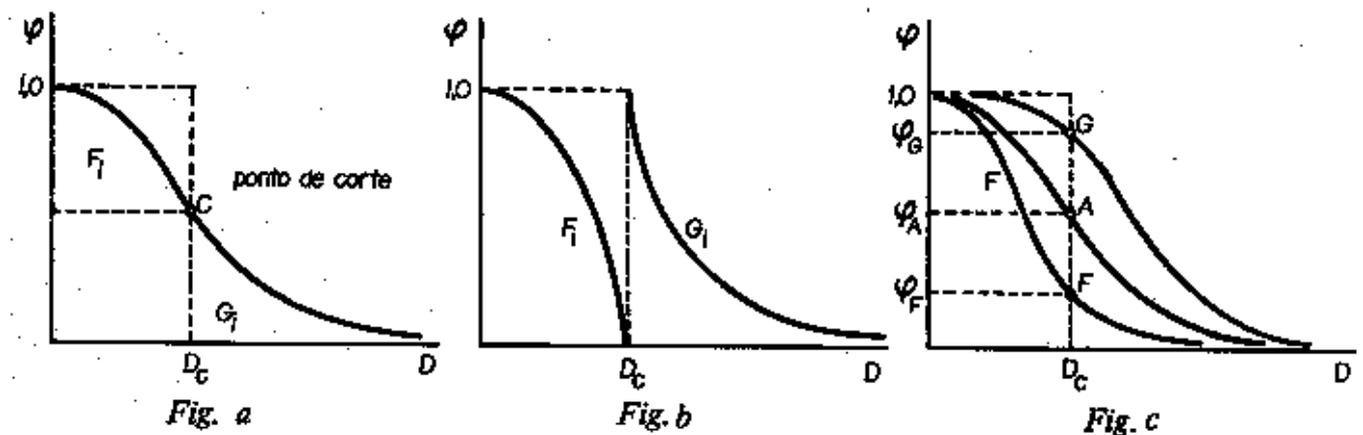


Figura 2 – Curvas granulométricas das frações (Gomide, 1980).

φ_A – fração acumulada de grossos D_c na alimentação, que é a fração do peso total de A constituída de partículas maiores do que D_c .

φ_F – fração acumulada de grossos D_c nos finos F, que é a fração do peso total de F constituída de partículas maiores do que D_c .

φ_G – fração acumulada de grossos D_c no produto grosseiro G.

Se o peneiramento fosse ideal $\varphi_F = 0$ e $\varphi_G = 1$.

As operações reais não permitem realizar separações tão nítidas. Algumas partículas maiores que D_c passam pela peneira e se incorporam aos finos, enquanto outras partículas menores que D_c ficam retidas nos grossos. As frações reais obtidas são representadas por F e G (Figura 2.c).

A Eficiência do Peneiramento resulta da comparação entre as operações real e ideal; e depende de φ_A , φ_F e φ_G .

A retenção das partículas finas nas grossas pode ser explicada por:

- aderência do pó às partículas grandes
- aglomeração dos finos (coesão ou outras forças)
- irregularidade das malhas
- mecanismos de operação

A passagem dos grossos através das malhas deve-se a:

- irregularidade das malhas
- se as partículas grossas tiverem dimensão aproximada de D_c

- carga excessiva na peneira, podendo serem forçadas a passar pelas malhas

1.1- A Operação de Peneiramento

As peneiras podem operar a seco (sólidos com pouca umidade) ou a *úmido*. Materiais pouco úmidos ou muito aderentes devem ser peneirados a úmido para evitar o entupimento da peneira; a água lava continuamente a peneira evitando a deposição dos finos sobre os fios da peneira.

A *agitação* também ajuda a prevenir o entupimento. Uma agitação muito vigorosa pode provocar a moagem do material, erosão excessiva das peneiras e baixa eficiência, além de agravar o problema do pó.

Para facilitar a operação, as peneiras são inclinadas, mas uma *inclinação* grande prejudica a separação, pois o escoamento do pó poderá ser tão rápido que impossibilitará a chegada de muitas partículas finas até a malhas das peneiras; a inclinação insuficiente pode reduzir a capacidade.

O sólido é alimentado em larga escala e um leito granular espesso é formado sobre a peneira. À medida que o material cai na caixa de alimentação, ele perde a componente vertical de velocidade e as partículas tendem a se espalhar pela base da caixa e pela superfície da peneira. Se a bica de alimentação, a caixa de alimentação e a peneira forem bem dimensionadas, o material irá ocupar toda a largura da peneira, aproveitando ao máximo todo o equipamento.

Os principais responsáveis pelas baixas eficiências e pelas dificuldades encontradas nesta operação estão relacionados abaixo:

1 - A *coesão* entre as partículas tende a reter fino no material grosso. A coesão aumenta com a umidade do material; quando a operação é feita com o sólido seco, este efeito é pouco importante.

2 - Durante o peneiramento, os *fios das malhas* afastam-se uns dos outros. Assim, umas aberturas ficam menores e outras aumentam, dificultando a previsão teórica da abertura da peneira para obter o D_c necessário.

3 - A *aderência* das partículas à tela também é uma dificuldade que não pode ser antecipada teoricamente. Partículas mais finas que a abertura da peneira ficam retidas porque, à medida que a operação ocorre, as malhas das telas vão ficando menores, chegando até a entupir. Esta é uma das causas da presença de finos no material grosso. A aderência também depende da umidade do material, variando ainda com a forma e as características das partículas.

1.2 - Equipamentos Utilizados

As peneiras industriais são feitas de telas metálicas, revestidas de seda ou plástico (PVC, polietileno, polipropileno, orlon, dacron ou teflon), barras metálicas, pratos metálicos perfurados ou ranhurados, ou fios em forma de cunha na seção transversal. Vários metais são usados, sendo os de aço e aço inox os mais comuns. As peneiras padrão variam de 4 in a 400 mesh, e

telas metálicas com aberturas tão pequenas quanto $1\mu\text{m}$ são comercialmente disponíveis. Peneiras mais finas que 150 mesh normalmente não são usadas, porque com partículas tão finas outros métodos de separação geralmente são mais econômicos (câmaras de poeira, ciclones, filtros de tecido).

Existe uma grande variedade de equipamentos usados para diferentes propósitos. Em muitas peneiras, as partículas caem através das aberturas pela gravidade; em alguns outros as partículas passam através das peneiras por uma escova ou pela força centrífuga. Partículas grossas caem lentamente através das aberturas maiores em uma superfície estacionária, mas com partículas finas a superfície da peneiras deve ser agitada, como por agitação, girando, ou por vibração mecânica ou elétrica.

A Figura 3 apresenta os movimentos típicos de uma peneira.

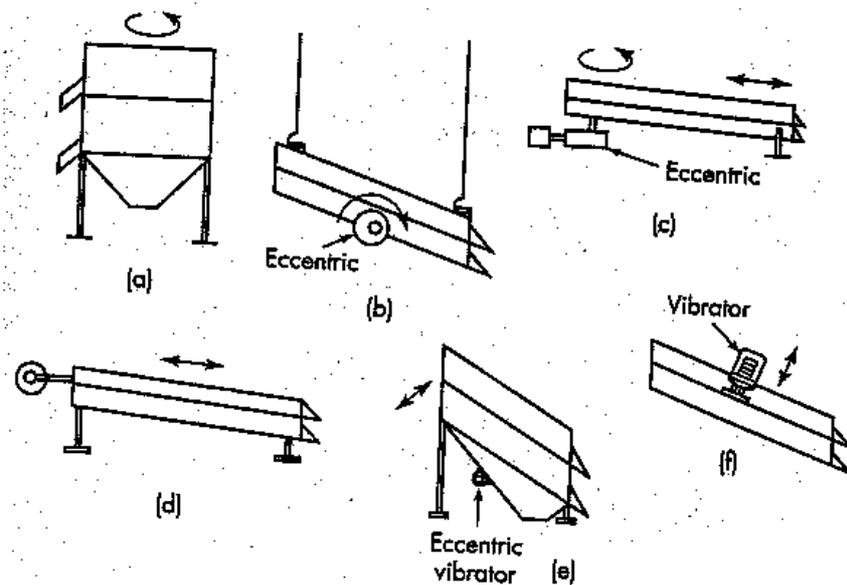
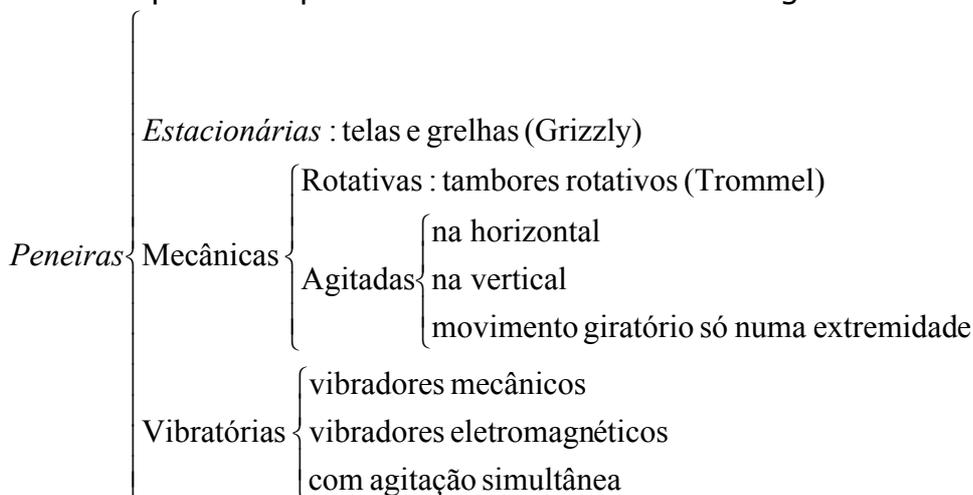


Figura 3 – Movimento das peneiras. (a) giros em um plano horizontal; (b) giros em um plano vertical; (c) giros em uma ponta e agitação na outra; (d) agitação; (e) vibração mecânica; (f) vibração elétrica (McCabe, Smith e Harriott, 2001).

As peneiras podem ser classificadas do seguinte modo:



A – Peneiras Estacionárias

São as mais simples, robustas e econômicas das peneiras, e servem para sólidos grosseiros, à vezes maiores que 5 cm. Operam descontinuamente e entopem com facilidade.

Tipos mais comuns: telas inclinadas com 1 a 10cm de abertura, alimentadas manualmente; grelhas robustas que separam finos das cargas de britadores, que são uma série de barras paralelas mantidas em posição através de espaçadores, podem ser horizontais ou inclinadas entre 20 e 50° (Figura 4).

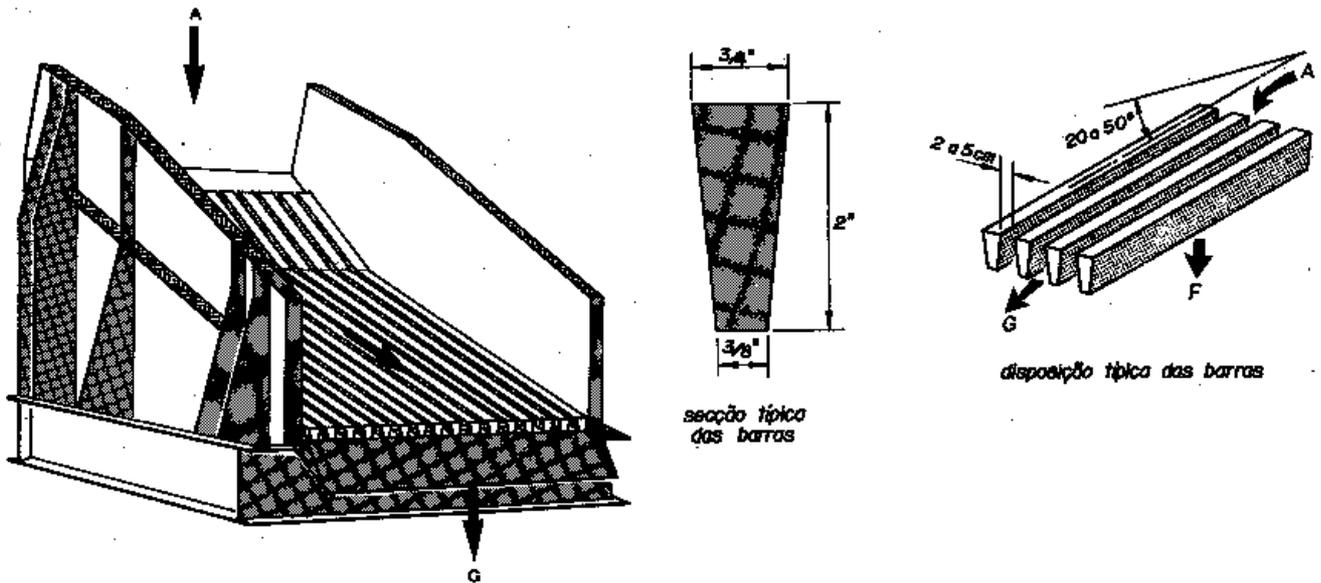


Figura 4 – Peneira Estacionária (Gomide, 1983).

B – Peneiras Rotativas

O tipo mais comum é o tambor rotativo, muito utilizado nas pedreiras para classificação dos pedriscos e das pedras 1, 2, 3 e 4 da construção civil. É um cilindro longo, inclinado de 5 a 10° em relação à horizontal e que gira a baixa velocidade em torno do eixo. A superfície lateral do cilindro pode ser uma placa metálica perfurada ou tela, com aberturas de tamanhos progressivamente maiores na direção da saída. Os equipamentos variam de 4 a 10m de comprimento. A rotação típica é da ordem de 15 rpm.

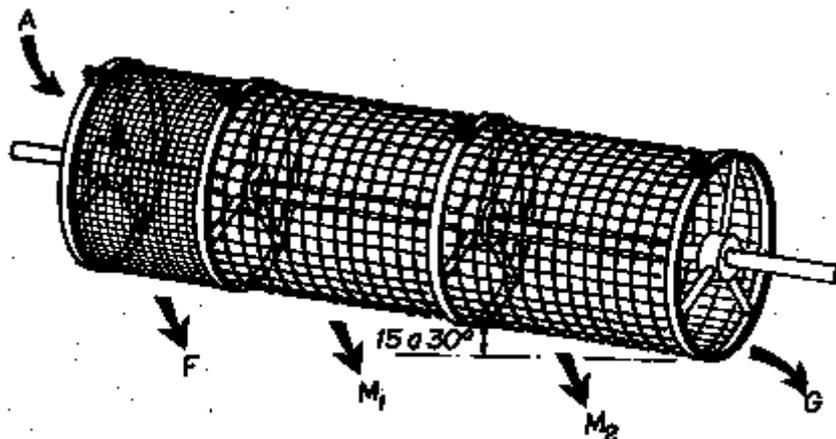


Figura 5 – Peneira Rotativa (Gomide, 1983).

C – Peneiras Agitadas

A agitação provoca a movimentação das partículas sobre a superfície das peneiras. Embora possam ser horizontais, geralmente são inclinadas para que o material seja transportado ao mesmo tempo em que ocorre o peneiramento.

A eficiência é relativamente alta para materiais maiores que 1 cm, mas é baixa para finos. A agitação é provocada por excêntricos que permitem regular a frequência e a amplitude para conseguir experimentalmente a melhor combinação destas variáveis. O excêntrico pode funcionar em plano vertical ou plano horizontal (Figura 6). Geralmente as peneiras agitadas com excêntricos são mais lentas, sendo 5 deslocamentos por segundo um valor comum.

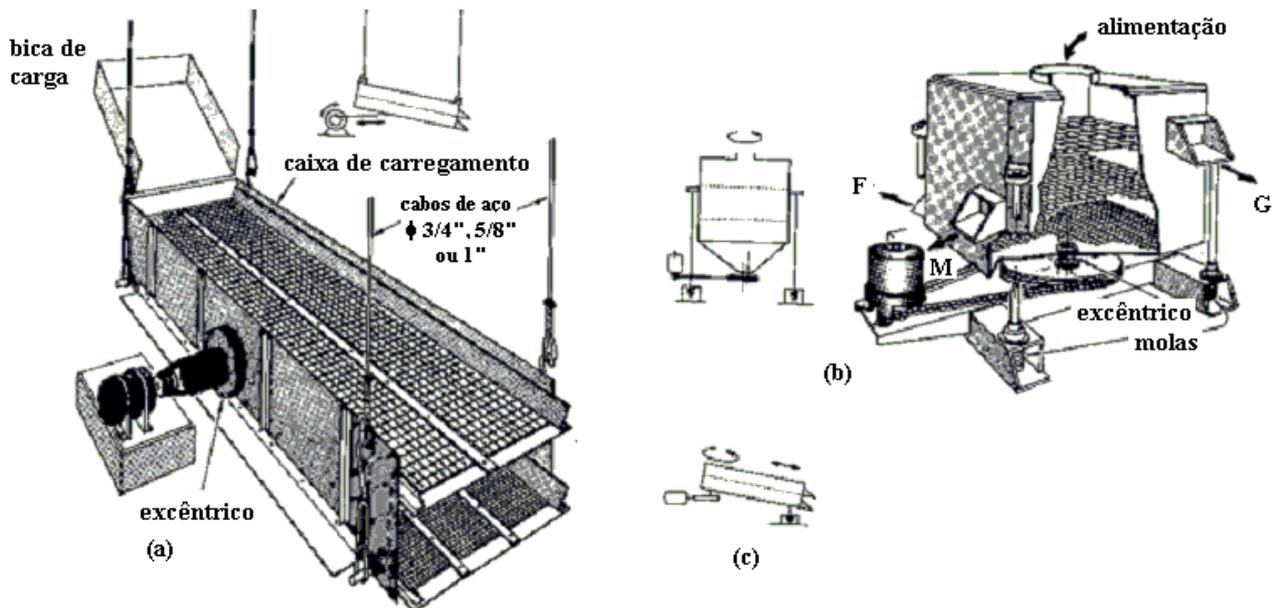


Figura 6 – Peneiras Agitadas.

(a) na vertical; (b) na horizontal e (c) vai-e-vem na descarga (Gomide, 1983).

Uma peneira agitada é apresentada na Figura 7. Duas telas, uma sobre a outra, estão ligadas em uma armação inclinada em um ângulo entre 16° e 30° com a horizontal. A mistura de alimentação é solta na parte superior do ponto mais alto da peneira. Armação e peneiras estão girando em um plano vertical sobre uma linha central horizontal por um excêntrico que está colocado entre o ponto de alimentação e descarga. A taxa de rotação está entre 600 e 1800rpm. As peneiras são retangulares suficientemente longas, de $1^{1/2}$ por 4 ft até 5 por 14 ft. As partículas grandes caem em dutos coletores no final da esteira; as partículas finas passam através da peneira para dentro de uma rampa de descarga.

A superfície da peneira é dupla, como na Figura 7.b; entre as duas peneiras existem bolas de borracha ligadas em compartimentos separados. Quando a peneira opera, as bolas batem na superfície da peneira e livram as aberturas de qualquer material que tendem a tampá-la.

Grãos secos, duros, arredondados ou cúbicos passam aleatoriamente sem danificar as peneiras, até peneiras finas; mas partículas alongadas, pegajosas, em flocos ou fofas não passam. Uma peneira entupida com partículas sólidas é dita estar cega.

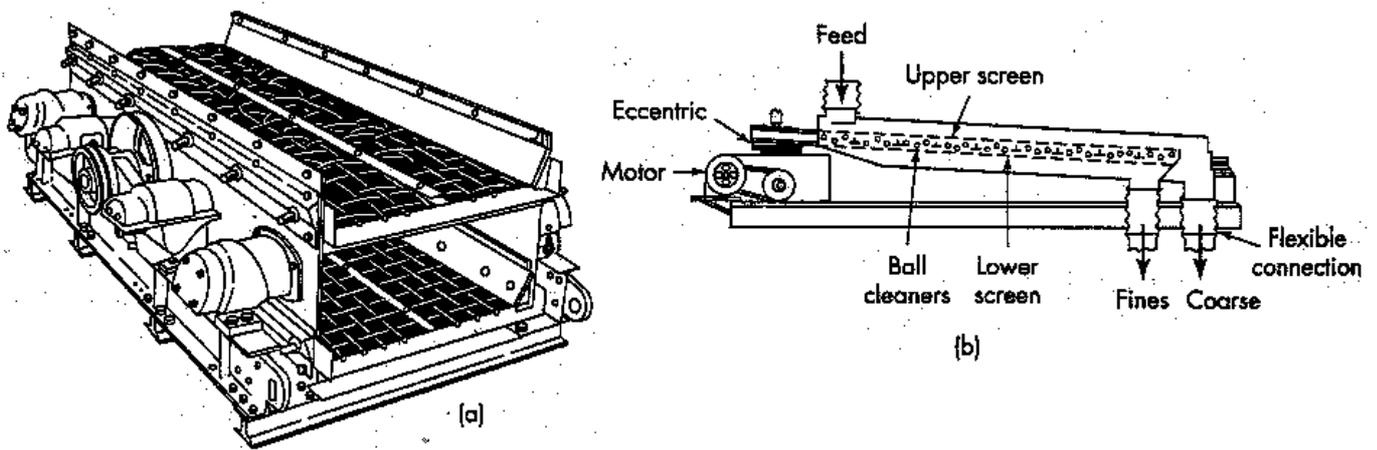


Figura 7 – (a) peneira girando verticalmente (b) peneira girando horizontalmente (McCabe, Smith e Harriott, 2001).

D – Peneiras Vibratórias

Estas peneiras são de alta capacidade e eficiência, principalmente para materiais finos. Existem dois tipos mais comuns:

- *Estrutura Vibrada*: a estrutura é submetida a vibração mecânica por meio de excêntricos ou eixos desbalanceados, ou vibração eletromagnética com solenóides. A maior diferença entre as peneiras agitadas e as vibratórias está na frequência (neste caso, 1200 a 7200 ciclos/minuto) e na menor amplitude de vibração (1,5 a 10mm). São ligeiramente inclinadas (5° a 10° para operação a úmido e 20° para operação a seco). As malhas utilizadas na indústria química variam de 2,5 cm a 35 mesh, para peneiramento a seco, indo até bem abaixo de 100 mesh para peneiramento a úmido, chegando a até 225 mesh para alguns casos.
- *Tela Vibrada*: elas possuem eletroímans que atuam diretamente sobre a tela. A frequência é bastante alta (1800 a 7200 vibrações por minuto) e a amplitude é bem pequena. Fazem o peneiramento de finos (80 a 100 mesh), não sendo recomendadas para trabalho pesado. Apresentam como desvantagem um desgaste excessivo da tela e ruído (*pode ser atenuado utilizando telas emborrachadas ou feitas totalmente de borracha*).

Uma peneira com tela vibrada por meio de bolas de borracha que se movem à custa de um movimento de agitação provocado por um excêntrico, chamado Rotex.

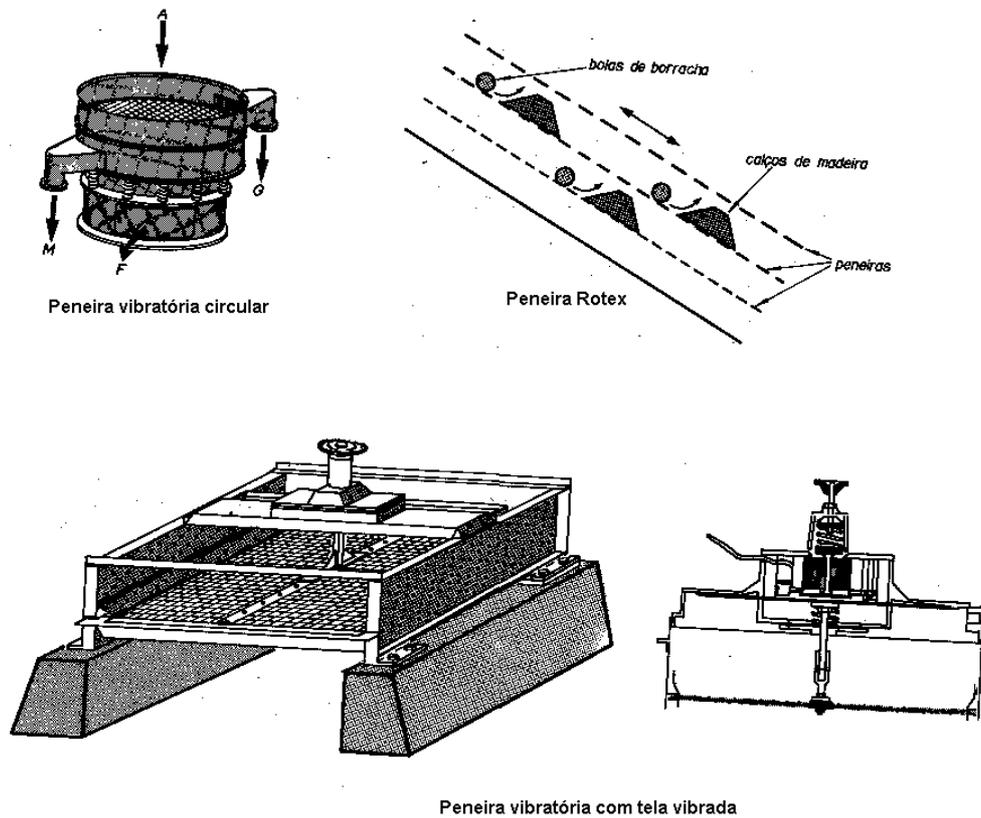


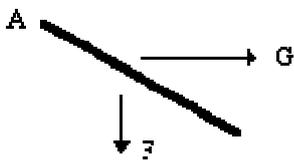
Figura 8 – Peneiras Vibradas (Gomide, 1983)

2 - CÁLCULOS RELATIVOS AO PENEIRAMENTO

Os problemas de Engenharia envolvem usualmente: o cálculo das quantidades das frações produzidas; o cálculo da eficiência do peneiramento e o dimensionamento das peneiras. A solução destes problemas irá auxiliar no projeto e na operação dos equipamentos.

A - Quantidade Produzida

As frações em peso de grossos, x_A , x_F e x_G , representam a fração de grossos em A, F e G.



x_A = Fração de grossos (D_c) em A.

x_F = Fração de grossos (D_c) em F.

x_G = Fração de grossos (D_c) em G.

O balanço de massa de grossos e o balanço global podem ser escritos como:

$$A \cdot x_A = F \cdot x_F + G \cdot x_G$$

$$A = F + G$$

Combinando as equações temos:

$$F = A \frac{x_G - x_A}{x_G - x_F} \quad \text{e} \quad G = A \frac{x_A - x_F}{x_G - x_F}$$

B - Eficiência do Peneiramento

A fração de grossos alimentados à peneira e que chegam finalmente ao produto grosseiro G é uma medida da eficiência de recuperação de grossos (**E_G**).

$$E_G = \frac{Gx_G}{Ax_A}$$

Por outro lado, a quantidade de finos na alimentação = A.(1-x_A) e a quantidade que chega à fração fina = F.(1-x_F) permite determinar a eficiência de recuperação de finos.

$$E_F = \frac{F(1-x_F)}{A(1-x_A)}$$

Eficiência do peneiramento (E) : E = E_G.E_F

$$E = \frac{FG}{A^2} \frac{x_G(1-x_F)}{x_A(1-x_A)} \quad \text{ou} \quad E = \frac{(x_G - x_A)(x_A - x_F)x_G(1-x_F)}{x_A(1-x_A)(x_G - x_F)^2}$$

Se a operação fosse perfeita, todo material grosso estaria em G e todo material fino em F, logo: x_G = 1; x_F = 0; G = A.x_A; F = A.(1-x_A) e portanto E_G = 1; E_F = 1; E = 1;

C - Dimensionamento de Uma Peneira.

O cálculo da área necessária (S) para realizar um peneiramento é feito com base em dados experimentais de capacidade obtidos em catálogos de fabricantes que fornecem valores de capacidade específica C em toneladas por hora de operação, por metro quadrado e pela abertura em mm das malhas da peneira. Considerando a alimentação (A) em t/h e uma operação contínua (24 h), a superfície poderá ser calculada pela expressão:

$$S = \frac{24A}{CD_c}$$

C = Capacidade específica (t / h.m².mm)
A = Alimentação da peneira (t / h)

D_c = abertura das malhas (mm)

Se o período de funcionamento da peneira for θ h em 24 h e a capacidade desejada for A t/h durante o tempo de operação, então a superfície específica necessária será:

$$S = \frac{576 * A}{\theta \cdot C \cdot D_c}$$

Considerando a capacidade (C') em t/hm² associadas a aberturas das peneiras como especificado no site <http://www.kroosh.com/index.html> podemos também calcular a área para uma operação contínua do equipamento como sendo:

$$S = \frac{A}{C'}$$

e C' passa a ser $C \cdot D_c / 24$.

Exemplo:

Para orientar o projeto de uma unidade de processamento de farinha de milho, alguns ensaios de peneiramento foram realizados em escala piloto. Na tabela abaixo é mostrada a análise granulométrica da amostra. O material retido e o material que passou pela peneira têm suas frações indicadas nas colunas G e F, respectivamente. A peneira utilizada aproxima-se de 14 Mesh. Calcule: i) a razão de alimentação e a quantidade de finos produzida, considerando uma produção de 1,2 t/h da fração G; ii) as eficiências de peneiramento (E_F , E_G e E) e iii) a área de peneiramento necessária para um sistema com $C = 50$ t/m².24h.mm operando continuamente.

Frações	Porcentagens retidas		
	A	G	F
4	14,3	20,0	
4/8	20	28,0	
8/14	20	28,0	
14/28	28,5	24,0	40,0
28/48	8,6		30,0
48/100	5,7		20,0
Panela	2,9		10,0

Solução:

Calculam-se as frações acumuladas para as correntes A, G e F.

Frações	Frações acumuladas		
	A	G	F
4	0,143	0,2	
4/8	0,343	0,48	

8/14	0,543	0,76	
14/28	0,828	1,00	0,40
28/48	0,914		0,70
48/100	0,971		0,90
Panela	1,00		1,0

Para o balanço material de grossos temos a indicação da peneira de 14 mesh.

Para peneira 14 temos: $x_A = 0,543$; $x_G = 0,760$ e $x_F = 0$

Pelas equações de balanço temos:

Como $G = 1,2$ t/h

$$0,543 A = 0,760 \cdot (1,2) \quad A = 1,68 \text{ t/h}$$

logo $F = A - G = 0,48$ t/h

para as eficiências temos

$$E_F = 0,625 \quad ; \quad E_G = 1,0 \quad e \quad E = 0,625$$

Para a área necessária temos (considerando a operação contínua):

$$S = 24 \text{ h} \cdot 1,68 \text{ t/h} / 50 \text{ (t/m}^2\text{mm)} \cdot 1,2 \text{ mm} = 0,68 \text{ m}^2$$

Para o exemplo $C' = 50 \cdot 1,2 / 24 = 2,5$ t/hm² e a área calculada é a mesma.

Referências consultadas

Earle, R. L. e Earle, M. D. Unit operations in food processing

Gomide, R. Operações unitárias

Mc Cabe. Unit operations, 1985.

Síte sugerido

<http://www.kroosh.com/index.html>