



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ENGENHARIA QUÍMICA

LOQ 4017 – OPERAÇÕES UNITÁRIAS EXPERIMENTAL II

Profa. Lívia Chaguri
E-mail: Ichaguri@usp.br



1° Semestre de 2015

Introdução

Filtração: separação de partículas sólidas de um fluido pela passagem desse fluido em um meio filtrante ou parede separadora, no qual os sólidos são depositados (McCabe, 2007).

Filtrações industriais: simples ou complexas.

Fluido: líquido ou gás.

Filtrado: líquido, sólido ou ambos.

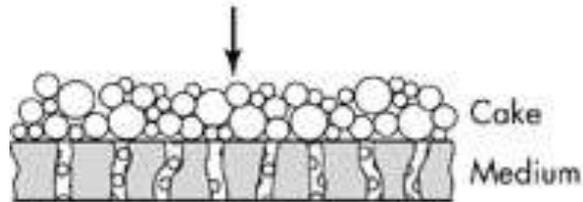
Desenvolvimento de diversos tipos de filtros: variedade de materiais a serem filtrados. Diferentes condições de operação dos processos.



Introdução

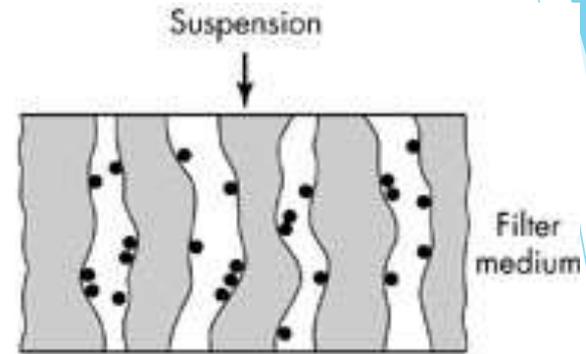
Mecanismos de Filtração

Filtro de torta



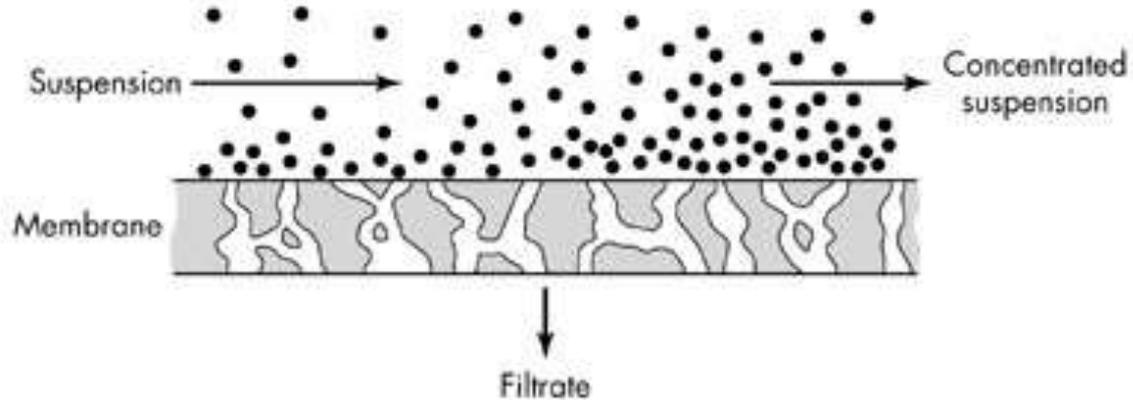
(a)

Filtro clarificador



(b)

Filtro de fluxo transversal



(c)

Introdução

Mecanismos de Filtração

Força motriz: diferença de pressão.

Classificação dos filtros pela força motriz:

- Filtros que operam com P superior a atmosférica – ação força gravitacional (bomba) ou centrífuga.
- Filtros que operam com P atmosférica.
- Filtros que operam á vácuo – mais utilizados na indústria.

Introdução

Os filtros podem funcionar:

por ação da gravidade, o líquido flui devido a existência de uma coluna hidrostática;

por ação de força centrífuga;

por meio da aplicação de pressão ou vácuo para aumentar a taxa de fluxo.

Introdução

Mecanismos de Filtração

Filtros de torta: separam grandes quantidades de sólidos em forma de torta ou lodos.

Dispositivos para lavagem da torta.

Filtros clarificadores: separam pequenas quantidades de sólidos para produzir gás limpo ou líquido transparente (bebidas).

Filtros de fluxo transversal: a suspensão da alimentação flui sobre pressão com velocidade alta atravessando o meio filtrante.

Forma camada fina de sólidos na superfície do meio. Parte do líquido passa pelo meio como filtrado. Suspensão mais concentrada.

Separação e concentração de partículas coloidais.

Filtro de torta

No início da filtração algumas partículas sólidas entram nos poros do meio filtrante e ficam imobilizadas.

Depósito de partículas sólidas sobre a superfície do meio filtrante.

Formação da torta de sólidos: realiza a filtração e não o meio filtrante.

Torta: aumento da espessura: necessário retirar periodicamente.

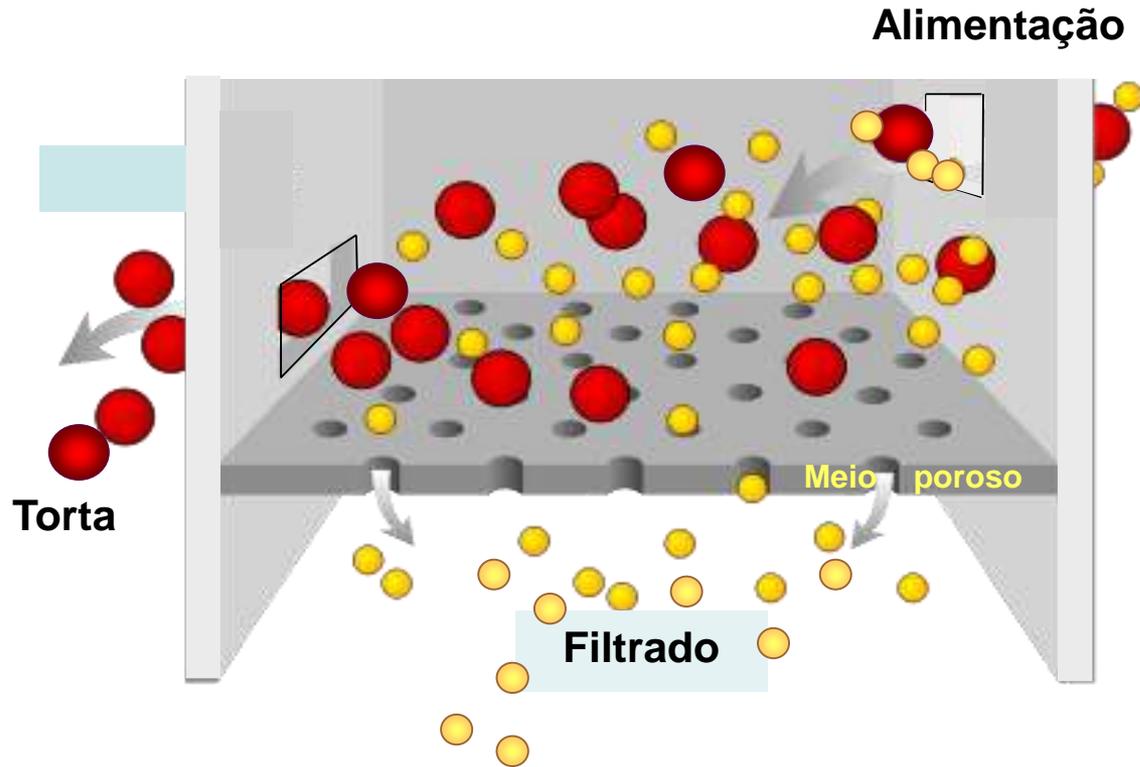
Filtros de torta: separações sólido-líquido.

Podem operar com pressão maior que a atmosférica e a vácuo.

Operam fluxo contínuo ou batelada.

Maioria é batelada: dificuldade de descarregar sólidos contra uma pressão positiva.

Filtro de torta



Ele separa as partículas em uma fase sólida (“**torta**”) e permite o escoamento de um fluido claro (“**filtrado**”).

Filtro de pressão descontínuos



Filtro Prensa

- Utilizam uma elevada pressão diferencial através do meio filtrante para conseguir filtração rápida, econômica com líquidos viscosos ou sólidos finos.
- Conjunto de placas desenhadas para proporcionar uma série de câmaras ou compartimentos para coletar os sólidos.
- Placas são cobertas pelo meio filtrante – lona.
- Suspensão é introduzida em cada compartimento sobre pressão.
- O líquido atravessa a lona e sai por um tubo de descarga.
- Torta fica retida entre as placas com sólidos úmidos.

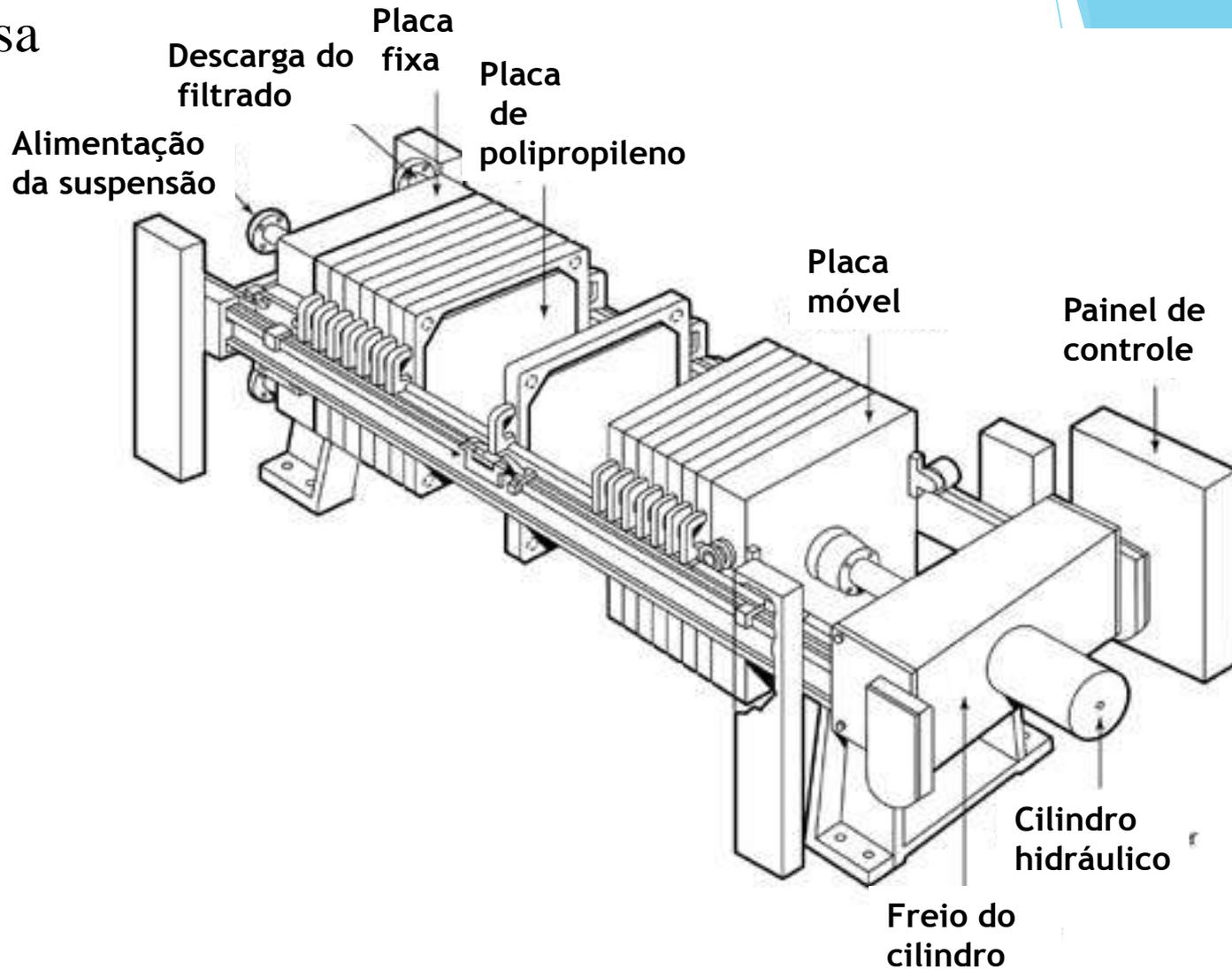
Filtro de pressão descontínuos

Filtro Prensa

- Placas podem ser quadradas, circulares, verticais ou horizontais.
- Filtro é formado por placas e quadros
- Placas quadradas são alternadas com os quadros abertos.
- Placas e os quadros estão acopladas por parafusos ou prensa hidráulica.
- Suspensão entra por um extremo do conjunto de placas e quadros, passa por uma esquina até o canal longitudinal que percorre o equipamento.
- Sólidos são depositados nos lados cobertos da tela das placas.
- Líquido passa pelas telas, desce pela placa e sai do filtro prensa.

Filtro de pressão descontínuos

Filtro Prensa



Filtro Prensa - Operação

- Acomoda-se as placas e quadros: montagem da prensa.
- Alimentação da suspensão por meio de uma bomba ou tanque pressurizado (3 a 10 atm).
- Filtração da suspensão até que não saia mais líquido na descarga ou a pressão de filtração aumente subitamente: quadros cheios de sólidos.
- Entrada do líquido de limpeza para extrair impurezas solúveis dos sólidos.
- Insuflação da torta com vapor ou ar para deslocar todo líquido residual.
- Abertura da prensa: retirada da torta do meio filtrante.
- Torta: cai em uma esteira transportadora de sólidos para um depósito de armazenamento.

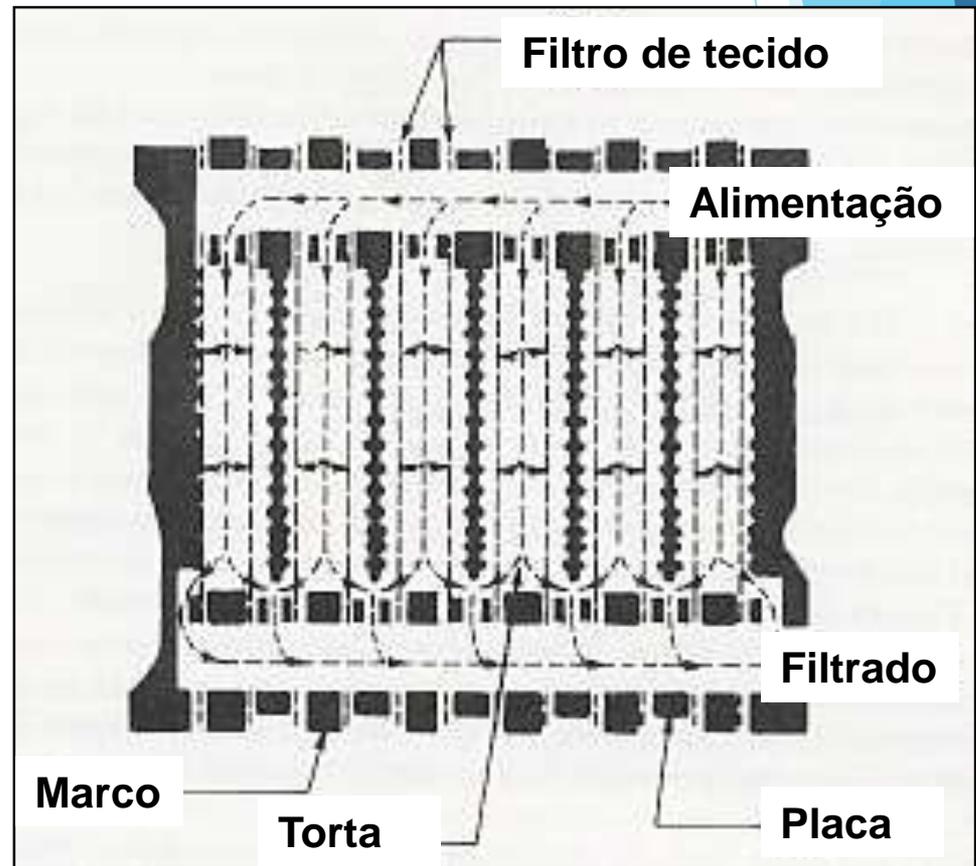
Filtro Prensa - Operação



<https://www.youtube.com/watch?v=3egFDlWXH-w>

Filtro Prensa - Operação

- Industrialmente: operação automatizada.
- Limpeza da torta pode durar várias horas: líquido vai por caminhos mais fáceis, evita partes com empacotamento da torta.

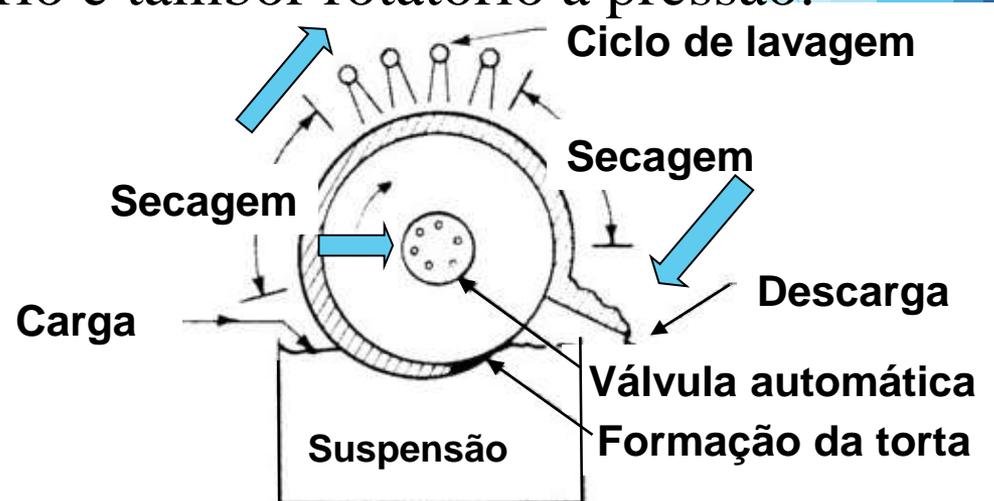


Filtro-Prensa



Filtros contínuos a vácuo

- Líquido é puxado por um meio filtrante em movimento
- Meio filtrante: depósito de torta
- Torta é separada da zona de filtração, lavada, seca por aspiração e volta ao meio filtrante para reiniciar outra filtração.
- Saída de líquidos e sólidos de forma contínua.
- Pressão diferencial do meio filtrante não é elevada (250 – 500 mmHg).
- Tipos de filtro: tambor rotatório e tambor rotatório a pressão.



Filtro de tambor a vácuo, rotativo e contínuo.

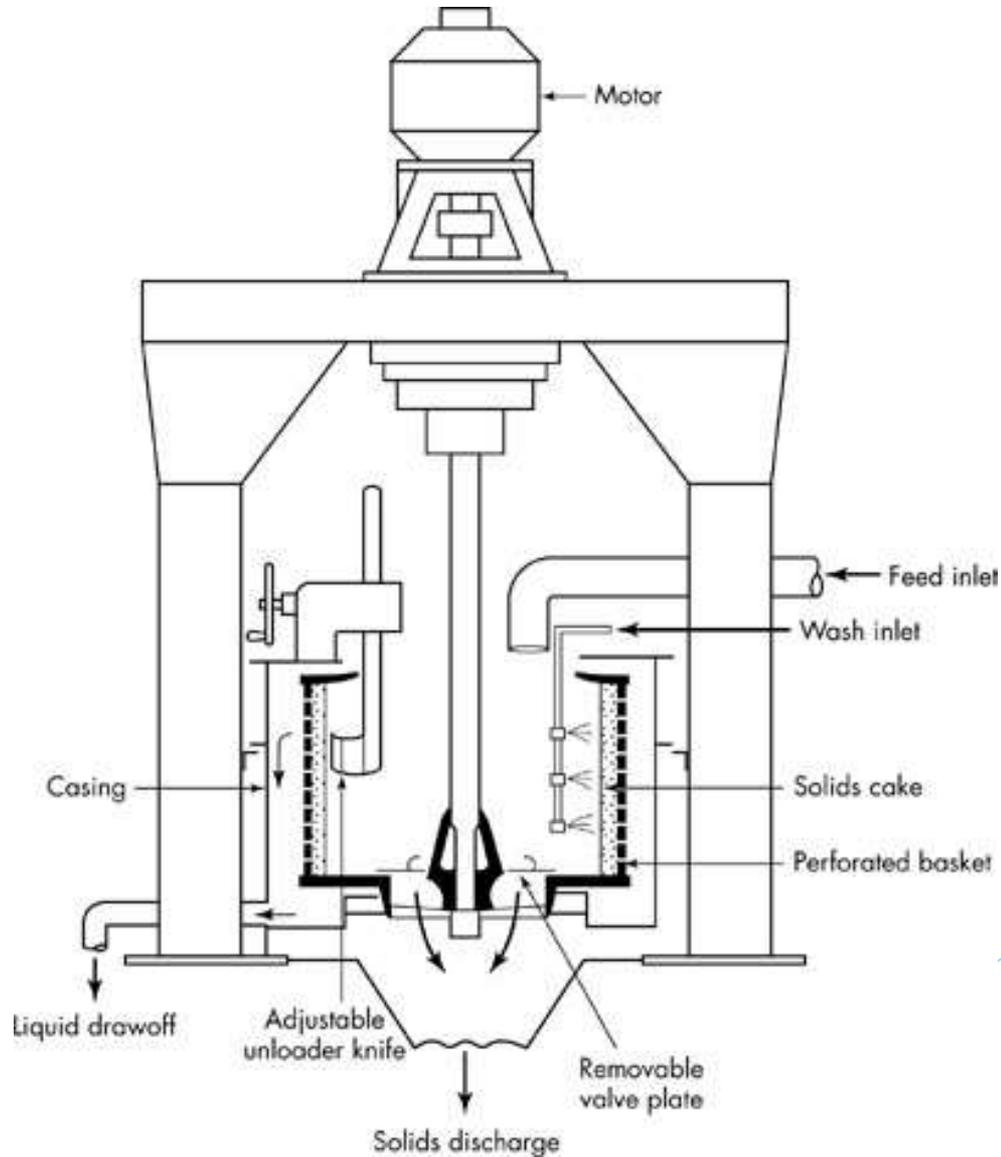


Filtração centrífuga

- Sólidos que formam uma torta porosa podem ser separados dos líquidos em uma centrífuga filtrante.
- Suspensão é alimentada em uma cesta rotatória com parede perfurada recoberta com meio filtrante (lona ou tela metálica).
- Pressão resultante da ação centrífuga obriga o líquido passar pelo meio filtrante, ficando os sólidos retidos.
- Quando não alimentada e a centrifugação continua, a torta de sólidos fica livre da maior parte do líquido residual.
- Torta mais seca comparada ao filtro prensa e vácuo.
- Tipos de centrífugas de filtração: máquinas suspensas que operam de forma descontínua, máquinas automáticas de ciclo curto e centrífugas contínuas transportadoras.

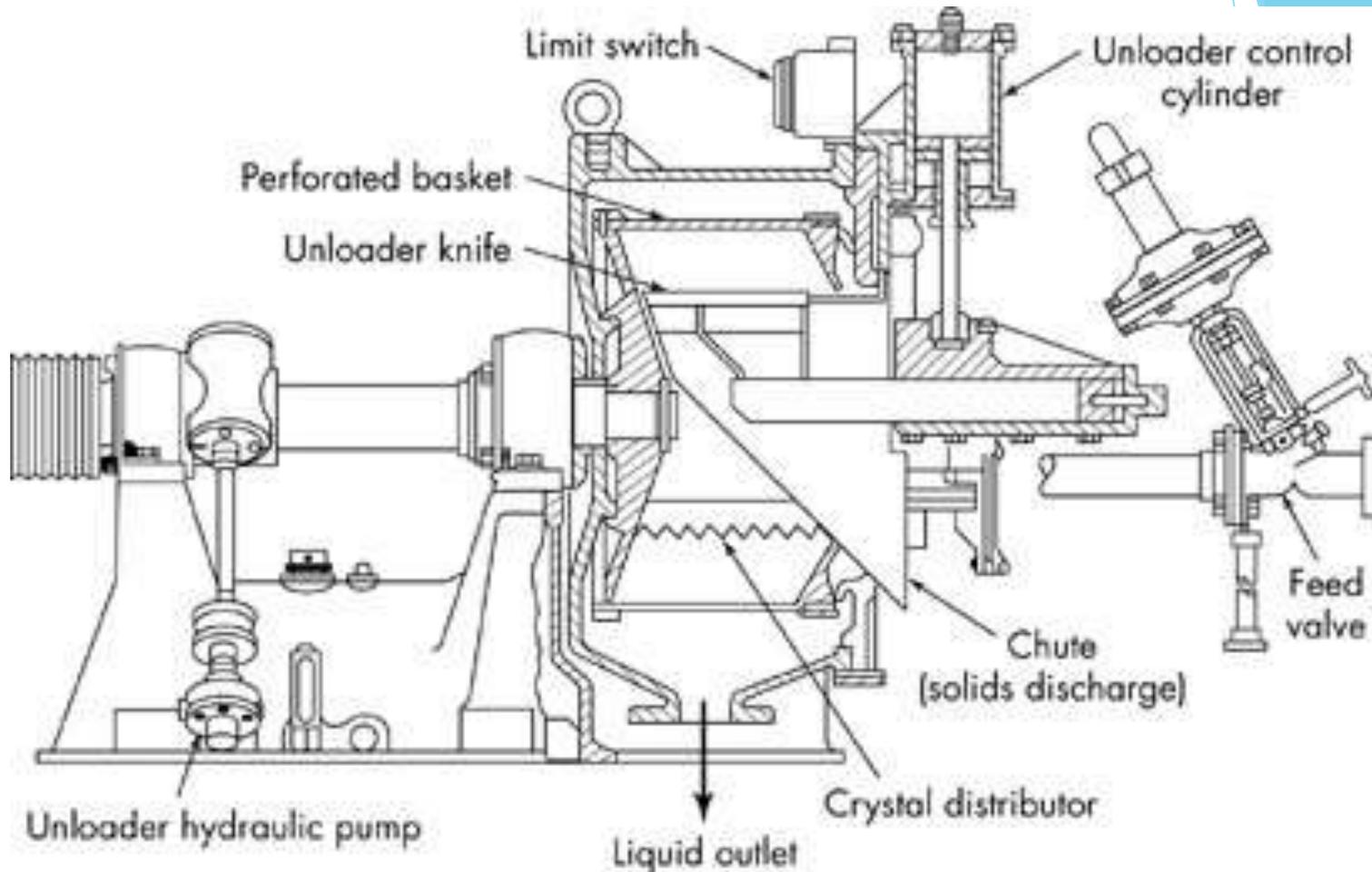
Filtração centrífuga

- máquinas suspensas que operam de forma descontínua,



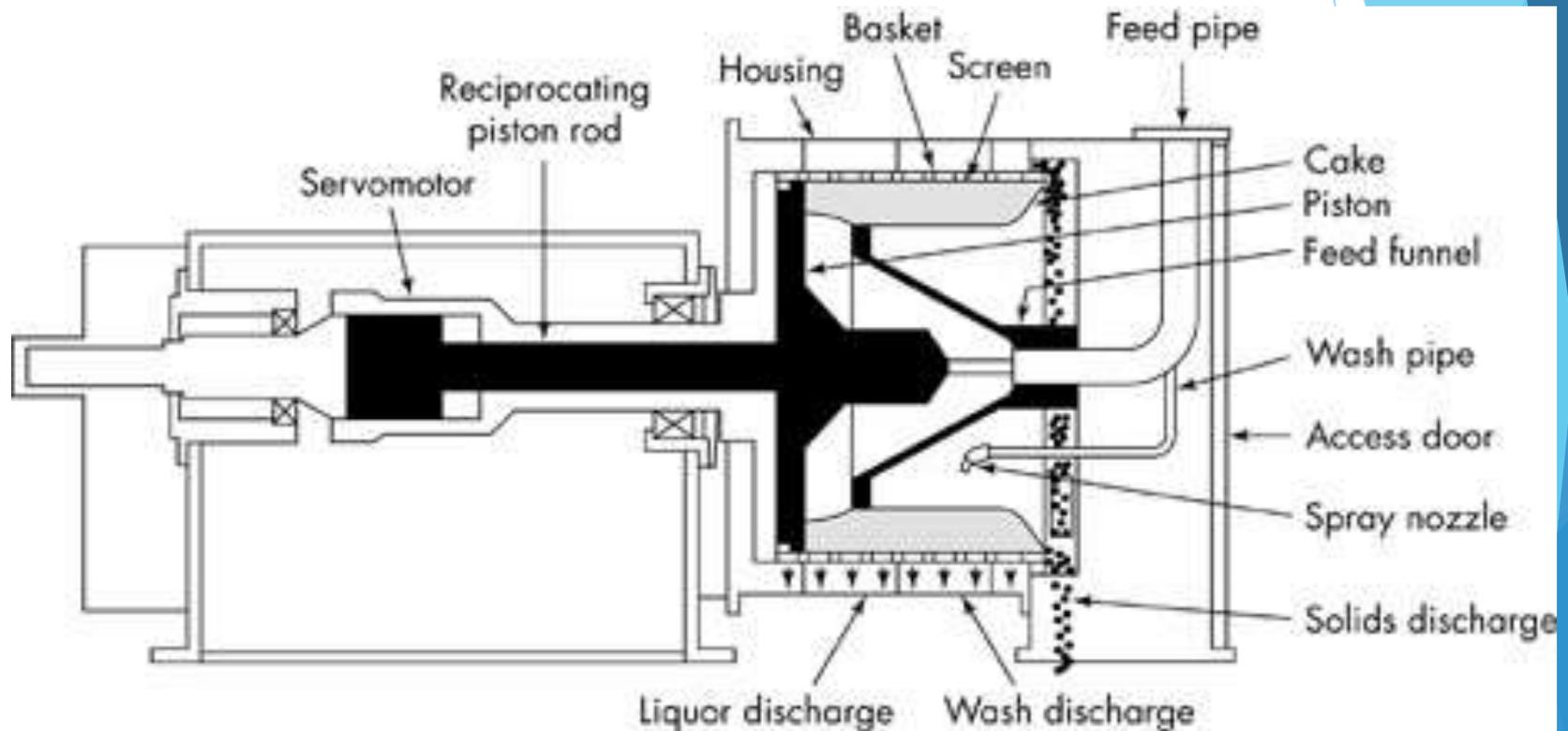
Filtração centrífuga

- Centrífuga automática descontínua



Filtração centrífuga

- Centrífuga transportadora contínua



Meios filtrantes

1. Reter os sólidos a serem filtrados: filtrado claro.
2. Não obstruir-se.
3. Ser química e fisicamente resistentes.
4. Permitir que a torta formada se desprenda de forma completa e limpa.
5. Não ser excessivamente caro.

Meio filtrante:

- Industrial: tela de lona
- Líquidos corrosivos: tela de lã, de aço inoxidável, vidro ou papel.
- Fibras sintéticas: náilon, propileno e poliéster – elevada resistência química.

Fundamentos da filtração – filtro prensa

Um ciclo completo de operação em um filtro prensa compreende três etapas:

1. a filtração no tempo t ,
2. a lavagem da torta no tempo t_L (ocasionalmente desnecessária)
3. descarga, limpeza e montagem do filtro no tempo t_D .

A produção ou capacidade do filtrado, C , é expressa por:

$$C = \frac{V}{t + t_L + t_D}$$

V = Volume do filtrado

$t + t_L + t_D$ = tempo do ciclo completo

Fundamentos da filtração

FILTRAÇÃO COM TORTAS INCOMPRESSÍVEIS

A resistência oferecida pela torta, como apresentado, depende da sua compressibilidade. Todavia, na maioria das situações de interesse industrial a filtração é conduzida sob queda de pressão constante.

Por via de consequência, a Equação $\Delta p = p - p_1$ (para sistemas com tortas compressíveis) é retomada como:

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu}{\text{Área} \cdot (\Delta p)} \left[\langle \alpha \rangle s_p \rho \gamma \frac{V}{2 \cdot (\text{Área})} + R_m \right]$$

Fundamentos da filtração

Torta de filtração compressível e incompressível

FILTRAÇÃO COM TORTAS COMPRESSÍVEIS

α = Resistência específica da torta (bolo).

Se α é independente de ΔP a torta é incompressível. Mas usualmente α aumenta com ΔP , pois a torta geralmente é compressível.

Assim:

$$\alpha = \alpha_0 (-\Delta P)^S$$

Sendo:

- α_0 - Resistência específica da torta em pressão nula; é uma constante;
- S – Fator de compressibilidade da torta, constante em domínios moderados de pressão;
- Quando $s = 0$, tortas incompressíveis.
- Para s entre 0 e 1, tortas compressíveis.

Exercício

Filtrações a pressão constante foram realizadas para uma suspensão de CaCO_3 em H_2O sendo obtidos os resultados apresentados na tabela. A superfície total de filtração foi 440 cm^2 , a massa de sólidos por volume de filtrado foi de $23,5 \text{ g/L}$ e a temperatura foi de 25 C ($\mu\text{H}_2\text{O}=0,886 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}$). Calcule os valores de α e R_m em função da diferença de pressão e elabore uma correlação empírica entre α e P .

Experimento:	1	2	3	4	5
ΔP	5×10^4	1×10^5	2×10^5	4×10^5	8×10^5
V(L)	t1	t2	t3	t3	t5
0,5	13,7	8,2	4,9	2,9	1,7
1	46,7	28,2	17,2	10,4	6,3
1,5	99,1	60,2	36,7	22,3	13,6
2	170,8	104,1	63,7	38,8	23,6
2,5	261,8	159,9	97,9	59,8	36,5
3	372,2	227,5	139,4	85,3	52,1
3,5		307,1	188,3	115,3	70,5
4		398,6	244,5	149,8	91,7
4,5			308,1	188,8	115,6
5			378,9	232,3	142,4
5,5				280,4	171,9
6				332,9	204,1