

## USO DE ENERGÍA EN LA MOLIENDA DE SORGO

Niño Rodríguez Jorge\*, Orozco Méndez Rafael\*

\*Instituto Tecnológico de Tehuacán  
Ingeniería Bioquímica

**Palabras Clave:** Energía, Molienda de sorgo, Ley de Rittinger

### RESUMEN

En el presente artículo se reporta el cálculo de la energía mecánica utilizada en la molienda de sorgo, utilizando para tal fin la ley de Rittinger, el molino que comúnmente se usa es del tipo molino de martillo, sin embargo se considerará por fines prácticos, una licuadora de 10 velocidades operada a la escala de velocidad media, se resuelve la ecuación diferencial que acompaña al proceso y se obtiene la cantidad de energía mecánica a utilizar para el proceso de la molienda.

### INTRODUCCIÓN

Los sorgos (*Sorghum spp.*) son un género botánico de unas 20 especies de gramíneas originarias de las regiones tropicales y subtropicales de África oriental.

El sorgo (*fig. 1*) es utilizado como cereal para consumo humano, animal, en la producción de forrajes, y para la elaboración de bebidas alcohólicas. Su resistencia a la sequía y el calor lo hace un cultivo importante en regiones áridas, y es uno de los cultivos alimentarios más importantes del mundo.

El sorgo no es cultivado en la región de Tehuacán, solo se procesa aquí para su uso en la elaboración de alimento para pollos y cerdos.



Fig. 1 Planta de sorgo

Algunos procesos que intervienen en el proceso de molienda son la reducción de tamaño y el secado, de los cuales se da una breve explicación.

⊗ **Reducción de tamaño:** Esta es una de las operaciones unitarias menos eficaces desde el punto de vista energético. Los estudios de laboratorio muestran que menos del 1% de la energía liberada de los sólidos se utiliza para crear superficies nuevas; el resto se disipa como calor.

⊗ **Secado:** La mayor parte de los secadores industriales operan con partículas de sólidos durante todo el ciclo de secado, o una parte de él, aunque por supuesto, algunos secan grandes piezas individuales, tales como vasijas de cerámica y otros piezas pequeñas en conjunto como el grano de sorgo.

## DESARROLLO

Industrialmente, en el proceso de molienda se toma el tamaño inicial de los granos de sorgo, el cual se homogeniza por medio de un tamizado o en su defecto tomando las medidas del diámetro de  $X$  granos de sorgo, en nuestro caso elegimos 10 granos y con la ayuda de un calibrador obtuvimos la tabla 1.

El valor de las variables y unidades de la ecuación 1 se aclara en la tabla 2.

Tabla 1. Medidas del diámetro de los sorgos.	
Sorgo	Tamaño
1	2.6 mm
2	3.4 mm
3	2.7 mm
4	2.5 mm
5	3.2 mm
6	3.3 mm
7	2.9 mm
8	2.8 mm
9	3.1 mm
10	2.9 mm
	$X = 3.1$ mm

Posteriormente calculamos el valor promedio de los 10 sorgos y obtenemos  $X = 3.1$  mm el cual se tomara como tamaño inicial del grano. El peso de los 10 sorgos es de 8 g.

A continuación aplicaremos la ecuación de Rittinger que es la ecuación 1. En dicha ecuación aparecen las variables  $E, k, x$  que son las que se tomaran en cuenta para la solución del modelo.

### Ecuación diferencial de Rittinger:

Rittinger propone un modelo en el cuál la energía necesaria para efectuar la reducción de tamaño de grano  $x$  decrece inversamente proporcional al cuadrado del radio de los granos esto se enuncia en forma de ecuación diferencial así:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{k}{x^2} \quad \boxed{1}$$

Tabla 2. Valores De La Ecuación 1		
	Significado	Unidad
$X$	Tamaño del grano con $n=2$	$\frac{1}{mm}$
$K$	Constante de Rittinger	$\frac{kJh \cdot mm}{kg}$

La ecuación de Rittinger (1) la resolvemos integrando:

$$\int dE = - \int_{x_0}^x \frac{k}{x^2} dx = \frac{k}{x}$$

Con lo que la solución es

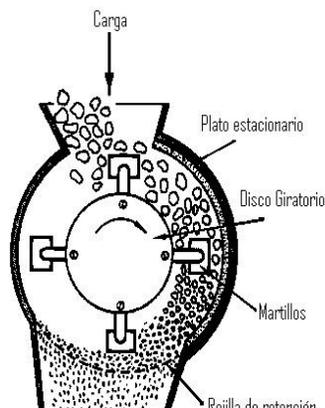
$$E = k \left[ \frac{1}{x} - \frac{1}{x_0} \right] \quad \boxed{2}$$

El valor de las variables de la ecuación 2 se aclara en la tabla 3.

Tabla 3. Valores De La Ecuación 2		
	Significado	Unidad
$E$	Energía por unidad de masa	$\frac{kJh}{kg}$
$x_0$	Tamaño inicial del grano	$\frac{1}{mm}$
$X$	Tamaño final del grano	$\frac{1}{mm}$
$K$	Constante de Rittinger	$\frac{kJh \cdot mm}{kg}$

Es importante decir que a nivel industrial la molienda de sorgo se realiza con los llamados molinos de martillos, para nuestro caso hemos elegido trabajar con una licuadora para obtener los datos requeridos en la ecuación.

**Molinos de martillo:** Contienen un rotor que gira a gran velocidad en el interior de una coraza cilíndrica (fig. 2). Por lo general el eje es horizontal. La alimentación entra por la parte superior de la coraza, se trocea y cae a través de una abertura situada en el fondo.



Como ya se menciono anteriormente el tamaño promedio inicial del diámetro de los sorgos es de 3.1 mm (fig. 3), después de molerlos con la licuadora por 10 segundos a la escala de velocidad media, se obtuvo que la mayoría de los granos se redujeron a 0.4 mm. (fig. 4).

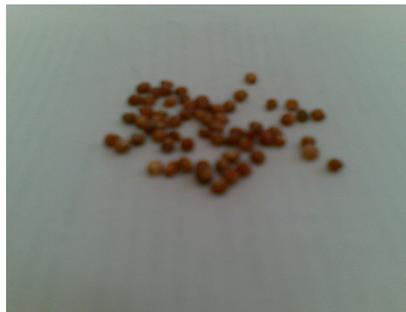


Fig. 3 Granos de sorgo antes de ser molidos.



Fig. 4 Granos de sorgo después de ser molidos.

Ahora calcularemos la energía mecánica que se requirió para moler los sorgos en la licuadora. Recordando que la masa de los granos de sorgo es de 8g y que se molió durante 10s y la energía eléctrica con la que trabaja la licuadora es de 0.35 kJ.

$$E = \frac{kJh}{kg} = \frac{0.35 \text{ kJ} * 0.002778 \text{ hr}}{0.008 \text{ kg}} = 0.1215375 \frac{\text{kJ hr}}{\text{kg}}$$

A continuación sustituimos los valores de  $E$ ,  $x_0$ ,  $x$  de la ecuación 2 para calcular el valor de  $k$  de nuestro problema.

$$E = k \left[ \frac{1}{x} - \frac{1}{x_0} \right]$$

Despejando  $k$

$$k = \frac{E}{\left[ \frac{1}{x} - \frac{1}{x_0} \right]}$$

Calculando  $k$

$$k = \frac{0.1215375 \frac{\text{kJ hr}}{\text{kg}}}{\left[ \frac{1}{0.4 \text{ mm}} - \frac{1}{3.31 \text{ mm}} \right]} = \frac{0.1215375 \frac{\text{kJ hr}}{\text{kg}}}{2.1978851 \text{ mm}} \approx 0.05530 \frac{\text{kJ hr}}{\text{kg mm}}$$

## CONCLUSIONES

Con este estudio pudimos determinar la ecuación de molienda para el sorgo con la cual obtuvimos el parámetro  $k$  constante de Rittinger para una licuadora, aunque se dice que la ley de Rittinger no es muy buena aproximación, si nos da una base para aplicarla al ámbito industrial.

## REFERENCIAS

- McCabe, Smith, Harriot. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Mc Graw Hill (Séptima edición) 2007 pp. 1029-1032
- Brennan, Butters, Cowell, Lilly. *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. Editorial ACRIBIA (Zaragoza España 1980) pp. 77-79

En la Web

- <http://es.wikipedia.org/wiki/Sorghum>

## AGRADECIMIENTOS:

Los autores agradecemos a nuestros padres, Rafael Orozco Campos y Matilde Méndez Reyes, Miguel Niño e Irene Rodríguez Herrera por su constante apoyo. Al igual que al M.C. José Enrique Salinas Carrillo por su valioso tiempo y por inducirnos a este tipo de proyectos.