

- 60 -

618-5 MOLINOS DE BOLAS, TUBULARES Y DE PEDERNAL

J. Lomas

De: "INTERN. CHEMICAL ENGINEERING, 461, octubre 1949.

En las industrias minera y química y, en especial, en la fabricación del cemento, se hace amplio uso de los molinos de bolas en sus diversas formas. Como es sabido, estos molturadores consisten en un cilindro corto, o largo (molinos tubulares), que contiene una carga de bolas (que no tienen por qué ser esféricas) de acero, fundición, pedernal, porcelana e incluso ebonita. Existen cargas de formas muy variadas y adaptadas a diversos usos tales como los "cylpebs", "Helipebs" etc. Los molinos "de varillas" contienen pequeños cilindros - trozos de varilla - en sustitución de las bolas.

En los molinos de bolas, la longitud del cilindro rara vez excede al diámetro. Los tubulares son mucho más largos y dan un producto generalmente más fino que los de bolas. Hay molinos compuestos o mixtos, caracterizados por la división en compartimientos, cada uno de los cuales contiene bolas de tamaño diferente. Los molinos de varillas dan un material más uniforme y granular, sin excesivo contenido en finos. En ocasiones, el recubrimiento interno del molino se hace de sílex u otro material duro análogo, en cuyo caso las bolas son de pedernal. Estos se emplean cuando el producto a moler no puede entrar en contacto con el hierro.

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

Los molinos tubulares, llevan su parte interna - que es la que está sometida a la abrasión e impacto de las bolas y del material - recubierta con chapas de acero al cromo o al manganeso, material del cual también se fabrican las bolas.

El autor hace una descripción bastante completa de los diversos tipos de molinos de bolas, deteniéndose en algunos detalles de fabricación de los mismos, tales como unión de las chapas que forman el cuerpo del molino (soldadura o remachado), forma de las cargas, relaciones dimensionales, etc. Merecen destacarse las consideraciones sobre los mecanismos de impulsión de los molinos de bolas. Como es sabido, estos molinos son de marcha lenta, que viene condicionada por el diámetro interior del cilindro. La fórmula:

$$n = \frac{23 \text{ á } 28}{D} \text{ (r.p.m.)} \quad (D = \text{diámetro})$$

da la velocidad de rotación límite, por encima de la cual, las bolas se mantienen pegadas a la pared, en virtud de la fuerza centrífuga, y no trituran el material. Por ello, los motores ordinarios no pueden ser acoplados directamente a estos molinos. Generalmente, la carcasa del molino va provista de una corona dentada (en uno de sus extremos) que engrana con un piñón, movido por el motor. Dada la potencia que requieren algunos de estos molinos, (más de 1.000 HP), ya se comprende que tales engranajes están sometidos a duras condiciones de desgaste y esfuerzo. Estos mecanismos de transmisión absorben un 15 %, aproximadamente, de la potencia total. Es por esto por lo que, últimamente, se -

tiende al empleo de transmisiones flexibles, que empalman el motor, o sus mecanismos reductores, directamente con el molino. Una de estas transmisiones consiste, pues, en un motor, con caja reductora de velocidad; de esta sale un eje (que puede ser todo lo largo que se desee) y que, mediante un acoplo flexible, se une al molino. De este modo, se logran varias ventajas: La cámara de motores no tiene por que estar en el local de molturación (ausencia de polvo); el acoplo flexible absorbe los esfuerzos originados por los desplazamientos de los muñones del molino; supresión de la corona dentada, de gran tamaño (y peso), y del piñón de ataque; funcionamiento del molino suave y sin vibraciones; elevado rendimiento en la transmisión, etc.

Como es lógico, la supresión de la corona, es la principal de estas ventajas. En efecto, por las especiales características del trabajo (sobre todo en cementería), no puede lograrse un engrase adecuado ni un ajuste perfecto; la holgura entre corona y piñón es inevitable, con la consiguiente producción de ruido. La potencia absorbida, aumenta con el desgaste de los dientes de la corona.

Veamos algunos datos comparativos entre la transmisión por engranaje y la transmisión por varilla o eje flexible:

Rendimiento de los engranajes 88 %

Rendimiento del eje flexible 96 %

Consumo de potencia para un molino de 100 kw:

a) Con engranaje 113,6 kw.

b) Con eje flexible 104,2 kw.

c) Ahorro 9.4 kw.

Este ahorro no es insignificante puesto que, en el caso de un molino de 400 HP, por ejemplo, puede llegar a representar cerca de 700 £ anuales. Esto supone que la amortización de estos mecanismos de transmisión por caja reductora y eje flexible, puede verificarse en menos de un año.

Los molinos compuestos, de gran tamaño, presentan notables ventajas sobre las unidades pequeñas. Así, es siempre más conveniente montar un solo molino de 30 - 35 Tm/hora de producción, que varios de tamaño menor. Los dispositivos de alimentación, descarga, impulsión, etc. se simplifican, disminuyéndose la probabilidad de averías. En la tabla siguiente pueden verse algunas características de construcción y funcionamiento de un molino tubular de 13,7 m. de largo.

T a b l a I

Dimensiones externas	2,6 x 13,7 metros.
Dimensiones internas	2,47 x 12,8 metros.
Volumen útil	62,2 m ³ .
Tamaños de las bolas	9,5 a 101,6 mm.
Peso total de las bolas	75 Tm.
Volumen total de las bolas	18,1 m ³ .
Velocidad de giro del molino	20,5 r.p.m. (0,75 de la crítica).
Muñones de apoyo	914 x 914 mm.
Cargas sobre los mismos	110 y 100 Tm.
Velocidad de rozamiento	59,4 m/minuto.
Coefficiente de fricción	0,015.
Pérdidas por fricción	42 HP.
Número de dientes de los engranajes	21 y 119 respectivamente.
Esfuerzo sobre los dientes	20,5 Tm.
Pérdidas por fricción (a estima).	2,5 % (= 30 HP).

Como el molino se calienta durante el funcionamiento (hag ta cerca de 93 ° C), hay que prever dilataciones que deben ser absorbidas por los apoyos.

Otras características del molino anterior pueden verse en la tabla II.

T a b l a I I

	<u>Motor</u>	<u>Molino</u>
Potencia, a plena carga	1.200 HP	1.113 HP
R.p.m.	750.	20,5
HP por revolución	1,6	55
Par (en kg. metro)	1.161	39.670
Radianes por minuto	4.700	128
Radianes por segundo	79.	2,13
Momento de inercia (kg. x m ²) ...	219,6	69.419
Energía a plena velocidad (kg x m.)	<u>3.338.912</u>	<u>767.977</u>
—		
Peso de las bolas		75 Tm.
Peso del material a moler		11 Tm.
Peso total		86 Tm.
Altura media de la carga en el molino		1,5 m.
Movimiento de la carga, por revolución		1,5 veces.
Potencia necesaria para elevar el material y las bolas		900 HP.
Velocidad de la carga de bolas, en el punto más alto		$\frac{2\pi RN}{60}$ m/seg.
Velocidad media, a estima		2,3 ⁶⁰ m/seg.
Energía cinética, por revolución		35.940 kg. metro
Energía cinética, por minuto (potencia)		160 HP.
Potencia total aparente requerida para mover las bo-		
		las y el material 1.060 HP.

En el original se indica la marcha detallada a seguir para efectuar los cálculos correspondientes a las magnitudes consignadas en la tabla II.

La diferencia entre los 1.060 HP calculados para mover la carga de bolas y el material a moler, y los 1.113 HP, indicados en "Potencia, a plena carga", debe atribuirse a movimientos internos o externos de la carga.

Cuando el molino está parado, la carga de bolas presenta una superficie horizontal. A plena velocidad, (20,5 r.p.m.) el ángulo de caída o cascada de las mismas es de 50°, pero para alcanzarlo se requieren, aproximadamente, cinco revoluciones. El par motor extra que hace falta para poner el molino en su velocidad de régimen, depende, naturalmente, de la aceleración que se le imprima. Se ha comprobado, experimentalmente, que, en las instalaciones provistas de arrancadores adecuados, este par no debe pasar del 115 %, siempre que el periodo de puesta en marcha no sea inferior a $\frac{1}{2}$ minuto.

En términos generales, la molturación en húmedo es más conveniente que la molienda en seco. Puede calcularse que, con igualdad de condiciones, la primera eleva la capacidad de producción en un 39 % aproximadamente, y la eficacia en un 26 %. Las bolas utilizadas deben ser de acero al cromo-níquel en lugar de acero ordinario.

Se hacen breves comentarios sobre otros tipos de molinos de bolas (para pinturas, pigmentos, arenas, productos químicos, etc.), y se incluyen 5 fotografías.