

MANUAL DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS 3D  
**TECNOLOGÍAS LIMPIAS**

---

**MOLINO DE BOLAS**

# MANUAL MOLINO DE BOLAS

El concepto del molino de bolas es muy antiguo, pero no fue sino hasta la revolución industrial y la invención de la máquina de vapor, que se pudo fabricar un molino de bolas eficaz. Sin embargo, hay referencias de que fue utilizado para moler sílex, destinado a hacer cerámica hacia 1870.

La función de todo molino de bolas es la de pulverizar el mineral entregado por procesos previos de trituración, empleando una combinación de fuerzas abrasivas y compresivas, que preparan el material minero para la liberación de minerales de valor en los posteriores procesos de separación.

Los molinos de bolas pueden trabajar con materiales secos o con materiales húmedos, adicionando agua durante el proceso de molienda. En el caso de la industria cementera, la molienda se hace en medio seco; por el contrario, en el caso de la producción de metales preciosos, la molienda se hace en medio húmedo.

El molino de bolas que trabaja en medio húmedo, es un equipo que permite la conminución del mineral dentro de un cilindro horizontal rotatorio, forrado interiormente con material resistente a la abrasión, y en cuyo interior se disponen bolas de acero de diferentes diámetros. Dentro de esta masa rotatoria se alimenta el material previamente triturado, con agua suficiente para formar la masa del mineral o pulpa de molienda de densidad adecuada. La capacidad de procesamiento de mineral de un molino depende de sus dimensiones, de la carga de bolas o cuerpos moledores (tamaño de las bolas y cantidad) y de la potencia del motor que lo haga girar.

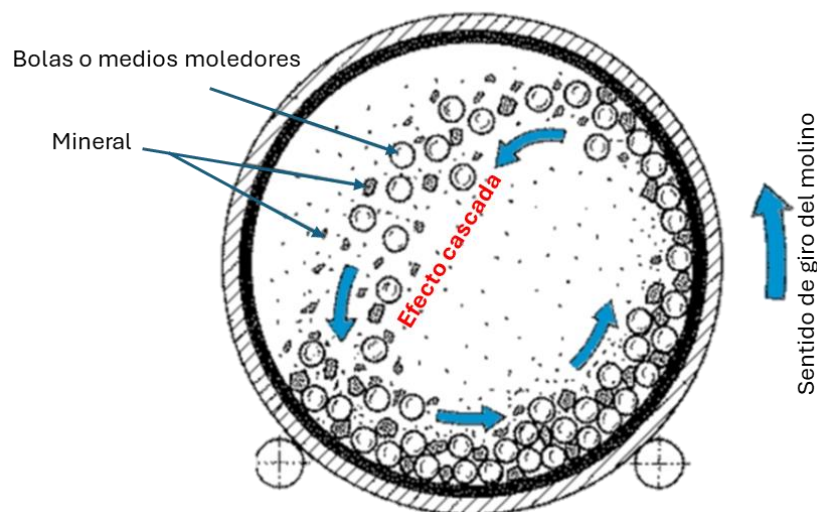


Imagen 1. Molino de bolas. Fuente: Planet GOLD, Colombia

## ¿Cómo funciona un molino de bolas?

El proceso de molienda de cualquier material minero inicia en una trituradora primaria que reduce el tamaño del material minero. Cuando los fragmentos de mineral tienen diámetros menores a 30 mm, se puede alimentar el molino de bolas. Este realizará el proceso de molienda para reducir el tamaño de grano de mineral entre 0,8 hasta 0,15 mm de diámetro, dependiendo del grado de molienda requerido.

Dentro del cilindro del molino de bolas, y en cada giro, los medios molidores o bolas hechas de una aleación de hierro y manganeso, se golpean y friccionan de manera continua. Este efecto de movimiento de las bolas y caída sobre ellas mismas se conoce como efecto cascada.



**Imagen 2.** Molino de bolas

**Fuente:** [www.gunt.de](http://www.gunt.de) - Planet GOLD, Colombia

Al agregar el mineral, y agua en el mismo, se constituye una masa giratoria que por efectos de fricción, golpe y desgaste tiene a disminuir el tamaño de los granos de mineral, generando una pulpa o lodo. Cuando este logra un tamaño menor, al de los espacios de la criba de salida localizada al final del cilindro, la supera y se decanta sobre un tanque de recibo del material, que puede ser conducido por gravedad hacia equipos de separación de minerales, como los canalones, las mesas separadoras, los concentradores centrífugos, las JIG u otros.

Los parámetros de operación a tener en cuenta en un molino de bolas son los siguientes: (los valores de los parámetros varían de acuerdo a las dimensiones de los molinos)

**Velocidad crítica:** es aquella velocidad de rotación del molino, para la cual, la primera fila de bolas en contacto con la carcasa, o las protecciones en su caso y por el efecto centrífugo, se adhiere a la carcasa y deja de producir efecto de molienda, es decir permanece adherida a la carcasa durante una vuelta completa.

$$V_{crítica} = \frac{76,6}{\sqrt{D}}$$

$$V_{operación} = \%Vc \cdot V_{crítica}$$

D: diámetro del molino

%Vc: porcentaje de velocidad critica teórico (75%-80%)

**Carga inicial de Bolas:** es el peso de bolas necesario para cumplir un volumen de llenado óptimo para iniciar la molienda.

$$Cib = \frac{29,2 \cdot Vcb \cdot \rho Fe \cdot Volmolino}{100} \text{ (35\% vol llenado de bolas)}$$

Vcb: volumen de llenado de bolas

$\rho Fe$ : densidad del material de las bolas

Volmolino: Volumen del molino

**Potencia:** es la potencia útil de un molino de bolas de descarga por rebose (medio húmedo); según Nordberg:

$$kW = M_c \left[ 4,879 \cdot D_M^{0,3} (3,2 - 3V_p) C_s \left( 1 - \frac{0,1}{29 - 10 \cdot C_s} \right) \right]$$

$M_c$ : peso de la carga de bolas (ton)

$D_m$ : diámetro interior entre revestimiento

$V_p$ : volumen de carga ocupado por las bolas

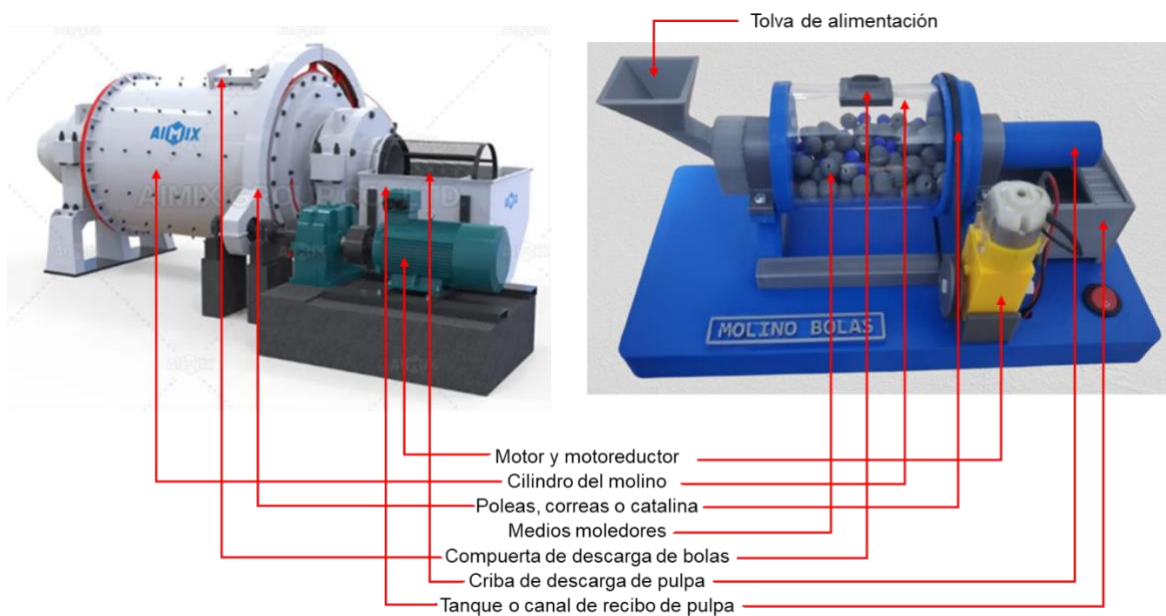
$C_s$ : porcentaje de la velocidad crítica

**Tamaño de partícula del alimento:** depende de las características del molino, pero en promedio un buen tamaño de partícula para el alimento en molinos de pequeña escala es menor a 11mm, aunque molinos de mayor tamaño aceptan bien tamaños de molienda de hasta 30 mm.

**Densidad de pulpa a la salida molino:** es la relación óptima de agua y mineral triturado dentro del molino para aprovechar la mayor cantidad de mineral a moler, según las capacidades del molino. Esta debe ser de 1,81 a 1,85 g/ml.

**¿Cómo está compuesto un molino de bolas de medio húmedo?**

Los molinos de bolas son equipos mecánicos de conminución de mineral, que funcionan en medio húmedo. Para ello deben contar mínimo con los siguientes elementos:



**Imagen 3.** Partes del molino de bolas

**Fuente:** www.aimixgroup.com - Planet GOLD, Colombia

- ▶ Motor y motodeducor.
- ▶ Cilindro del molino.
- ▶ Placas interiores del molino de alta resistencia.
- ▶ Poleas, correas o catalina.
- ▶ Medios moledores.
- ▶ Compuerta de descarga de bolas.
- ▶ Tolva de alimentación.
- ▶ Tubería de descarga de agua.
- ▶ Criba de descarga de pulpa.
- ▶ Tubería y flauta de agua para la limpieza de la criba de descarga de pulpa.
- ▶ Tanque o canal de recibo de pulpa.

## Operación de un molino de bolas

Para iniciar una molienda, con un molino de bolas de medio húmedo, se deben tener establecidos todos los parámetros de operación, con el fin de realizar una molienda eficiente como se mostró en el apartado anterior.

El arranque de un molino depende de su estado inicial, es decir, si está lleno de carga, porque se paró por algún motivo; o si el molino está vacío, solo con los cuerpos moledores y se va a iniciar una molienda.

Para iniciar el molino con carga de mineral:

1. Asegurar el motor del molino para que no se vaya a encender, y pueda ser manipulado de forma manual.
2. Hacer pequeños movimientos de vaivén, para que la pasta que se ha formado al interior del molino se vaya soltando y el motor pueda girar el molino. Tener presente, no realizar mucho esfuerzo, tratando de romper la inercia de esa masa que se ha acumulado.
3. Después de haber girado completamente el molino y garantizado que la masa está suelta, se procede a habilitar el motor para poder encenderlo.
4. Antes de que el molino empiece a dar vueltas se debe agregar agua para amortiguar el choque de las bolas por la ausencia de mineral.
5. Una vez el molino esté dando vueltas, se adiciona la alimentación del mineral, para que la densidad de la pulpa al interior del molino sea la de los parámetros de operación y se inicie con el proceso de molienda.

Para iniciar un molino sin carga de mineral, ni bolas:

1. Se agrega la carga inicial de bolas.
2. En estado de reposo, se agrega agua hasta que llegue al punto de rebose.
3. Se enciende el motor y se da inicio a la molienda.
4. Inmediatamente esté girando, se debe alimentar el molino con el mineral.
5. Evaluar la descarga hasta encontrar la densidad óptima, según los parámetros de operación y regulando la cantidad de agua. La alimentación de mineral debe ser constante de acuerdo a la capacidad del molino por día.

## **Mantenimiento de un molino de bolas**

Dado que el molino de bolas realiza una actividad continua de conminución de mineral en su interior, el desgaste de algunas de sus partes es muy alto, y en consecuencia, el mantenimiento continuo de este tipo de equipos es indispensable. Para asegurar extender la vida útil de un molino de bolas se deben tener en cuenta las siguientes observaciones:

### **Mantenga limpio el equipo**

El trabajo de limpieza es imprescindible para el molino de bolas. Solo eliminando todas las impurezas del interior y exterior de la máquina se puede garantizar el funcionamiento normal del equipo. Si hay demasiadas impurezas, no solo será difícil poner en marcha el equipo, sino que también se producirá el fenómeno de trituración y producción deficiente. Se recomienda limpiar el molino de bolas con regularidad, como la base. Cuando hay demasiadas impurezas en la base, es fácil oxidarse. Por lo tanto, las impurezas deben eliminarse primero y la base debe limpiarse.

### **Lubricación de partes móviles**

Después de que el molino de bolas se usa por primera vez y se requiere operar continuamente durante un mes, el aceite lubricante debe reemplazarse con aceite lubricante nuevo (seleccione el aceite lubricante correcto). En el uso posterior del molino de bolas, el aceite lubricante debe reemplazarse cada seis meses de funcionamiento. Se recomienda añadir grasa, en los puntos de lubricación de las chumaceras y rodamientos, todas las semanas durante el funcionamiento del equipo.

### **Inspección periódica**

Revise y repare periódicamente todas las partes del molino de bolas, de modo que no solo se puedan encontrar a tiempo las anomalías y problemas de la máquina, sino que también se pueda prevenir la aparición de fallas. Por ejemplo, verifique si hay una fuga de aceite en la superficie de la junta; una fuga de agua; o cualquier otro tipo de fenómeno de fuga, y determine el estado de uso del sujetador. Especialmente, para algunas piezas vulnerables, se debe fortalecer la frecuencia de inspección y el mantenimiento o reparación oportunos; con esto, logrará extender la vida útil de las piezas y, en consecuencia, la operación efectiva del molino de bolas.

### **Reemplazo de placas de alta resistencia**

Al interior del molino, están ancladas unas placas de acero de alta resistencia, que protegen la pared del cilindro del molino de un desgaste prematuro. Estos anclajes se hacen con ayuda de pernos y tuercas, que atraviesan la pared del molino.

Debido a que en el interior del molino se realiza la conminución del mineral, es allí donde se presenta el mayor desgaste de los materiales de construcción del molino; por eso, una vez al año se deben desmontar todas las placas de alta resistencia del interior del molino y reemplazar aquellas que visualmente están muy delgadas o se encuentran en mal estado.

Es importante asegurar que la densidad de la pulpa sea la óptima, midiéndola de manera continua. Tener presente que, si la pulpa cuenta con buena, esta ayudará a cuidar el interior del molino, evitando el choque de las bolas con las paredes del mismo.

### Reemplazo del medio molidor o bolas

Las bolas de acero manganeso, que tienen la función de moler el mineral en el interior del cilindro del molino, son las que mayor desgaste sufren, disminuyendo su diámetro de manera constante. Es por ello que, siempre se debe tener disponible una cantidad de bolas equivalente a la que se encuentra dentro del molino, para ir agregando medios molidores en la medida en que estos se desgastan.

La recarga de bolas se debe calcular de acuerdo con la cantidad de horas de operación y la dureza del mineral procesado, por ello no hay una fórmula estándar que determine la velocidad de desgaste de las mismas. La observación y experiencia permitirá identificar la cantidad de medios molidores que deben reponerse en la unidad de tiempo. Por logística y facilidad de operación, solo se deben recargar los tamaños de bolas de mayor diámetro.

Nota: el plan específico de mantenimiento del molino de bolas debe ser suministrado por el proveedor del equipo, quien conoce de primera mano todas sus características de diseño y trabajo.



### Normas de Seguridad

Durante la operación del molino de bolas, es recomendable utilizar siempre los elementos de protección personal, sin importar que los riesgos sean mínimos. Por tanto, se sugiere usar:

- ▶ Protector auditivo.
- ▶ Casco protector.
- ▶ Guantes de vaqueta.
- ▶ Botas de seguridad punta de acero.
- ▶ Uniforme Completo (camisa manga larga abotonada y pantalón).
- ▶ Gafas protectoras.
- ▶ Protector respiratorio con filtro de gases.
- ▶ Tenga en cuenta que está manipulando sustancias altamente tóxicas.



### Bibliografía

- ▶ Arriagada, M. (2013) Curso de molienda, primera parte.  
<https://es.slideshare.net/miguelangelarriagada/molienda-24994633>
- ▶ Salas, R. (2019). Cálculo de la carga inicial de bolas.  
<https://es.scribd.com/presentation/414906039/CALCULO-DE-LA-CARGA-INICIAL-DE-BOLAS-pptx#>
- ▶ Alpa Powder. (2021). Medidas de mantenimiento del molino de bolas.  
<https://www.alpapowder.com/es/115413/>