

Beneficiamento gravimétrico

Beneficiamento em meios densos

Prof. Régis SEBEN PARANHOS



**Tecnologia
em Mineração**

Concentração meio-denso

Introdução

- Concentração gravimétrica emprega ar ou água como meio de separação;
- Como todos os minérios são mais densos, as velocidades de translação das partículas apresentam mesma direção e sentido que a aceleração do campo;
- A concentração em meio denso é mais precisa, pois a separação é realizada em um fluido com densidade intermediária às dos constituintes que se deseja separar.

Meios densos

Aspectos gerais

- Existência de um intervalo amplo de densidade de minerais: 0,4 a 19 g/cm³;
- Água é usada somente para materiais leves, como plásticos, madeira etc;
- Densidade menor que a água, usar metanol (meio leve); (tab. pág. 59);
- A maior parte dos minérios apresentam densidade superior à da água, sendo necessária a utilização de líquidos densos

Líquidos densos

Materiais

- Suspensões aquosas:
 - cloreto de cálcio
(final século 19, hoje inviável)
 - densidade máxima $1,35\text{g/cm}^3$
 - corrosivo
 - nitrate de cálcio p/plásticos (hoje)
- Líquidos orgânicos:
 - laboratório $0,86$ a $3,3\text{g/cm}^3$
 - baixa viscosidade
 - alta estabilidade
 - tóxicos (não usado na indústria)

Suspensões

Definição

- Mistura de sólidos finamente cominuídos em um líquido (água);
- Requisitos necessários para os sólidos formadores de densos-densos são:
 - Resistência à degradação por abrasão;
 - Baixa abrasividade;
 - Resistência à corrosão;
 - Densidade adequada;
 - Facilidade de recuperação
 - Baixo custo.

Principais materiais

Circuitos a meio-denso

	Densidade do material puro (g/cm ³)	Densidade máxima do meio denso (g/cm ³)	Granulometria típica empregada
Ferrosilício	6,7-7,1	3,8	-210 µm
Galena (PbS)	7,6	3,3	-210 µm
Magnetita (Fe ₃ O ₄)	5,2	2,4	-45 µm
Pirita (FeS ₂)	5,2	2,4	-
Barita (BaSO ₄)	4,7	2,0	-75 µm
Quartzo (SiO ₂)	2,6	1,4	425 x -150µm

Densidade do meio denso

Determinação

$$\rho_m = \frac{100}{\left[\frac{C_m}{\rho_s} + (100 - C_m) \right]}$$

ρ_m = densidade relativa do meio denso;

ρ_s = densidade relativa dos sólidos;

C_m = percentagem de sólidos em massa no meio denso.

Estabilidade e reologia do meio denso

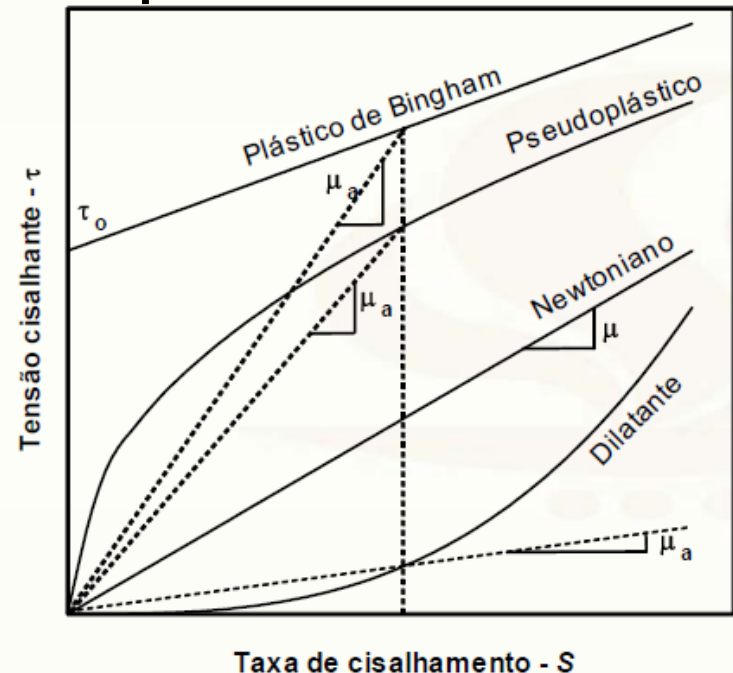
Aspectos gerais

- Estabilidade está relacionada com a tendência dos sólidos formadores de sedimentarem;
- Apresenta relação inversa com a velocidade de sedimentação dos sólidos;
- Muito importante **EXISTIR** alta estabilidade;
- Alta estabilidade resulta:
 - Alta concentração de sólidos no meio-denso;
 - Reduzido tamanho de partículas;
 - Formato irregular de partículas;
 - Presença de contaminantes de baixa densidade.

Estabilidade e reologia do meio denso

Comportamento reológico

- Separações em meio-denso utilizam sólidos finamente cominuídos dispersos em água (fluido newtoniano);
- Quando a concentração de sólidos aumenta, a suspensão passa a apresentar comportamento não-newtoniano;
- Em geral, o comportamento encontrado se aproxima ao de fluidos de Bingham ou pseudoplásticos com tensão crítica de escoamento;



Influência da reologia na separação

Aspectos gerais

Motivos para a separação **não** ocorrer:

- Tensão mínima para o início do movimento das partículas;
- Tempo insuficiente para a separação + efeito da viscosidade;
- Ação de correntes dispersivas, causando remistura....

Processo e equipamentos de meio-denso

Aspectos gerais

- Processos precisos, semelhantes aos ensaios de afunda-flutua;
- **Complicadores:**
 - coleta dos afundados e flutuados;
 - manutenção da densidade do meio;
 - recuperação do meio-denso;
 - separação de partículas + finas que sedimentam através do meio, e apresentam alta viscosidade.

Etapas do processo de separação em de meio-denso

- Preparação da alimentação;
- Separação dos produtos flutuado e afundado no equipamento a meio-denso;
- Recuperação do material formador do meio-denso dos produtos separados;
- Regeneração da polpa de meio-denso.

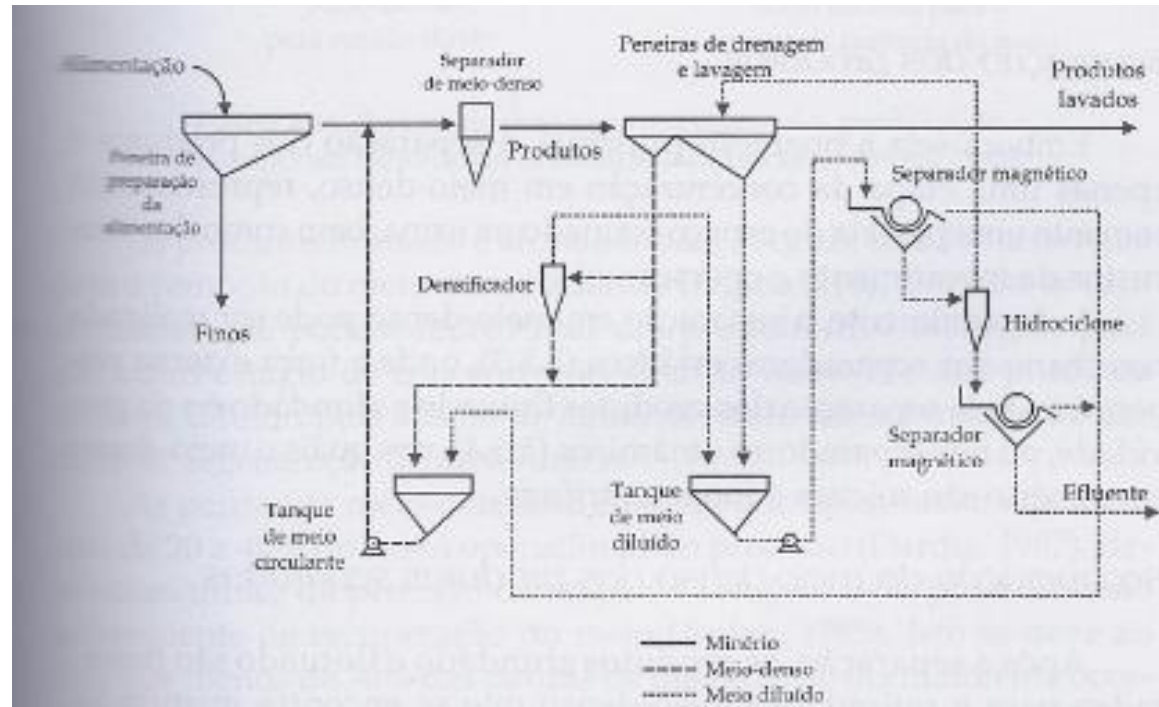


Figura 5.15. Etapas de um processo de concentração a meio-denso (modificado de Cocker e outros, 1998).

Separadores estáticos

Aspectos gerais

- Força dominante é a **gravidade**;
- Tanques onde meio-denso e minérios são alimentados continuamente, ocorrendo separação (flutuados e afundados);

- Necessidade de:

- mecanismo para elevar a fração que afunda
- agitação para uniformizar densidade

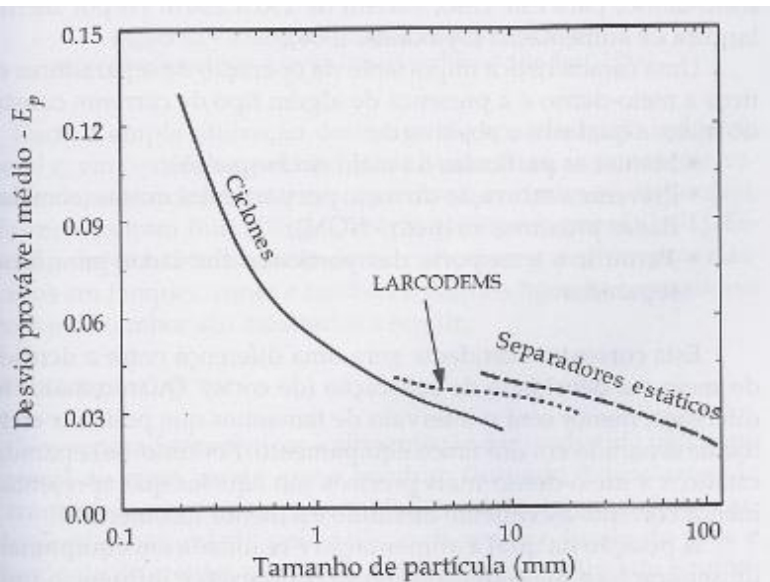


Figura 5.18. Efeito do tamanho de partícula no desvio provável médio em separadores a meio-denso estáticos e dinâmicos (modificado de Osborne, 1988).

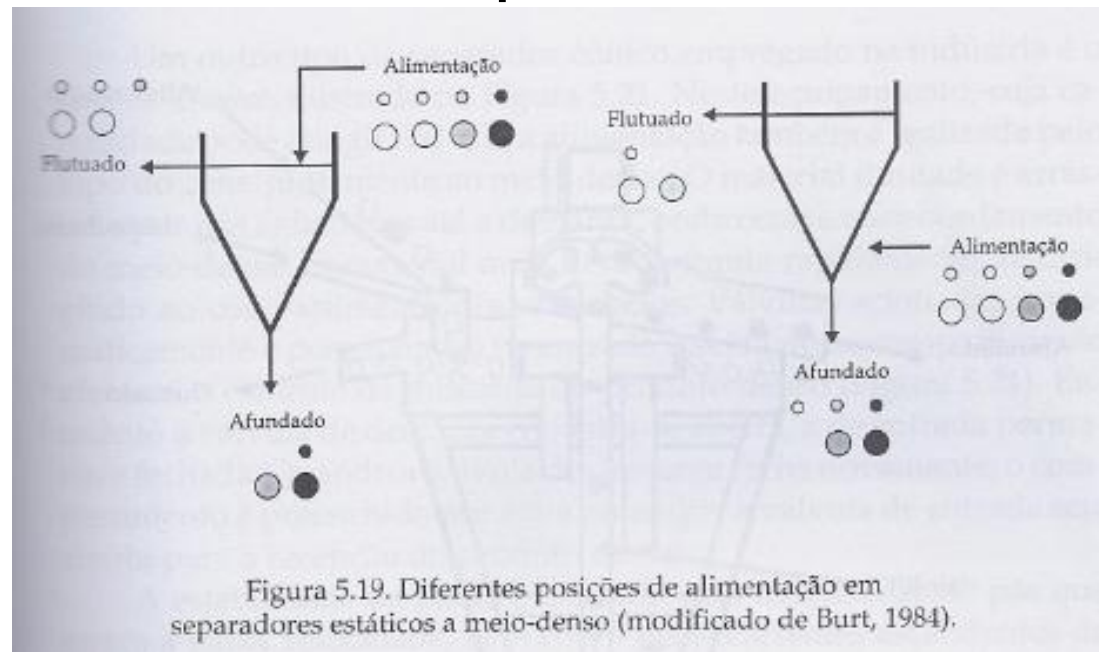
Efeito do tamanho das partículas no desvio médio (E_p)

Separadores estáticos

Características

- Presença de correntes com objetivo de:
- Manter as partículas em suspensão;
 - Prevenir a saturação do meio por partículas mistas (densidades próximas ao NGM);
 - Permitir o transporte dos flutuados para fora do separador.

Diferentes posições de alimentação em separadores estáticos



Separadores estáticos

Tipos principais

- Separadores cônicos;
- Separadores com descarga de tambor e híbridos.

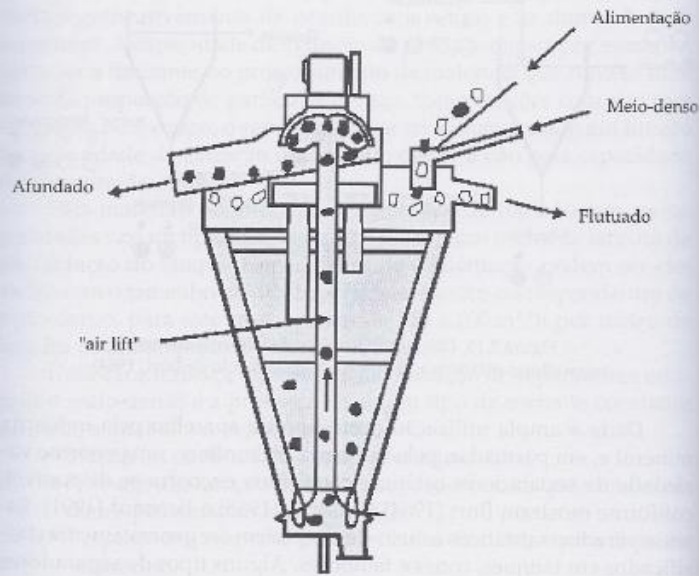


Figura 5.20. Separador cônico Wemco com descarga de air lift.

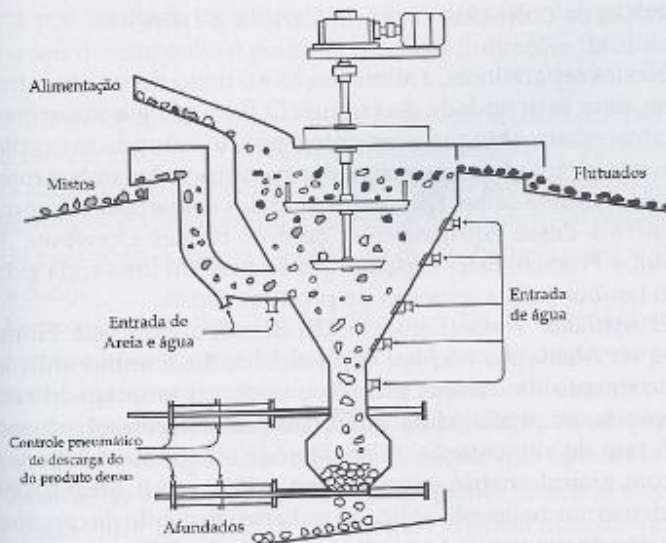


Figura 5.21. Diagrama esquemático do Cone de Chance (modificado de Horsfall, 1980).

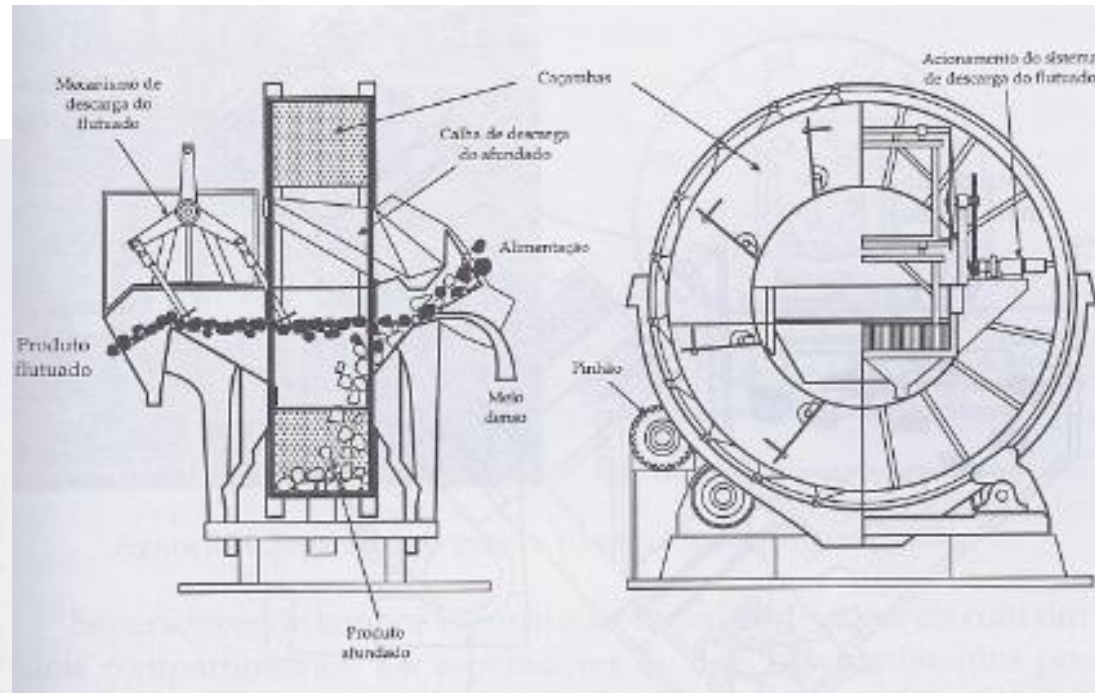


Figura 5.22. Diagrama esquemático do separador Teska.

Separadores dinâmicos

Principais equipamentos

De acordo com a geometria, são classificados em:

- Cilindros cônicos: ciclones a meio-denso;
- Cilindros: separador Vorsyl, Dynawhirlpool, Tri-flo e o *Larcodems*.

De acordo com o tipo de tubo de alimentação e descarga, são classificados em:

- Alimentação em voluta (menor desgaste e maior precisão);
- Alimentação tangencial.

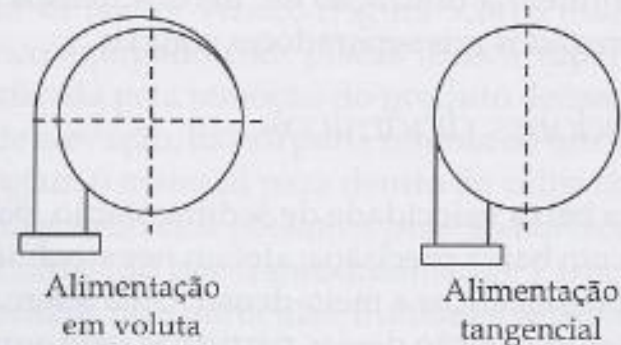


Figura 5.25. Tipos de alimentação e descarga de separadores dinâmicos.

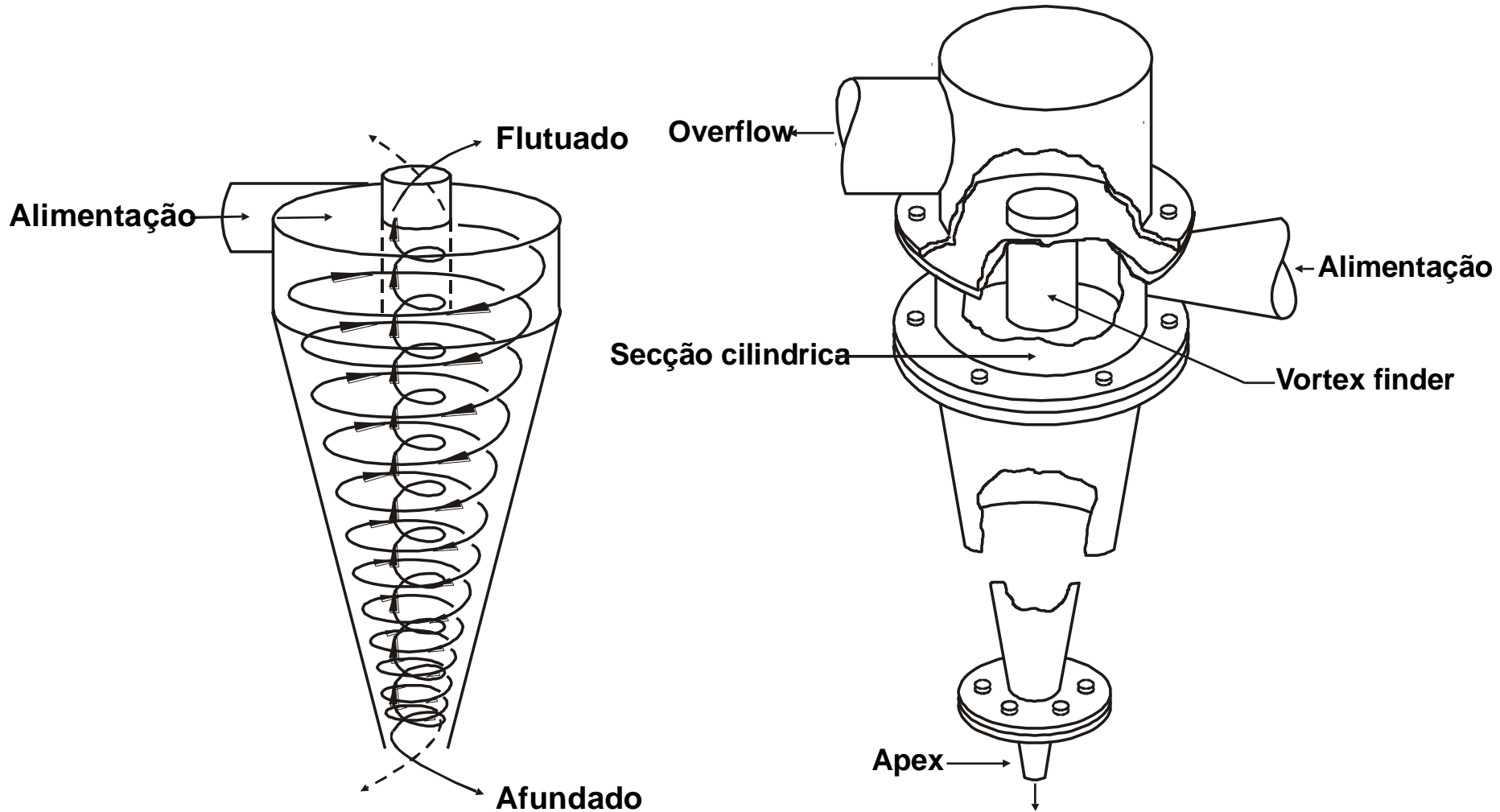
Ciclones a meio denso

Princípio de funcionamento

- Formado por duas seções justapostas: uma cilíndrica e outra cônica;
- Na seção cilíndrica está o *vortex finder*, pelo qual o produto leve é retirado;
- Na seção cônica há o *apex*, que permite a retirada do produto denso;
- Alimentação + meio denso é realizada por um tubo posicionado tangencialmente ao corpo do ciclone, próximo ao topo.

Processos gravimétricos

Hidrociclone



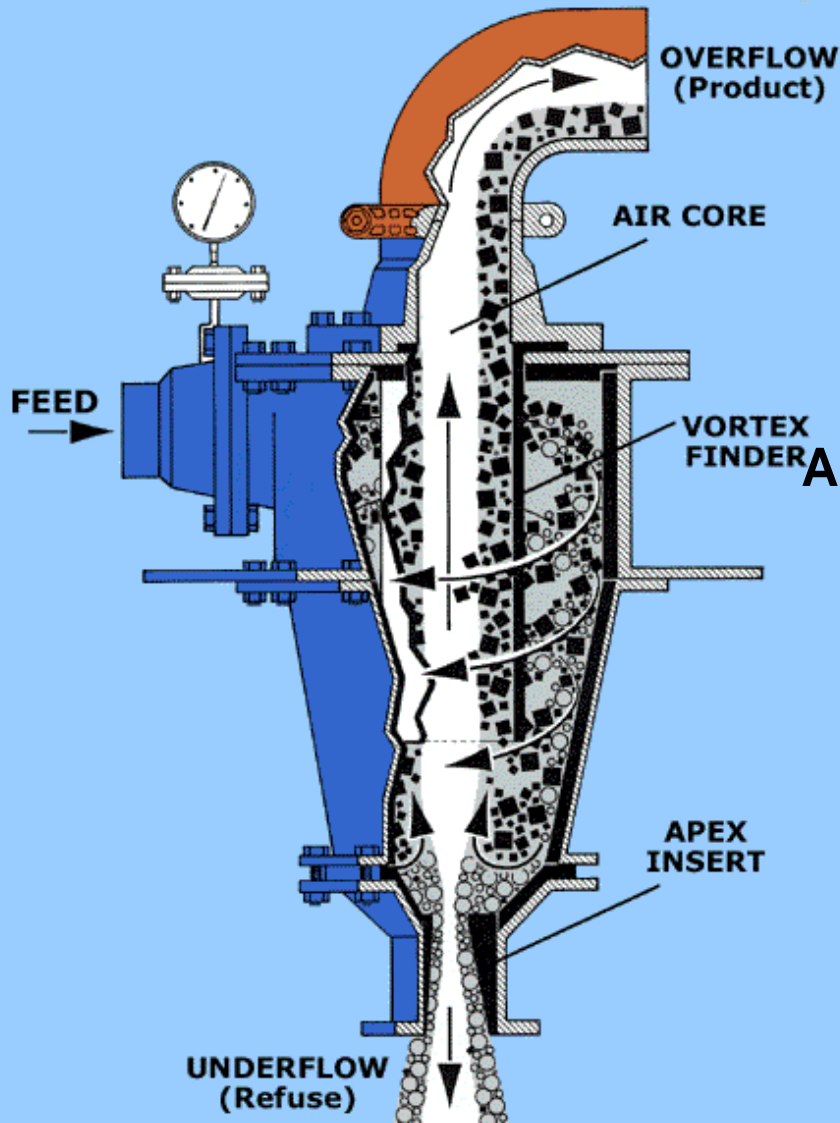
Processos gravimétricos

Nomes de hidrociclones

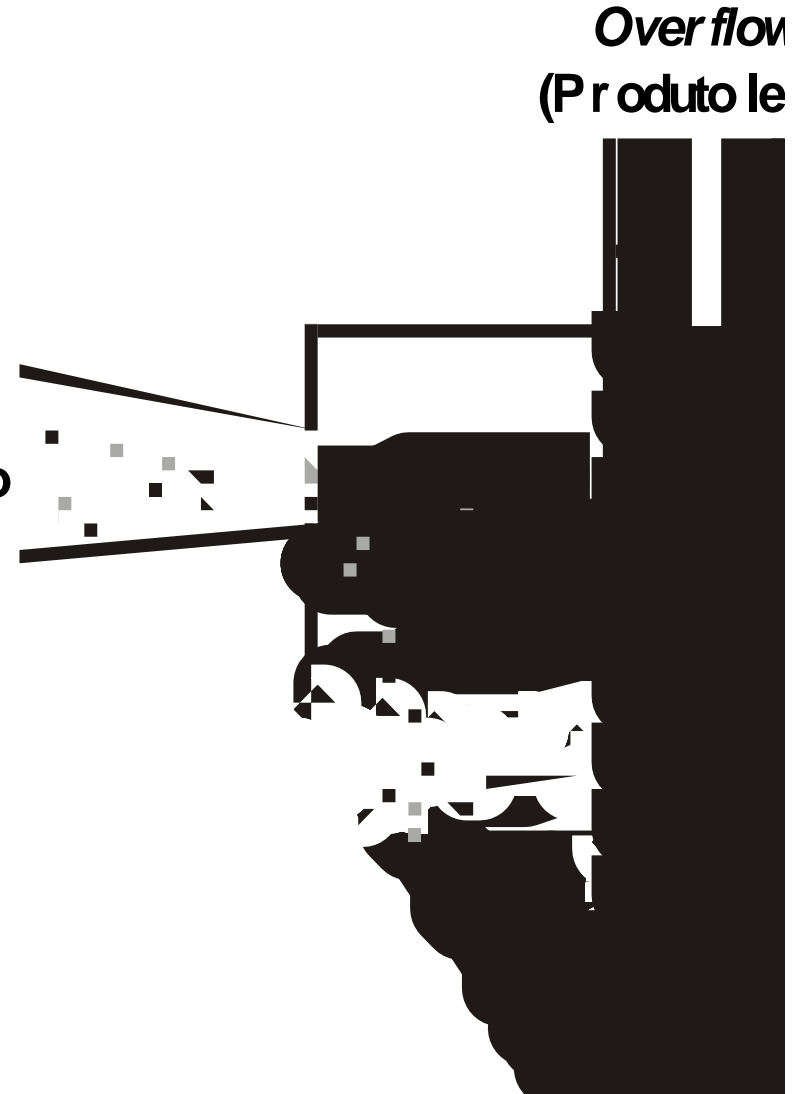
Hidrociclone autógeno;
Hidrociclone fundo chato;
Hidrociclone de fundo plano;
WOC (water-only cyclones)
CBC (circulating bed concentrator)
Wide-angle cyclone;
Hidrociclone concentrador;
Tricone.

Processos gravimétricos

Hidrociclone autógeno

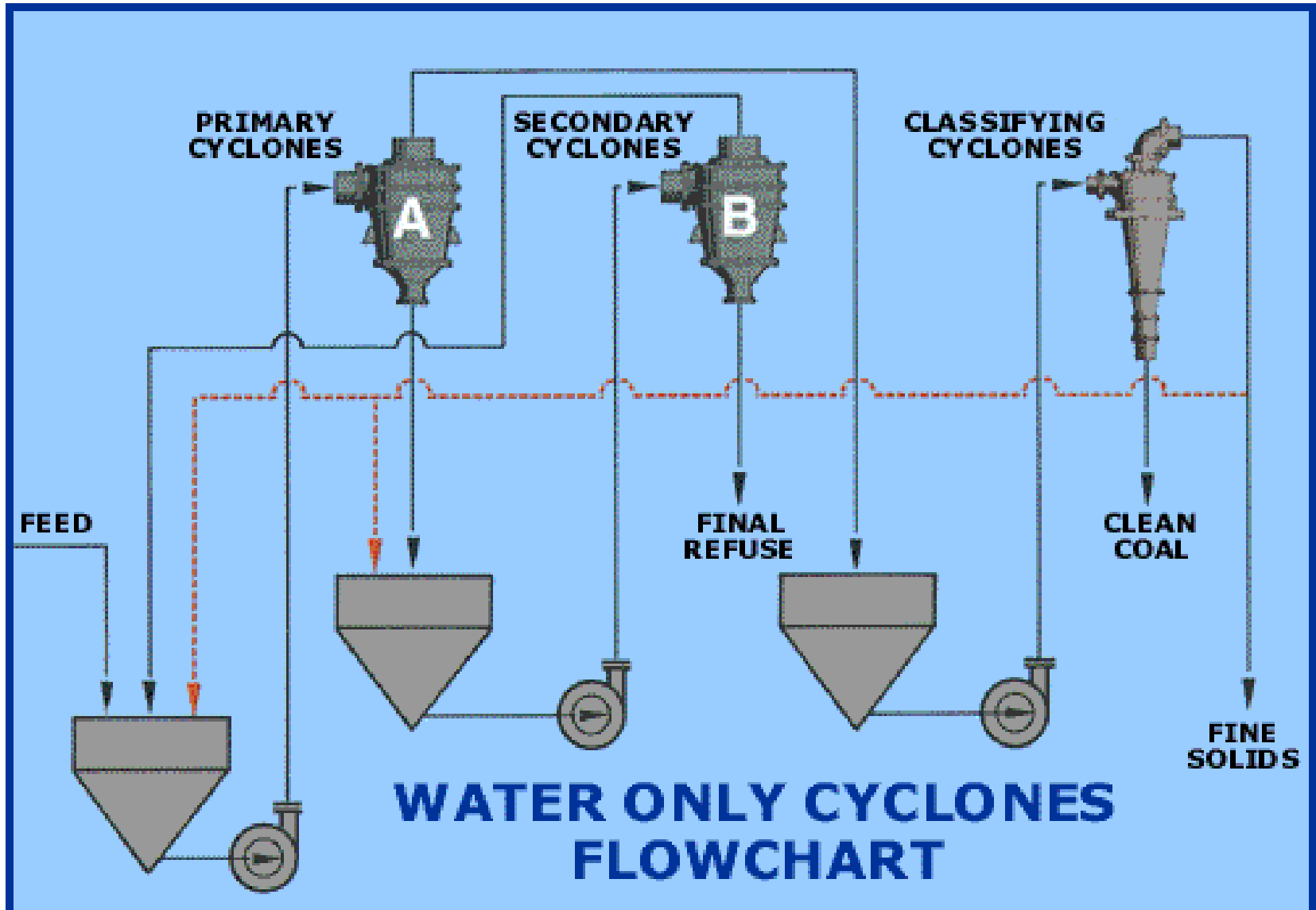


Alimentação



Hidrociclones

Circuito típico



Hidrociclones

Características

- Disponíveis comercialmente com diâmetros da seção cilíndrica de 50 a 600 mm; (800mm)
- O diâmetro do hidrociclone influencia a capacidade e o tamanho de partícula a ser beneficiada;
- Tamanho máximo de partícula recomendado na alimentação é expresso por $D_d/20$ ou, se possível por $D_d/10$.

Hidrociclones

Variáveis operacionais

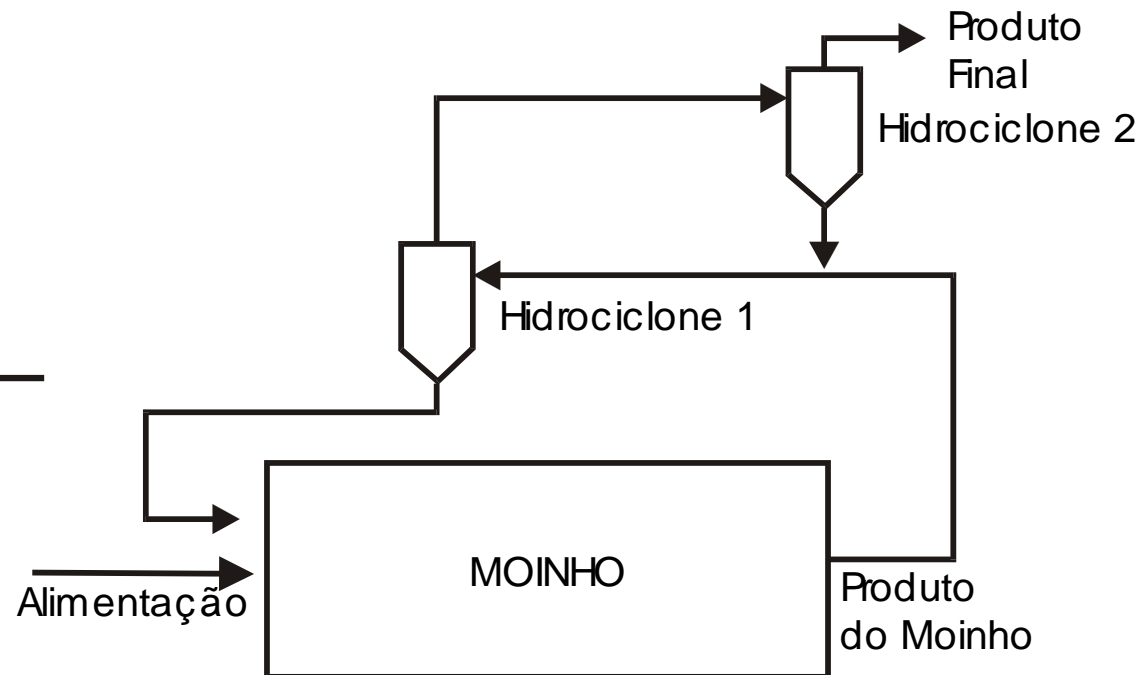
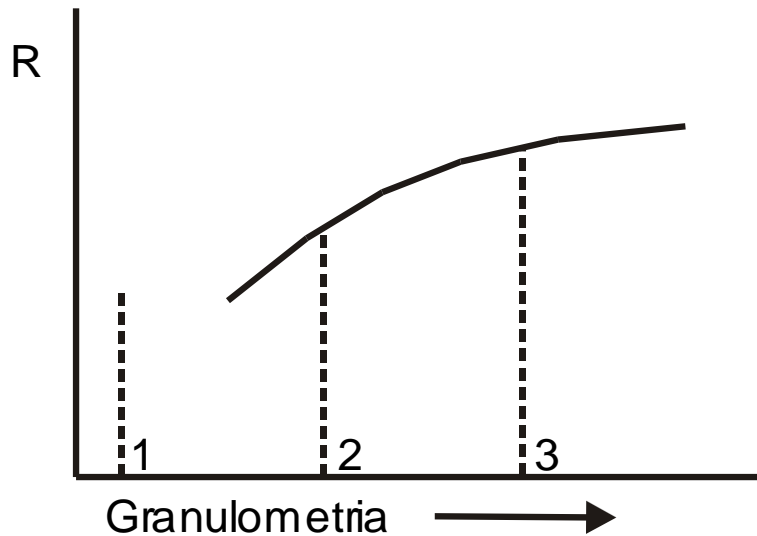
As principais variáveis operacionais são:

- Diâmetro do hidrociclone.
- Distância do vortex finder do corpo do ciclone.
- Diâmetros do vortex finder e apex.
- Concentração de sólidos da polpa.
- Pressão da alimentação.

Hidrociclones

Aplicações

- Espessamento
- Deslamagem
- Corte granulométrico



Hidrociclones

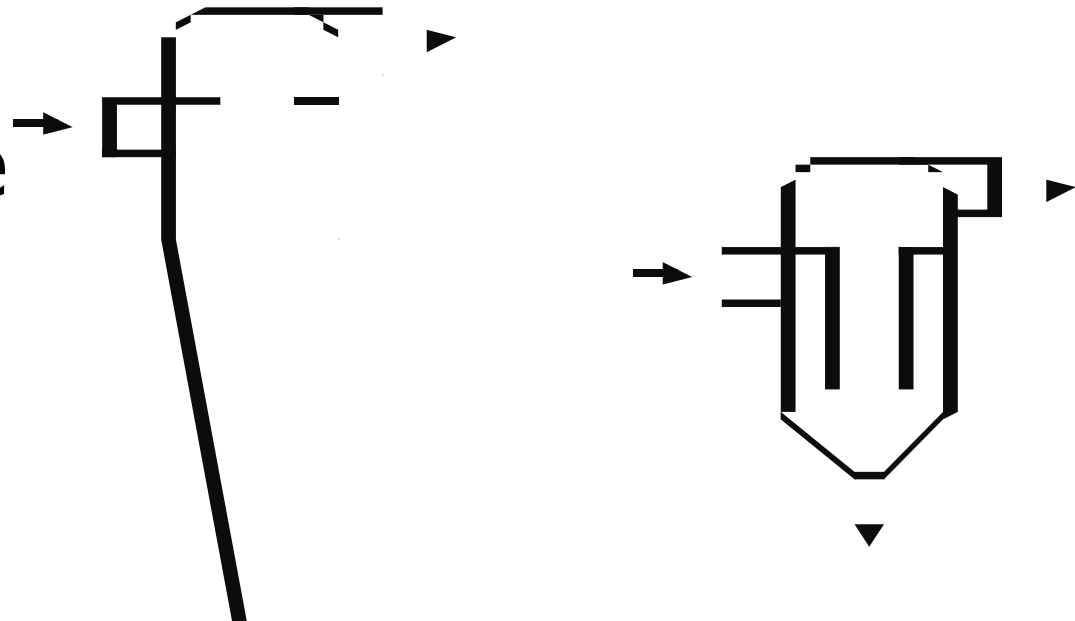
Aplicações

- Pré-concentração de ouro de depósitos de pláceres.
- Minério de ferro.
- Remoção de pirita de carvão.
- Recuperação secundária de materiais.
- Reciclagem de chumbo de baterias.
- etc.

Processos gravimétricos

Hidrociclone autógeno ou concentrador

- Separação baseada predominantemente na granulometria;
- Influência secundária da densidade e da forma das partículas;
- Maior ângulo do cone e *vortex finder* mais longo;
- Ângulos entre 45 e 120° são usados;



Processos gravimétricos

Vantagens dos ciclones autógenos

- Desenho simples não apresentando partes móveis;
- Pequena manutenção; São necessários poucos ajustes durante a operação;
- Opera somente com água; Um sistema de recuperação do meio-denso também não é necessário;
- Requer espaço pequeno; Não necessita peneiramento anterior a utilização;
- Pode beneficiar carvão oxidado até granulometria de 100 malhas (0,149 mm), ao contrário da flotação;
- Separa pirita fina (-0,6 mm) de carvão mais eficientemente do que a flotação.

Processos gravimétricos

Desvantagens dos ciclones autógenos

- Grande consumo de água;
- Eficiência no corte densimétrico não muito alta;
- Não utilizado no beneficiamento de minerais com grande quantidade de *near gravity material (NGM)*;
- Rejeito e concentrado limpos não podem ser obtidos simultaneamente em uma unidade simples.

Hidrociclones

Tipos

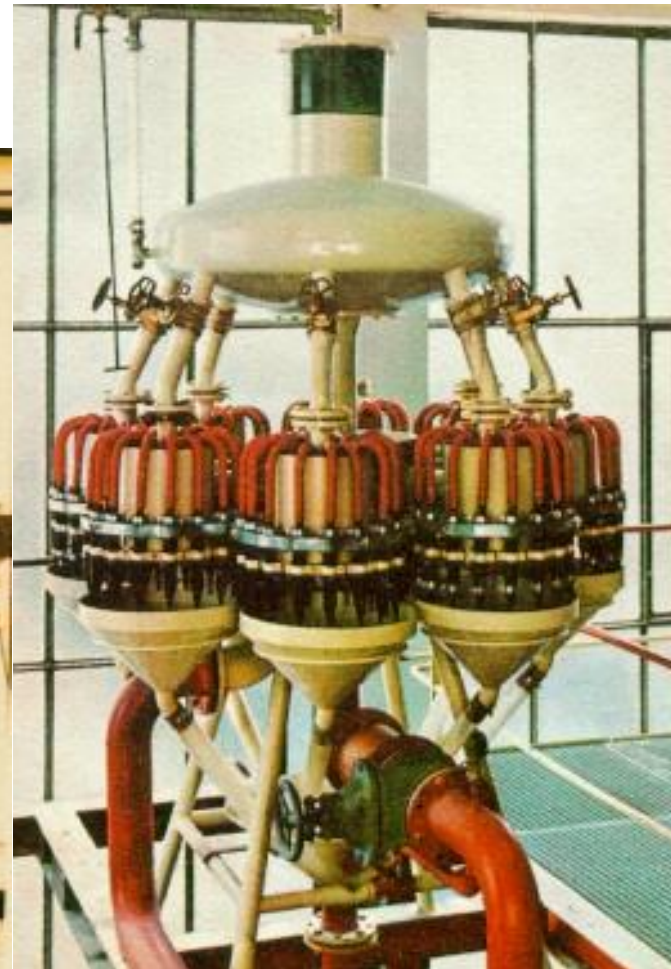
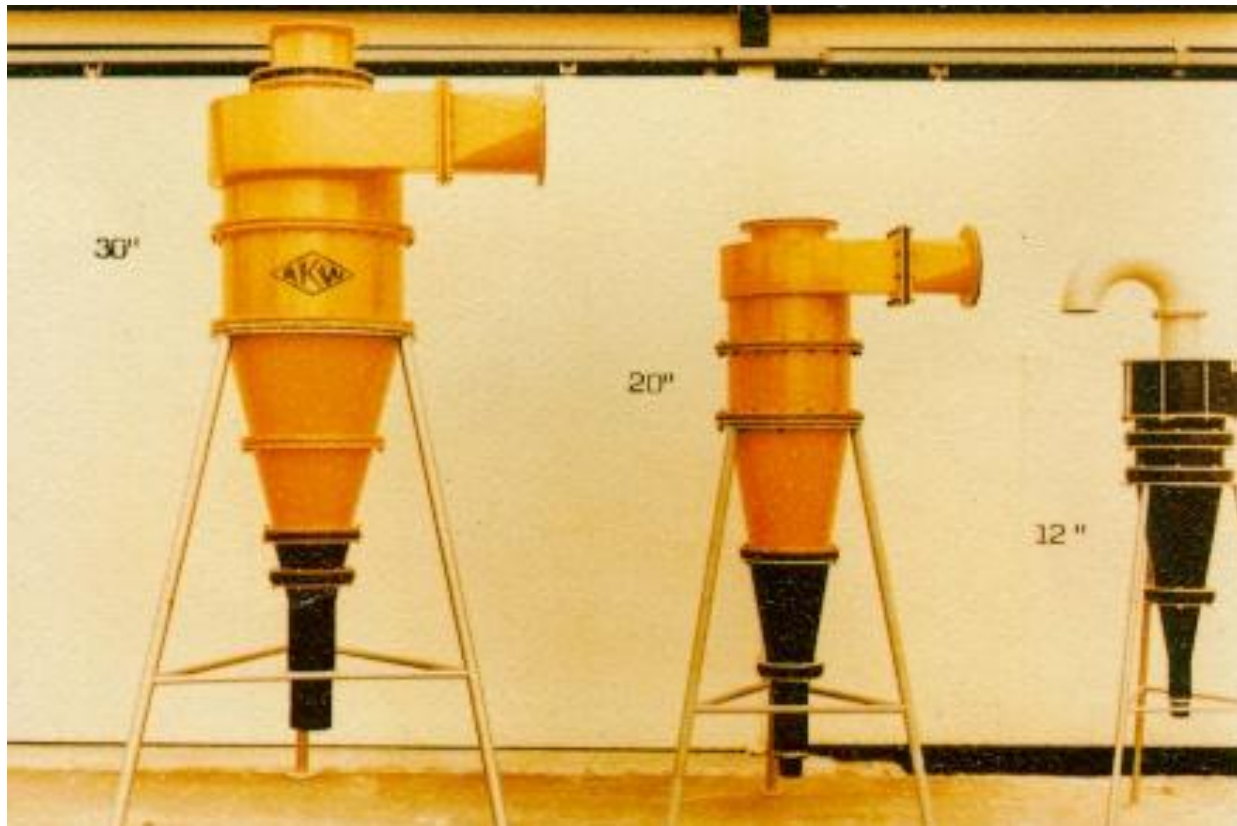
Hidrociclone
Krebs



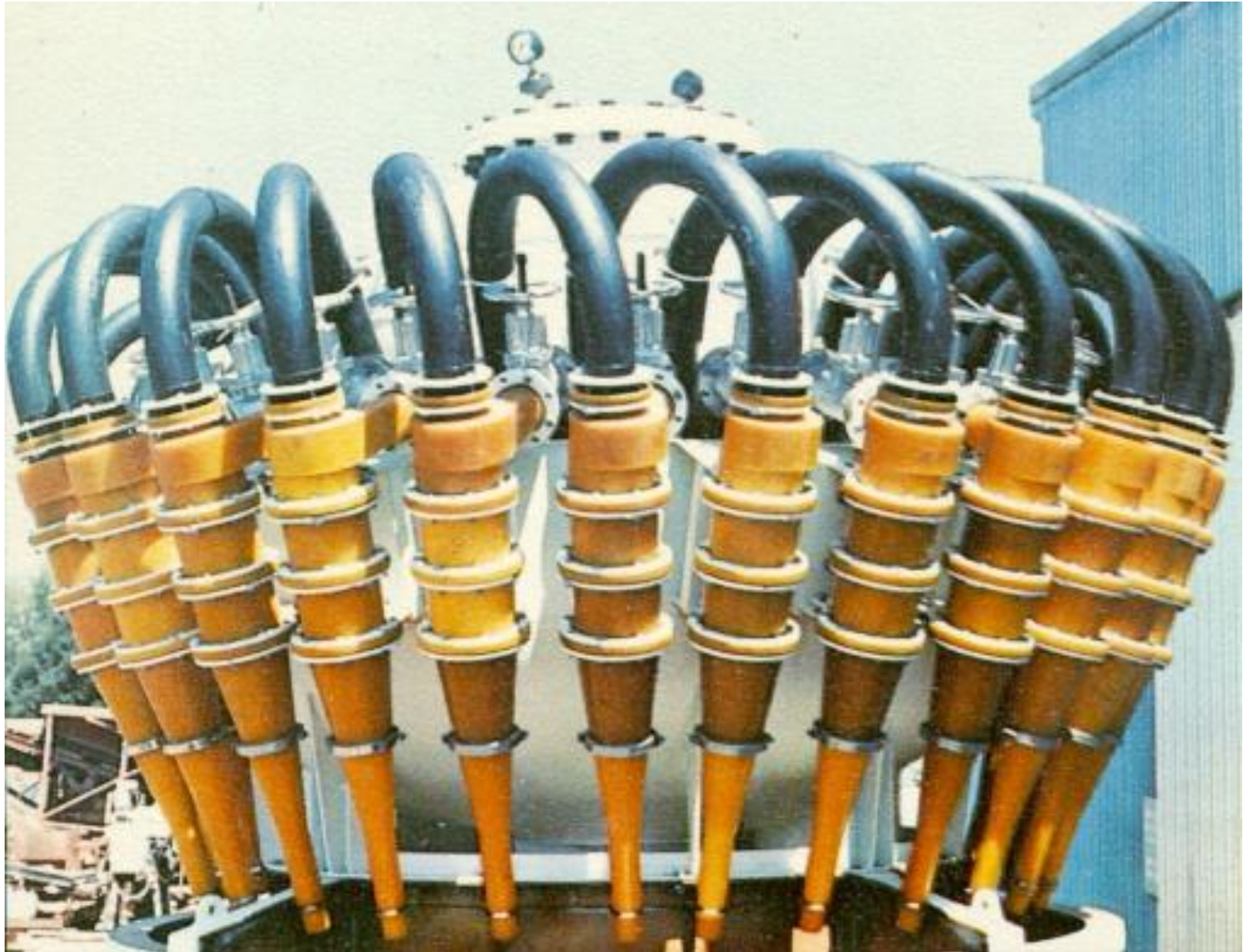
Hidrociclones

Tipos

Hidrociclones AKW



Hidrociclones



Hidrociclones



Hidrociclones

Hidrociclones
MOZLEY

