

CAPÍTULO 12 – OPERAÇÃO DE MOINHO VIBRATÓRIO PALLA 20U

Paulo Fernando Almeida Braga

Engenheiro Químico/UFRRJ, Mestre em

Engenharia Mineral/EPUSP

Pesquisador do CETEM/MCT

1. INTRODUÇÃO

Na mineração como em outras áreas, existe uma tendência de se obter produtos cada vez mais finos e de diferenciar cada vez mais os produtos moídos, a fim de atender à demanda de mercado. Para tanto, é necessário um moinho com facilidade operacional adequado à moagem do minério nas suas adversidades e, ainda, que seja econômico, mesmo na moagem de superfinos. O moinho vibratório surge como alternativa viável para a solução de várias questões operacionais, técnicas e econômicas, entre outras.

Os moinhos vibratórios (Figura 1) são utilizados em regimes contínuos ou não e são capazes de moer materiais a granulometria muito fina, operando a seco ou a úmido. São constituídos de dois tubos de moagem sobrepostos (Figura 2) que estão rigidamente interligados por meio de travessas e braçadeiras. A amplitude de vibração do moinho é provocada pela rotação dos excêntricos, localizados no interior das travessas.

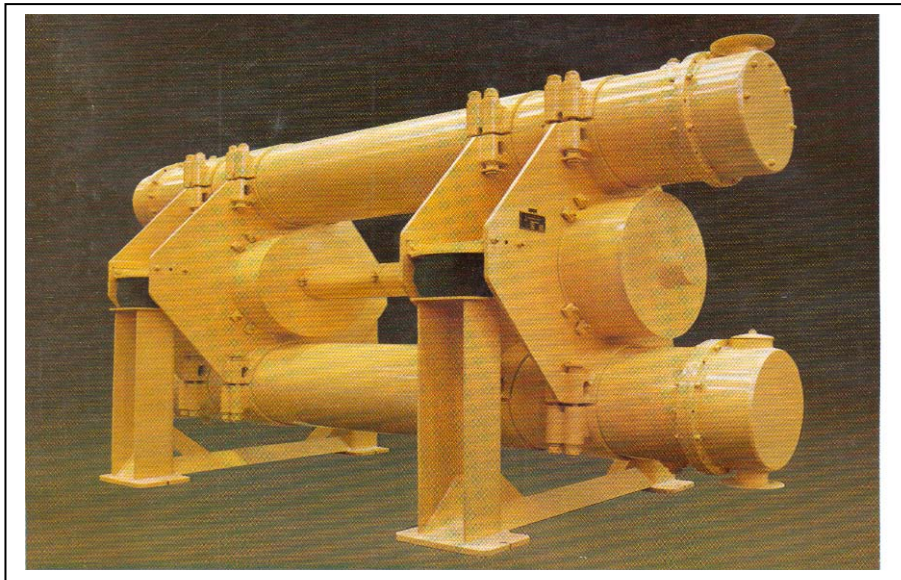


Figura 1 – Moinho vibratório Palla (tecnologia KHD/Humbolt).

O acionamento do moinho PALLA é feito por um motor elétrico, mediante um eixo cardã conectado aos excêntricos. A rotação dos excêntricos

provoca vibração nos cilindros onde ocorre a moagem. Os cilindros encontram-se apoiados sobre coxins de borracha, produzindo uma oscilação circular de poucos milímetros. Os coxins têm como função isolar as vibrações e reduzir a transmissão de esforços vibratórios à estrutura e/ou base.

Os cilindros de moagem são 60-70% (Figura 2) ocupados com meio moedor, geralmente bolas de aço de 10 a 50 mm. Também são utilizados *cylpebs* ou bola de aço como meio moedor. O material que está sendo moído passa longitudinalmente através do cilindro como um fluido numa hélice de *spin* (momento angular) complexo, assim, levando o meio moedor a fragmentá-lo por atrição. O equipamento, indicado para moagem fina, pode operar na faixa granulométrica entre 30 mm e 10 μ m.

Neste Capítulo são discutidos os procedimentos operacionais para os ensaios de moagem no moinho vibratório PALLA 20 U.

2. APLICAÇÕES DO MOINHO VIBRATÓRIO

A moagem em moinhos vibratórios é aplicada em diversos setores da indústria e em diversos tipos de materiais. No quadro 1, mostra-se as principais aplicações dos moinhos vibratórios.

Quadro 1 – Principais aplicações dos moinhos vibratórios.

INDÚSTRIA	Rocha, argilas e cimento	Química, carvão e coque	Cerâmica e refratários	Abrasivos	Minérios, vidro e metalurgia
A P L L I C A Ç Õ E S	Anidrita	Massas de eletrodos	Bauxita	Óxido de alumínio	Ferrita de bário
	Cal calcinada	Carbeto de cálcio	Feldspato	Carbeto silício	Fluorita
	Diabásio	Carvão vegetal	Caulim	Córindon	Escórias
	Dolomita	Carvão mineral	Magnesita	Magnesita	Sulfato de cobalto
	Gipsita	Pigmentos	Massas cerâmicas	Alumina	Criolita
	Calcáreo	Resinas trocadoras	Silimanita		Pirolusita
	Cimento	Adubos			Cromita
	Areia quartzosa				

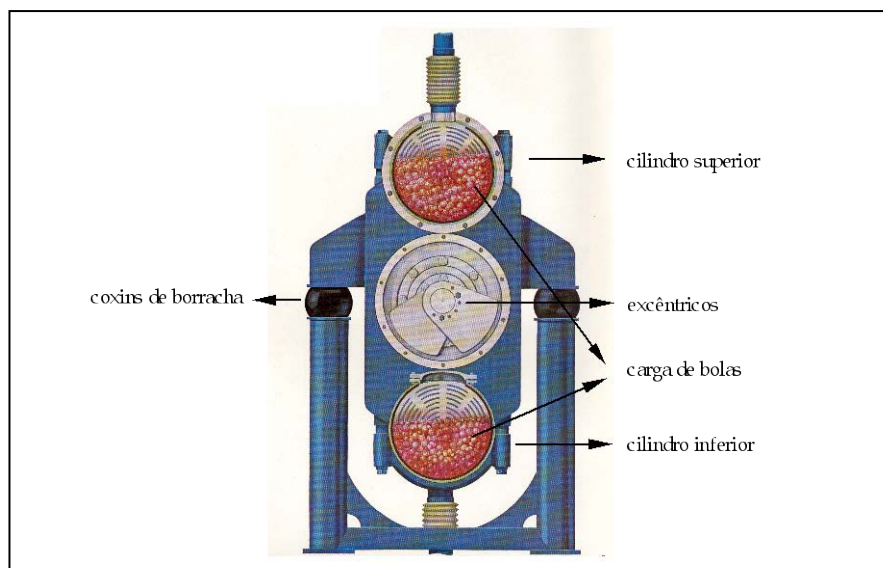


Figura 2 – Seção transversal do moinho vibratório tipo PALLA 20 U.

3. PRINCÍPIO DE MOAGEM

Os cilindros de moagem, que são postos em movimento quase circular, em virtude da vibração por desequilíbrio, encontram-se com o meio moedor, que ocupa uma fração do volume interno do cilindro de até 65%. Estes corpos moedores recebem impulsos pelas paredes dos cilindros, o que provoca a trituração do material no interior do moinho. No moinho vibratório, o mecanismo de quebra dominante é o impacto seguido do atrito. A relação entre estes mecanismos pode ser influenciada pela correspondente escolha dos corpos de moagem, número de rotações e círculo de vibração.

O material a ser moído percorre o cilindro de moagem num trajeto helicoidal, baseando-se o transporte, predominantemente, no princípio de deslocamento por arraste.

Por meio do efeito das vibrações, o produto a ser moído é conduzido à descarga, mesmo quando se encerra o fluxo da alimentação. Sem o material de alimentação em fluxo é possível o funcionamento até o esvaziamento total do

moinho. O revolvimento constante do material no interior dos cilindros moedores causa mistura e homogeneização praticamente perfeitas.

4. MOINHO VIBRATÓRIO PALLA 20 U

Na Tabela 1 constam as principais especificações do moinho vibratório PALLA 20 U, existente nas instalações piloto do CETEM.

Tabela 1 – Especificações do moinho vibratório PALLA 20 U.

Cilindro de moagem: diâmetro livre	200 mm
Cilindro de moagem: comprimento	1.300 mm
Potência instalada do motor	4 kW
Capacidade do moinho	até 0,05 t/h*
Peso dos corpos moedores (a 65% da carga)	220 kg
Peso do moinho (sem corpos moedores)	380 kg
Amplitude de vibração	1.000 rpm 10 a 12 mm 1.500 rpm 5 a 6 mm
*com material de moabilidade média, granulometria de alimentação de 5 mm e produto final menor que 0,2 mm.	

Sistema de Moagem

Os cilindros do moinho são fabricados em aço especial. Possuem a relação diâmetro/comprimento apropriados para se proceder, com economia, às moagens mais finas e sem a necessidade de classificação.

Nas extremidades dos cilindros estão localizados os pontos da alimentação e da descarga do material. O aproveitamento ótimo da câmara de moagem é possível por meio de dispositivos de retenção ajustáveis nos flanges de descarga. Entre os flanges de alimentação e de descarga de cada cilindro encontra-se fixada uma placa de separação **fendida**, que detém os corpos moedores e deixa passar o material.

Elementos de fechamento flexíveis (foles) e de impermeabilidade ao ar ligam o moinho aos mecanismos de dosagem e transporte, situados antes e depois deste, a fim de evitar poeira.

A câmara de moagem é protegida por revestimentos altamente resistentes ao desgaste e de fácil substituição. No caso de moagem de materiais não ferrosos, emprega-se um revestimento com cerâmica ou matérias plásticas. Conseguem-se vidas úteis longas devido ao reduzido desgaste que ocorre nos revestimentos.

Fixação do Cilindro de Moagem

Os cilindros de moagem do moinho vibratório PALLA 20 U são fixados por meio de braçadeiras e parafusos de dilatação. Com esta solução construtiva, garante-se, por um lado, a fixação segura dos tambores de moagem e, por outro, a possibilidade de uma substituição fácil.

Sistema de Vibração

No centro de cada alma existe um eixo apoiado em rolamentos de rolos, que possuem um par de discos em desequilíbrio, de cada lado.

Os discos em desequilíbrio são facilmente acessíveis e podem ser regulados entre si, numa graduação muito estreita. Por isso, é simples conseguir uma relação ótima entre o diâmetro do círculo de vibração e, de certa forma, melhor eficiência no processo de moagem.

Para a moagem do material mais resistente e granulometria de alimentação mais grossa, são reguláveis acelerações de 7 g e superiores. No caso de se proceder a uma moagem seletiva, bastam acelerações menores. Os rolamentos de rolos para cargas elevadas encontram-se fixados de forma tal nas almas, que o sistema completo de acionamento por desequilíbrio pode ser facilmente desmontado no caso de inspeções ou reparações. O motor com rotor em curto circuito, que aciona o moinho em caso normal, encontra-se numa base na parte da frente do conjunto. O sistema de acionamento foi concebido de tal forma que nenhuma das forças axiais atuam sobre os mancais do motor. É possível uma montagem do motor em ambos os lados.

5. LIGAÇÃO DOS TAMBORES DE MOAGEM

Vários são os arranjos nas ligações entre os tambores de moagem que proporcionam maior flexibilidade operacional ao equipamento. Isso está associado ao número de acionamentos por desequilíbrio adequado: à moagem

do material, ao diâmetro do círculo de vibração, à escolha dos corpos moedores apropriados. Tal procedimento é levado a efeito por meio da substituição dos flanges, na alimentação e descarga, por placas separadoras (retentoras do corpo moedor) e interconexão dos cilindros de moagem.

Ligação em Série

A conexão em série é a mais empregada. O material percorre ambos os cilindros, favorecendo a moagem em tempos mais longos, bem como o tempo de retenção do material. Assim, o material é intensamente processado (Figura 3).

A ligação em série é utilizada na moagem de materiais com elevada resistência e com granulometria grossa ou quando se deseja um produto final superfino. Também é utilizada em processos de difícil homogeneização.

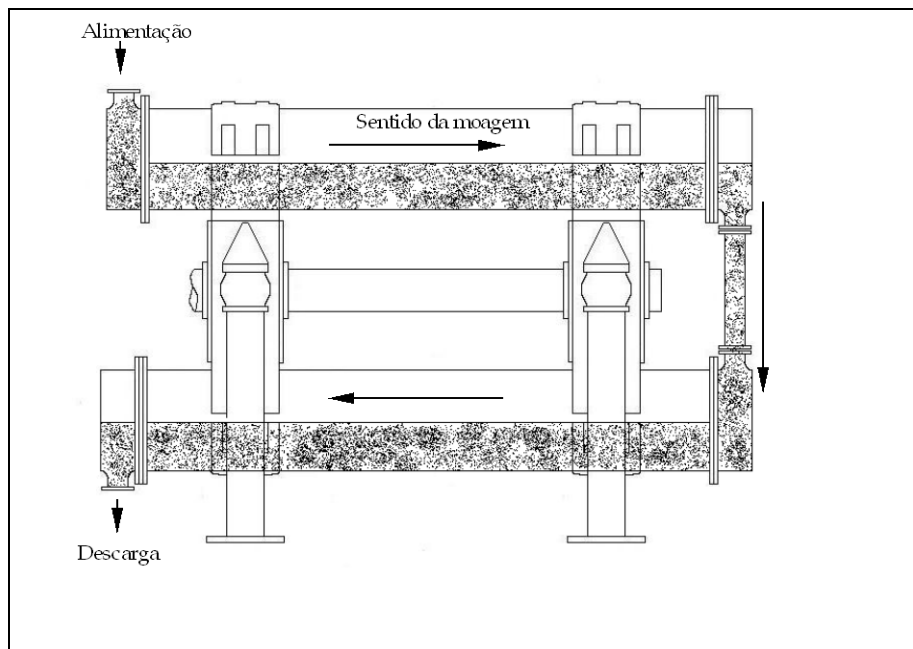


Figura 3 – Exemplo ilustrativo de uma conexão em série do moinho.

Ligação em Paralelo

Na conexão em paralelo, o tempo de passagem e de retenção é reduzido à metade, em decorrência de os tambores trabalharem independentemente. Neste caso, o processamento do material é menos intensivo e, portanto, a capacidade do moinho é maior. Uma característica deste arranjo é que, nos cilindros de moagem, pode ser processado o mesmo material ou dois tipos diferentes, ou seja, em cada cilindro, obtém-se um produto final.

Esta configuração é indicada para materiais de fácil moagem, para materiais finos, em homogeneização de produtos grossos e para processos rápidos, como desagregação.

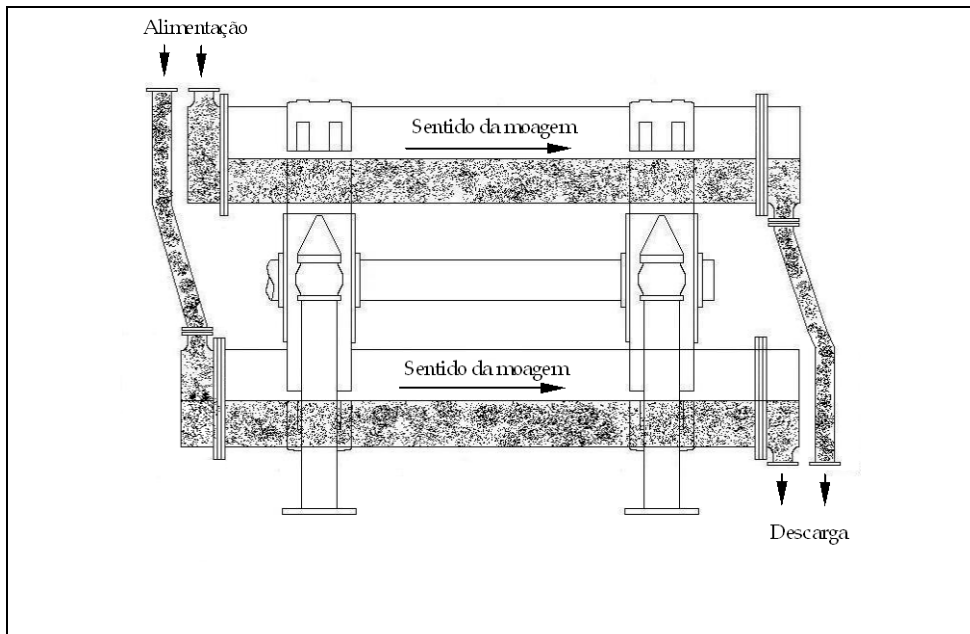


Figura 4 – Conexão ou configuração em paralelo do moinho.

Alimentação Central

Na alimentação central (Figura 5), o material flui do centro dos cilindros de moagem para as descargas nas duas extremidades, limitando, assim, o tempo de moagem à metade. É o arranjo com menor tempo de residência e com a maior produção, pois o produto final é descarregado em quatro pontos,

simultaneamente. Por outro lado, é o arranjo com a menor intensidade de moagem, logo, baixa produção de finos.

Este arranjo é utilizado para materiais com baixa resistência ao processo de moagem. Um exemplo típico é a desagregação de materiais aglomerados isentos de umidade.

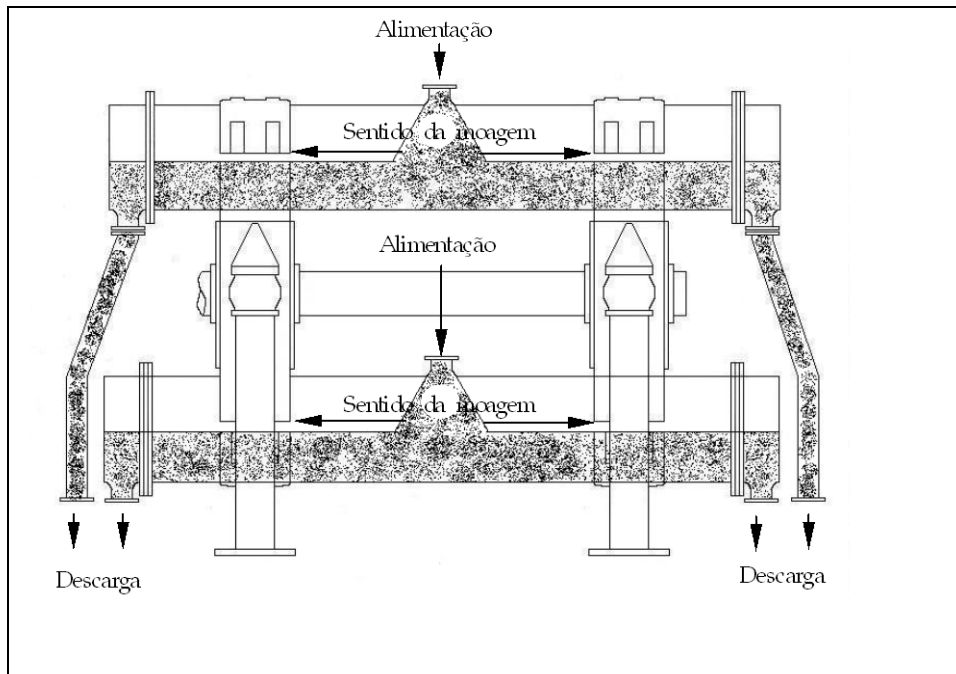


Figura 5 – Arranjo para alimentação central do moinho.

6. OPERAÇÃO DO MOINHO VIBRATÓRIO

Antes de iniciar a operação o operador deve verificar o moinho e os acessórios. Para tanto deve:

- (i) testar todos os parafusos do moinho vibratório e dos acessórios quanto ao posicionamento e apertos corretos;
- (ii) verificar se o moinho se movimenta livremente, não atingindo outras partes ou equipamentos acessórios durante a desaceleração;

- (iii) verificar se todos os acessórios, equipamentos para alimentação e descarga do moinho, estão em condições operacionais;
- (iv) verificar se os foles (juntas elásticas) estão montados corretamente (comprimento, posição e vedação).

Para determinar a capacidade do moinho, estabelece-se uma curva com base na vazão de alimentação, cujas medidas são aferidas na descarga do moinho. O dispositivo de alimentação deve acusar uma variação máxima de $\pm 5\%$, uma vez que oscilações maiores afetam sensivelmente a granulometria do produto final. Podem ocorrer erros na curva devido ao fluxo pulsante de gases no sistema de moagem fechado.

Regulagem dos Excêntricos do Acionamento

Na regulagem dos excêntricos é necessária a retirada das capas protetoras. Observa-se, na Figura 6, a regulagem dos excêntricos externos (posição B). Retiram-se os parafusos (posição C) e goram-se os excêntricos das posições B e A em sentidos contrários entre si. Os discos frontais estão soltos, enquanto os de trás permanecem fixos nos eixos de acionamento. A excentricidade é máxima (100%) quando todos os pares de excêntricos A e B estão sobrepostos.

Todos os pares de excêntricos devem ser regulados igualmente, de forma a não ultrapassar uma amplitude de vibração de 10 mm. Isso merece atenção especial do operador.

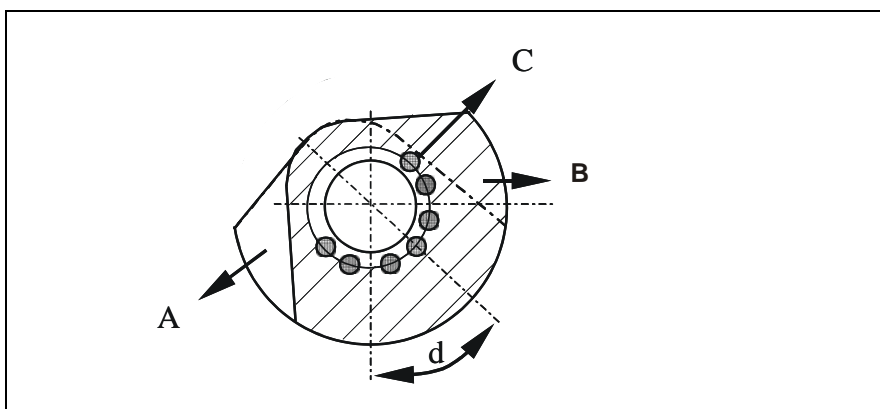


Figura 6 – Esquema ilustrativo dos excêntricos do moinho.

É importante que todos os excêntricos móveis indiquem a mesma direção (ângulos iguais) em relação aos excêntricos fixos (ângulo D, Figura 6), que estão posicionados verticalmente. Os parafusos devem ser apertados na posição em que os furos dos excêntricos fixos superpõem os furos dos excêntricos móveis. Após a regulagem dos excêntricos, deve-se recolocar as capas protetoras.

Regulagem do Sistema de Descarga

O sistema de descarga (Figura 7) tem a função de reter o material no interior do tubo de moagem, de forma a aumentar o tempo de residência. Primeiro remove-se a tampa do cabeçote de descarga (posição A), soltando-se, em seguida o parafuso (posição B).

Depois, deve-se posicionar o tubo de descarga externo (posição C) diante do tubo de descarga interno (posição D), de tal modo que as fendas nestes tubos se sobreponham. Aperta-se cuidadosamente o parafuso da posição B, fechando-se, em seguida, com a tampa (posição A).

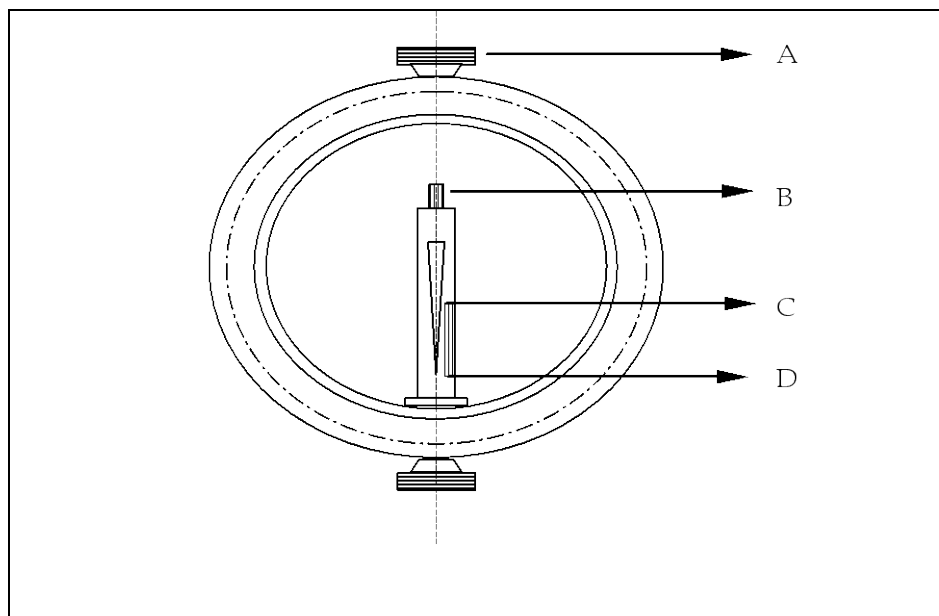


Figura 7 – Sistema de descarga do moinho vibratório.

Carga e Tipo do Meio Moedor

Inicialmente os cilindros de moagem são carregados (esferas de aço ou porcelana, *cylpebs* ou barras) com 80% das quantidades contidas na Tabela 1. A diferença entre o peso dos corpos moedores do cilindro inferior e superior não deve exceder 2%.

Após 3 minutos de funcionamento, mede-se a altura livre sobre a carga moedora, registrando-se os resultados. Essas medidas comparativas serão importantes para determinação do consumo da carga moedora. Quando necessário, complementar a carga prevista na Tabela 1. A operação do moinho vibratório é feita em duas etapas, inicialmente sem material e, na segunda etapa, com material.

Operação do Moinho Vibratório sem Material

Na primeira operação, o moinho vibratório deve funcionar sem material durante, aproximadamente, 15 min com esferas *cylpebs* ou 3 min com barras. Este procedimento visa eliminar eventuais impurezas na câmara de moagem.

A fim de evitar entupimentos, a partida do moinho deve ser feita por etapas, na seguinte ordem: inicialmente entram em operação o sistema de descarga, em seguida, o moinho e, finalmente, o sistema de alimentação. Para desligar, este procedimento se repete, só que na ordem inversa.

Para execução deste procedimento, marca-se um ponto na parte frontal do cabeçote de alimentação ou descarga, que descreverá uma circunferência durante o funcionamento do moinho. A medida da amplitude pode ser feita com auxílio de uma escala externa.

O equipamento deve ser desligado imediatamente, caso a amplitude de vibração ultrapasse 10 mm. O funcionamento do equipamento deve ser interrompido após 15 min de operação, para verificar o aperto de todos os parafusos.

Operação do Moinho Vibratório com Material

O sistema de alimentação, após aferição, deve ser regulado para permitir a vazão de 70% de sua capacidade, acionando-se, em seguida, o equipamento. É muito importante utilizar um amperímetro nas primeiras horas de

funcionamento, para controlar a demanda de corrente do motor elétrico de acionamento. Entupimentos eventuais são perceptíveis ao se verificar elevação na demanda de corrente elétrica. Com o moinho entupido, a demanda de corrente torna-se inferior à corrente nominal do motor.

O primeiro produto de moagem pode, freqüentemente estar contaminado com impurezas que se formam durante a operação sem material e deve ser descartado.

Para obter a granulometria e produções ideais, deve-se observar a granulometria do produto. Quando muito fina, deve-se aumentar a vazão na alimentação e/ou abrir mais o dispositivo de descarga.

Para os ensaios descontínuos, deve-se variar o tempo de residência.

Quando a granulometria do produto é grossa, deve-se diminuir a vazão na alimentação e/ou bloquear mais o dispositivo de descarga.

Deve-se observar também o volume da carga interna do moinho. Ficou comprovado que a eficiência máxima do equipamento ocorre quando o material ocupa 80 a 90% do espaço livre deixado pelo meio moedor.

A otimização da operação ocorre após algum tempo, uma vez que as características do material, a granulometria do produto final e a capacidade são determinantes na etapa de otimização. Isso ocorre na moagem de materiais úmidos ou em processos nos quais ocorrem reações químicas.

A seguir são ilustrados alguns lembretes úteis a operação do moinho vibratório.

Produto com Granulometria muito Grossa

Causas prováveis

Vazão de alimentação muito grande.

Corpos moedores muito desgastados e de quantidade reduzida.

Material alimentado com granulometria grossa.

Variação das características de moagem do material.

Regulagem incorreta da descarga.

Produto de Granulometria muito Fina

Causas prováveis

Vazão de alimentação muito pequena.

Corpos moedores de tamanho grande.

Material alimentado é de granulometria muito fina.

Variação das características de moagem do material.

Regulagem incorreta da descarga.

Amplitude muito Reduzida e Moinho Entupido.

Causas possíveis

Excesso na vazão de alimentação.

A capacidade de transporte para a descarga é muito reduzida.

Presença de um corpo estranho na câmara de moagem.

Regulagem incorreta da descarga.

Umidade alta no material para moagem a seco.

Polpa muito densa para moagem úmida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Manual de Operação do Moinho Vibratório Palla U – OTTO DEUTZ S.A.,
Divisão Humbolt-Wedag.

Luz, A. B. *et al.*, Tratamento de Minérios, 4ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT,
2004.