

Aleaciones mecánicas

Variables del proceso de molienda

Pablo E. Alanís

11 de agosto de 2023

Universidad Autónoma de Nuevo Leon, División de Posgrado
Técnicas de preparación de materiales

Variables del proceso

Aleaciones mecánicas | Variables del proceso

- El proceso de *aleación mecánica* es complejo;

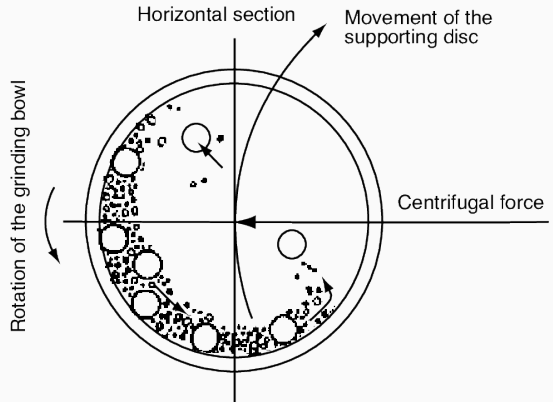


Figura 1: Esquema del proceso de molienda en un molino de bolas.

Aleaciones mecánicas | Variables del proceso

- El proceso de *aleación mecánica* es complejo;
- para obtener el producto deseado, se tienen que *optimizar* las condiciones de reacción.

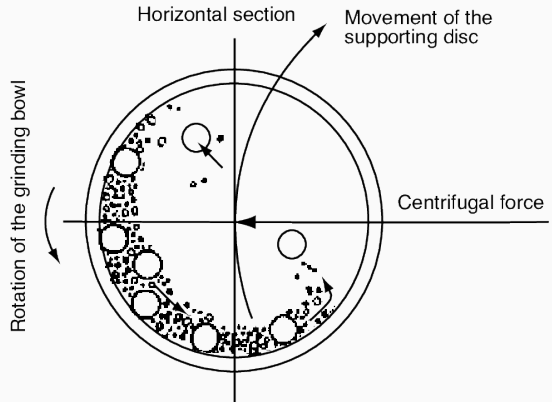


Figura 1: Esquema del proceso de molienda en un molino de bolas.

Entre algunas de las variables que afectan la fase del producto final obtenido, se encuentran:

- *tipo* de molino;
- *contenedor* del molino;
- *velocidad* de molienda;
- *tiempo* de molienda;
- *tipo, tamaño y distribución* del medio de molienda;
- *relación* en masa de bolas-polvo;
- *que tan lleno* está el vial;
- *atmósfera* de molienda;
- *agente de control* del proceso;
- *temperatura* de molienda.

- Estas variables no son necesariamente independientes;
por ejemplo: el tiempo de molienda óptimo puede depender de:
 1. tipo de molino;
 2. tamaño del medio de molienda;
 3. temperatura de molienda;
 4. relación bolas-polvo, etc.

- Estas variables no son necesariamente independientes;
por ejemplo: el tiempo de molienda óptimo puede depender de:
 1. tipo de molino;
 2. tamaño del medio de molienda;
 3. temperatura de molienda;
 4. relación bolas-polvo, etc.

Tipos de molinos

- Existen varios tipos de molinos que pueden usarse según el propósito;
- Estos varían en:
 1. capacidad;
 2. velocidad de operación;
 3. capacidad para controlar la temperatura.

Según la cantidad de polvo que se requiera sintetizar, se pueden utilizar diferentes molinos:

- **Para propósitos de *screening*** se puede utilizar un molino tipo *SPEX*.
- **Para producir grandes cantidades de polvo** se puede utilizar un molino tipo Fristsch Pulverisette planetario.

Capacidades de los molinos — Comparación

Cuadro 1: Comparación de tipos de molinos convencionales en función a cantidades de material que pueden procesar.

Tipo de molino	Tamaño de muestra
Molino mezclador	Hasta dos de 20 g
Molino planetario	Hasta cuatro de 250 g
Attritores	0,5 kg a 100 kg
Molinos Uni-ball	Hasta cuatro de 2000 g

- El material del contenedor del molino es un factor muy importante a considerar.
 1. Puede influir en que tan contaminada pueda estar nuestra fase metaestable.
 2. Si ambos tiene el mismo material, puede alterar la composición química del polvo.

Materiales convencionales

Entre los materiales mas comunes para contenedores con aplicaciones en molinos se encuentran:

- acero reforzado;
- acero cromado reforzado;
- acero templado;
- acero inoxidable;
- WC—Co
- acero cubierto de WC.

Materiales para propósitos especiales

Contenedores de
materiales para propósitos
especializados:

- cobre;



Materiales para propósitos especiales

Contenedores de
materiales para propósitos
especializados:

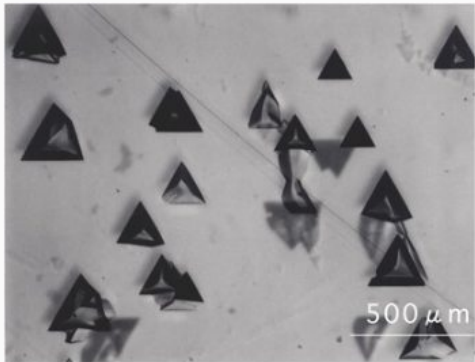
- cobre;
- titanio;



Materiales para propósitos especiales

Contenedores de
materiales para propósitos
especializados:

- cobre;
- titanio;
- safíro;



Materiales para propósitos especiales

Contenedores de materiales para propósitos especializados:

- cobre;
- titanio;
- safíro;
- agata;



Materiales para propósitos especiales

Contenedores de materiales para propósitos especializados:

- cobre;
- titanio;
- safíro;
- agata;
- porcelana dura;



Materiales para propósitos especiales

Contenedores de materiales para propósitos especializados:

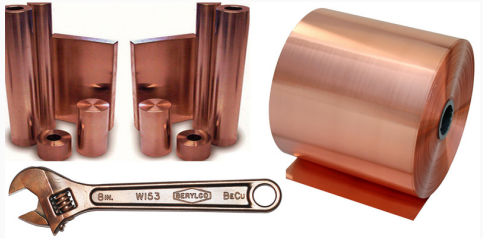
- cobre;
- titanio;
- safíro;
- agata;
- porcelana dura;
- Si_3N_4



Materiales para propósitos especiales

Contenedores de materiales para propósitos especializados:

- cobre;
- titanio;
- safíro;
- agata;
- porcelana dura;
- Si_3N_4
- $\text{Cu}-\text{Be}$



- La forma del contenedor puede afectar en los tiempos de molienda drásticamente.

- La forma del contenedor puede afectar en los tiempos de molienda drásticamente.
- para los molinos SPEX existen *contenedores de fondo plano* y *contenedores de fondo redondo*

- La forma del contenedor puede afectar en los tiempos de molienda drásticamente.
- para los molinos SPEX existen *contenedores de fondo plano* y *contenedores de fondo redondo*
- El tiempo requerido para que se llegara a la misma intensidad en un pico en XRD en (111) fue de:
 1. 9 h en el contenedor de fondo plano;
 2. 15 h en el contenedor de fondo redondo.

Forma del contenedor

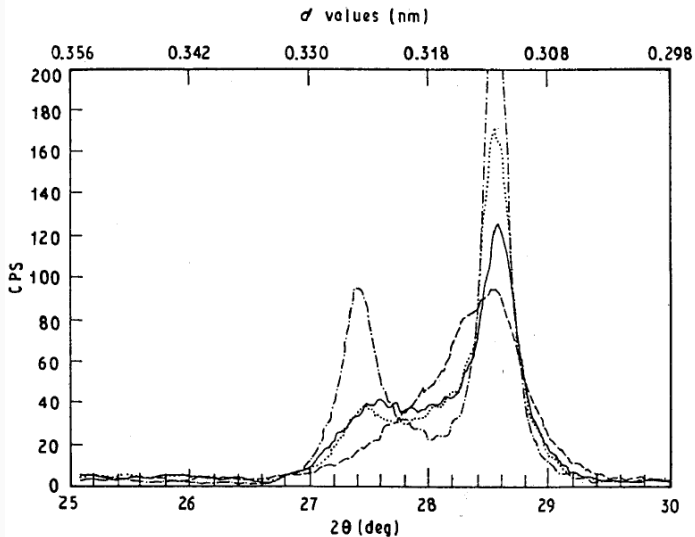


Figura 2: Efecto del uso de un contenedor de fondo plano vs uno de fondo redondo (Obtenido de Harringa, Cook y Beaudry 1992)

Velocidad crítica, C_s :

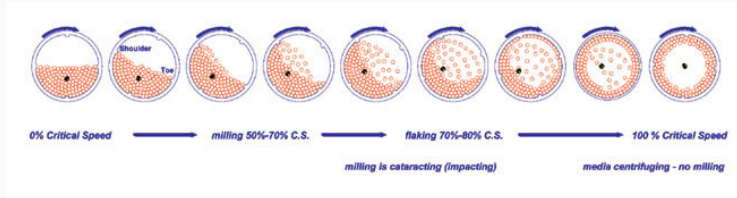
En un molino de bolas, la *velocidad crítica* (C_s) es la velocidad en la que el medio de molienda se adhiere, a causa de la fuerza centrífuga, a las paredes del contenedor.

La fórmula de la velocidad crítica es:

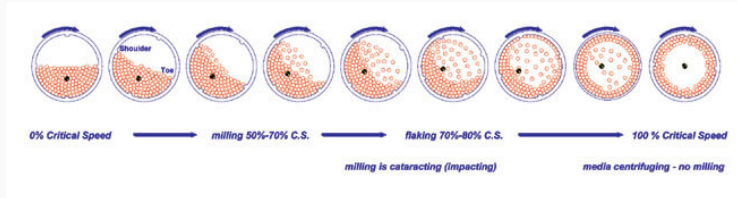
$$C_s = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{g}{R - r}} \quad (1)$$

Donde g es la constante gravitacional, R es el diámetro interno del molino y r el diámetro de un trozo de medio de molienda.

- A velocidades mayores que la *velocidad crítica* las bolas estarían sujetas al contenedor y no causarían ningún impacto;



- A velocidades mayores que la *velocidad crítica* las bolas estarían sujetas al contenedor y no causarían ningún impacto;
- la velocidad debe ser ajustada para que sea menor que la *velocidad crítica*.



- Los molinos de bolas secos operan en un rango de 50 % a 70 % de la C_s ;
- normalmente se operan de 60 % a 65 %;
 1. a $\leq 50\% C_s$ la energía es muy poca para *fracturar el polvo*;
 2. a $\geq 70\% C_s$ el medio comienza a caer en *catarata*, golpeando una sola zona del contenedor.

Una de las consecuencias de moler a *altas velocidades* es que la *temperatura del medio aumenta*.

En ciertos casos es provechoso:

- promover la homogeneidad y/o aleaciones de polvos.

O bien, puede ser un problema:

- acelera la transformación del proceso, resultando en descomposición de la fase deseada;

O bien, puede ser un problema:

- acelera la transformación del proceso, resultando en descomposición de la fase deseada;
- se pueden formar otras fases metaestables indeseadas;

O bien, puede ser un problema:

- acelera la transformación del proceso, resultando en descomposición de la fase deseada;
- se pueden formar otras fases metaestables indeseadas;
- incrementa el riesgo de contaminación de polvos.



En algunas investigaciones, se han reportado *cambios en la morfología* en función de la *velocidad*:¹

Cuadro 2: Relación de la velocidad con las fases obtenidas

Fase obtenida	Velocidad de molienda
Ni–Zr (amorfo)	Alta velocidad
Ni–Zr (cristalino)	Velocidad media y baja

¹Calka y Radlinski 1991.

Referencias

-  Calka, A y AP Radlinski (1991). **“Universal high performance ball-milling device and its application for mechanical alloying”**. En: *Materials Science and Engineering: A* 134, págs. 1350-1353.
-  Harringa, JL, BA Cook y BJ Beaudry (1992). **“Effects of vial shape on the rate of mechanical alloying in $\text{Si}_{80}\text{Ge}_{20}$ ”**. En: *Journal of materials science* 27, págs. 801-804.