

SEPARACIONES MECÁNICAS

M. en C. Q. Eduardo Martín del Campo López

Contenido

- Objetivo de la Unidad de Aprendizaje (UA) se Separaciones Mecánicas.
- Programa de la UA de Separaciones Mecánicas.
- Propiedades y tratamiento de partículas sólidas.
 - 1) Forma de las partículas.
 - 2) Tamaño promedio de las partículas.
 - 3) Superficie específica de las partículas.
 - 4) Número de partículas en una mezcla.
 - 5) Tamizado.
 - 6) Reducción de tamaño.

Objetivo Separaciones Mecánicas

Determinar la separación de mezclas heterogéneas, por medio de técnicas basadas en propiedades físicas de las partículas, con el propósito de modelar y simular procesos comunes de separación mecánica; promoviendo el desarrollo de habilidades en el uso de TIC's y software, en el laboratorio, la calidad en el trabajo, actuando con responsabilidad social y una visión de sustentabilidad.

Programa Separaciones Mecánicas

Unidad 1. Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

- 1.1 Forma de las partículas
- 1.2 Tamaño de las partículas
- 1.3 Tamaño promedio de las partículas en una mezcla
- 1.4 Superficie específica de una mezcla de partículas
- 1.5 Número de partículas en una mezcla
- 1.6 Tamizado
- 1.7 Reducción de tamaño

Unidad 2. Filtración para separaciones sólido-líquido

- 2.1 Introducción
- 2.2 Tipos de equipos para filtración
- 2.3 Medios filtrantes
- 2.4 Teoría básica de filtración

Programa Separaciones Mecánicas

Unidad 3. Precipitación y sedimentación para separaciones partícula-fluido

3.1 Introducción

3.2 Teoría de movimiento de partículas a través de un fluido

3.3 Precipitación frenada

3.4 Precipitación diferencial y separación de sólidos en la clasificación

3.5 Sedimentación y espesamiento

3.6 Equipos para la sedimentación y precipitación

Unidad 4. Centrifugación para separaciones partícula-fluido

4.1 Introducción

4.2 Fuerzas que se desarrollan en la separación por centrifugación

4.3 Teoría para las velocidades de precipitación en centrífugas

4.4 Equipos de centrifugación para sedimentación

4.5 Introducción a la filtración centrífuga

4.6 Ciclones para separación gas-líquido

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Forma de las Partículas

La forma de una partícula individual se puede expresar en términos de esfericidad.

$$\phi_s = \frac{6V_p}{D_p S_p}$$

$\phi_s = \text{esfericidad}$

$V_p = \text{volumen de una partícula}$

$D_p = \text{diámetro nominal de una partícula}$

$S_p = \text{área superficial de una partícula}$



Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Forma de las Partículas

Para una muestra de partículas uniformes, el volumen total de las partículas es:

$$V = \frac{m}{\rho_p}$$

$m = \text{masa total de la muestra}$
 $\rho_p = \text{densidad de las partículas}$

Por lo tanto el número de partículas de la muestra es:

$$N = \frac{\frac{m}{\rho_p}}{V_p} = \frac{m}{\rho_p V_p}$$

$N = \text{no. de partículas en la muestra}$

Recordando el concepto de esfericidad

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Forma de las Partículas

$$S_p = \frac{6V_p}{\phi_s D_p} = \frac{6 \frac{m}{N \rho_p}}{\phi_s D_p} = \frac{6m}{\phi_s N D_p \rho_p}$$

El área superficial total de las partículas es:

$$NS_p = \frac{6m}{\phi_s D_p \rho_p}$$

Para aplicar esta ecuación a una mezcla de partículas, con diferentes tamaños y densidades, la mezcla se debe dividir en fracciones.

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Superficie Específica de una Mezcla

$$A_w = \frac{6m_1}{m\phi_s D_p \rho_p} + \frac{6m_2}{m\phi_s D_p \rho_p} + \frac{6m_3}{m\phi_s D_p \rho_p} + \dots + \frac{6m_n}{m\phi_s D_p \rho_p}$$

$$A_w = \frac{6x_1}{\phi_s D_p \rho_p} + \frac{6x_2}{\phi_s D_p \rho_p} + \frac{6x_3}{\phi_s D_p \rho_p} + \dots + \frac{6x_n}{\phi_s D_p \rho_p}$$

$$A_w = \frac{6}{\phi_s \rho_p} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\overline{D_{pi}}}$$

x_i = fracción masa

$\overline{D_{pi}}$ = diametro promedio de la partícula

n = no. de fracciones de la muestra

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Tamaño Promedio de las Partículas

El tamaño promedio de las partículas para una mezcla, se identifica de varias formas. El más utilizado es el diámetro promedio volumen-superficie (\overline{D}_s).

$$\overline{D}_s = \frac{6}{\phi_s A_w \rho_p} = \frac{6}{\phi_s \left[\frac{6}{\phi_s \rho_p} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{pi}} \right] \rho_p} = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{pi}} \right)}$$

Si se conoce el número de partículas en cada fracción (N_i), en lugar de la fracción masa, \overline{D}_s viene dado por la siguiente expresión.

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Tamaño Promedio de las Partículas

$$\overline{D}_s = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \overline{D}_{pi}^3}{\sum_{i=1}^n N_i \overline{D}_{pi}^2}$$

A veces resultan útiles otros valores medios, como por el ejemplo el diámetro medio aritmético (\overline{D}_N).

$$\overline{D}_N = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \overline{D}_{pi}}{N_T}$$

$N_T =$ no. de partículas en toda la muestra

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Tamaño Promedio de las Partículas

El diámetro promedio en masa ($\overline{D_w}$).

$$\overline{D_w} = \sum_{i=1}^n x_i \overline{D_{pi}}$$

Dividiendo al volumen total de la muestra entre el número de partículas de la muestra se obtiene el volumen promedio de una partícula. El diámetro de dicha partícula es el diámetro promedio en volumen ($\overline{D_V}$).

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Tamaño Promedio de las Partículas

$$\overline{D_V} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{D_{pi}^3} \right)} \right]^{1/3}$$

$$\overline{D_V}^3 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{D_{pi}^3} \right)}$$

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Número de Partículas en una Mezcla.

N_w es la población total en una unidad de masa de muestra, se obtiene sumando todas las fracciones.

$$N = \frac{m}{\rho_p V_p} = \frac{m}{\rho_p a \overline{D}_{pi}^3} \quad a = \text{factor volumétrico de forma}$$

$$N_w = \frac{m_1}{m \rho_p a \overline{D}_{pi}^3} + \frac{m_2}{m \rho_p a \overline{D}_{pi}^3} + \frac{m_3}{m \rho_p a \overline{D}_{pi}^3} + \dots + \frac{m_n}{m \rho_p a \overline{D}_{pi}^3}$$

$$N_w = \frac{x_1}{\rho_p a \overline{D}_p^3} + \frac{x_2}{\rho_p a \overline{D}_p^3} + \frac{x_3}{\rho_p a \overline{D}_p^3} + \dots + \frac{x_n}{\rho_p a \overline{D}_p^3} = \frac{1}{a \rho_p} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\overline{D}_{pi}^3} = \frac{1}{a \rho_p \overline{D}_v^3}$$

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Tamizado

- Para medir el tamaño de las partículas en el intervalo comprendido entre 3 y 0.0015 in (76 mm y 38 μm), se utilizan tamices estándar. Las aberturas son cuadradas y cada tamiz se identifica por las mallas que hay por pulgada.



Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Tamizado

La serie estándar de tamices Tyler se basa en la abertura de tamiz de 200 mallas, que está establecido en 0.074mm. El área de las aberturas de un tamiz cualquiera de la serie es exactamente el doble que el de la abertura del tamiz próximo más pequeño.



Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación

El análisis por tamizado que se presenta a continuación corresponde a una muestra triturada. La densidad de las partículas es de 2650 kg/m^3 , el factor de forma es igual a dos, la esfericidad de las partículas es de 0.571; para el material con tamaño de partícula comprendida entre 4 y 200 mallas. Determinar:

- a) El área superficial específica en mm^2/g y el número de partículas por gramo.
- b) El diámetro promedio en volumen.
- c) El diámetro promedio volumen superficie.
- d) Diámetro promedio en masa.
- e) Número de partículas en el incremento 150/200.
- f) ¿Qué fracción del número total de partículas hay en el incremento 150/200?

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación (Datos)

Malla	Apertura de tamiz, D_{pi} (mm)	Fracción masa retenida, x_i
4	4.699	0
6	3.327	0.0251
8	2.362	0.125
10	1.651	0.3207
14	1.168	0.257
20	0.833	0.159
28	0.589	0.0538
35	0.417	0.021
48	0.295	0.102
65	0.208	0.0077
100	0.147	0.0058
150	0.104	0.0041
200	0.074	0.0031
Bandeja	----	0.0075

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación (Diámetro promedio)

Malla	Apertura de tamiz, D_{pi} (mm)	\overline{D}_{pi} (mm)
4	4.699	} Promedio
6	3.327	
8	2.362	4.0130
10	1.651	2.8445
14	1.168	2.0065
20	0.833	1.4095
28	0.589	1.0005
35	0.417	0.7110
48	0.295	0.5030
65	0.208	0.3560
100	0.147	0.2515
150	0.104	0.1775
200	0.074	0.1255
Bandeja	----	0.0890
		0.0370

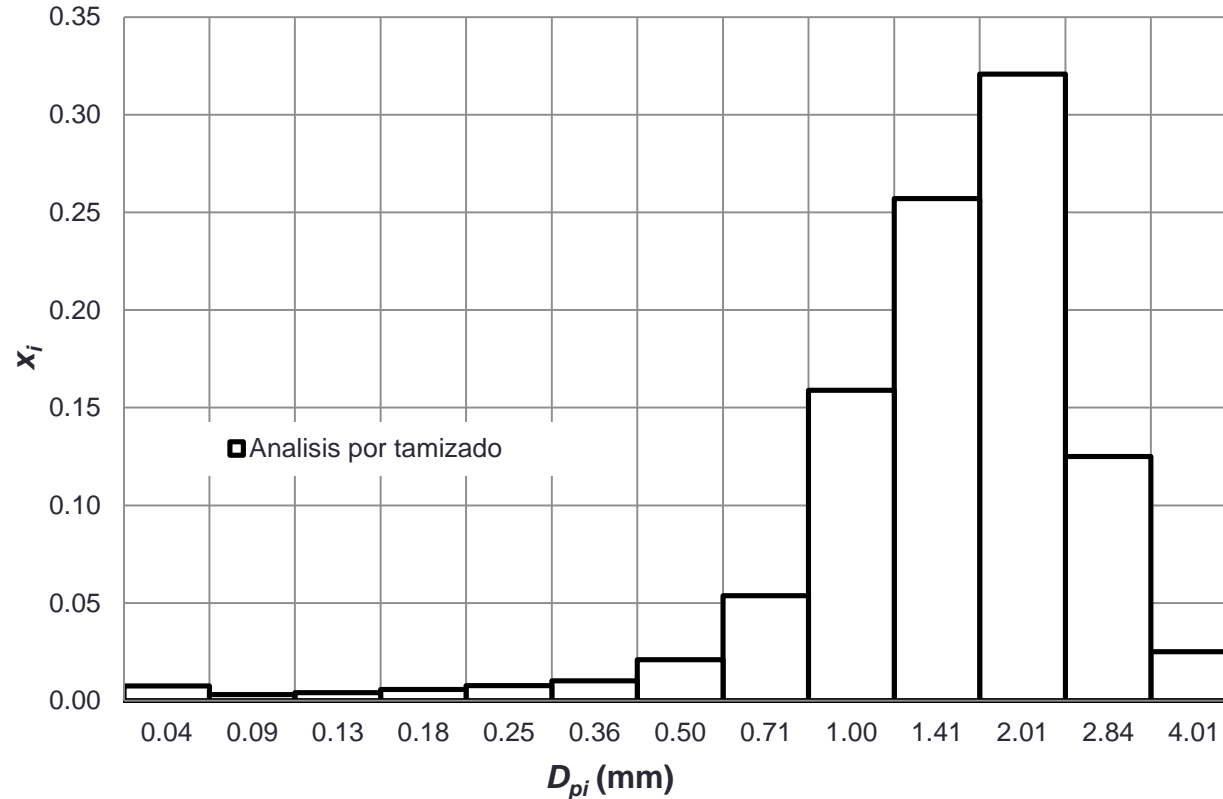
Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación (Fracción acumulativa)

Malla	Fracción masa retenida, x_i	Fracción acumulativa
4	0	1.0000
6	0.0251	0.9749
8	0.125	0.8499
10	0.3207	0.5292
14	0.257	0.2722
20	0.159	0.1132
28	0.0538	0.0594
35	0.021	0.0384
48	0.102	0.0282
65	0.0077	0.0205
100	0.0058	0.0147
150	0.0041	0.0106
200	0.0031	0.0075
Bandeja	0.0075	0.0000

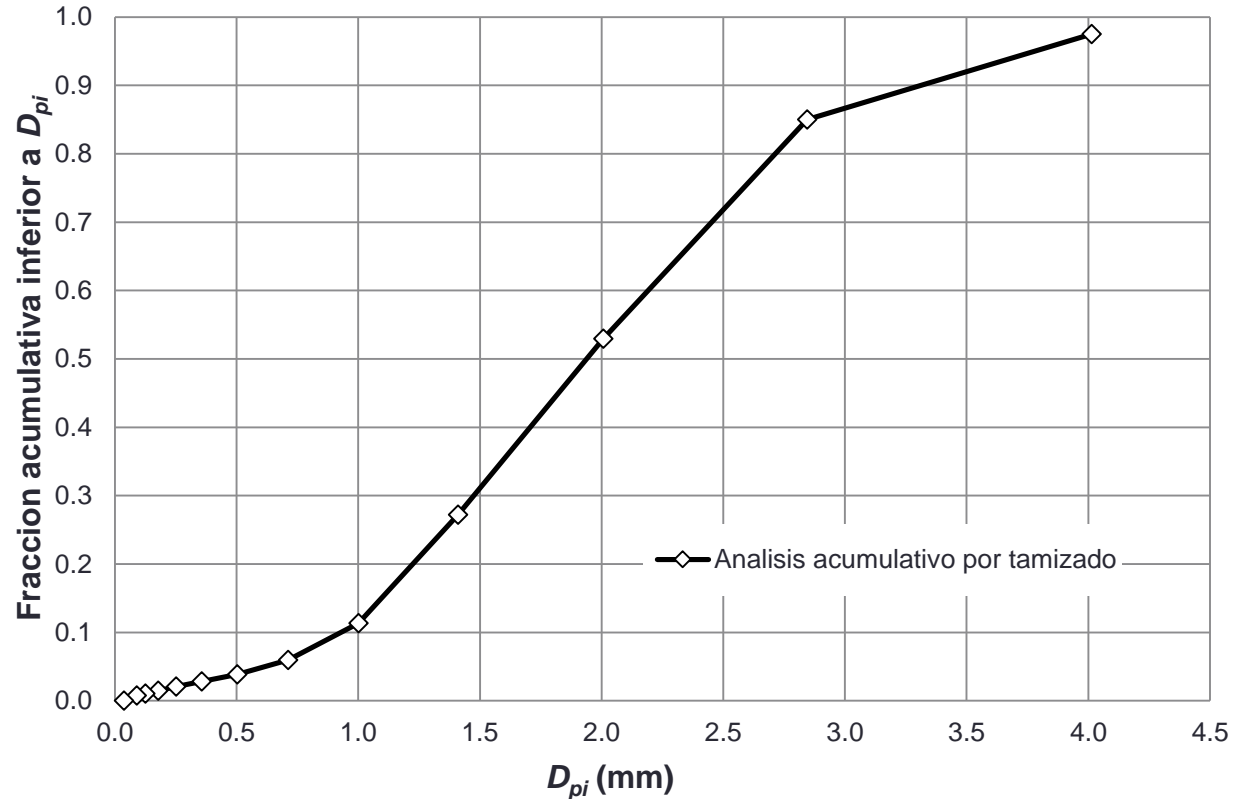
Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación (Análisis Diferencial)



Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación (Análisis Acumulativo)



Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación (Cálculo de Diámetros Promedio)

	x_i/D_{pi}		$x_i D_{pi}$		$x_i/(D_{pi})^3$
	0.0063		0.1007		0.0004
	0.0439		0.3556		0.0054
	0.1598		0.6435		0.0397
	0.1823		0.3622		0.0918
	0.1589		0.1591		0.1588
	0.0757		0.0383		0.1497
	0.0417		0.0106		0.1650
	0.0287		0.0036		0.2261
	0.0306		0.0019		0.4840
	0.0327		0.0010		1.0371
	0.0327		0.0005		2.0742
	0.0348		0.0003		4.3974
$\Sigma(x_i/D_{pi})$	0.8281	$\Sigma(x_i D_{pi})$	1.6773	$\Sigma(x_i/D_{pi})^3$	8.8296

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación (Cálculo de Diámetros Promedio)

$$\overline{D}_V = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{D_{pi}^3} \right)} \right]^{1/3} = \left[\frac{1}{8.8296 \frac{1}{\text{mm}^3}} \right]^{1/3} = 0.4838 \text{ mm}$$

$$\overline{D}_s = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{pi}} \right)} = \frac{1}{0.8281 \frac{1}{\text{mm}}} = 1.2075 \text{ mm}$$

$$\overline{D}_w = \sum_{i=1}^n x_i \overline{D}_{pi} = 1.6773 \text{ mm}$$

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación (Cálculo de A_w y N_w)

$$A_w = \frac{6}{\rho_p \phi_s} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{pi}}$$

$$A_w = \frac{6}{2.65 \times 10^{-3} \frac{g}{mm^3} (0.571)} (0.8281 \frac{1}{mm})$$

$$A_w = 3283.6136 \frac{mm^2}{g}$$

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación (Cálculo de A_w y N_w)

$$N_w = \frac{1}{\rho_p a} \left[\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{pi}^3} \right] = \frac{1}{\rho_p a \overline{D_v}^3}$$

$$N_w = \frac{1}{2.65 \times 10^{-3} \frac{g}{mm^3} (2)} \left[8.8296 \frac{1}{mm^3} \right]$$

$$N_w = 1665.9622 \frac{1}{g}$$

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación (Cálculo de A_w y N_w)

$$N_i = \frac{x_i}{\rho_p a \overline{D_{pi}^3}} = \frac{0.0031}{2 \left(2.65 \times 10^{-3} \frac{g}{mm^3} \right) (0.089 mm)^3} = 829.6899 \frac{1}{g}$$

$$x_i = \frac{N_i}{N_w} = \frac{829.6899 \frac{1}{g}}{1665.9622 \frac{1}{g}} = 0.4980$$

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de aplicación

Calcular el diámetro medio aritmético \overline{D}_N

$$\overline{D}_N = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \overline{D}_{pi}}{N_t}$$

$$N_t = \frac{m_1}{\rho_p V_{p1}} + \frac{m_2}{\rho_p V_{p2}} + \frac{m_3}{\rho_p V_{p3}} + \dots + \frac{m_n}{\rho_p V_{pn}}$$

$$N_t = 1665.9622$$

$$\overline{D}_N = \frac{304.2033 \text{ mm}}{1665.9622} = 0.1826 \text{ mm}$$

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Reducción de Tamaño

En la reducción de tamaño de sólidos, los materiales de alimentación se pulverizaron a tamaños mas pequeños por medio de acción mecánica. Cuando el material se fractura se producen nuevas áreas superficiales y cada nueva unidad de superficie requiere determinada cantidad de energía, la energía requerida para la fractura esta en función del tipo de material, tamaño, dureza y otros factores.

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Reducción de Tamaño

Las teorías deducidas dependen de la suposición de que la energía requerida (E) para producir un cambio diferencial en el tamaño de la partícula (x) esta en función exponencial.

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{C}{x^n}$$

x = tamaño de partícula
 n y c = constantes que dependen del tipo,
tamaño de material y tipo de maquinaria

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Reducción de Tamaño

Para Ritinger $n = 2$; integrando

$$E = k_R \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right)$$

E trabajo para reducir una unidad de masa de alimentación desde x_2 a x_1

k_R constante

Para Kick $n = 1$, entonces

$$E = k_k \ln \frac{x_1}{x_2}$$

k_k constante

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Reducción de Tamaño

Para Bond $n = 3/2$

$$E = k_B \left(\frac{1}{\sqrt{x_2}} - \frac{1}{\sqrt{x_1}} \right)$$

k_B constante

Para usar esta ecuación, Bond propuso un índice de trabajo (E_i) en $\frac{kW \cdot h}{ton}$, que se define como el trabajo para reducir una unidad de peso desde un tamaño muy grande hasta un tamaño tal que el 80% pase por un tamiz de 100 μm .

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Reducción de Tamaño

Por lo tanto, la ecuación de Bond queda expresada de la siguiente manera:

$$\frac{P}{T} = 1.46E_i \left(\frac{1}{\sqrt{D_p}} - \frac{1}{\sqrt{D_f}} \right)$$

P = potencia en [hp]

T = velocidad de alimentación [ton/min]

D_p = diámetro del producto [ft]

D_f =diámetro de la alimentación [ft]

E_i =índice de trabajo [ft], dato de tablas

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de Aplicación

Determinar la potencia para triturar un mineral de hierro utilizando la teoría de Bond (mas confiable). Se desea triturar 10 ton/h del mineral de hierro Ematita. El tamaño de la alimentación es tal que el 80% pasa por un tamiz de 76.2 mm y el producto debe pasar en un 80% por un tamiz de 3.175 mm. Determinar la potencia requerida, utilizando un índice de trabajo de 12.68.

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de Aplicación

$$10 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) = 0.1666 \frac{\text{ton}}{\text{min}}$$

$$D_p = 0.25 \text{ ft}$$

$$D_f = 0.0104 \text{ ft}$$

$$E_i = 12.68$$

$$\frac{P}{0.1666} = 1.46(12.68) \left(\frac{1}{\sqrt{0.25}} - \frac{1}{\sqrt{0.0104}} \right)$$

$$P = 24.0749 \text{ HP}$$

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de Aplicación 2

En la trituración de un mineral, la alimentación tiene un tamaño tal que el 80% es inferior a 50.8 mm y se tritura de tal manera que el 80% sea inferior a 6.35mm, la potencia necesaria es de 89.5 kW. ¿Cuál sería la potencia necesaria usando la misma alimentación para que el 80% fuera inferior a 3.18mm?

Propiedades y tratamiento de partículas sólidas

Ejemplo de Aplicación 2

$$P_1 = 120.02 \text{ HP}$$

$$D_{p1} = 0.0208 \text{ ft}$$

$$D_{p2} = 0.0104 \text{ ft}$$

$$D_f = 1/6 \text{ ft}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{1}{\sqrt{D_{p2}}} - \frac{1}{\sqrt{D_f}}}{\frac{1}{\sqrt{D_{p1}}} - \frac{1}{\sqrt{D_f}}}$$

Sustituyendo los valores correspondientes y despejando P_2 , tenemos

$$P_2 = 196.85$$