



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Reducción del tamaño de partículas y tamizado de sólidos

Apellidos, nombre	Castelló Gómez Marisa (mcasgo@upv.es) Barrera Puigdollers Cristina (mcbarpu@tal.upv.es) Pérez Esteve Édgar (edpees@tal.upv.es) Noelia Betoret Valls (noebeval@tal.upv.es)
Departamento	Departamento de Tecnología de Alimentos
Centro	Universidad Politécnica de Valencia



1 Resumen

En este artículo vamos a presentar las características que hay que considerar en el tratamiento de sólidos tanto para reducir su tamaño como para clasificarlos en función del mismo. Estas operaciones son muy habituales en distintas industrias, entre ellas las alimentarias. Para ello, nos centraremos en los equipos utilizados para la reducción de tamaño así como el cálculo del consumo energético requerido en la trituración y molienda. Además, veremos como evaluar la eficacia en la clasificación de sólidos en función de su tamaño, la capacidad de cribado, así como el área superficial de las partículas.

2 Introducción

El término reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que un producto se puede cortar, romper, desmenuzar, triturar o descomponer en piezas o partículas más pequeñas. Concretamente, en el caso de la desintegración mecánica de sólidos las operaciones que se pueden llevar a cabo son: corte molienda, trituración y pulverización, mientras que en los líquidos, las operaciones de reducción de tamaño de partícula son: emulsificación, homogeneización y atomización¹.

En muchas industrias de alimentos, la reducción de tamaño puede ayudar a procesos de extracción de alimentos, a disminuir los tiempos de cocción, etc.. En la tabla 1 se presentan algunos ejemplos.

Tabla 1. Razones por las que conviene reducir el tamaño de los alimentos sólidos en las industrias agroalimentarias

Ventajas de la reducción de tamaño de partícula en alimentos	Ejemplos
Mejorar palatabilidad y aumentar los usos del producto	Corte, trituración de frutas y verduras Productos derivados de granos de cereales (harinas, sémolas, almidones...)
Facilitar la extracción de constituyentes	Extracciones de pulpa, café, azúcar y aceite
Aumentar la relación superficie/volumen del sólido	Mejora la velocidad de transferencia de calor y masa en operaciones como: deshidratación, congelación, escaldado, horneado, fritura...
Permitir mezclas más homogéneas	Mezclas para panificación y otros productos



El grado de reducción de tamaño, la energía gastada y la cantidad de calor generado dependen tanto del tipo y magnitud de fuerzas como del tiempo de aplicación. En la imagen 1 se presentan los cuatro tipos de **fuerzas involucradas en la reducción del tamaño de los sólidos**. Como se puede ver en la misma, las fuerzas habituales para este propósito son la compresión, impacto, frotamiento y cizalla o corte. Para reducir el tamaño de grandes trozos biológicos, en particular alimentarios, se habla de corte, como es el caso de carnes o de hortalizas. Un caso muy importante es la de materiales granulares, por ejemplo, para convertir granos en harina, o para azúcar o productos secos.

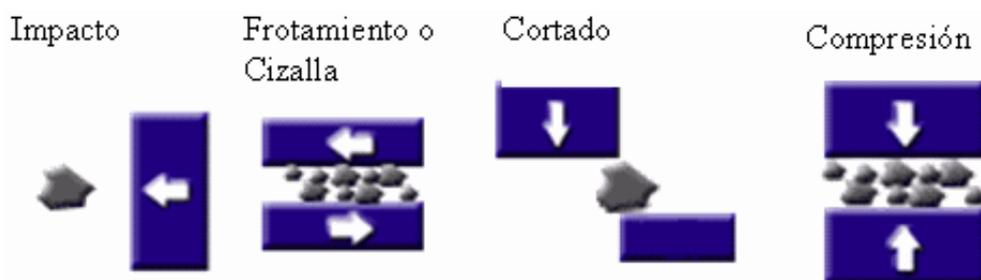


Imagen 1. Tipos de fuerzas responsables de la reducción mecánica del tamaño de partículas

La mayoría de los equipos de reducción de tamaño utilizan más de un tipo de fuerza (compresión, impacto, cizalla...) aunque generalmente una de ellas suele ser la predominante. En la tabla 2 se presentan algunos ejemplos de equipos utilizados en la industria alimentaria para reducir el tamaño de los sólidos.

Tabla 2. Ejemplos de equipos para la reducción del tamaño de sólidos en función del tipo de alimento a procesar

Tipos de Alimentos	Equipos para la reducción de tamaño de sólidos
Alimentos húmedos (carne, pollo, frutas, hortalizas, queso, pan...)	Cortadoras
	Despulpadoras
	Extractores de jugo
	Desintegradoras
	Ralladoras
	Molinos de carne
Alimentos secos (cereales, especias, nuez, almendra, azúcares, sal...)	Trituradoras
	Molinos



En nuestro caso, nos centraremos en los equipos destinados a la reducción de tamaño de alimentos sólidos secos, es decir, trituradoras y molinos.

La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes productos. La clasificación de las partículas suele hacerse mediante tamices en la etapa de **tamizado**. Debido a la amplia gama de tamaños que se pueden dar en esta operación, es importante clasificarlas, para lo que se utiliza el término de "**apertura o luz de malla**". El análisis granulométrico de los productos de los molinos se utiliza para observar la eficiencia de éstos y para control de molienda.

3 Objetivos

Una vez que el estudiante se lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Seleccionar los equipos adecuados para reducir el tamaño de partículas de diferentes sólidos en función de su naturaleza
- Aplicar los modelos matemáticos desarrollados para predecir las necesidades energéticas de los equipos destinados a la reducción del tamaño de partículas
- Clasificar las partículas según las series de malla de criba
- Analizar el área superficial de las partículas

4 Desarrollo

El manejo de sólidos es una operación fundamenta en los procesos de tratamiento de materiales biológicos. Así, en este apartado vamos a abordar los siguientes **aspectos** de

- Equipos para la reducción del tamaño de partículas
- Consumo energético para la reducción de tamaño (trituración y molienda)
- Clasificación de las partículas sólidas

4.1 Equipos para la reducción del tamaño de partículas

Se dispone de equipos muy específicos para cada tipo de sólido e intervalo de tamaños requeridos en la operación. Se habla de:

- Trituración: si se parte de tamaños grandes
- Molienda: para producir tamaños muy pequeños

En la Tabla 3 se presenta una clasificación de equipos de molienda en función del tamaño del material requerido y de las diferentes aplicaciones en la industria de alimentos



Tabla 3. Tamaño de molienda en función del tipo de molino. Aplicaciones.

	MOLINOS DE:			
	RODILLOS	MARTILLOS	DISCOS	TAMBOR
Tamaño de molienda				
Gruesos	•			
Intermedios	•	•	•	•
Finos/Ultrafinos		•	•	•
Aplicaciones				
Chocolate	•			•
Cacao			•	•
Maíz (húmedo)			•	
Frutos secas		•		
Vegetales secos		•		
Granos	•		•	
Pimienta		•	•	
Sal		•		•
Espesies		•		
Azúcar	•	•		•

En las imágenes 2 y 3 se presentan esquemas de distintos tipos de molinos.

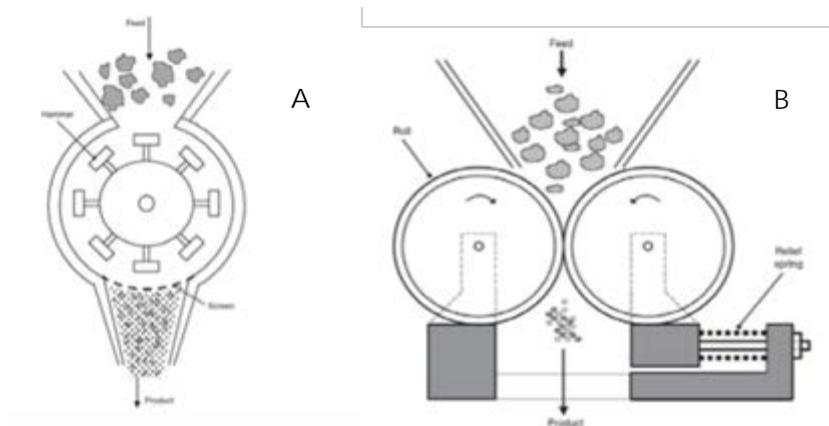


Imagen 2. (A). Molino de martillos. (B) Molino de gruesos a rodillos

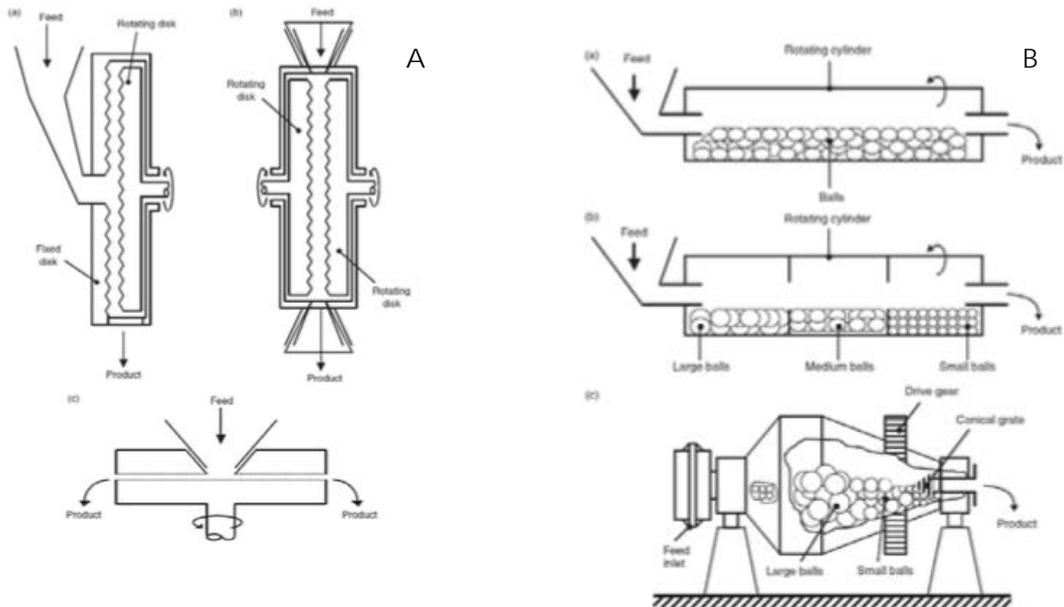


Imagen 3. (A) Molinos de atrición de discos (a) molina de un disco, (b) molino de dos discos. (c). Molino tipo Buhr. (B) Molinos de tambor (a). De flujo rebasante. (b) Molino compartimentado. (c). Molino cónico.

4.2 Consumo energético para la reducción de tamaño (trititación y molienda)

Un problema importante es conocer **qué energía** tenemos que **aplicar para** reducir el tamaño hasta **obtener otro tamaño** determinado. Un aporte excesivo de la misma produce calor adicional que es indeseable por las pérdidas de nutrientes que pueden ocasionar. La energía requerida por los trituradores de sólidos es muy alta, por lo que supone un gasto económico importante.

Podemos considerar que aplicamos una cierta energía ΔE y que se genera una cierta variación del tamaño de partícula $-\Delta L$. En forma diferencial, se observa que la magnitud de energía suministrada por unidad de cambio de tamaño es función del tamaño en ese cambio diferencial. Una ecuación usada para materiales granulares (por ejemplo, inorgánicos, azúcares o amiláceos) es:

$$-\frac{dE}{dL} = kL^n$$

Ecuación 1. Ecuación para determinar las necesidades energéticas para reducir el tamaño de partícula.



Se observa experimentalmente que para pasar de 1 cm a 1 mm (diminución de tamaño en 1 orden de magnitud) se necesita menos energía que para pasar de 1 mm a 0,1 mm (también de 1 orden de magnitud). Por ello, el coeficiente n será negativo, y su valor dependerá del tipo de sólido. Sobre esta ecuación se pueden considerar distintas ecuaciones experimentales o comportamientos. Una vez comprobado que se ajusta a este comportamiento, hay que tener datos experimentales para obtener la constante y así ya poder hacer cálculos posteriores para el tipo de sólido a tratar.

Las partículas gruesas son aquellas cuyo tamaño es superior a 100 o 500 μm , y las finas se encuentran por debajo de 100 μm . En función del tamaño final de sólido, el modelo matemático para determinar las necesidades energéticas del molino será:

- Para partículas gruesas: **Ley de Kick** ($n=-1$)

$$-\frac{dE}{dL} = (k_k f_c) L^{-1}$$

Donde $K_k f_c$ se puede tomar como una constante única, aunque formada por dos términos. Integrando, si se pasa de un tamaño L_1 al tamaño L_2 , se tiene:

$$E = K_k f_c \ln\left(\frac{L_1}{L_2}\right)$$

- Para partículas finas: **Ley de Rittinger** ($n=-2$)

$$-\frac{dE}{dL} = (k_k f_c) L^{-2}$$

Integrando:

$$E = K_k f_c \left(\frac{L_2^{-1}}{L_1^{-1}}\right)$$

- Para paso de tamaño grande hasta 100 μm : **Ecuación de Bond** ($n=-3/2$)

$$E = E_\infty \left(\frac{100}{L_2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{1}{f_L^{\frac{1}{2}}}\right)$$

Donde $f_L = L_1/L_2$, L_1 y L_2 son el tamaño inicial y final en μm , y E_∞ el consumo energético de referencia (paso de tamaño grande hasta 100 μm).



Se debe pues conocer (experimentalmente) la ecuación de ajuste para una determinada situación, y hacer experimentos para calcular la constante correspondiente. La ecuación y la constante se utilizan para todos los cálculos que necesitamos para ese sólido (por extrapolación).

4.3 Clasificación de las partículas sólidas

Los tamices consisten en superficies con perforaciones uniformes por donde pasa parte del material y el resto será retenido por él. Para evaluar la **eficacia de la clasificación de sólidos** se coloca una columna de tamices, en la parte inferior de malla fina y en la superior de malla gruesa (tamices en cascada). El sólido se carga por arriba y se le aplica una vibración. Por el primer tamiz puede pasar casi todo ya que presenta una apertura o luz de malla grande, pero en los siguientes van quedando retenidos sucesivamente los sólidos de menor tamaño (Imagen 4). El producto a analizar o producto bruto, queda distribuido en diferentes fracciones según el tamaño de partícula denominándose **rechazo** al producto que queda sobre el tamiz y **cernido** al producto que atraviesa el tamiz.

Los tamices se clasifican según el número de mallas (*mesh*) por cada pulgada cuadrada. A mayor número de mallas, el tamaño de luz de malla es menor. La relación entre mesh y la luz de malla depende también del hilo y está dada en tablas. Los tamaños disponibles se pueden encontrar por series conocidas como la Tyler y la US. La luz de malla más pequeña disponible suele ser de unos 37 μm , que corresponde a 400 mesh Tyler o ASTM n° 400.



Imagen 4. Clasificación de partículas. Disposición del equipo y tablas de las series Tyler y la US.

Un problema es que el propio cribado puede romper las partículas. A veces, para evitar esta rotura, en vez de hacerlo en seco se hace en fase líquida, y de este modo se evita la mayor intensidad de los choques. Una desventaja es que en presencia de agua muchos sólidos se deterioran.

La **capacidad de una criba** se define como la cantidad de producto que se puede procesar en ella, dado en $\text{kgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ que será función del sólido y la vibración. A partir de este valor, se determina la superficie de malla o el tiempo de tamizado necesarios.



Suele requerirse un valor elevado del área de partículas para procesar materiales. Por ejemplo, cuando se necesita disolver un sólido o atacarlo con enzimas o microorganismos, posiblemente se precisará aumentar el área superficial, para lo que se requiere la trituración y molienda. Por el contrario, si se quiere evitar el deterioro, será preciso un valor bajo del área. Por ello, el **área por unidad de volumen a** es un parámetro de interés. Para esferas:

$$a = \left(\frac{A}{V}\right)_{esfera} = \frac{\pi D^2}{\pi D^3/6} = \frac{6}{D_p}$$

Si en lugar de ser una esfera tenemos otra figura geométrica:

$$a = \frac{6}{D_p} \frac{1}{\varphi}$$

Donde $\varphi (<1)$ es el factor de forma.

En el caso de que tengamos una masa total con M kg de sólidos, podríamos calcular el área total

$$A_T = a' M = \frac{M 6}{\rho_p D_p} \frac{1}{\varphi}$$

Donde el área por unidad de masa a' :

$$a' = \frac{A}{M} = \frac{6}{\rho_p D_p} \frac{1}{\varphi}$$

Si tuviéramos dos fracciones, el área total será $A_T = a'_1 M_1 + a'_2 M_2$, donde M_1 y M_2 son las masas de cada fracción. Si consideramos toda la distribución uniforme, $A_T = \int a' dM$.

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto distintos equipos para reducir el tamaño de partículas de sólidos, así como los diferentes modelos matemáticos utilizados para predecir las necesidades energéticas de dichos equipos. Por otra parte, también se han abordado algunas de las particularidades del tamizado de sólidos con el fin de clasificarlos en función de su tamaño y analizar el área superficial de las partículas.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

6 Bibliografía

[1] Colina M.L. (2016). Reducción de tamaño de sólidos. Disponible en: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_intro.pdf

[2] Díaz, M. "Ingeniería de bioprocesos". Capítulo 14. Manejo de sólidos. Ediciones Paraninfo, 2012 pág. 251-253.

[3] Tamizado (2016). Disponible en: <http://procesosbio.wikispaces.com/Tamizado>

[4] Tamaño de partícula (2016). Disponible en: <http://www.slideshare.net/karenfloresmoreno/analisi-de-tamao-de-particulaamano-particula>