

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RECURSOS MINERALES



TEMA 5 – Parte II: MOLINOS BARRAS



5

MOLINOS BARRAS – PARTE II





INDICE

- 1. Breve introducción. Conceptos teóricos básicos
- Factores de diseño de los molinos de barras
- 3. Molinos de barras. Variables de operación
- 4. Molinos de bolas. Estimación de la potencia
- Referencias de consulta

1. Breve Introducción. Conceptos teóricos básicos



Molinos de barras

Los molinos de barras se emplearán en las primeras etapas de molienda gruesa.

En su interior se colocarán barras de acero con una longitud de apróx. 150 mm más corta que la longitud interior del molino.

Como regla, un molino de bolas seguirá a un molino de barras.



(Fuente: www.diytrade.com)

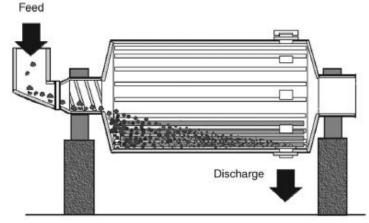
(Fuente: Allis-Chalmer - Metso)



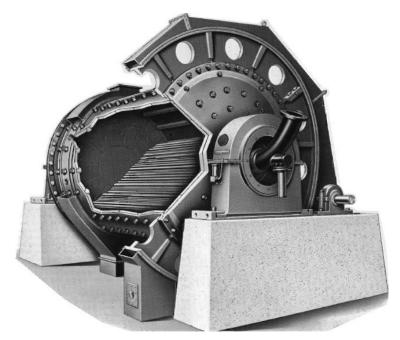
Imagen del interior de un molino de barras



- Las características de estos molinos son similares a los de bolas.
- También hay tipos que presentan descarga periférica lateral.
- El ratio longitud-diámetro variará entre 1.2 y 2.3.
- Los revestimientos interiores podrán ser de caucho o acero anclados con pernos al tambor.
- Los molinos que presentan descarga por rebose irán dotados de un trómel para retirar cualquier fragmento de hierro o acero en la corriente de la pulpa.



(Fuente: Gupta and Yan, 2016)



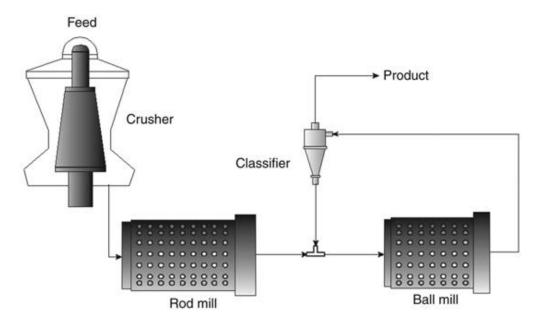
(Fuente: Allis-Chalmer - Metso)



El diseño de planta convencional es el de una disposición de molino de barras anterior al molino de bolas y que recibirá el producto de una trituradora secundaria.

Los molinos de barras trabajan normalmente en circuito abierto.

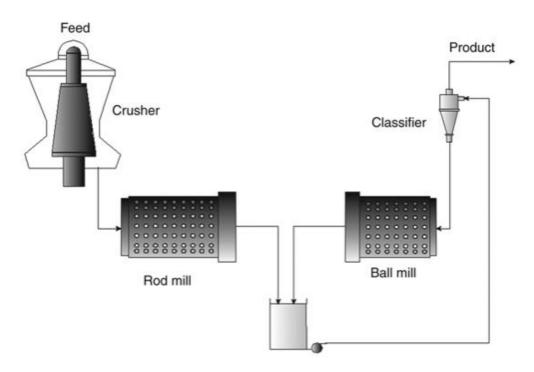
El siguiente esquema es típico cuando el molino de bolas requiere una alimentación con un tamaño uniforme.



(Fuente: Gupta and Yan, 2016)



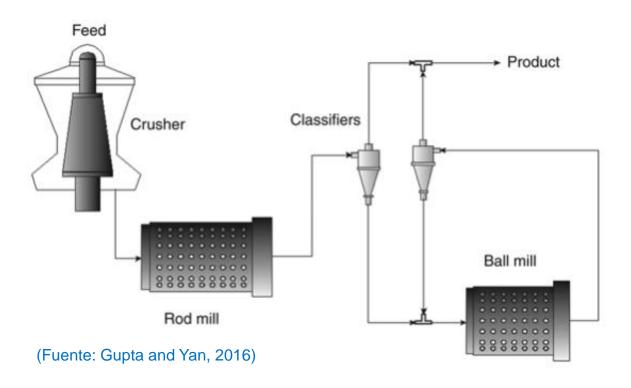
El siguiente diseño es apropiado para incrementar la eficiencia del molino de bolas y proporcionarle una alimentación aún más uniforme.



(Fuente: Gupta and Yan, 2016)



El siguiente diseño es apropiado cuando se quiere un elevado control del tamaño final del producto.





Volumen de carga

Al igual que con los molinos de bolas. Este parámetro es importante para no sobrecargar el molino ni infracargarlo.

Por lo general, el volumen de carga está en un 45% del volumen del molino.

En reposo, la porosidad de la carga de barras será de un 9.3% y en operación podrá llegar al 40%.

El desgaste de las barras se produce de una manera más intensa en los extremos, reduciendo su densidad de 6.25 t/m³ a 5.8 t/m³.

Periódicamente habrá que hacer paradas de mantenimiento y reemplazar las barras desgastadas.

En operaciones de molienda por vía húmeda, la pulpa mineral llevará un contenido de un 60% de sólidos en peso.



Longitud de barra

Los tamaños de longitud de barras no debería ir más allá de los 6 metros.

Problemas de pandeo, doblamientos y trabamientos en el interior del molino.

La velocidad de giro del molino va en sentido inverso al tamaño de las barras.

Grandes velocidades de giro requiere barras de menor diámetro en mayor número.

Las barras deberán ser más cortas que la longitud interior del molinos (152 mm).

Las barras pueden partir durante las operaciones de molienda.

Se recomienda un ratio (longitud de barra : diámetro del molino) de entre 1.4 y 1.6 para proporcionar una buena durabilidad de las barras y buenos rendimientos.



Diámetro máximo inicial de barra

Rowland y Kjos (1980) considera la siguiente expresión para determinar el diámetro máximo inicial de barras:

$$d_{R} = 25.4 \left[\frac{F_{80}^{0.75}}{160} \left(\frac{W_{i} \cdot \rho_{S}}{100 \cdot \phi_{C} \cdot \sqrt{3.281 \cdot D}} \right)^{0.5} \right]$$
 (mm)

 d_R = Diámetro máximo inicial de la barra (mm)

D = Diámetro interior del molino (m)

 $\phi_{C}=\,$ Fracción de la velocidad crítica

Con el fin de aprovechar los huecos entre barras, también se debe introducir barras con diferentes diámetros.



Tamaños de barras para su reemplazo

Durante la operación de molienda las barras se van desgastando y es necesario sustituirlas, para ello se puede emplear las siguiente tabla:

Max. Dia of Rod (mm)	125	115	100	90	75	65
125	18					
115	22	20				
100	10	23	20			
90	14	20	27	20		
75	11	15	21	33	31	
65	7	10	15	21	39	34
50	9	12	17	26	30	66
Total (%)	100	100	100	100	100	100

(Fuente: Gupta and Yan, 2016)

Para entrar en dicha tabla, se puede partir del diámetro (d_R) obtenido en la expresión anterior.

Si se necesita introducir más de un tamaño inicial se puede seguir el procedimiento visto en la parte de molinos de bolas.



Razón de reducción

Suele moverse entre 2 y 20. Siendo 8 lo usual.

Va a depender de las características del mineral.

Según Bond la razón de reducción será función de la longitud del molino y su diámetro:

$$R_{RO} = 8 + \frac{5 \cdot L}{D}$$

 $R_{RO} = Razón óptima de reducción$

L = Longitud interior del molino

Si L/D es igual a 1.5, se toma R_{RO} igual a 15.5

Además, se debe considerar un factor de corrección de ineficiencia:

$$F_1 = 1 + \frac{\left(R - R_{RO}\right)^2}{150}$$

R = Razón de reducción real



Molinos de barras

Método de Rowland and Kjos

El cálculo de la potencia se basa en las mismas variables que para los molinos de bolas. Su expresión viene dada por:

$$\frac{P_{M}}{M_{R}} = 1.752 \cdot D^{0.33} \cdot (6.3 - 5.4 \cdot J_{R}) \cdot \phi_{C}$$

Donde:

 P_{M}/M_{R} = Potencia del molino por peso de barras (kW/t)

D = Diámetro interior del molino (m)

 J_R = Porcentaje de volumen que ocupa la carga de barras

 $\phi_{\rm C}=$ Porcentaje de la velocidad crítica

Esta expresión proporciona la potencia necesaria en el eje piñón por unidad de carga de barras.



Molinos de barras

Método de Rowland and Kjos (1980)

$$\frac{P_M}{M_R} = 1.752 \cdot D^{0.33} \cdot (6.3 - 5.4 \cdot J_R) \cdot \phi_C$$

Además la expresión anterior requiere que la velocidad periférica esté relacionada por la siguiente expresión:

Velocidad periférica (m/min) =
$$108.8 \cdot D^{0.3}$$

D = Diámetro interior del molino (m)

Esta expresión se aplicaría a molinos de barras con diámetros comprendidos entre 1.52 y 4.1 metros.



Factores de corrección de la potencia

Se aplican cuando las condiciones reales de trabajo de los molinos de barras (también los molinos de bolas) se alejan de las condiciones ideales establecidas para la obtención de la potencia con la ecuación de Bond:

Factor corrector para molienda por vía seca (F_1)

$$P_{M(ext{seco})} = P_{M(ext{húmdo})} \times F_1$$

 F_1 = Varía entre 1.1 y 2.0; pero generalmente se toma como 1.3

Factor corrector para molienda en circuito abierto (F_2)

$$P_{M(ext{Molienda Circuito Abierto})} = P_{M(ext{Molienda Circuito Cerrado})} imes F_2$$

 F_2 = Para el caso de molinos de barras se toma como 1.0



Factores de corrección de la potencia

Factor corrector del diámetro del molino (F₃)

$$F_3 = \left(\frac{2.44}{D}\right)^{0.2}$$
 para $D < 3.81$ m
 $F_3 = 0.914$ para $D \ge 3.81$ m

D = Diámetro interior del molino en m.

Para diámetros de molino superiores a 3.81 m, F_3 toma el valor de 0.914.



Factores de corrección de la potencia

Factor corrector porcentaje de sobretamaño en la alimentación (F_4)

Austin, Kimpel and Luckie (1984) establecen la expresión para conocer cuando se considera que hay que aplicar el factor de sobretamaño:

$$F_{80} > 4000 \cdot \left(\frac{14.3}{W_i}\right)^{0.5}$$

La expresión para el tamaño óptimo es establecida como:

$$F_{OPT} = 16000 \cdot \left(\frac{14.3}{W_i}\right)^{0.5}$$

La expresión para obtener el factor de corrección F_4 es:

$$F_4 = 1 + \frac{\left(\frac{W_i}{1.1} - 7\right)\left(\frac{F_{80} - F_{OPT}}{F_{OPT}}\right)}{R}$$



Factores de corrección de la potencia

Factor corrector por tipo de molienda fina (F_5)

Tiene en cuenta el grado de molienda fina al que hay que llegar:

$$F_5 = \frac{P_{80} + 10.3}{1.145 \cdot P_{80}}$$

La expresión se aplicaría cuando el P_{80} es inferior a 75 micras.

Factor corrector por la razón de reducción (F_6)

Su expresión es:

$$F_6 = 1 + 0.0067 \cdot (R - R^*)^2$$

$$R^* = 8 + \frac{5 \cdot L_R}{D}$$

$$L_R$$
 = Longitud de las barras (m)

Este factor no se debe aplicar si se cumple que:

$$-2 < (R - R^*) < +2$$



Factores de corrección de la potencia

Factor corrector para razón de reducción baja (F_7)

Si la razón de reducción es inferior a 6 se debe aplicar el siguiente factor:

$$F_7 = \frac{2 \cdot (R - 1.35) + 0.26}{2 \cdot (R - 1.35)}$$

Aplicable sólo a molinos de bolas y especialmente a operaciones de remolienda.

Factor corrector por el tipo de alimentación realizada (F₈)

Tiene en cuenta si la alimentación se realiza vía cinta transportadora, tolva, etc., puesto que afecta al consumo de energía requerida.

Tiene en cuenta si la alimentación se realiza vía cinta transportadora, tolva, etc., puesto que afecta al consumo de energía requerida.

Para obtener dicho valor corrector se emplea la tabla que se facilita (ver tabla).



Factores de corrección de la potencia

Obtención de la potencia corregida

Una vez obtenidos todos los factores anteriores se aplicaría a la expresión de la potencia:

$$F_T = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6 \cdot F_7 \cdot F_8$$

$$P_{M} = W \times \text{Capacidad} \times F_{T}$$

Ejemplo 15:

Una trituradora de mandíbulas en circuito cerrado con una producción de 200 t/h envía el producto triturado a un molino de barras trabajando por vía húmeda donde el 80% de la alimentación está comprendida por tamaños que pasan una criba de 16 mm de abertura. El molino de barras alimenta a un molino de bolas con un tamaño de 1.0 mm, éste último produciendo un producto caracterizado por un 80% de paso por una criba de abertura cuadrada igual a 150 micras. El molino de barras trabaja con circuito abierto con el molino de bolas. Se pide determinar:

- 1. La potencia requerida para el molino de barras.
- 2. El tamaño del molino necesario.

Datos facilitados de ensayos de laboratorio: Índice de trabajo (10 mallas) = 13.5 kWh/t

Referencias para consulta:



