

Metodología de laboratorio para la determinación del Índice de Trabajo (Work Index) o Índice de Bond, para molino de bolas.

El índice de trabajo, entrega la potencia requerida para moler un material desde un tamaño teóricamente infinito hasta un tamaño tal que pase un 80% los 100 micrones, permitiendo así hacer una buena estimación de la energía necesaria para la molienda (kWh/tc).

El método de cálculo ha sido desarrollado por Fred C. Bond (1952)(1961), procedimiento que se realiza por más de 50 años, utilizando un [molino de bolas estándar de laboratorio](#), o [molino de Bond](#) de dimensiones internas de 12" de diámetro por 12" de largo, con esquinas redondeadas e interior liso.

Para calcular el índice W_i , deben obtenerse datos experimentales en estrictas condiciones de operación, minimizando errores, pudiendo homologarse de esa manera los resultados de diferentes laboratorios y diferentes operadores, de tal forma que pueda ser un valor confiable a usarse para comparaciones entre diferentes minerales y condiciones operacionales de molienda, diseño y escalamiento de molinos. El método no es por lo general tan útil en predecir energías de circuitos de remolienda y requiere de ajustes para circuitos de molienda de bolas como continuación de molienda autógena o semiautógena.

La operación consiste en obtener el número de gramos netos bajo cierta malla por revolución, Gbp, realizando varios test de molienda en seco en circuito cerrado y luego este valor, promedio de los últimos tres, introducirlo en la fórmula de cálculo para obtener el W_i .

Últimamente se han presentado otras alternativas a este test, que buscan un procedimiento más simple, de menor tiempo, de menor error en la estimación, sin embargo, pasarán muchos años en aceptar masivamente unificar un nuevo test, entre otros, dado los muchos valores estadísticos que se refieren ya al tradicional test de Bond.

Metodología (Extractado de "Crushing and Grinding Calculations by Fred C. Bond, January 2, 1961" y "Diseño y Simulación de Circuitos de Molienda y Clasificación de L Austin y F. Concha 1994")

1.- La alimentación estándar se prepara de tal forma que el chancado controlado (evitando sobremolienda) entregue un producto 100% que pase la malla #6, pudiendo usarse también tamaños más finos, usualmente la malla # 10.

2.- Se homogeniza el mineral y se analiza granulométricamente, para luego completar 700 cc de esta alimentación usando una probeta de 1000 cc. Una vez pesado el mineral de la probeta, se introduce en el molino y se procede a moler en medio seco, ajustando el control del equipo para trabajar con una velocidad de 70 rpm, programándolo para que gire 100 vueltas en un primer ciclo. Se trabaja con una carga de 285 bolas de acero con la siguiente distribución: 43 de 1-1/2"; 67 de 1-1/4"; 10 de 1"; 71 de 3/4"; y 94 de 5/8", que corresponden con un área superficial de 842 pulgadas cuadradas y un peso de 20.125 grs.

3.- Como alternativa a la carga de bolas anterior, se puede sustituir las bolas de 5/8" dejando la siguiente distribución: 25 de 1-1/2"; 39 de 1-1/4"; 60 de 1"; 68 de 7/8" y 93 de 3/4", manteniendo igual peso y número de bolas aproximadamente.

Dirección: Lautaro 2062, Concepción, Chile
 Teléfono: +56 (41) 2992112
 Contacto: www.edemet.cl / contacto@edemet.cl

4.- Luego de la primera molienda, se vacía el mineral separándolo de la carga de bolas, y los 700 cc de material se tamizan pudiendo usar la malla 28 y las siguientes de menor tamaño. El bajo tamaño de la malla de corte p_1 (seleccionada normalmente entre 100, 150, 200, 325, dependiendo del tamaño usado industrialmente) se pesa y esa misma cantidad, incluido las posibles pérdidas, se agrega como alimentación fresca junto al sobre tamaño de la primera molienda, para una segunda molienda con la misma carga que la usada en el ciclo anterior.

5.- El número de vueltas para esta segunda molienda y sucesivas, se calcula considerando una carga circulante del 350%. Este número se determina teniendo en cuenta los resultados del período previo, para producir una cantidad de bajo tamaño igual a $100/3.5$ de la carga total del molino.

Así, el número de revoluciones del ciclo siguiente:

$$r_2 = r_1 \frac{(100/3.5)}{\psi_{1(p_1)}}$$

$\psi_{1(p_1)}$ = porcentaje del material en el molino que tiene un tamaño menor que p_1 después de r_1 revoluciones.

6.- Los ciclos continúan hasta que los gramos netos producidos como bajo tamaño por revolución (Gbp) alcancen un equilibrio y cambie su sentido, aumentando o disminuyendo. Es entonces que el producto bajo tamaño y la carga circulante se analizan granulométricamente y el promedio de los tres últimos Gbp corresponde al índice de moliendabilidad (grindability) del molino de bolas.

$$Gbp = (\psi_{(p_1)} - \psi_{F(p_1)}) W / 100 r^*$$

$\psi_{F(p_1)}$ = porcentaje menor que la malla de separación p_1 en la alimentación fresca al molino; W= masa total de mineral cargado al molino y r^* es el número de revoluciones necesarias para obtener la carga circulante de 350%.

$$Wi = \frac{44.5}{p_1^{0.23} * Gbp^{0.82} * \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)} \quad [\text{KWh/ton-c}]$$

en que: F_{80} y P_{80} son los tamaños del tamiz que deja pasar el 80% de la alimentación o producto respectivamente.

Si se desea expresar en KWh/ton métrica, multiplicar por 1.10

Los valores promedio tomados para las mallas de corte, cuando no pueden ser determinados gráficamente del análisis granulométrico son: $P_{80}(100) = 114 \mu$; $P_{80}(150) = 76 \mu$; $P_{80}(200) = 50 \mu$; $P_{80}(325) = 26.7 \mu$.