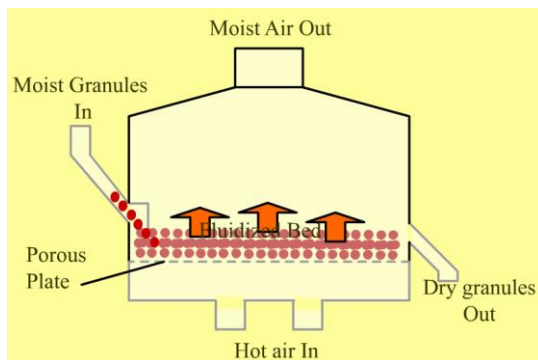
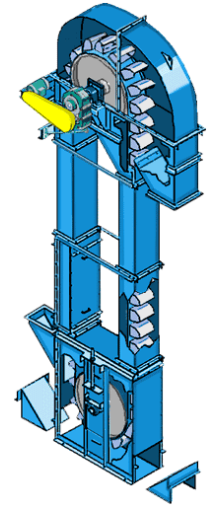


Operaciones Unitarias 1

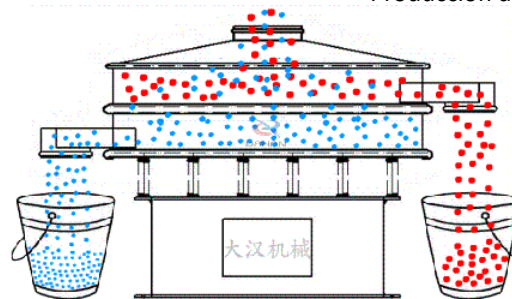
Tecnología de los sistemas particulados

- ❖ Operaciones de reducción de tamaño de sólidos
- ❖ Operaciones de separación de sólidos.
- ❖ Operaciones en Lechos de sólidos.
- ❖ Operaciones de transporte.



<https://youtu.be/w3CrFR1Jk1w?si=fGvj15TUbBb-RsRh>

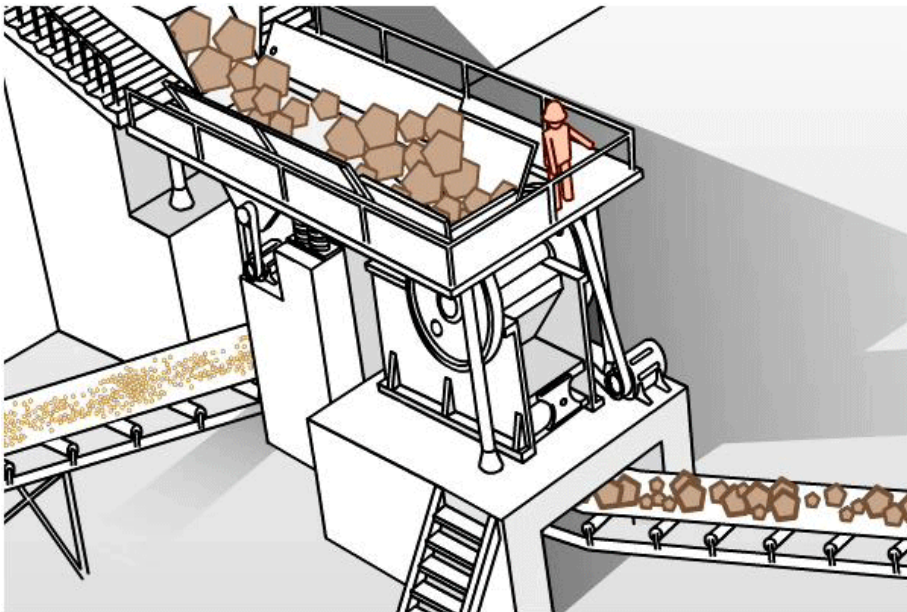
Producción de Li_2CO_3 Operaciones unitarias



Operaciones Unitarias 1

Tecnología de los sistemas particulados

❖ Operaciones de reducción de tamaño de sólidos



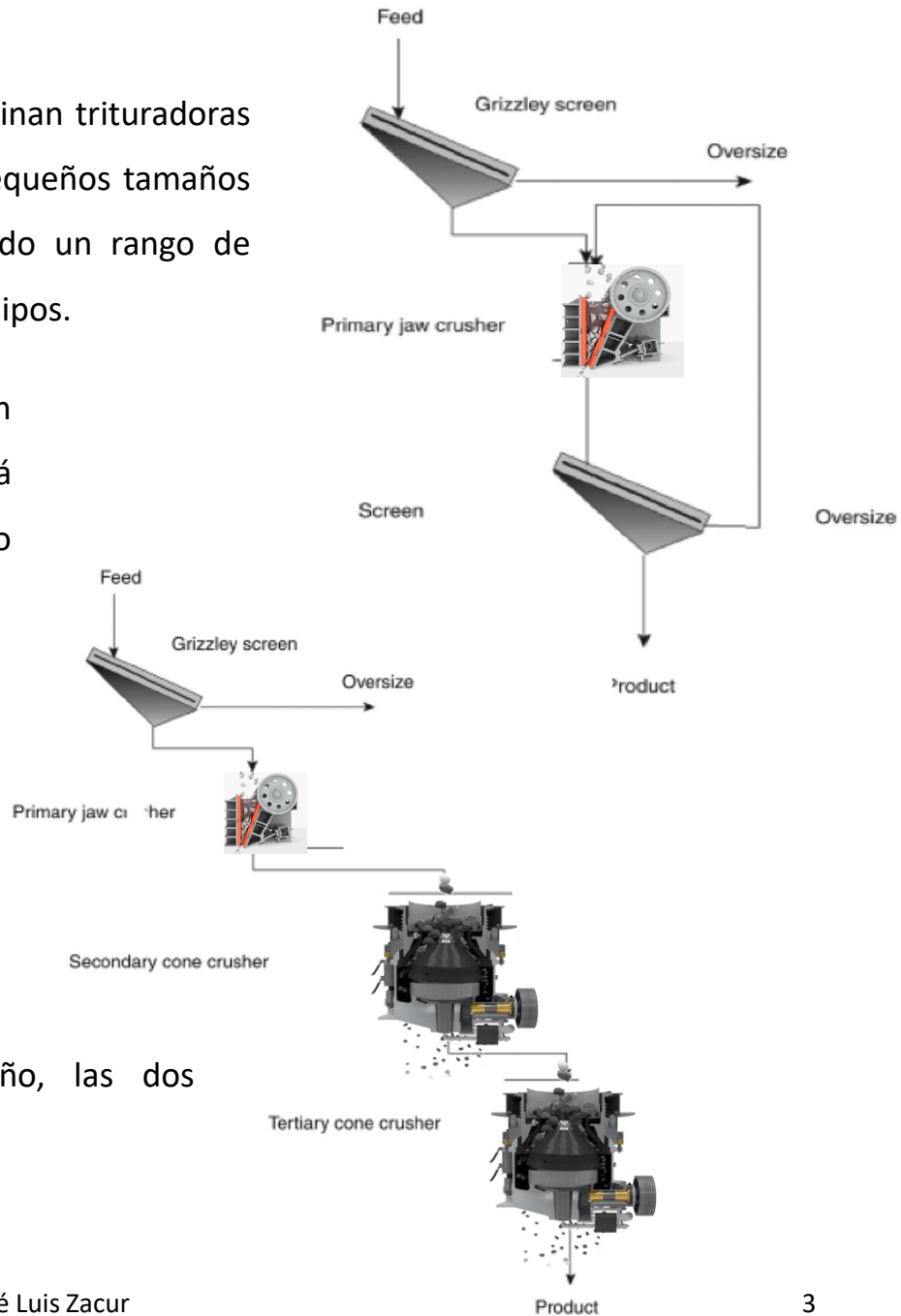
Operaciones de reducción de tamaño

Los equipos que muelen grandes aglomerados se denominan trituradoras (*crushers*), mientras que los que muelen partículas de pequeños tamaños se denominan molinos (*mills*); por supuesto, existe todo un rango de tamaños donde se superpone la aplicabilidad de estos equipos.

Si el material debe molerse desde aglomerados de gran tamaño hasta polvo muy fino, un solo molino no será capaz de lograr la reducción deseada, siendo necesario una secuencia de equipos para lograr el objetivo.

Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final.

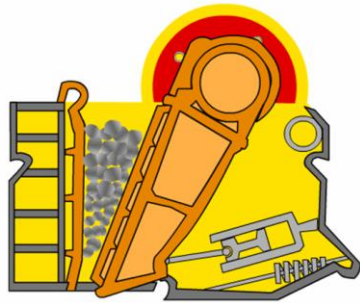
Rango de reducción de tamaño	Nombre genérico del equipo	Tipo de equipo
Grueso e intermedio	Molinos de gruesos: "Crushers"	De rodillos
Intermedio y fino	Molinos de finos: "Mills o Grinders"	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De martillo ▪ Disco de atrición ▪ De rodillos
Fino y ultrafino	Molinos de ultrafinos: "Ultrafine grinders"	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De martillo ▪ De bolas



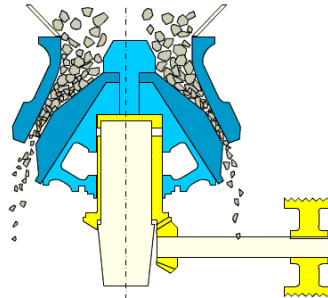
Al dimensionar una planta para reducción de tamaño, las dos características principales de interés son:

- la potencia requerida para la reducción de tamaño,
- la elección de trituradoras y molinos.

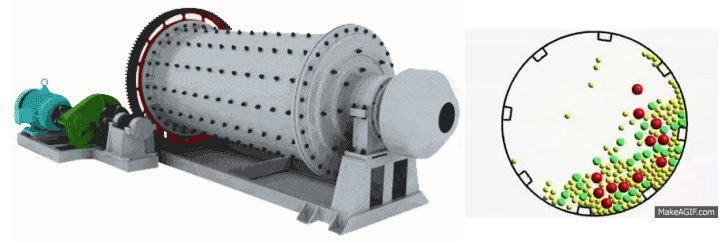
Operaciones de reducción de tamaño *Crusher* (trituradoras) and *Mills* (molinos)



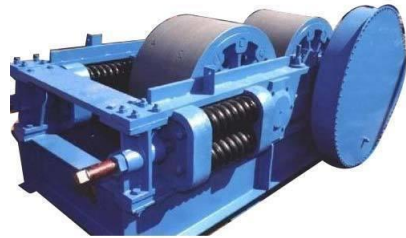
molino a mandíbula (*jaw crusher*)



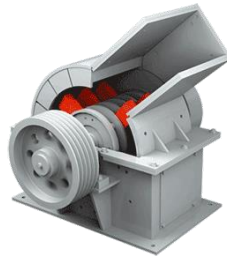
Molino de cóno (*Cone crusher*)



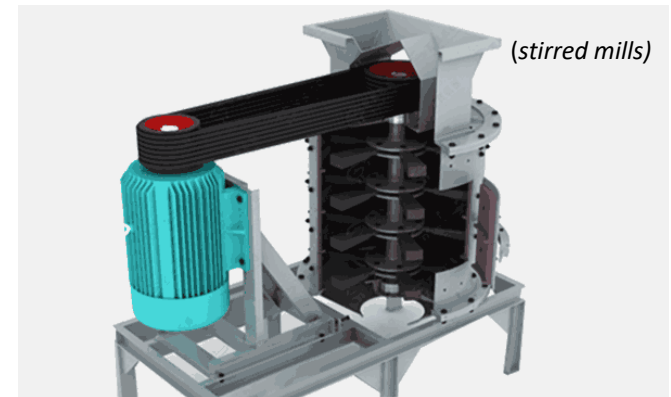
molino a bolas (*ball mills*)



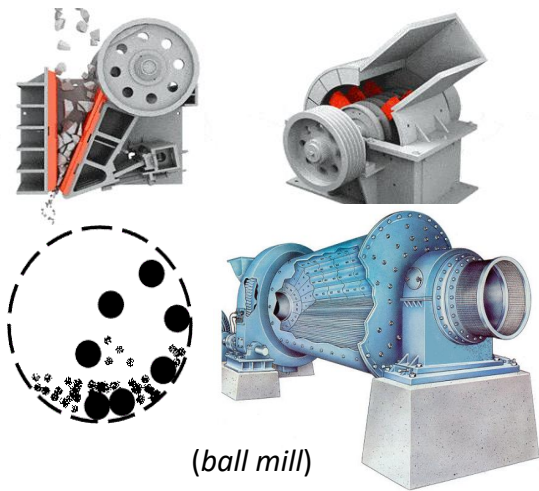
molino a rodillos (*roller crusher*)



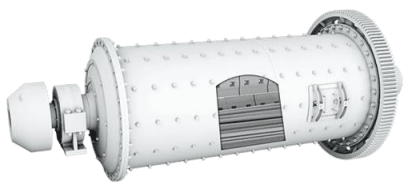
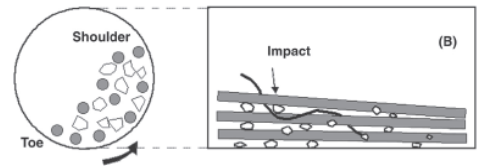
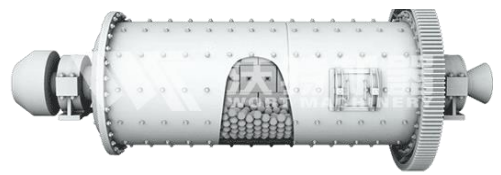
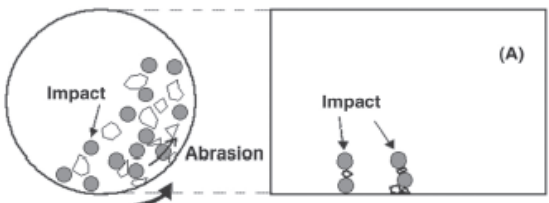
molino a martillo (*hammer crusher*)



Operaciones de reducción de tamaño mecanismos



(ball mill)



(rod mill)



Presión La fuerza se aplica entre dos superficies sólidas que representan directamente las superficies de la herramienta abrasiva o pueden ser superficies de partículas adyacentes. La presión es ejercida por las herramientas abrasivas. Predomina en *crusher*

Efectos de impacto La deformación por impacto es causada principalmente por la aceleración de partículas ubicadas lado a lado o adyacentes a la superficie del dispositivo de reducción. Predomina en *crusher*.

Fricción o desgaste (attrition). Causado por la presión vertical de una superficie y el movimiento simultáneo transversal de la otra superficie. Predomina en *mill*

Efecto cizalla y de corte entre dos o más superficies sólidas que se mueven en direcciones opuestas que da como resultado un efecto de cizalla. Si los bordes son afilados, corresponde a efecto de corte. Al menos una superficie fija y una móvil. Predomina en *mill*

Operaciones de reducción de tamaño consumo de energía

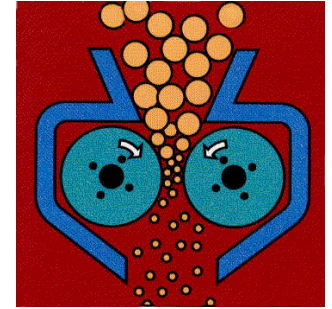
La reducción de tamaño implica la aparición de mayor superficie.

Sólo aproximadamente un **2%** de la energía total empleada produce la aparición de nuevas superficies, el resto se pierde en la deformación plástica y/o fricciones entre partículas, rozamiento de éstas con las paredes de la maquinaria, deformación de las partes metálicas de la maquinaria, calor, ruido y vibraciones.

Gran parte de la energía suministrada se libera como calor (de importancia en la Industria de Alimentos).

La potencia requerida depende de la dureza, el tamaño inicial y el tamaño del producto final requerido.

En todo proceso de reducción de tamaño, a medida que el tamaño de las partículas disminuye, aumenta el área superficial de las partículas. Por tanto, una medida de tamaño o área de superficie antes y después de la reducción de tamaño indicaría la cantidad de energía gastada en el proceso de reducción.



Operaciones de reducción de tamaño consumo de energía



Sea dE (kJ) la energía utilizada para una reducción de tamaño deseada, que resultó en un cambio en el área de superficie S ; en términos de tamaño (L) por unidad de masa del material de partículas se cumple que:

$$dE = -k[L^n dL] \quad \text{El signo negativo traduce la reducción: tamaño final < tamaño inicial}$$

La expresión de Rittinger, $n = -2$, es aplicable para la reducción de tamaño grueso.

- $n = -2$ (Rittinger) La expresión de Kick, $n = -1$, es más apropiada para reducciones de tamaño más finas en la región donde se exponen grandes áreas superficiales de partículas como
- $n = -1$ (Kick) en el caso de las operaciones reducción vía Mills.
- $n = -1,5$ (Bond)

El valor intermedio de Bond de $n=-1,5$ cubre casi todo el rango de partículas.

$$\text{(Kick)} E = -k \int_{L_i}^{L_f} L^n dL = k \ln \frac{L_i}{L_f} \quad n: -1$$

$$E = -k \int_{L_i}^{L_f} L^n dL = -\frac{k}{n+1} (L_f^{n+1} - L_i^{n+1}) \quad n: 1,5;-2 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{(Rittinger)} E = -\frac{k}{-2+1} (L_f^{-2+1} - L_i^{-2+1}) = 2k \left(\frac{1}{L_f} - \frac{1}{L_i} \right) \\ \text{(Bond)} E = -\frac{k}{-1,5+1} (L_f^{-1,5+1} - L_i^{-1,5+1}) = 2k \left(\frac{1}{\sqrt{L_f}} - \frac{1}{\sqrt{L_i}} \right) \end{array} \right.$$

Operaciones de reducción de tamaño consumo de energía

En la práctica, en lugar de un tamaño específico, se considera una dispersión de tamaños de partículas que serán reducidas. Como resultado de la operación de reducción, se obtiene una dispersión de producto de menor tamaño. La energía requerida para la reducción de las partículas originales, caracterizados por un $d_{80,in}$, a un tamaño de partículas producto, caracterizados por un $d_{80,out}$ es:

$$\text{(Bond)} E = 2k \left(\frac{1}{\sqrt{L_f}} - \frac{1}{\sqrt{L_i}} \right) = 0,3162W_i \left(\frac{1}{\sqrt{L_{f,80}}} - \frac{1}{\sqrt{L_{i,80}}} \right) \left[\frac{kWh}{ton} \right]$$

Indices de trabajo para trituración seca* o molienda húmeda†

Material	Gravedad específica	Índice de trabajo W_i
Bauxita	2.20	8.78
Residuo de cemento	3.15	13.45
Materias primas de cemento	2.67	10.51
Arcilla	2.51	6.30
Carbón	1.4	13.00
Coque	1.31	15.13
Granito	2.66	15.13
Grava	2.66	16.06
Roca de yeso	2.69	6.73
Mineral de hierro (hematita)	3.53	12.84
Piedra caliza	2.66	12.74
Roca fosfórica	2.74	9.92
Cuarzo	2.65	13.57
Esquisto	2.63	15.87
Pizarra	2.57	14.30
Roca volcánica	2.87	19.32

* Para molienda seca multiplicar por $\frac{4}{3}$.

$L_{i,80}$ = tamaño de partícula inicial (en términos de diámetro) que pasa el 80% de una malla definida en [mm].

$L_{f,80}$ = tamaño de partícula final (luego de la reducción de tamaño, en términos de diámetro) que pasa el 80% de una malla definida en [mm].

W_i (índice de trabajo): una constante para cada material.

Se reduce el tamaño de un cierto material en un triturador a mandíbula, de 50 a 10 mm con un consumo de energía de $13 \text{ kW}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$. ¿Cuál es el consumo de energía ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) necesario para reducir el mismo material desde un tamaño promedio de 75 mm a 25 mm? ¿Se requiere mayor o menor energía? ¿Por qué? Suponer aplicable la ecuación de a) Rittinger b) Kick c) Bond y comparar sus resultados.

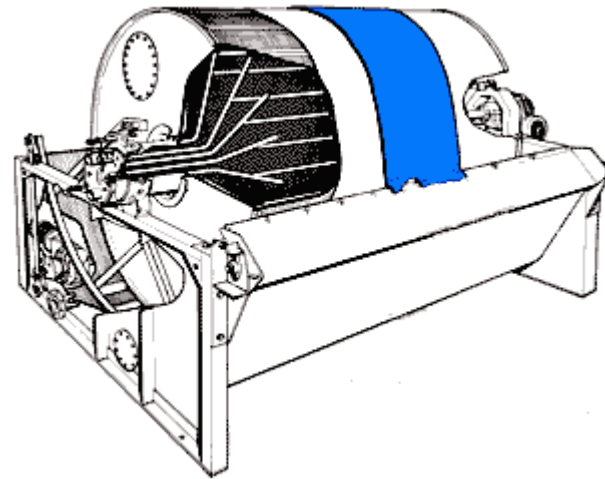
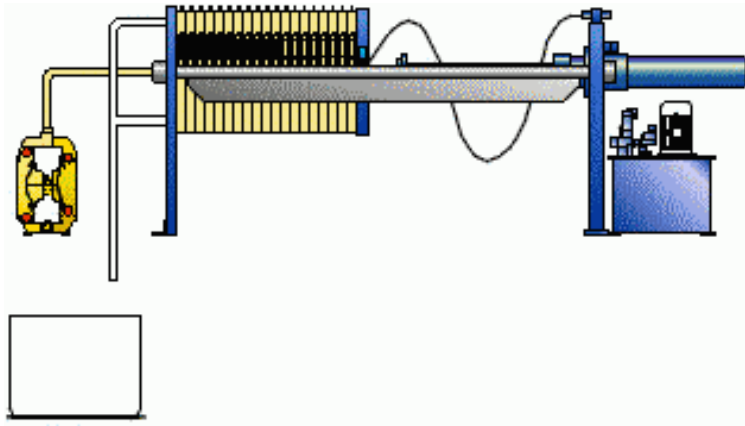
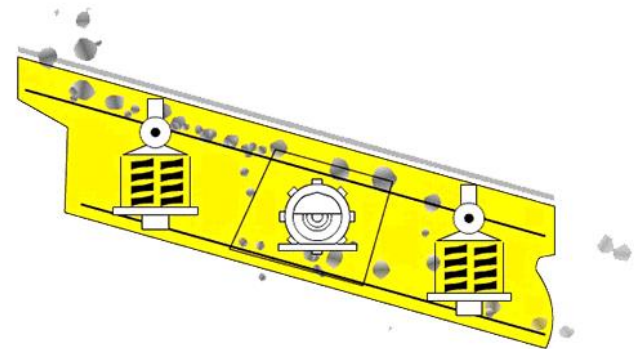
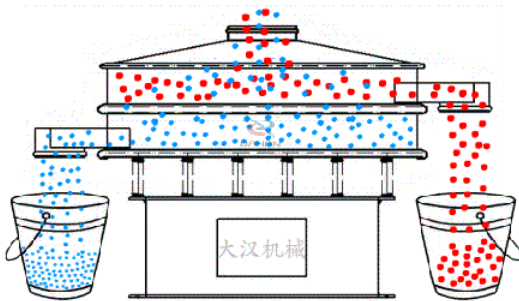


jlz_TSP_crusher

Operaciones Unitarias 1

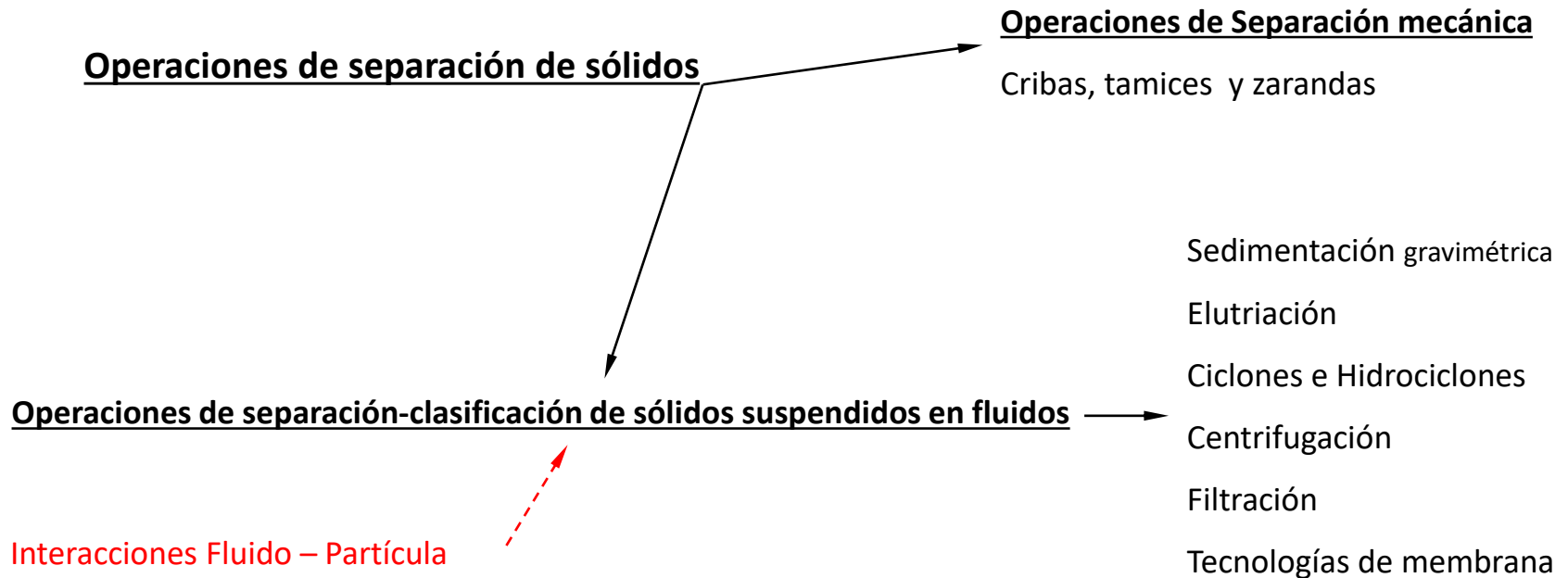
Tecnología de los sistemas particulados

❖ Operaciones de separación de sólidos



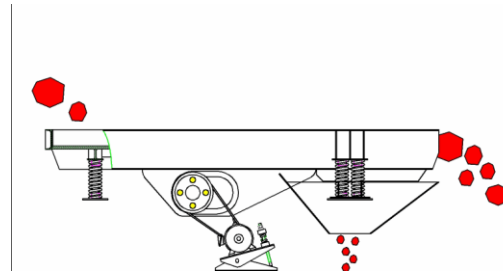
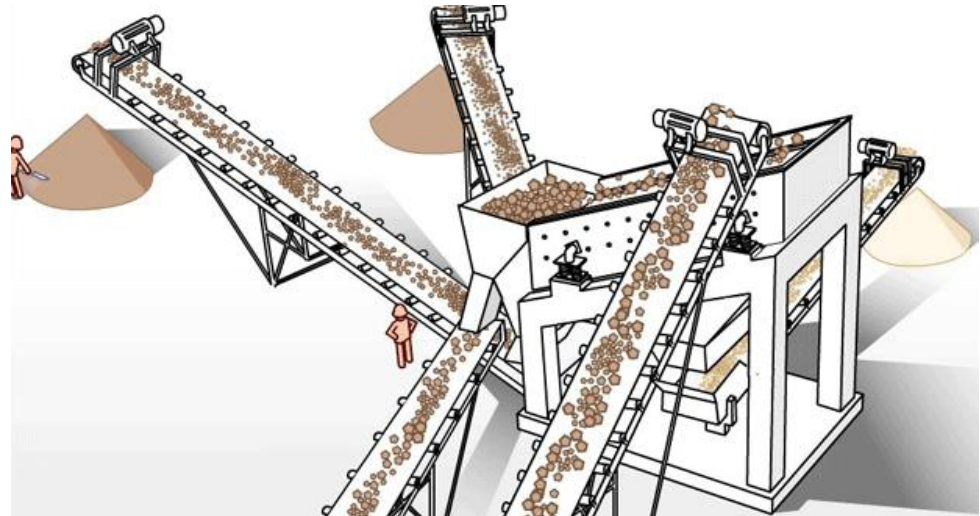
Tecnología de los sistemas particulados (TSP)

❖ Operaciones de separación de sólidos



Operaciones de separación de sólidos, Cribas, tamices y zarandas

<https://youtu.be/ZTsd0z7bzll>



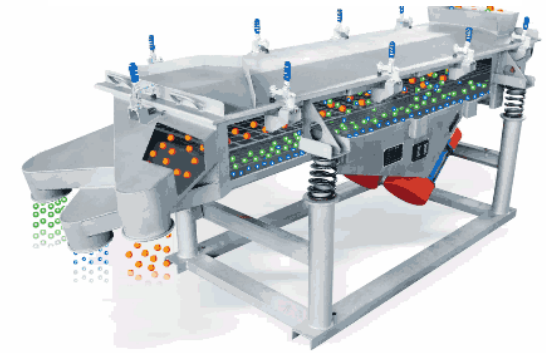
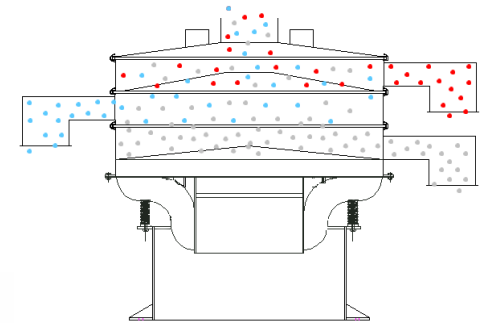
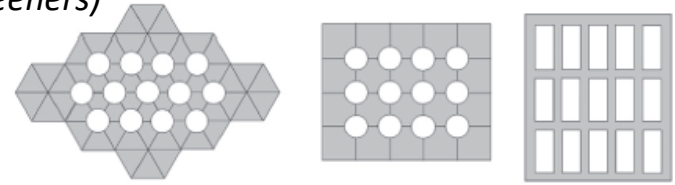
Operaciones de separación mecánica, Cribas, tamices y zarandas (*screeners*)

El cribado es un método de separación de partículas basado exclusivamente en el tamaño de las mismas.

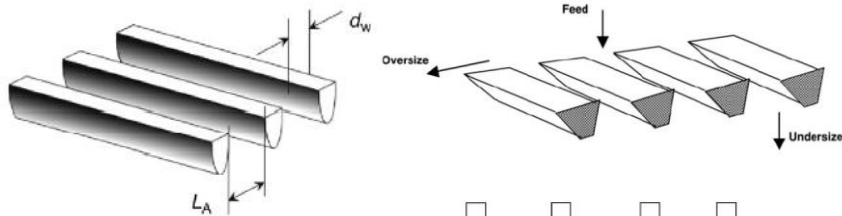
Los sólidos se colocan sobre la superficie de la zaranda. Las partículas de menor tamaño, *finos o cernido o aceptado*, pasan a través de las aberturas; mientras que las de mayor tamaño, *grueso o rechazo o retenido*, no pasan.

Una sola criba puede realizar una separación en dos fracciones.

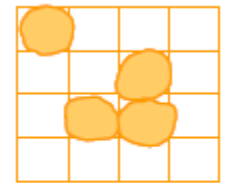
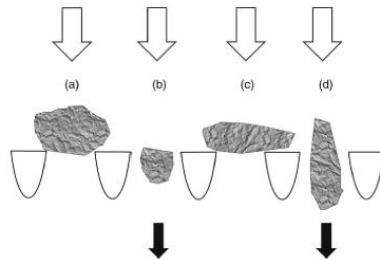
Para separaciones múltiples, el material se hace pasar a través de una serie de cribas de diferentes tamaños que separa en fracciones clasificadas por tamaños, es decir, fracciones cuyas partículas se conocen por su tamaño máximo y mínimo. En ocasiones, la operación se realiza en húmedo, si bien lo más frecuente es operar en seco.



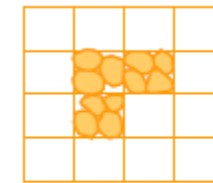
Eficiencia



a) No pasa; b) pasa; c) y d) pasa o no pasa según su orientación

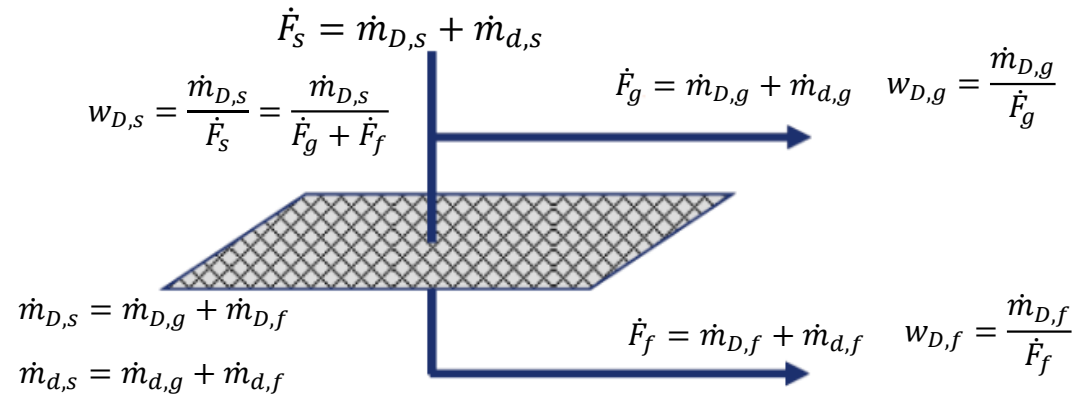
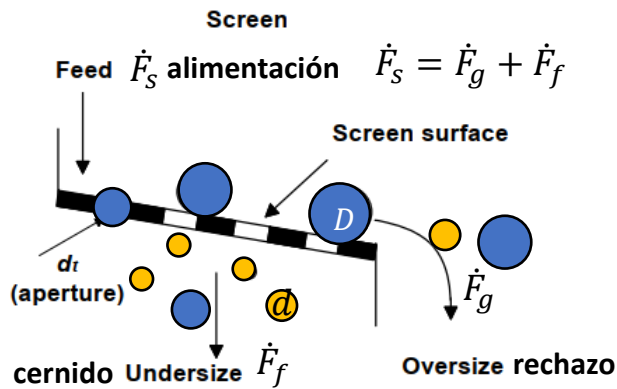


Obstrucción por tamaño de partícula cercano a la apertura



Ensuciamiento por puentes de finos

Operaciones de separación mecánica, Cribas, tamices y zarandas balance de masa



$$\dot{F}_s = \dot{m}_{D,s} + \dot{m}_{d,s} \left[\frac{kg}{s} \right] \quad \dot{F}_g = \dot{m}_{D,g} + \dot{m}_{d,g} \left[\frac{kg}{s} \right] \quad \dot{F}_f = \dot{m}_{D,f} + \dot{m}_{d,f} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{D,s} = \dot{m}_{D,g} + \dot{m}_{D,f} \quad \dot{m}_{d,s} = \dot{m}_{d,g} + \dot{m}_{d,f}$$

$$w_{D,s} = \frac{\dot{m}_{D,s}}{\dot{m}_{D,s} + \dot{m}_{d,s}} = \frac{\dot{m}_{D,s}}{\dot{F}_g + \dot{F}_f} \rightarrow 1 - w_{D,s} = 1 - \frac{\dot{m}_{D,s}}{\dot{m}_{D,s} + \dot{m}_{d,s}} = \frac{\dot{m}_{d,s}}{\dot{F}_s}$$

$$w_{D,f} = \frac{\dot{m}_{D,f}}{\dot{m}_{D,f} + \dot{m}_{d,f}} = \frac{\dot{m}_{D,f}}{\dot{F}_f} \rightarrow 1 - w_{D,f} = 1 - \frac{\dot{m}_{D,f}}{\dot{m}_{D,f} + \dot{m}_{d,f}} = \frac{\dot{m}_{d,f}}{\dot{F}_f}$$

$$w_{D,g} = \frac{\dot{m}_{D,g}}{\dot{m}_{D,g} + \dot{m}_{d,g}} = \frac{\dot{m}_{D,g}}{\dot{F}_g} \rightarrow 1 - w_{D,g} = 1 - \frac{\dot{m}_{D,g}}{\dot{m}_{D,g} + \dot{m}_{d,g}} = \frac{\dot{m}_{d,g}}{\dot{F}_g}$$

$w_{D,k}$ $k = s, f, g$ es la fracción másica acumulativa de la partícula mayor (total retenido hasta la malla considerada)

Operaciones de separación mecánica, Cribas, tamices y zarandas; balance de masa; eficiencia

Diagram illustrating the mass balance for a mechanical separation process (e.g., screening, sieving, or riddling). The feed stream has a mass flow rate \dot{m}_s and a flow rate \dot{F}_s . It splits into two product streams: a top stream with mass flow rate \dot{m}_g and flow rate \dot{F}_g , and a bottom stream with mass flow rate \dot{m}_f and flow rate \dot{F}_f . The top stream has a weight fraction $w_{D,g}$ and the bottom stream has a weight fraction $w_{D,f}$.

Mass flow rate balance for the feed stream:

$$\dot{F}_s = \dot{m}_{D,s} + \dot{m}_{d,s} \quad [\frac{kg}{s}]$$

Flow rate balance for the feed stream:

$$\dot{F}_g = \dot{m}_{D,g} + \dot{m}_{d,g} \quad [\frac{kg}{s}]$$

$$\dot{F}_f = \dot{m}_{D,f} + \dot{m}_{d,f} \quad [\frac{kg}{s}]$$

Weight fraction definitions:

$$w_{D,s} = \frac{\dot{m}_{D,s}}{\dot{F}_s} = \frac{\dot{m}_{D,s}}{\dot{F}_g + \dot{F}_f}$$

$$w_{D,g} = \frac{\dot{m}_{D,g}}{\dot{F}_g}$$

$$w_{D,f} = \frac{\dot{m}_{D,f}}{\dot{F}_f}$$

Mass flow rate balance for the top stream:

$$\dot{m}_{D,s} = \dot{m}_{D,g} + \dot{m}_{D,f}$$

Mass flow rate balance for the bottom stream:

$$\dot{m}_{d,s} = \dot{m}_{d,g} + \dot{m}_{d,f}$$

Flow rate balance for the top stream:

$$\dot{F}_g = \dot{m}_{D,g} + \dot{m}_{d,g}$$

Flow rate balance for the bottom stream:

$$\dot{F}_f = \dot{m}_{D,f} + \dot{m}_{d,f}$$

Flow rate balance for the feed stream:

$$\dot{F}_s = \dot{F}_g + \dot{F}_f \rightarrow 1 = \frac{\dot{F}_g}{\dot{F}_s} + \frac{\dot{F}_f}{\dot{F}_s} \rightarrow \frac{\dot{F}_g}{\dot{F}_s} = 1 - \frac{\dot{F}_f}{\dot{F}_s}$$

Mass flow rate balance for the top stream:

$$\dot{m}_{D,s} = w_{D,s}(\dot{F}_g + \dot{F}_f) = w_{D,s}\dot{F}_s$$

Mass flow rate balance for the bottom stream:

$$\dot{m}_{D,s} = \dot{m}_{D,g} + \dot{m}_{D,f} = w_{D,g}\dot{F}_g + w_{D,f}\dot{F}_f$$

Equating the two expressions for $\dot{m}_{D,s}$:

$$w_{D,s}\dot{F}_s = w_{D,g}\dot{F}_g + w_{D,f}\dot{F}_f \rightarrow w_{D,s} = w_{D,g}\frac{\dot{F}_g}{\dot{F}_s} + w_{D,f}\frac{\dot{F}_f}{\dot{F}_s}$$

Substituting $\frac{\dot{F}_g}{\dot{F}_s} = 1 - \frac{\dot{F}_f}{\dot{F}_s}$ into the equation above:

$$w_{D,s} = w_{D,g}\left(1 - \frac{\dot{F}_f}{\dot{F}_s}\right) + w_{D,f}\frac{\dot{F}_f}{\dot{F}_s} \rightarrow w_{D,s} = w_{D,g} + \frac{\dot{F}_f}{\dot{F}_s}(w_{D,f} - w_{D,g}) \rightarrow \frac{\dot{F}_f}{\dot{F}_s} = \left(\frac{w_{D,s} - w_{D,g}}{w_{D,f} - w_{D,g}}\right)$$

Substituting $\frac{\dot{F}_f}{\dot{F}_s} = 1 - \frac{\dot{F}_g}{\dot{F}_s}$ into the equation above:

$$\frac{\dot{F}_s - \dot{F}_g}{\dot{F}_s} = \left(\frac{w_{D,s} - w_{D,g}}{w_{D,f} - w_{D,g}}\right) \rightarrow \frac{\dot{F}_g}{\dot{F}_s} = 1 - \left(\frac{w_{D,s} - w_{D,g}}{w_{D,f} - w_{D,g}}\right) \rightarrow \frac{\dot{F}_g}{\dot{F}_s} = \left(\frac{w_{D,s} - w_{D,f}}{w_{D,g} - w_{D,f}}\right)$$

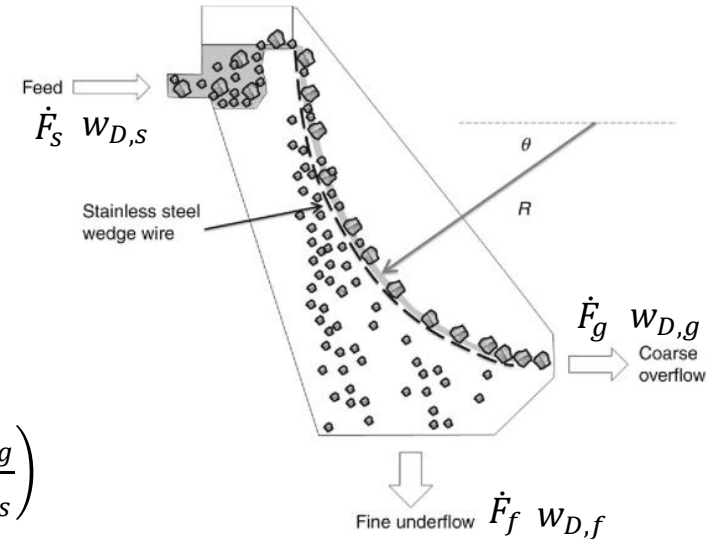
Operaciones de separación mecánica, Cribas, tamices y zarandas; balance de masa; eficiencia

$Ef_{finos,(gruesos)}$ eficiencia de separación de finos, (gruesos) es la fracción de partículas menores (mayores) a la apertura de la malla que sale por la corriente de finos (gruesos) respecto de la alimentada.

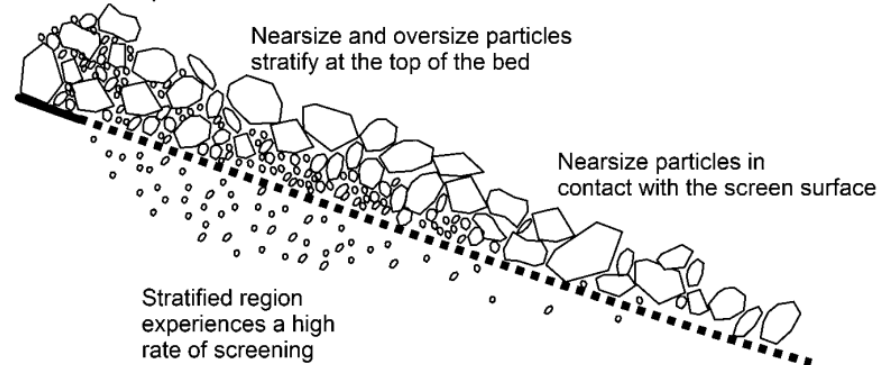
$$Ef_{gruesos} = \frac{\dot{m}_{D,g}}{\dot{m}_{D,s}} = \frac{\dot{F}_g}{\dot{F}_s} \left(\frac{w_{D,g}}{w_{D,s}} \right) \quad Ef_{gruesos} = \left(\frac{w_{D,s} - w_{D,f}}{w_{D,g} - w_{D,f}} \right) \left(\frac{w_{D,g}}{w_{D,s}} \right)$$

$$Ef_{finos} = \frac{\dot{m}_{d,f}}{\dot{m}_{d,s}} = \frac{\dot{F}_f}{\dot{F}_s} \left(\frac{1 - w_f}{1 - w_s} \right) \quad Ef_{finos} = \left(\frac{w_{D,s} - w_{D,g}}{w_{D,f} - w_{D,g}} \right) \left(\frac{1 - w_{D,f}}{1 - w_{D,s}} \right)$$

$$Ef_{global} = Ef_{finos} * Ef_{gruesos}$$



Mixed feed of coarse and fine particles



Un proceso industrial que tiene como producto un sólido granular, requiere procesar $1.5 \text{ tonne}\cdot\text{hr}^{-1}$ de sólido con el objetivo de obtener un rango de tamaño limitado entre $-5 / +12$ escala Tyler para cumplir con las especificaciones del cliente. A fin de especificar el proceso de separación se ha realizado un análisis de tamaño sobre una muestra sólida, el cual arroja los siguientes resultados:

Malla Tyler #	$2^{1/2}$	5	8	12	20	28
Masa retenida (gm)	0	43	128	117	32	0



TSPD_ selección de malla

- Especifique la distribución de tamaños de partículas para el sólido.
- Represente la fracción másica retenida en función del diámetro de partículas.
- Proponga un sistema de cribas que permita obtener el rango de tamaños requerido por el proceso.
- Informe la producción de sólido que se obtiene que cumple con el requerimiento y la eficiencia del proceso, asumiendo eficiencias de cribado del 100%.
- Informe la producción de sólido que se obtiene que cumple con el requerimiento, la eficiencia del proceso y la contaminación de los efluentes, si las eficiencias de cribado son del 92% para el rechazo y 95% para el cernido.

