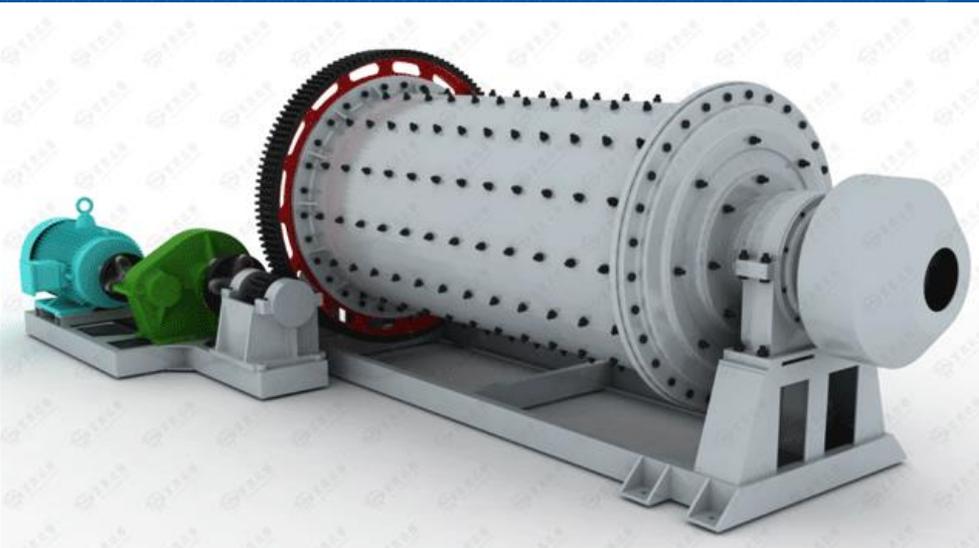




Universidad
Politécnica
de Cartagena

TECNOLOGÍA MINERALÚRGICA



TEMA 4: REDUCCIÓN DE
TAMAÑO - MOLIENDA

MOLIENDA - I



4

REDUCCIÓN DE TAMAÑO: MOLIENDA (I)



Reducción de Tamaño. Molienda (I)

- 4.1. Introducción.
- 4.2. Descripción de los molinos.
- 4.3. Cuerpos moledores.
- 4.4. Tipos de circuitos de trabajo.
- 4.5. Revestimientos o blindaje.
- 4.6. Tipos de alimentadores.



- Es la última etapa del proceso de fragmentación.
- Las siguientes tablas clasifican la etapa de molienda en base al tamaño del producto:

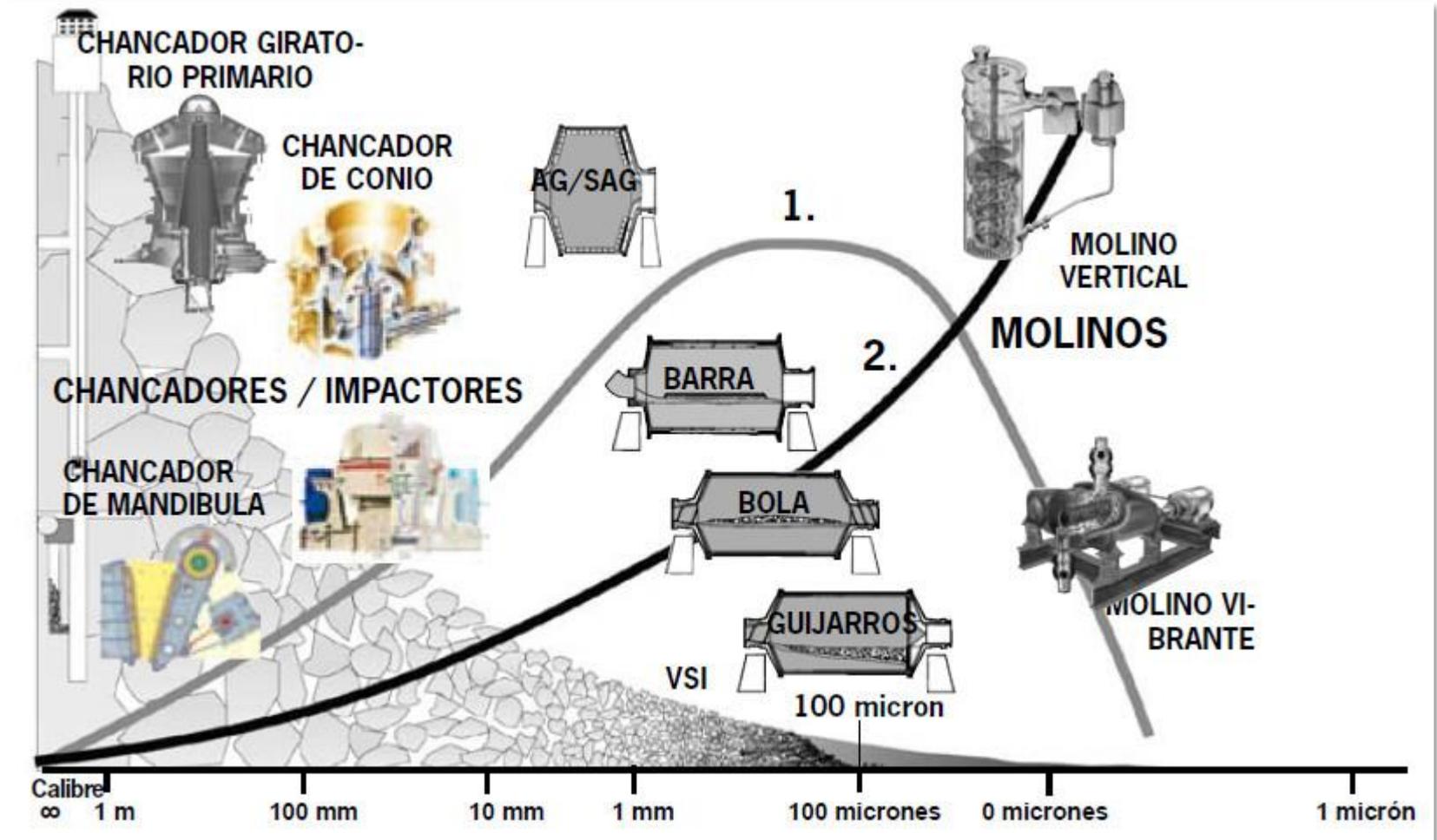
Tipo de proceso	Tamaño de salida
Molienda gruesa	$\cong 1 \text{ mm}$
Molienda fina	$\cong 100 \mu\text{m}$
Molienda ultrafina	$\cong 10 \mu\text{m}$

Tipo de proceso	Tamaño de salida
Molienda gruesa	1-2 mm
Molienda media	200-500 μm
Molienda fina	50-100 μm

- La fragmentación se conseguirá por acciones de **compresión, cizalladura y abrasión.**

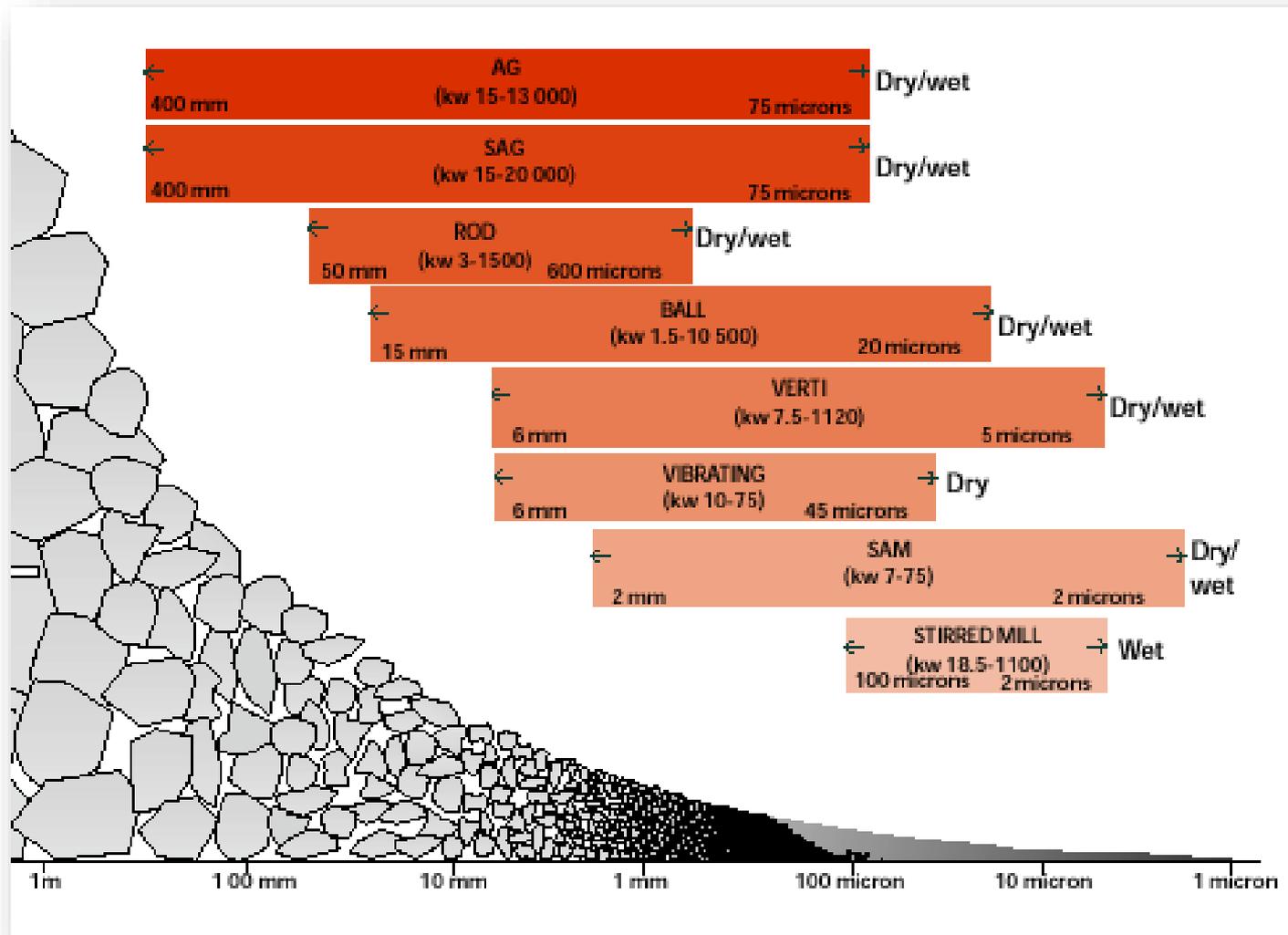


- Rangos de tamaños sobre los que actúan los diferentes tipos de molinos:





- Rangos de tamaños sobre los que actúan los diferentes tipos de molinos:





4.2. Descripción de los molinos

4.2. Descripción de los molinos

- La fragmentación del mineral se lleva en equipos cilíndricos rotatorios de acero.
- Molinos de rodamiento de carga o, simplemente molinos.

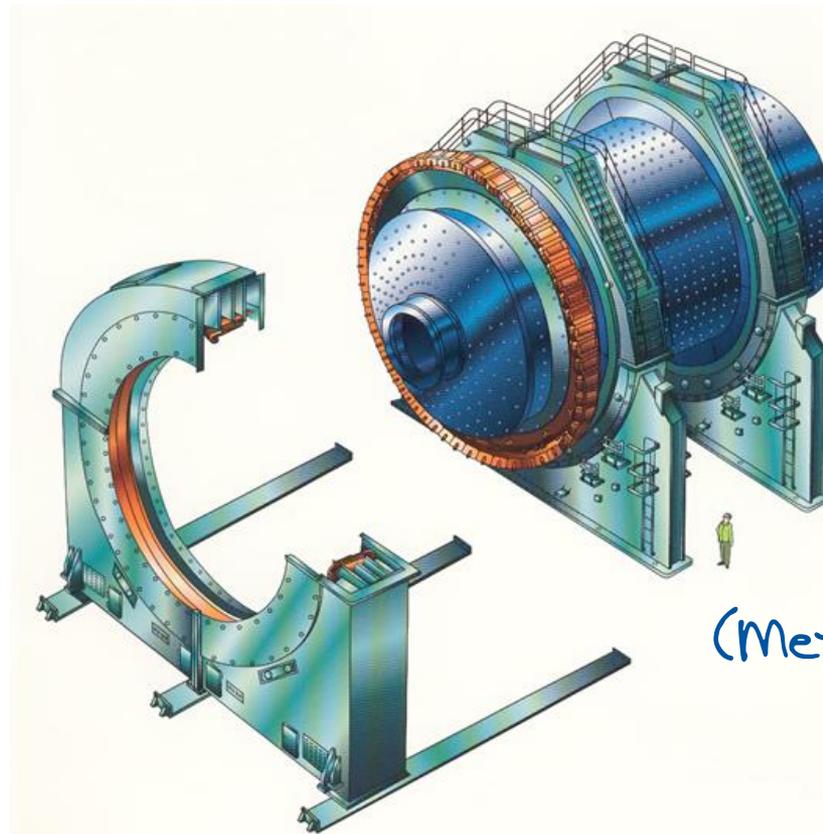


Figura 1

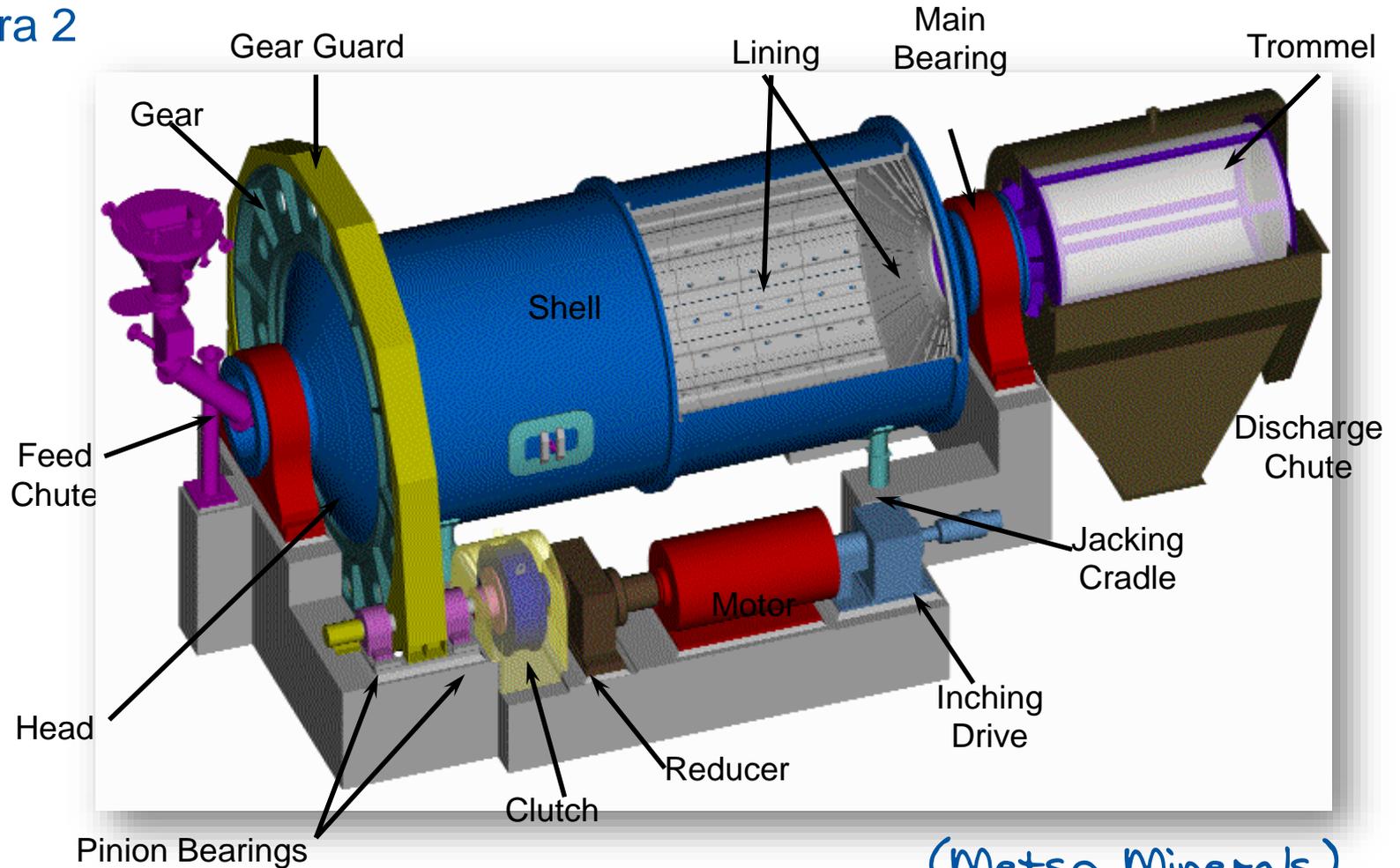
(Metso Minerals)

- Molino de 6.5 m diámetro y 9.7 m de longitud (8.1 MW) de Metso Minerals.



- Principales componentes de un molino.

Figura 2



(Metso Minerals)



- Principales componentes de un molino de barras.

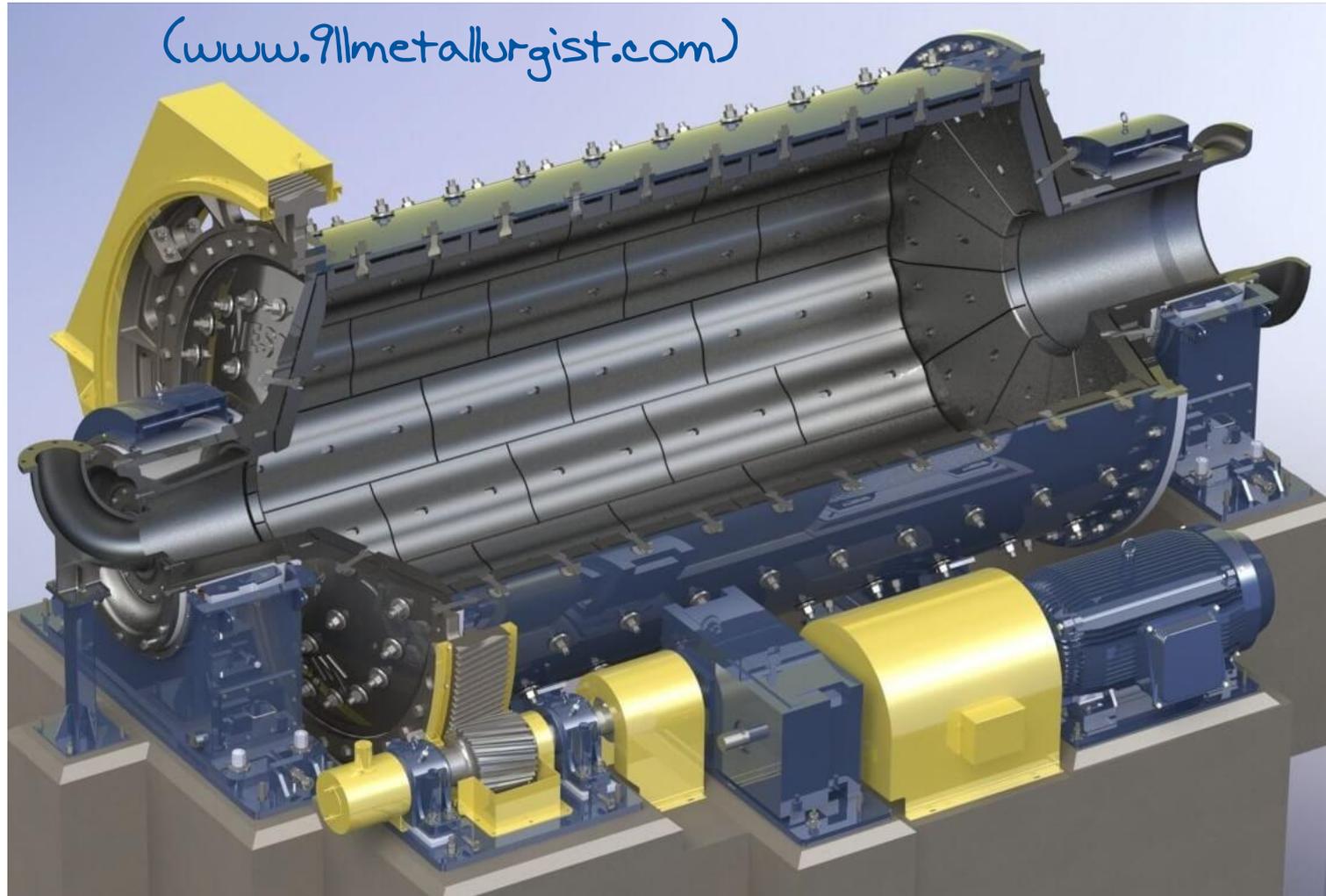


Figura 3



- **Instalación de un molino semiautógeno (SAG).**

(www.lsgold.com)



Figura 4



- Diferentes tipos de tambores según los diferentes tipos de molinos.

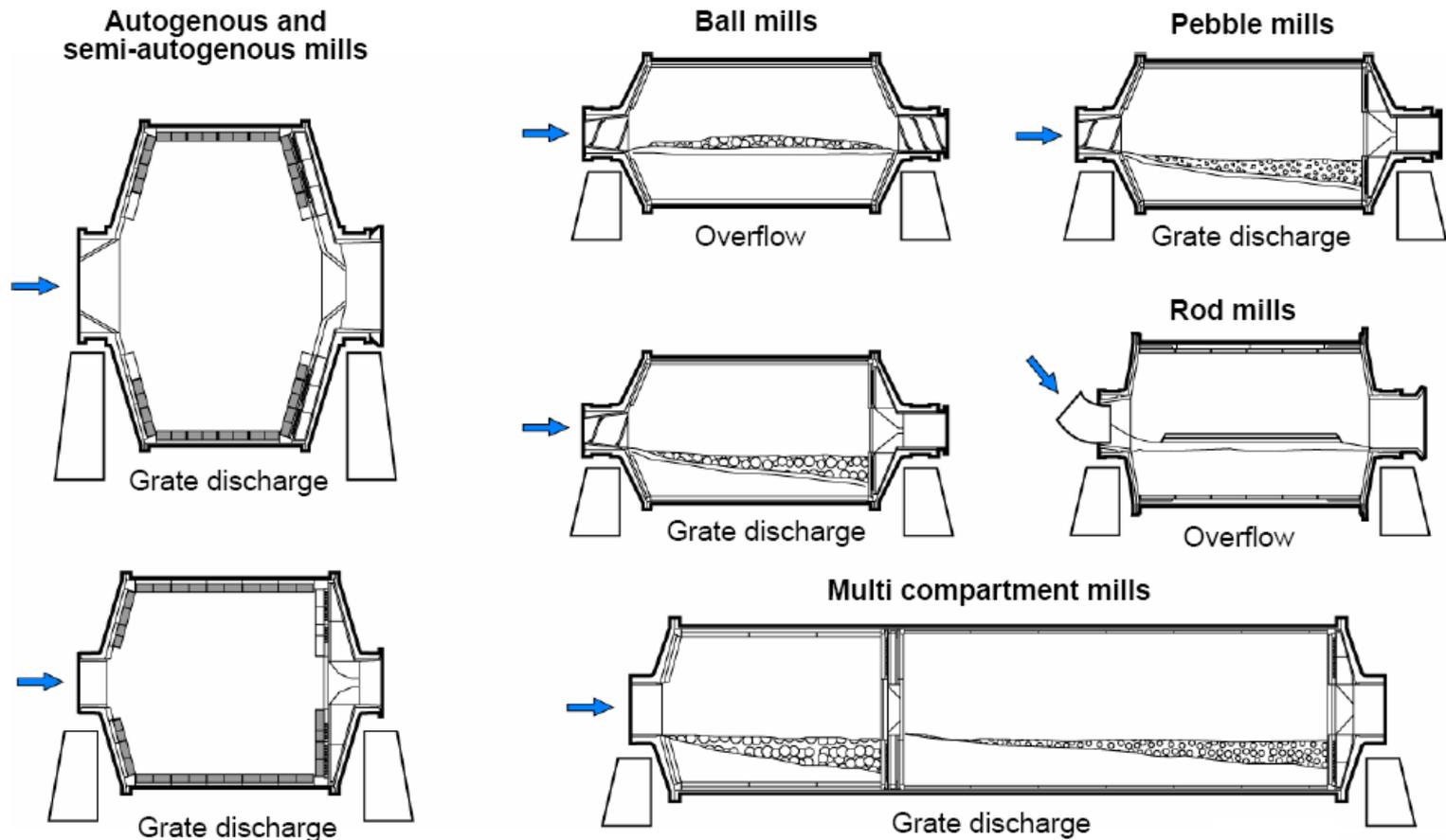


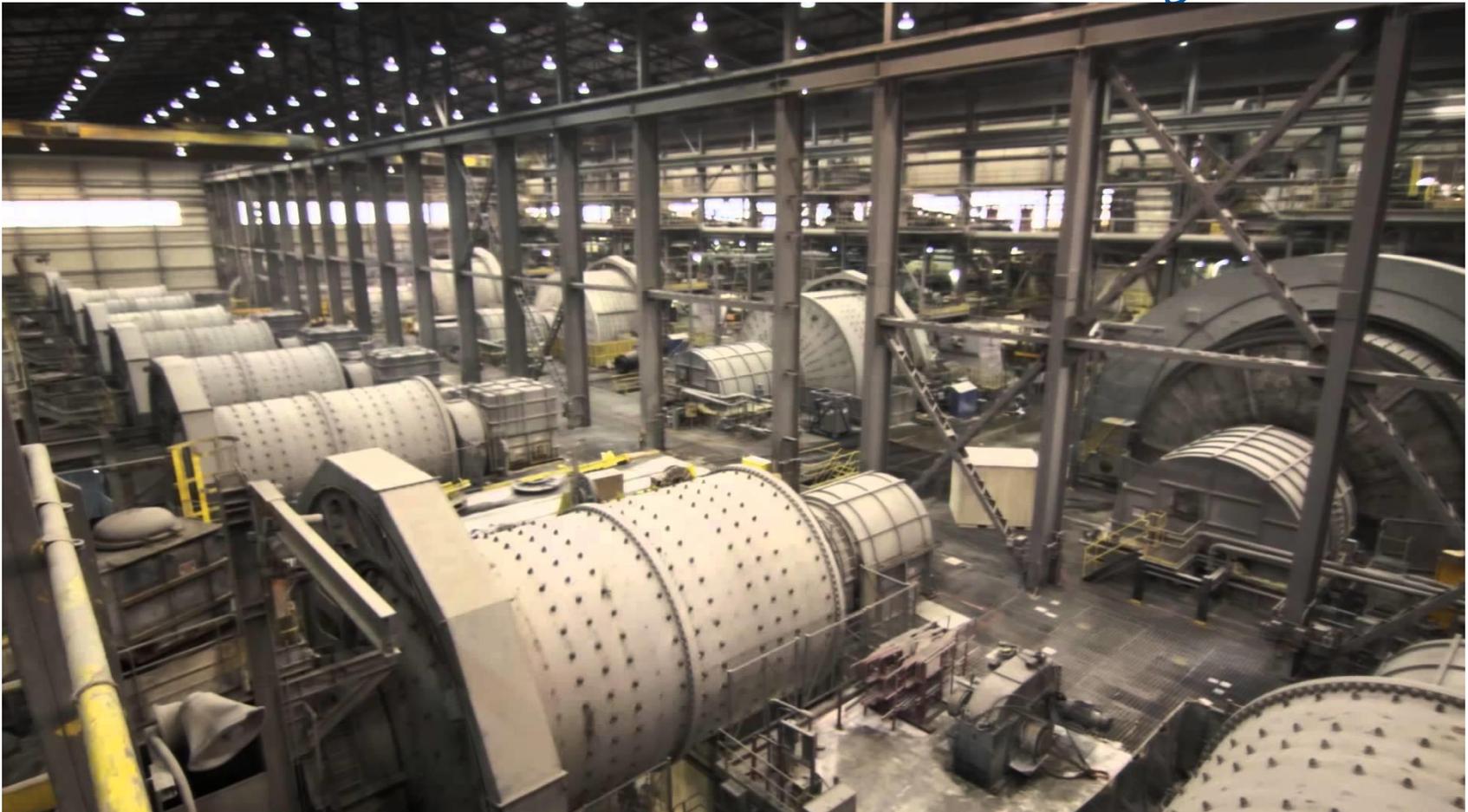
Figura 5



- **Planta de molienda con molinos de bolas y semiautógenos (SAG).**

Figura 6

(www.youtube.com)

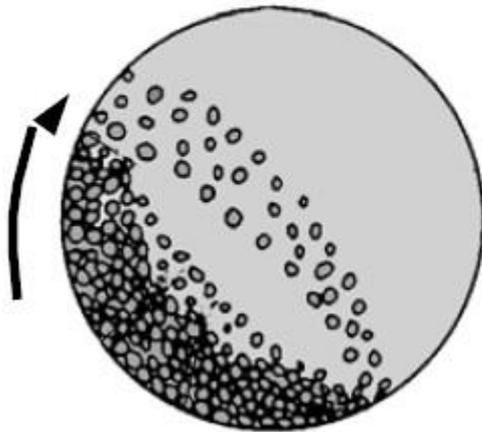




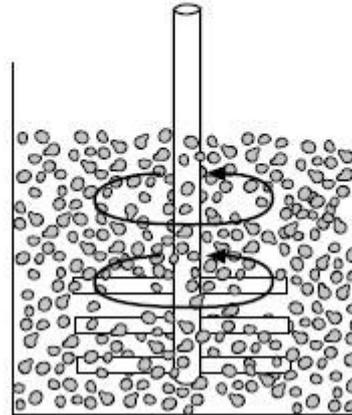
- **Estimación: 50% de la energía consumida en molinos se dedica a molienda.**
- **Estudio en concentradores canadienses de cobre (kWh/t): 2.2 en trituración, 11.6 en la molienda y 2.6 en flotación.**

Métodos de Molienda

Por volcamiento



Por agitación



Por vibración

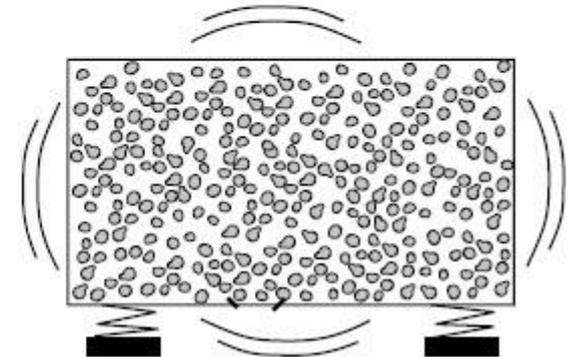


Figura 7



4.3. Cuerpos moledores

4.3. Cuerpos moledores

- Trabajan con cuerpos molturantes o moledores (barras, bolas, guijarros de sílex, o el propio mineral).



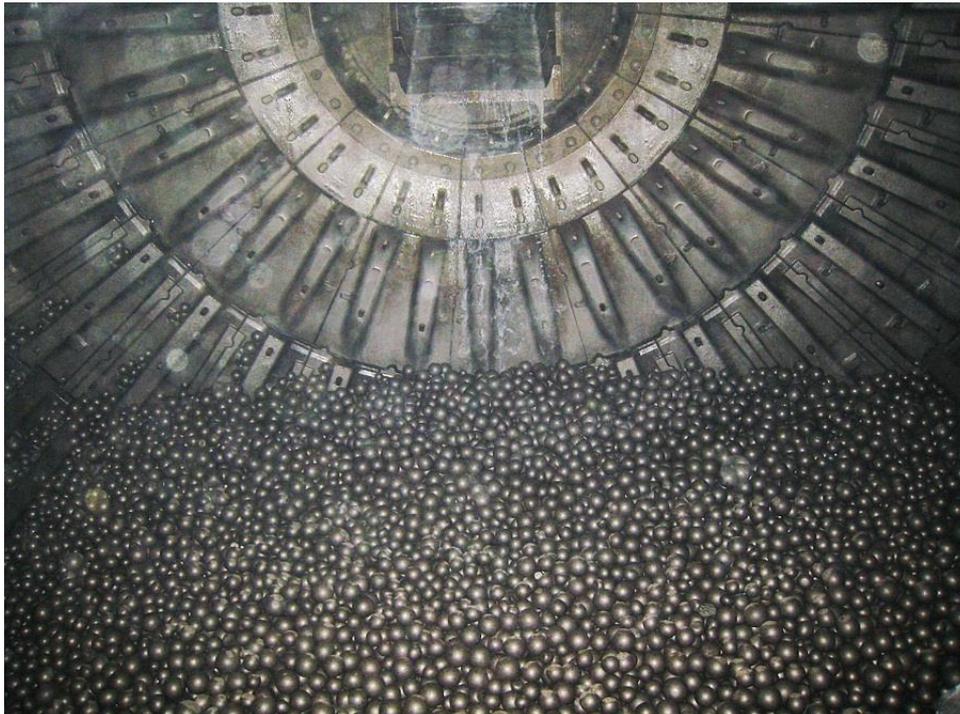
Figura 8

AG/SAG Mill (Cortesía
Metso Minerals)

- Se clasificarán según el tipo de cuerpos molturantes que emplean.



- **Barras:** Fabricadas de acero con alto contenido en carbono. Alto límite elástico para evitar su doblado y el trabamiento entre ellas.
- **Bolas:** Fabricadas de acero de fundición, acero forjado y aleado al **Cr-Mo**, para ser resistentes al desgaste por impacto. O aleadas con **Ni** para ser resistentes a la abrasión.



Carga de bolas en el interior de un molino.

Figura 9



- **Propio mineral:** Molinos AG o tipo SAG.
- Para evitar contaminación por acero se utiliza en ciertas aplicaciones molturantes de silex o porcelana (industria de arcillas).

Figura 10

Molino SAG

(www.e-mj.com)





- Interior de un molino de bolas, con la parrilla de descarga.

(www.machineryautomation.com)



Figura 11



- **Apilamiento de barras de acero para reemplazar aquellas desgastadas.**

Figura 12

(www.diytrade.com)





- **Proceso de carga de barras de acero.**

(www.elementsunearthed.com)



Figura 13



- Interior de un molino de molienda semiautógena (SAG).



Figura 14

SAG Mill (Cortesía www.911metallurgist.com)



- Esquema de los elementos de un molino de molienda semiautógena (SAG).
- Muñón de alimentación, coraza, parrilla, elevador de pulpa y muñón de descarga.

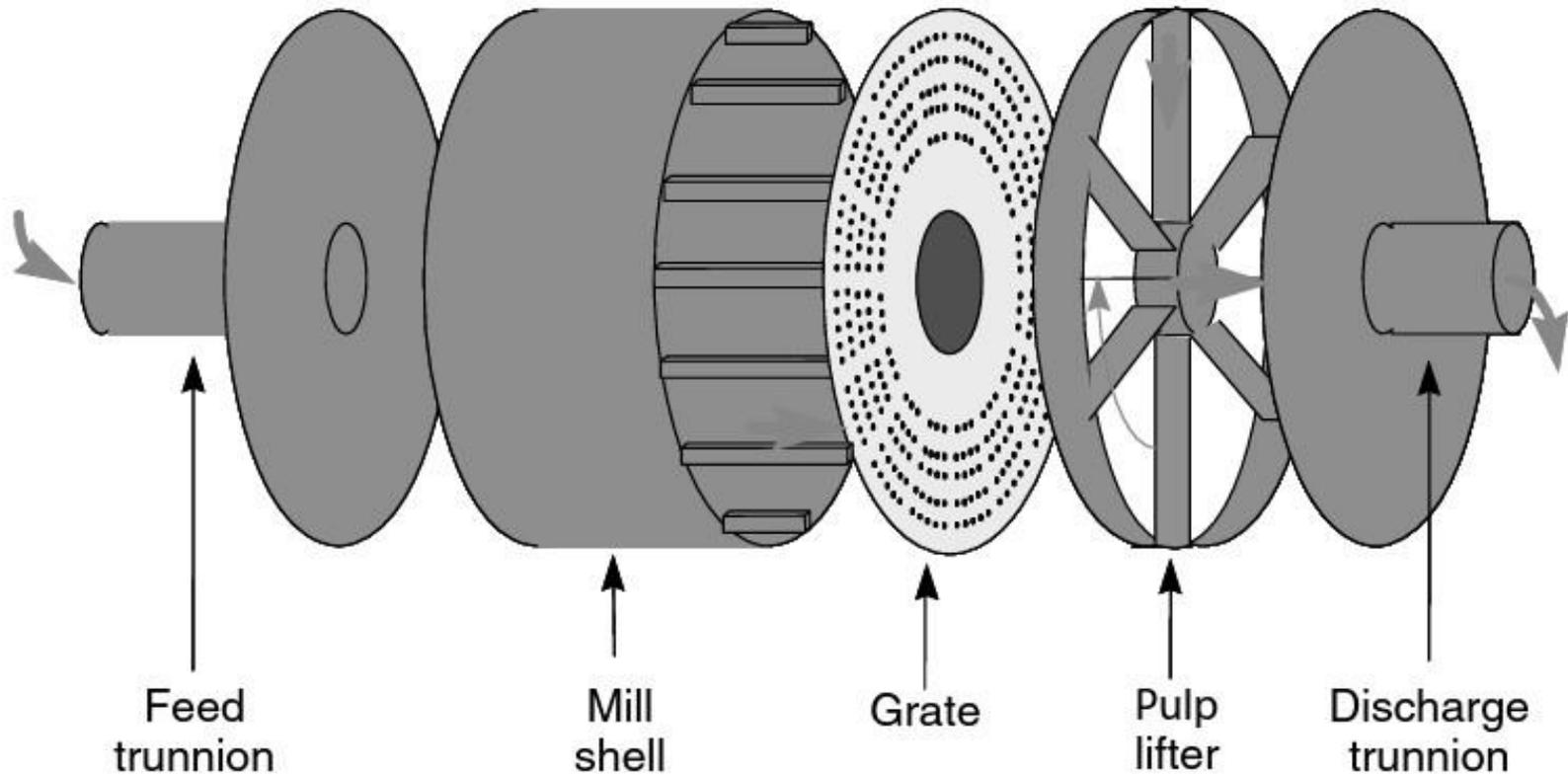


Figura 15



4.4. Tipos de circuitos de trabajo

4.4. Tipos de circuitos de trabajo

- Los molinos pueden trabajar en continuo (forma industrial) o en discontinuo (escala laboratorio).

Molinos operando en continuo y en circuito cerrado (cortesía Metso Minerals)



Figura 16

- Pueden presentarse en configuraciones de circuito cerrado (c.c.) o en circuito abierto (c.a.).



Características de la molienda en circuito abierto (C.A.):

- Rara vez se usa en aplicaciones de procesamiento de minerales.
- No hay control sobre la distribución del tamaño de partículas del producto (distribución de tamaños más amplia).
- La velocidad de alimentación debe ser bastante baja.
- Tiempos de residencia de las partículas elevados para asegurar la molienda.
- Mayor porcentaje de partículas sobremolidas.
- Mayor consumo de energía por tonelada tratada (1.5 veces superior a C.C.).



Características de la molienda en circuito cerrado (C.C.):

- Es el tipo de molienda que predomina en la industria minera.
- La descarga del molino es llevada a un clasificador que retornará los sobretamaños.
- Menor consumo de energía en relación al circuito abierto.
- Control del tamaño máximo del producto.
- Se emplea tanto en molienda seca como húmeda.



- Molinos de bolas o autógenos generalmente en circuito cerrado.

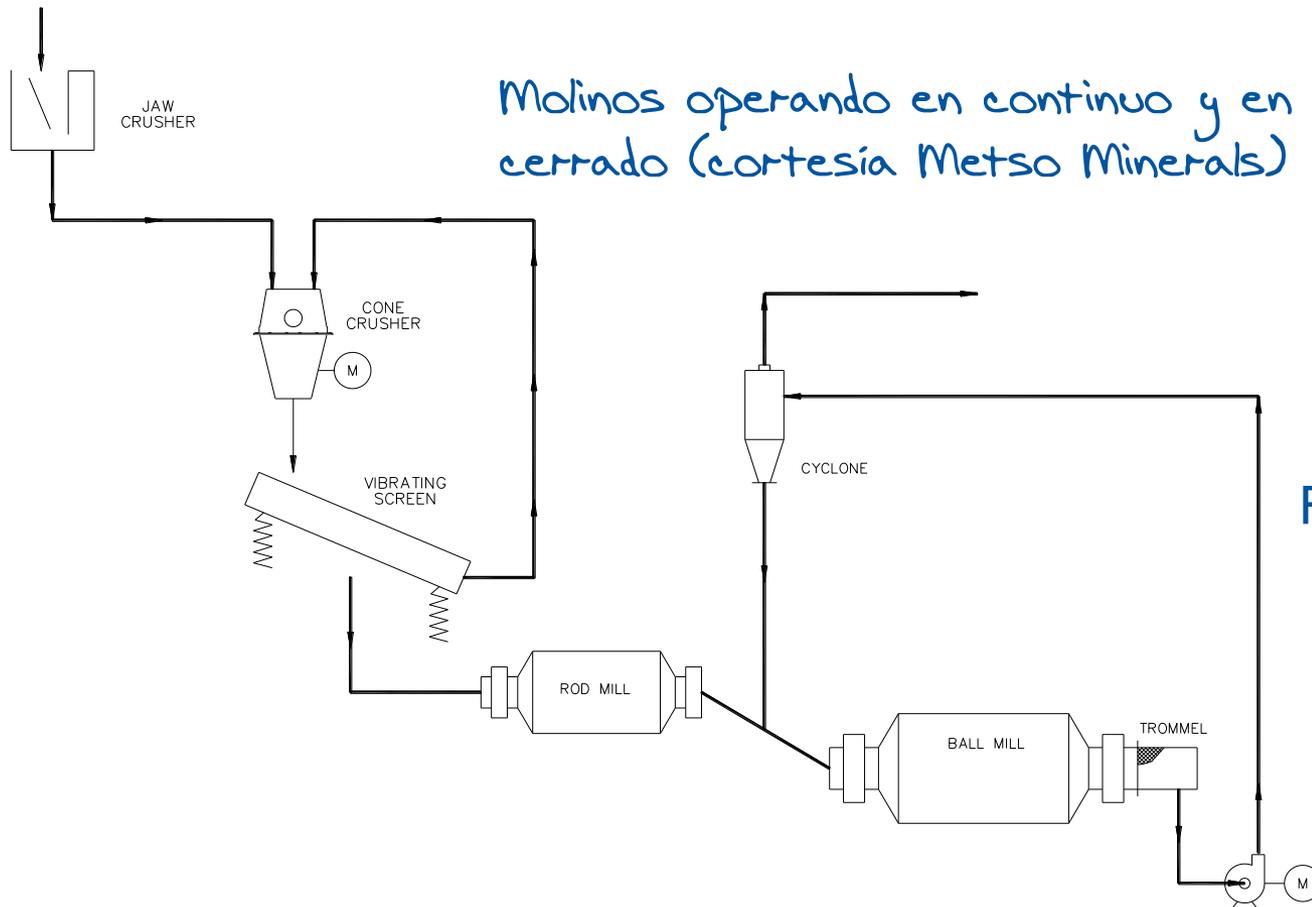


Figura 17

- Molinos de barras en circuito abierto.



- **Planta de molinos de bolas y semiautógenos.**

Figura 18

(www.korfpa.com)





- **Planta de molinos de bolas y semiautógenos con clasificador mecánico.**

(www.machineryandequipment.com)



Figura 19



- **Planta de molinos de bolas con clasificador mecánico.**

(www.shutterstock.com)



Figura 20



Según el contenido de agua o humedad los circuitos de molienda se pueden identificar como circuito por vía seca o por vía húmeda:

- **Vía seca:** Molienda de materiales prácticamente secos (**inferior a 2% de agua en el producto**).
- **Vía semi-húmeda:** Molienda de materiales con un contenido de agua en el producto comprendido entre un 2% y un 20%.
- **Vía húmeda:** Molienda de materiales que forman una pulpa (**20-300% de agua en el producto**).



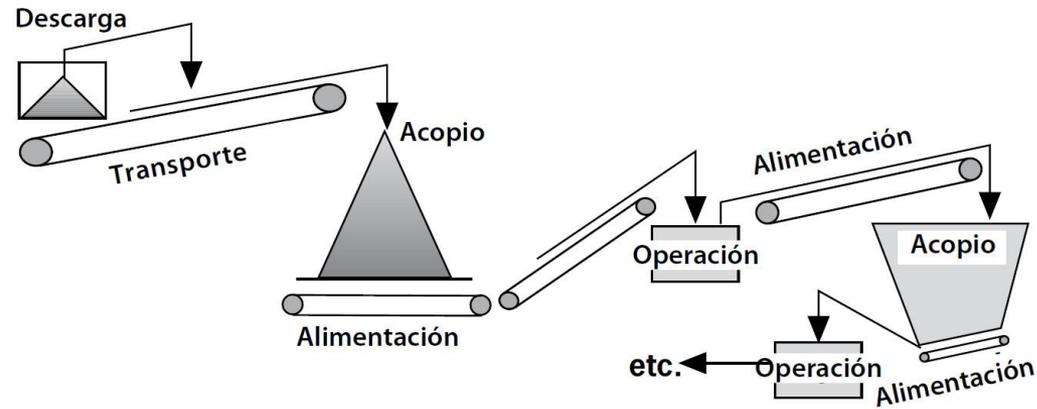
Factores que determinan el tipo molienda:

- El tipo de etapa siguiente (húmeda o seca).
- Disponibilidad de agua.
- La molienda húmeda precisa menos energía por tonelada de mineral tratado (1.3 veces menos).
- La clasificación en medio húmedo exige menos espacio que la clasificación en seco.
- La molienda por vía húmeda no hace necesario el uso de captadores de polvo ni presenta problemas de calentamiento.
- La molienda húmeda presenta mayor desgaste, hasta 6 – 8 veces superior (por corrosión).
- Presencia de sustancias que reaccionan con el agua (clinker en la fabricación de cemento).



Esquemas por vía seca y vía húmeda (cortesía Metso Minerals)

Manejo en seco



Manejo de lodos

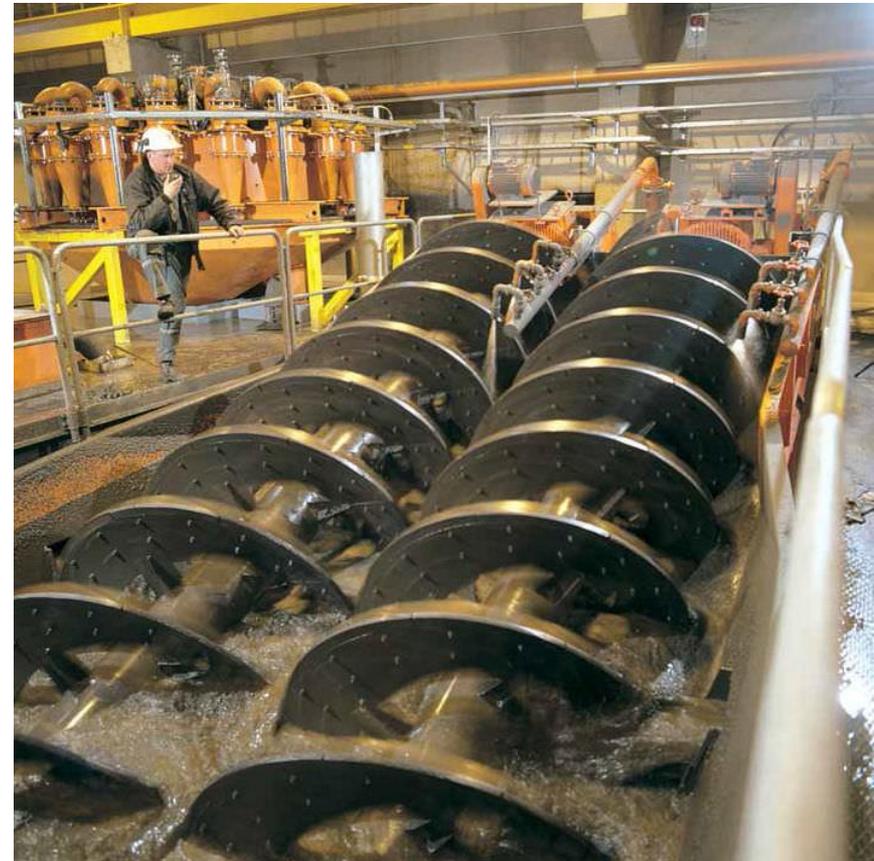
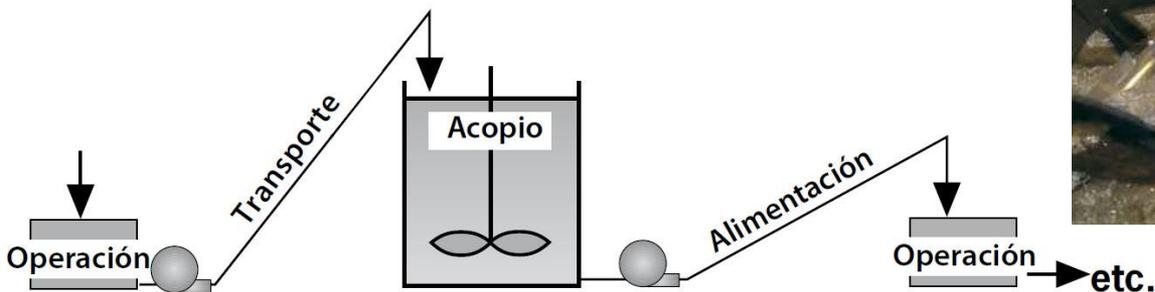


Figura 21



4.5. Revestimientos o blindaje

4.5. Revestimientos o blindaje

- **El interior del tambor está revestido por piezas intercambiables (blindaje).**
- **El blindaje cumple las siguientes funciones:**
 - **Ser resistente a los impactos y a la abrasión.**
 - **Proteger la carcasa del molino contra la corrosión y el desgaste.**
 - **Minimizar el deslizamiento entre los cuerpos moledores y el tambor (favorecer el volteo del mineral).**
- **Estos blindajes pueden presentar diferentes diseños de construcción**



- **Tipos de blindajes:**

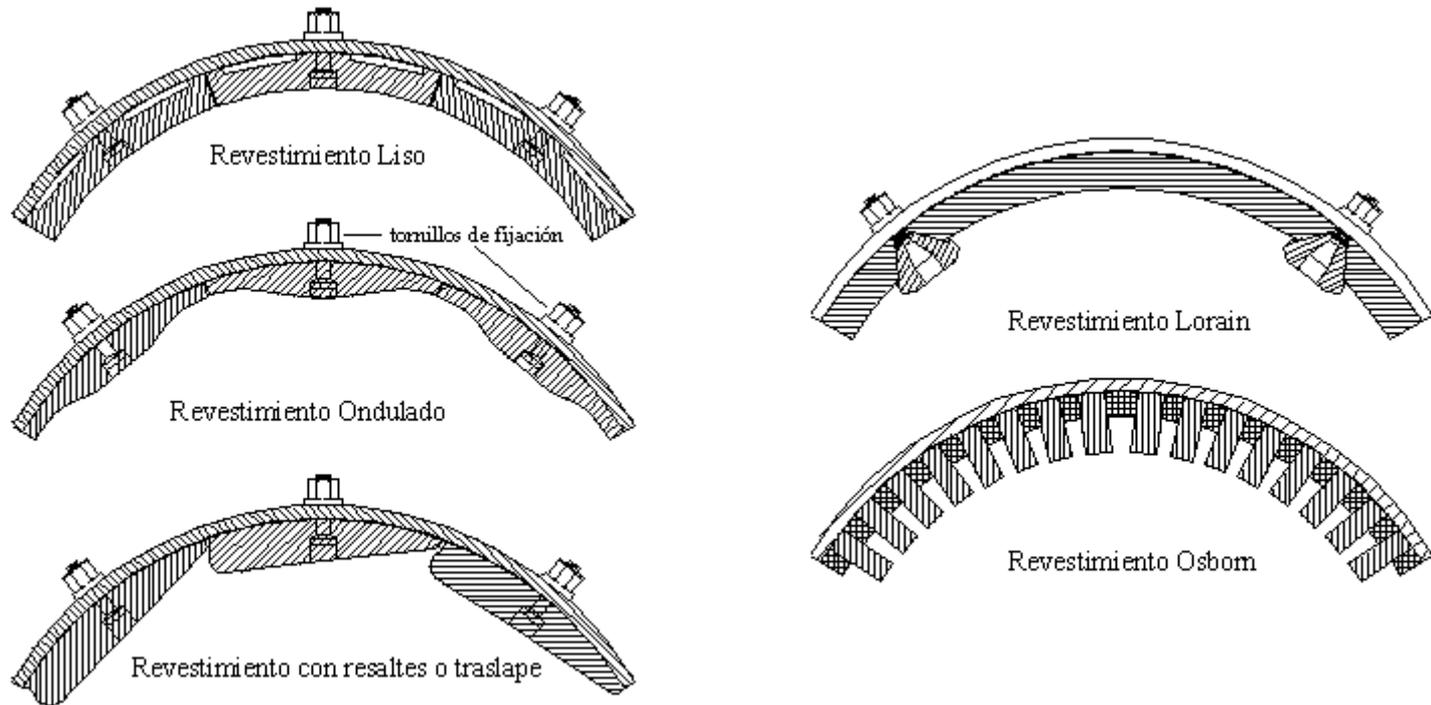


Figura 22



- La siguiente figura muestra el mantenimiento periódico del interior de un molino SAG

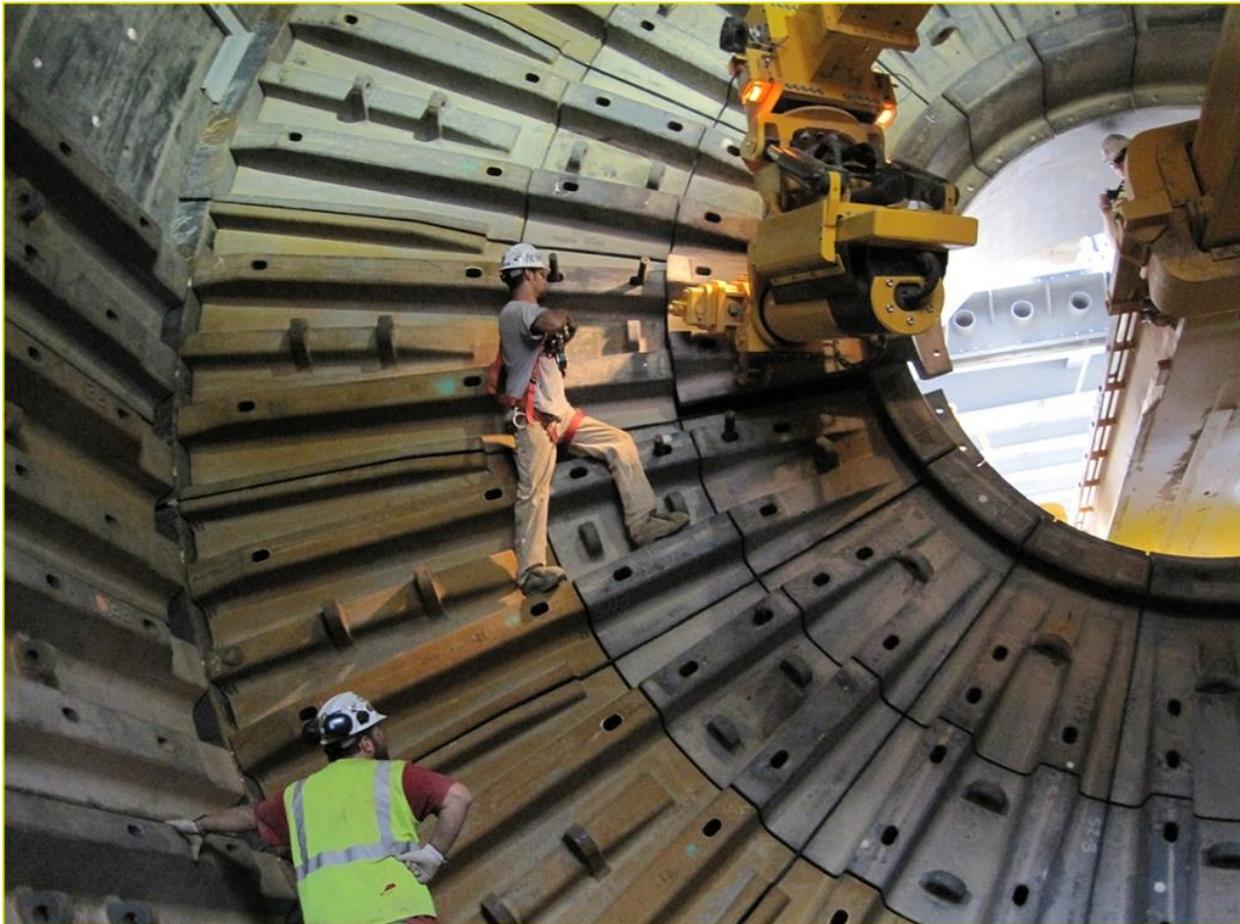


Figura 23

(www.cim.org)



- Los revestimientos pueden estar fabricados excepcionalmente de **cerámica**.
- Lo habitual es que sean de **acero fundido** o **acero laminado** por sus características resistentes.
- El empleo de **caucho** también se ha difundido, pero es más adecuado para molinos de bolas que tratan mineral muy duro (**no se debe sobrepasar la temperatura más allá de los 80°C ni entrar en contacto con reactivos de flotación**)

Figura 24





- **Trabajos de mantenimiento sobre los revestimientos interiores de molinos**



(www.kaltechglobal.net)

Figura 25



- **Trabajos de mantenimiento sobre los revestimientos interiores de molinos**



Figura 26



Trabajos de mantenimiento sobre los revestimientos interiores de molinos

Figura 27



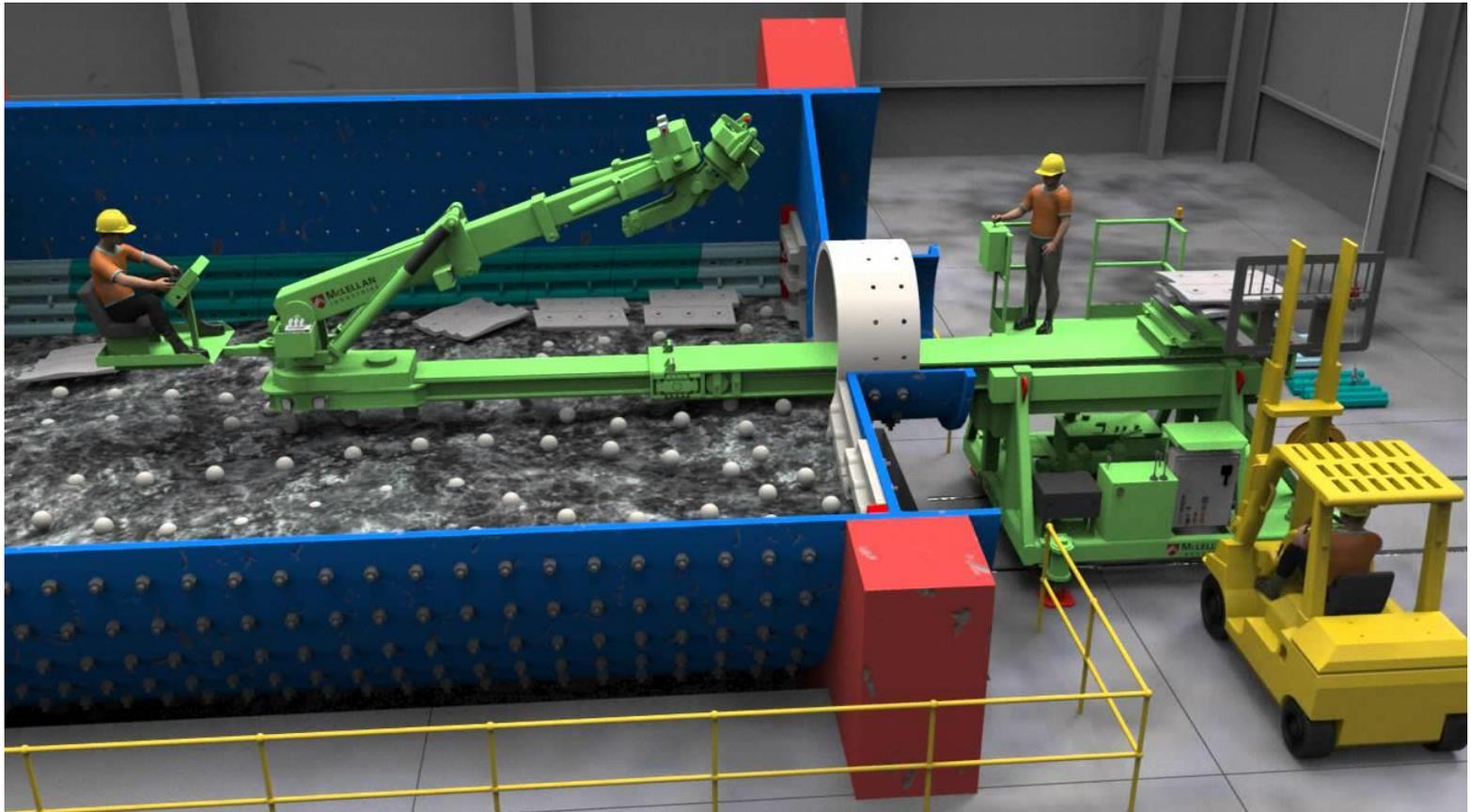
Figura 28



(www.mining-technology.com)



Trabajos de mantenimiento sobre los revestimientos interiores de molinos



(www.poly-corp.com)

Figura 29



4.6. Tipos de alimentadores

El tipo de alimentador que emplea un molino dependerá de:

- **Si la molienda es llevada a cabo en circuito abierto o cerrado.**
- **Si la molienda es llevada a cabo en húmedo o en seco.**
- **El tamaño de alimentación y la capacidad de tratamiento exigida.**



Alimentador de tubo:

Figura 30

- **Conducto cilíndrico o elíptico inclinado independientemente del molino y que se prolonga directamente hacia el interior del muñón del molino.**
- **El material cae por gravedad.**
- **Se emplean para alimentar a los molinos de barras en circuito abierto o a los molinos de bolas en circuito cerrado a través de hidrociclones.**

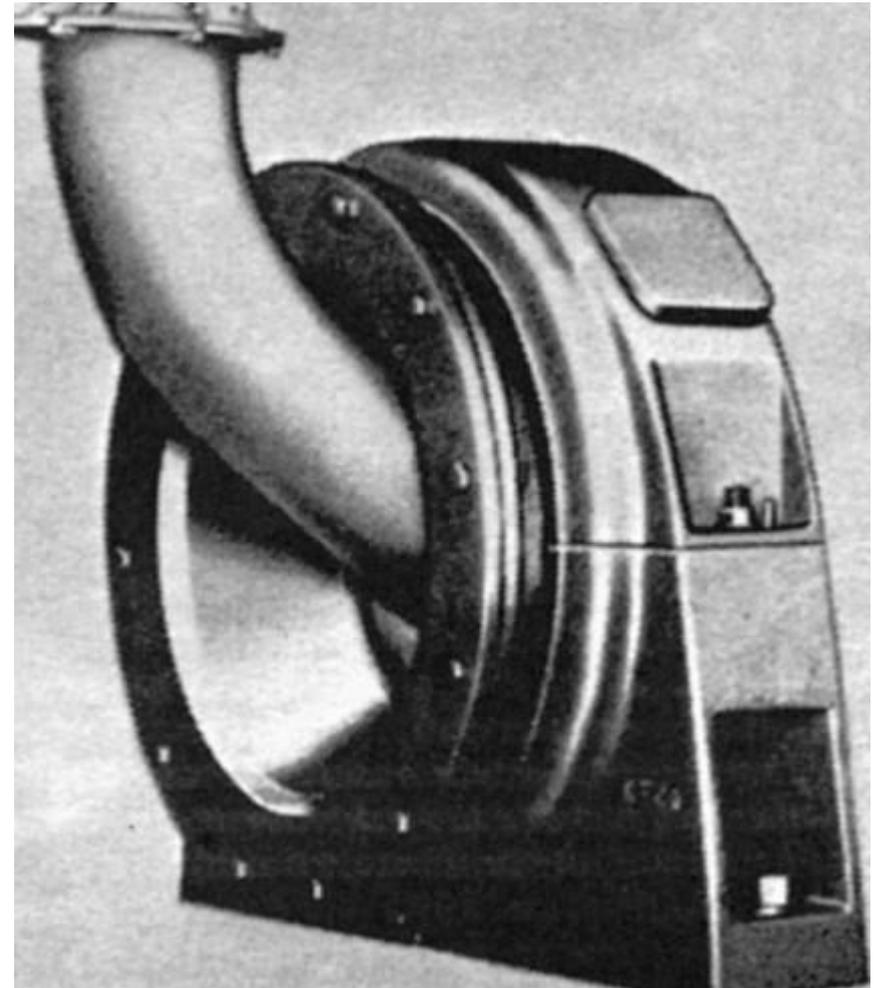




Figura 31

Alimentador de tubo:

- **Conducto cilíndrico o elíptico inclinado independientemente del molino y que se prolonga directamente hacia el interior del muñón del molino.**
- **El material cae por gravedad.**
- **Se emplean para alimentar a los molinos de barras en circuito abierto o a los molinos de bolas en circuito cerrado a través de hidrociclones.**

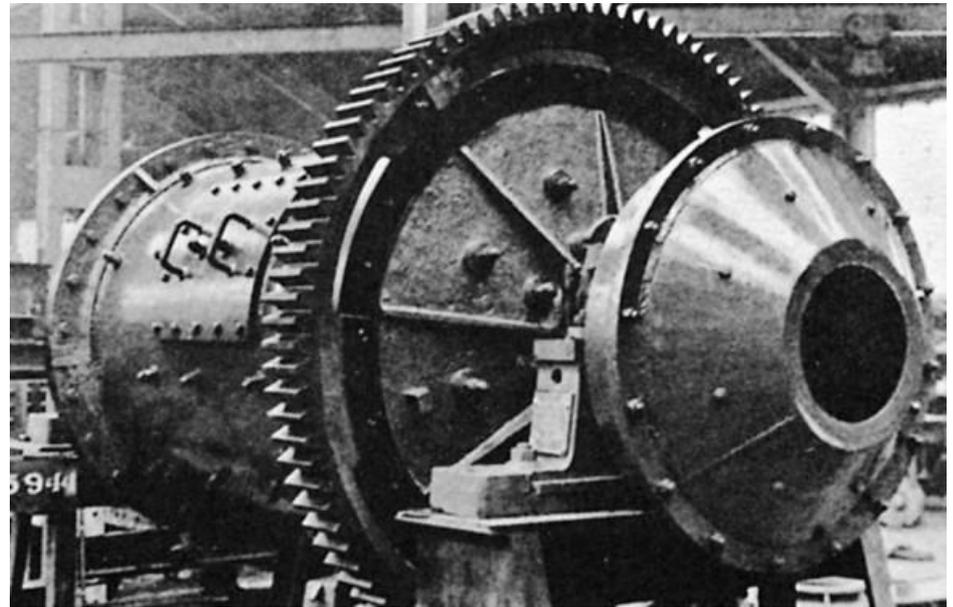




Alimentador de tambor:

- Se emplean en lugar de los de tubo cuando el espacio vertical es limitado.
- La alimentación entra al tambor vía alimentador de tubo y en su interior se dispone de una espiral que ayuda a transportar al material al interior del tambor.
- Este método también facilita las cargas de nuevas bolas.

Figura 32

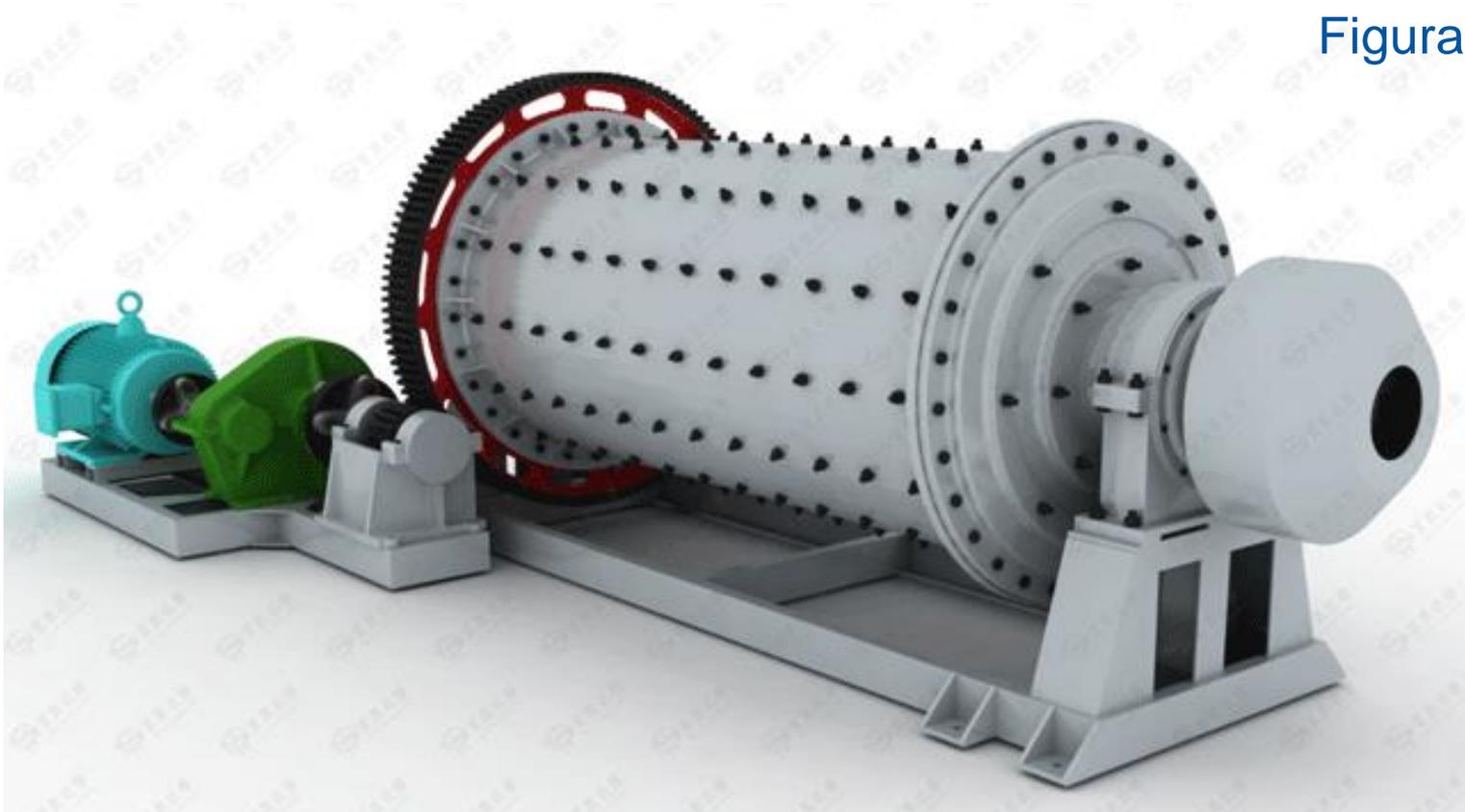


Wills' Mineral Processing Technology (2006)



Alimentador de tambor:

Figura 33



(www.bailingmachinery.com)



Alimentador de tambor:

(www.bailingmachinery.com)

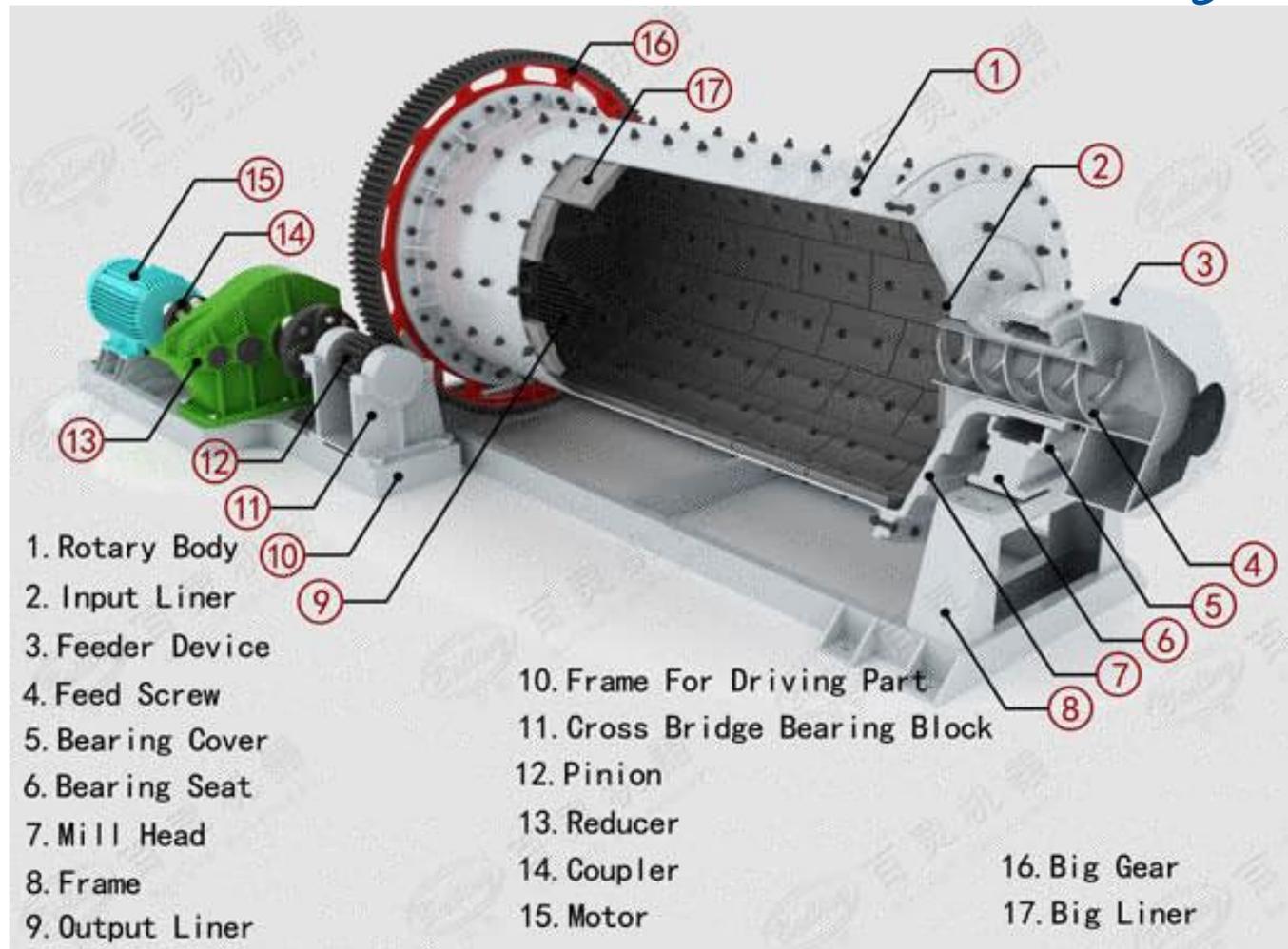


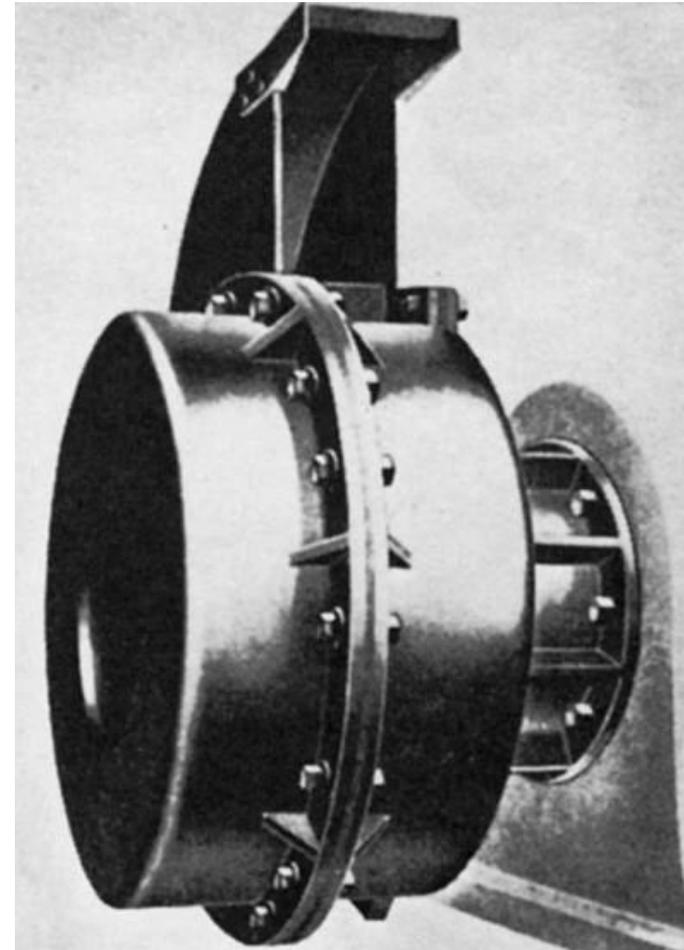
Figura 34



Combinación tambor-cuchara:

Figura 35

- Se usan en molienda húmeda y en circuito cerrado cuando se emplean clasificadores de espiral o de rastrillo.
- El nuevo material es alimentado a través del tambor mientras que la cuchara recoge el material que viene del clasificador.
- También se emplean alimentadores de doble cuchara.

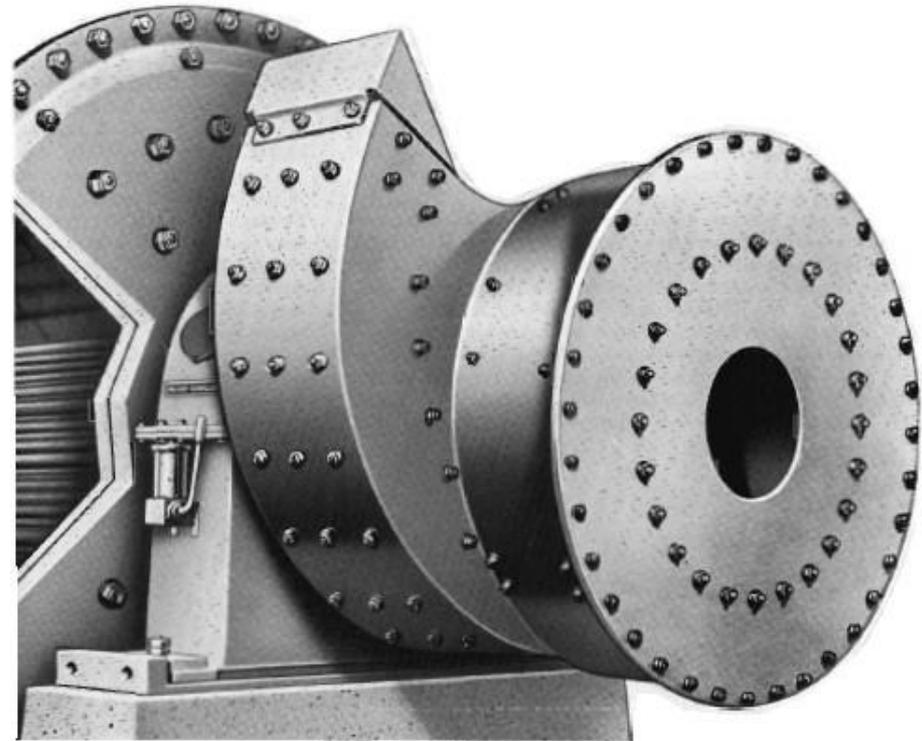




Combinación tambor-cuchara:

Figura 36

- Se usan en molienda húmeda y en circuito cerrado cuando se emplean clasificadores de espiral o de rastrillo.
- El nuevo material es alimentado a través del tambor mientras que la cuchara recoge el material que viene del clasificador.
- También se emplean alimentadores de doble cuchara.



Cortesía Allis-Chalmers



Combinación tambor-cuchara:

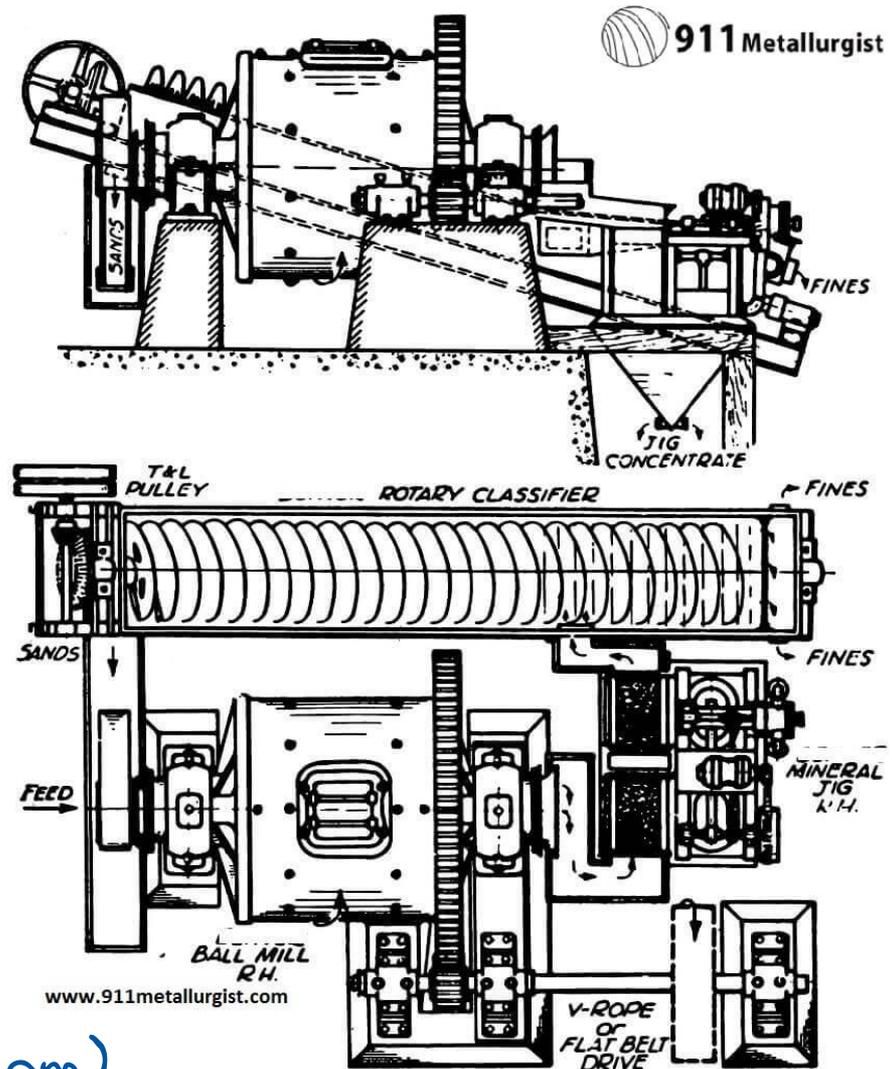


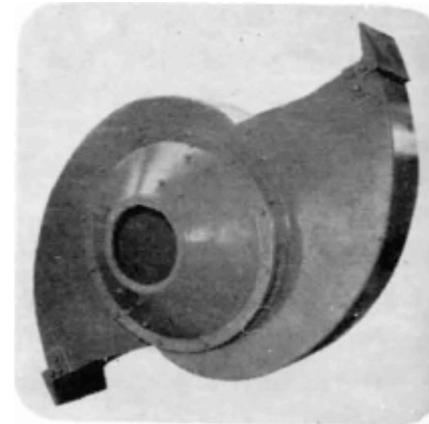
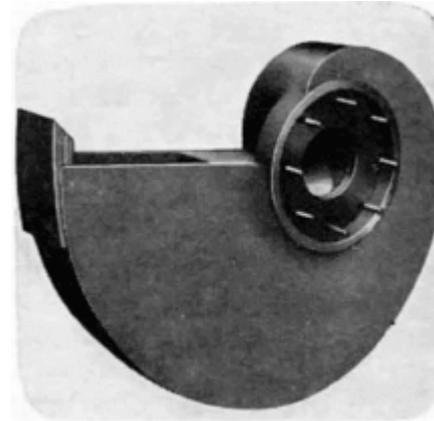
Figura 37



Combinación tambor-cuchara:

Figura 38

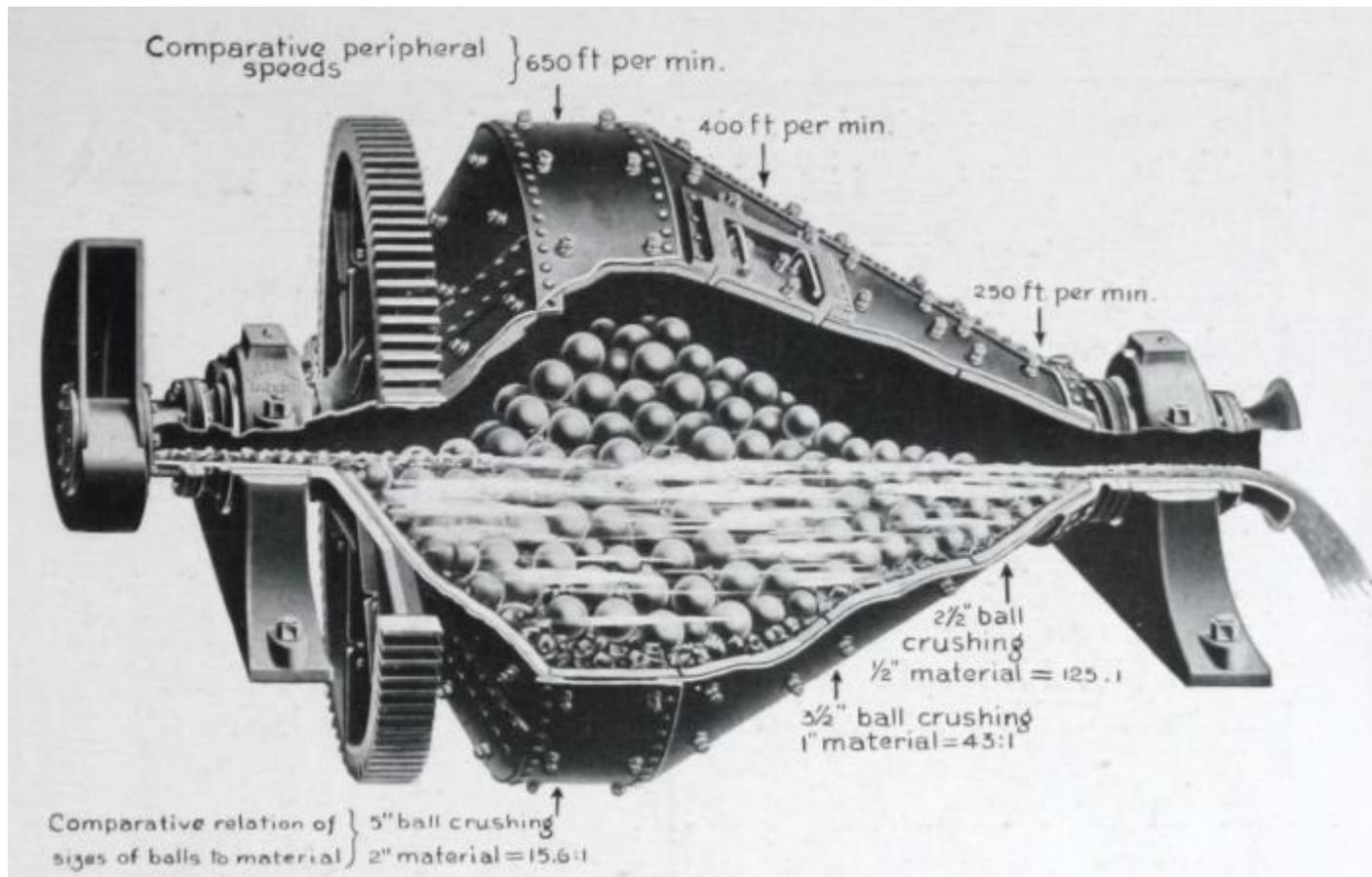
- Se usan en molienda húmeda y en circuito cerrado cuando se emplean clasificadores de espiral o de rastrillo.
- El nuevo material es alimentado a través del tambor mientras que la cuchara recoge el material que viene del clasificador.
- También se emplean alimentadores de doble cuchara.





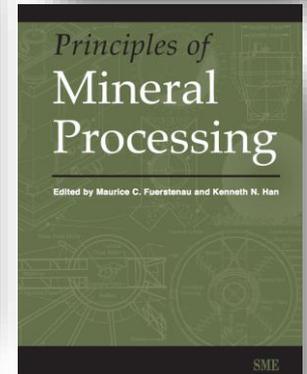
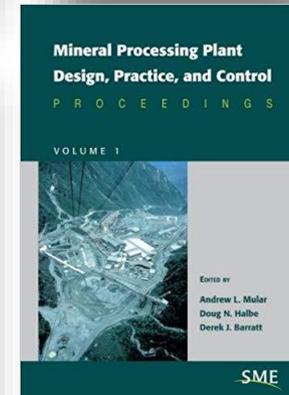
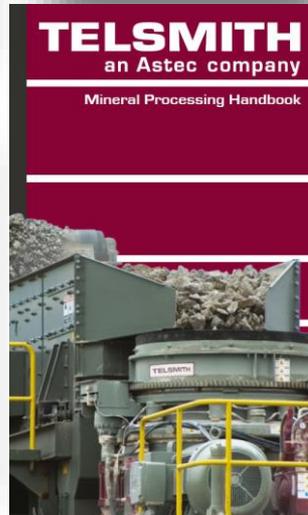
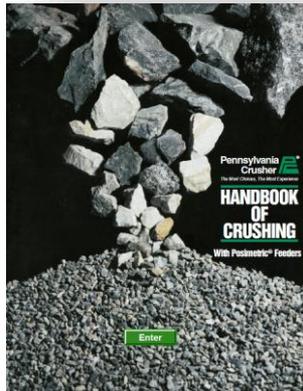
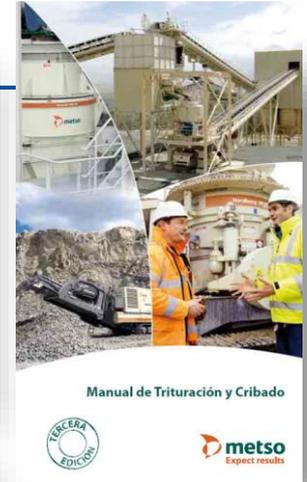
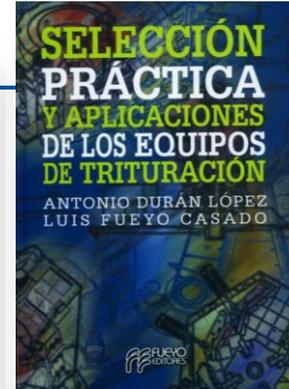
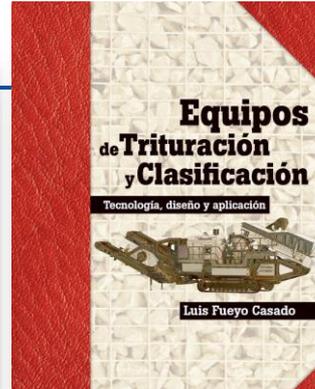
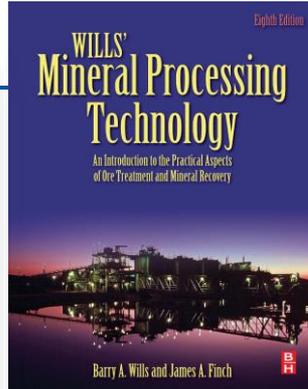
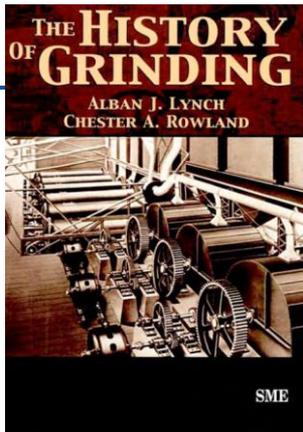
Combinación tambor-cuchara:

Figura 39



(www.911metallurgist.com)

Referencias:



Coal Processing and Utilization

D.V. Subba Rao
Formerly Head of the Department of Mineral Beneficiation, S.D.S Autonomous College, Andhra Pradesh, India

T. Gouricharan
Senior Principal Scientist and Head, Coal Preparation, Central Institute of Mining and Fuel Research, Dhanbadi, Jharkhand, India

