

Nuevo índice de abrasión para determinar el desempeño de los medios de molienda

J.A Delgadillo*¹, C. Dávila², U. Dominguez².

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Álvaro Obregón # 64, San Luis Potosí, México
C.P 78000

²Proesmma, C. Colegio #6304 Int 505, Haciendas del Valle. Chihuahua, Chihuahua, MX. C.P. 31217.

[*jose.delgadillo@uaslp.mx](mailto:jose.delgadillo@uaslp.mx)

RESUMEN

La determinación del índice de abrasión para medios de molienda de acero y desgaste del revestimiento de molinos de bolas generalmente se determina mediante la prueba estándar de abrasión desarrollada por Bond (A_i). En este artículo, se presenta una metodología para calcular un nuevo índice de abrasión llamado índice de desgaste de bolas (K_d) con unidades de g/kWh. El índice K_d se determina utilizando la bola de acero y el mineral procesado en el molino de bolas en condiciones operativas estándar. El índice K_d se ha calculado para diferentes bolas de acero, dando una aproximación del desgaste de las bolas/kWh de energía utilizada en el proceso de molienda para un mineral determinado. Cuando se comparó el índice K_d con el cambio del consumo de bola en la operación real los resultados muestran que este índice se puede utilizar para predecir cuanto puede aumentar o disminuir el consumo y prueba ser un mejor indicador que el índice de abrasión de Bond.

PALABRAS CLAVE: *Molienda de Bolas; Índice de Abrasión; Medios de Molienda*

ANTECEDENTES

Para poder evaluar la abrasión de un mineral Bond (Bond, 1963) desarrolló una metodología experimental que consiste en someter una probeta endurecida de una aleación Cr-Ni-Mo con una dureza de 500 Brinell de dimensiones estándar de 7.62 cm X 2.54 cm X 0.64 cm en contacto con el mineral de prueba. La probeta se instala en un rotor cubierto por un tambor de dimensiones de 11.43 cm en longitud y 30.54 cm de diámetro. Tanto el rotor como el tambor exterior están montados sobre un eje horizontal. El rotor gira a 632 rpm mientras que el tambor rota a 70 rpm en la misma dirección. La carga inicial son 400 g de una fracción de tamaño de -19 mm +12.7 qm. El rotor opera durante 15 minutos y se retira el mineral para recargar por mineral fresco. Este procedimiento se repite 4 veces hasta completar una hora de prueba. La pérdida en peso de la probeta, en gramos, es directamente el índice de abrasión (A_i).

El índice de abrasión se utiliza para diferentes cálculos con las correlaciones propuestas por Bond como se muestra en la Tabla 1. Estas correlaciones permiten estimar las libras de acero desgastado por cada kWh de energía que entrega el equipo seleccionado.

Tabla 1. Determinación de consumo para cada equipo utilizando el índice de abrasión (A_i)

Equipo	Equipo	Correlación (lb/kWh)
Molino de bolas en Húmedo	Bolas	$0.35(A_i - 0.015)^{0.33}$
	Levantadores	$0.026(A_i - 0.015)^{0.30}$
Molinos de bola en seco	Bolas	$0.05A_i^{0.5}$
	Levantadores	$0.005A_i^{0.5}$
Quebradoras giratorias, de quijada y de cono	Manganesos	$\frac{A_i + 0.22}{11}$
Quebradora de rodillos	Manganesos	$0.1A_i^{0.667}$

El inconveniente del A_i , es que se este índice evalúa solo la abrasión del mineral con respecto a una superficie metálica estándar. El problema surge cuando se requiere evaluar el desempeño de varias calidades de acero con respecto a un mineral en específico, de ahí que se desarrolló la prueba de desgaste acelerado, que se describe en la sección de metodología experimental, para determinar el índice de desgaste de bolas (K_d) con unidades de g/kWh.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Equipo utilizado

Para determinar el índice de desgaste de bolas (K_d) se utiliza un molino de bolas instrumentado como se muestra en la Figura 1, donde se mide la potencia consumida durante la prueba y se controla la velocidad de giro. Las condiciones de operación de la prueba y dimensiones del molino se muestran en la Tabla 2.

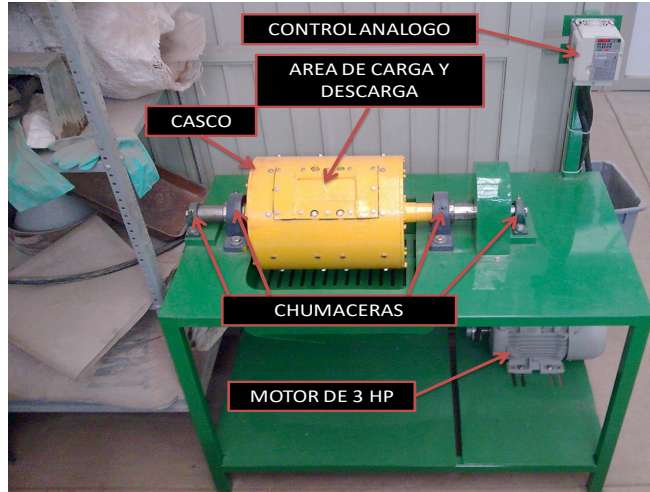


Figura 1. Molino instrumentado para pruebas de desgaste acelerado

Tabla 2. Condiciones experimentales del molino de prueba instrumentado

Propiedad	Valor
Diámetro, m	0.20
Longitud, m	0.27
Llenado bola, %	35
% de la velocidad crítica, %	75
Tiempo de molienda por ciclo, min	15
Tiempo de molienda total, h	24
Cantidad de mineral por ciclo(kg)	2.895
% sólidos, %	75

Procedimiento de la prueba

La velocidad de rotación del molino se fija a 75% de la velocidad crítica para equilibrar la proporción de impactos por catarata/cascada y acelerar el desgaste de la bola. El nivel de la bola y el % de sólidos se fija a las condiciones estándar de operación para simular un molino real, como se muestra en la Tabla 2. El procedimiento de la prueba es el siguiente:

1. Se documenta el peso total inicial de la bola de prueba para aforar a un 35% de nivel de llenado.
2. Se prepara una pulpa al 75% de sólidos utilizando el mineral de prueba preparado a -10 mallas.
3. La pulpa se vierte en el molino hasta cubrir las bolas y asegurarse que todos los intersticios se encuentren llenos de pulpa.
4. Se arranca el molino a la velocidad de 75% de la velocidad crítica durante 4 horas.
5. Pasadas las 4 horas, se vacía el molino y se levantan las bolas y se vuelve a llenar de pulpa fresca para repetir el ciclo desde el punto 2 al 5.
6. Después de 24 horas de operación del molino, se vacían las bolas y se registra el peso final.
7. Con la pérdida de peso calculada y la potencia consumida en el molino se calcula K_d .

En estas condiciones de operación, la acción de la molienda es altamente agresiva para acelerar el desgaste de las bolas y poder simular una operación real y comparar la calidad de las bolas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prueba se utiliza con varios propósitos, en este artículo se presentan varios casos en la que la prueba de desgaste acelerado se ha aplicado a procesos industriales como se muestra a continuación.

Caso 1. Evaluación del cambio de composición de la bola

Uno de los objetivos de esta prueba es evaluar como reacciona el consumo de bola cuando se cambia la composición química de la misma. Es bien sabido que al aumentar el Cromo en la aleación del acero que forma la bola, aumenta su resistencia a la abrasión. En el primer caso se evaluó, para un mineral Pb-Zn, el cambio de bola Forjada a bola de alto cromo 18-20 Cr. En la Tabla 3 se muestran los resultados.

Se puede observar en la Tabla 3 que de la prueba se reporta el valor de K_d , que es el índice que indica los gramos de acero consumidos por unidad de energía (kWh). Para esta prueba se muestra que las bolas Forjadas tienen un valor de K_d de 2.08 g/kWh, si se procesa el mismo mineral el valor de K_d disminuye hasta un 23.8% el consumo de acero por cada kWh. En la operación real se obtuvo un 16.5% en la disminución del consumo utilizando bola de alto cromo. Es necesario generar correlaciones que permitan mejorar la predicción de la prueba.

Tabla 3. Resultados de Prueba de desgaste para un mineral Pb-Zn Mina 1

Datos	Bola Forjada PROESMMA	Bola Alto Cromo 18 - 20 Cr PROESMMA
Masa total inicial de acero (g)	15226.7	15009.7
Masa total final de acero (g)	15170.9	14965.2
Diferencia en peso de acero (g)	55.8	44.5
Potencia (kW)	0.89	0.91
K_d [g de acero / kWh]	2.08	1.68

Caso 2. Evaluación de la calidad de la bola de diferentes proveedores

Otro de los escenarios donde la prueba es utilizada es para comparar la calidad de la bola de diferentes proveedores. En las siguientes pruebas se evaluó en un mineral Pb-Zn comparando dos proveedores de bola y dos composiciones de estas. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de Prueba de desgaste para un mineral Pb-Zn mina 2.

Datos	Bola Forjada PROESMMA	Bola Forjada Proveedor 2	Bola Alto Cromo 18 - 20 Cr PROESMMA	Bola Alto Cromo 18 - 20 Cr Proveedor 2
Masa total inicial de acero (g)	14054.8	14056.3	13026.9	13251.7
Masa total final de acero (g)	14020	14018.8	12991.6	13215.3
Diferencia en peso de acero (g)	34.8	37.5	35.3	36.4
Potencia (kW)	0.86	0.9	0.88	0.87
K_d [g de acero / kWh]	1.25	1.4	1.29	1.32

Se puede observar en la Tabla 4 que se compara la bola forjada de Proesmma con bola del Proveedor 2, y también bola de alto cromo de Proesmma con bola de alto cromo del Proveedor 2 utilizando el mismo mineral Pb-Zn de mina 2.

En el caso de las bolas forjadas, la bola Proesmma genera una disminución del K_d del 12%, lo que en planta se ve reflejado en una disminución del consumo real en un 8.2%. Por otro lado, al comparar las bolas de alto cromo, la bola de Proesmma tiene una disminución en el K_d del 2.32% con respecto al proveedor 2, este cambio no se evaluó en planta ya que se utilizó directamente bola de Proesmma de alto cromo en el molino sin probar la bola del proveedor 2.

Sin embargo, al comparar las bolas de Proesmma entre forjada y alto cromo el cambio no es significativo, solo se obtiene un cambio del 3.2%. Este ligero cambio en el índice K_d , se pudo ver en planta donde los consumos se mantuvieron estadísticamente iguales con la bola forjada que con la bola de alto cromo. Esto indica que el mineral no es lo suficientemente abrasivo para aprovechar las ventajas de utilizar una bola de

alto cromo. En planta siguen operando con bola de alto cromo por algunas ventajas operativas que ofrece para el proceso de flotación, pero en consumo no presenta ventaja alguna.

Caso 3. Evaluación con diferentes tipos de mineral

En las plantas es común el cambio del tipo de mineral que se procesa y es importante evaluar como se modifica el consumo de bola para determinado mineral. Se realizó la prueba para un mineral Cu-Pb-Zn para 2 vetas de mineral utilizando bola Forjada de Proesmma y los resultados de la prueba de desgaste acelerado se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de Prueba de desgaste para un mineral Cu-Pb-Zn mina 3.

Datos	Bola Forjada Veta 1	Bola Forjada Veta 2
Masa total inicial de acero (g)	14162.20	14079.40
Masa total final de acero (g)	14079.40	14035.00
Diferencia en peso de acero (g)	82.80	44.40
Potencia (kW)	0.88	0.86
K_d [g de acero / kWh]	3.04	1.59

En la Tabla 5 se puede observar que el mineral de Veta 1 tienen un K_d de 3.04 g/kWh comparado con el mineral de Veta 2 que el K_d es de 1.59 g/kWh. Esto refleja que el mineral de Veta 1 es más abrasivo en un 91.2% que el mineral de Veta 2. En la planta de procesamiento se anticipan un aumento significativo del consumo, pero todavía no se procesa este mineral y no se tiene resultados prácticos.

CONCLUSIONES

La prueba de desgaste acelerado utilizada para determinar el índice de abrasión K_d , es más versátil que el índice de abrasión de bond (A_i) porque puede ser utilizada para evaluar la calidad de las bolas de acero con respecto a varios proveedores, también se puede utilizar para evaluar las ventajas de modificar la composición metalúrgica del acero y anticipar la variación del consumo cuando se presenta cambió el mineral procesado. Es necesario desarrollar correlaciones entre el K_d y el índice de consumo real de planta para mejorar las predicciones operativas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por la empresa PROESMMA en el desarrollo de estas pruebas para diferentes minas del país y la información proporcionada del desempeño de las bolas en los molinos industriales.

REFERENCIAS

Bond, F.C (1963) 54th AIChE annual meeting.

