



Espacio Curricular: Operaciones Unitarias y Control de Procesos II

Docente: Esteban Estrada

Curso: 4to Año

División: Química

OPERACIONES EN LAS QUE INTERVIENEN PARTICULAS DE SOLIDOS

Los sólidos son, en general, más difíciles de tratar que los líquidos, vapores o gases. En los procesos, los sólidos pueden presentarse de diversas formas: grandes piezas angulares, anchas láminas continuas o polvos finamente divididos. Pueden ser duros y abrasivos, resistentes o gomosos, blandos o frágiles, polvorientos, plásticos o pegajosos. Con independencia de su forma, es preciso encontrar medios para manipular los sólidos tal como se presentan, y si es posible mejorar sus características de manipulación. En los procesos químicos los sólidos se encuentran más frecuentemente en forma de partículas.

Esta sección trata de las propiedades, métodos de formación, modificación y separación de sólidos en forma de partículas. Las propiedades, los métodos de tratamiento y la reducción de tamaño.

PROPIEDADES Y TRATAMIENTO DE PARTICULAS SÓLIDAS

De todas las formas y tamaños como se pueden encontrar los sólidos, la pequeña partícula es la más importante desde el punto de vista de ingeniería. Es necesario un conocimiento de las características de masas de sólidos en forma de partículas para el diseño de procesos y del equipo que operan con corrientes que contienen tales partículas.

CARACTERIZACION DE PARTICULAS SOLIDAS

Las partículas sólidas individuales se caracterizan por su tamaño, forma y densidad. Las partículas de sólidos homogéneos tienen la misma densidad que el material original. Las partículas que se obtienen por rotura de un sólido compuesto, tal como una mena metálica, tienen varias densidades, generalmente diferentes de la densidad del material original. El tamaño y la forma se pueden especificar fácilmente para partículas regulares, tales como esferas o cubos, pero para partículas irregulares (tales como granos de arena o láminas de mica) los términos «tamaño» y «forma» no resultan tan claros y es preciso definirlos arbitrariamente.

Tamaño de las partículas.

En general, se pueden especificar «diámetros» para cualquier partícula equidimensional. Las partículas que no son equidimensionales, es decir, que son más largas en una dirección que en otras, con frecuencia se caracterizan por la segunda dimensión de mayor longitud. Por ejemplo, en el caso de partículas aciculares, D_p , deberá referirse al espesor de la partícula y no a su longitud. Por convenio, los tamaños de las partículas se expresan en diferentes unidades dependiendo del intervalo de tamaños que intervienen. Las partículas gruesas se miden en pulgadas o milímetros, las partículas finas en función de la luz del tamiz, y las partículas muy finas en micrómetros o nanómetros. Las partículas ultrafinas se describen a veces en función de su área superficial por unidad de masa, generalmente en metros cuadrados por gramo.

Forma de las partículas.

La forma de una partícula individual se puede expresar convenientemente en función de la esfericidad ϕ_s , que es independiente del tamaño de la partícula. Para una partícula esférica de diámetro D_p , $\phi_s = 1$; para una partícula no esférica, la esfericidad se define por la relación $\phi_s = 6v_p/(D_p \cdot s_p)$

Donde: D_p , = diámetro equivalente o diámetro nominal de una partícula

s_p = área superficial de una partícula

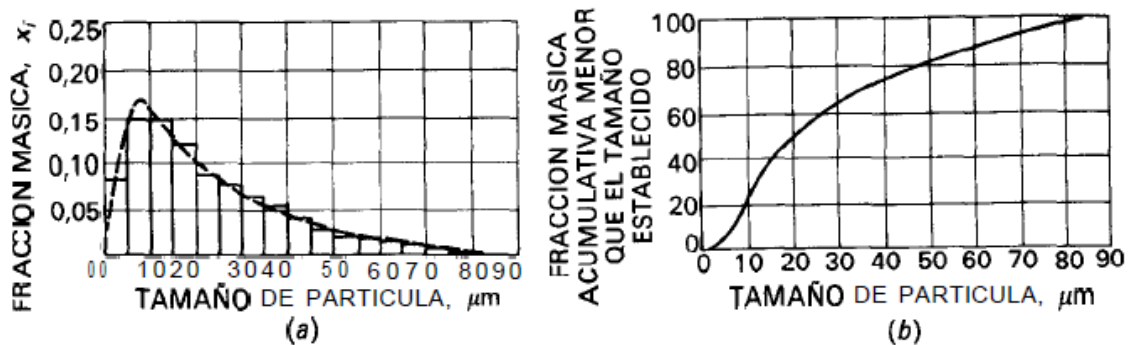
v_p = volumen de una partícula

Tamaños de partículas mezcladas y análisis de tamaños.

Para una mezcla de partículas que tienen varios tamaños y densidades, la mezcla se divide en fracciones, cada una de ellas de densidad constante y tamaño aproximadamente constante. Cada fracción se puede entonces pesar, o bien las partículas individuales se pueden contar o medir por numerosos métodos.

La información obtenida de este análisis del tamaño de las partículas se tabula expresando la fracción de tamaño o de número en cada incremento de tamaño en función del tamaño medio de las partículas (o del intervalo de tamaños) en el incremento. Un análisis tabulado en esta forma recibe el nombre de análisis diferencial. Los resultados se presentan con frecuencia en un histograma como el de la Figura (a), con una curva continua como la línea de trazos utilizada para aproximar la distribución.

Una segunda forma de presentar la información es mediante un análisis acumulativo, que se obtiene sumando, consecutivamente, los incrementos individuales, comenzando con el que tiene las partículas más pequeñas, y tabulando o representando las sumas acumulativas frente al diámetro máximo de las partículas en el incremento. La Figura (b) es una representación del análisis acumulativo de la distribución que se muestra en la Figura (a). En un análisis acumulativo



los datos se pueden representar adecuadamente mediante una curva continua.

Distribución de tamaños de partículas en polvo: (a) análisis diferencial, (b) análisis acumulativo

Análisis por tamizado; series normales de tamices.

Para medir el tamaño (y la distribución de tamaños) de las partículas en el intervalo de tamaños comprendido entre 3 y 0,0015 pulg (76 mm y 38 Pm), se utilizan tamices normalizados. Los tamices de ensayo se construyen con telas de alambre, cuyas dimensiones y mallas están cuidadosamente normalizadas. Las aberturas son cuadradas. Cada tamiz se identifica por las mallas por pulgada. Sin embargo, las aberturas reales son menores que las correspondientes al número de mallas, debido al espesor de los alambres. Las características de una serie común, que es la serie de tamices normales Tyler, se dan en el Apéndice 20. Esta serie de tamices está basada en la abertura del tamiz de 200 mallas, que está establecida en 0,074 mm. El área de las aberturas de un tamiz cualquiera de la serie es exactamente el doble que la de las aberturas del tamiz inmediatamente más pequeño. La relación entre la dimensión real de las mallas de un tamiz cualquiera y la del inmediatamente más pequeño es, por tanto, $\sqrt{2} = 1,41$. Para tamaños más próximos, existen tamices intermedios, cada uno de los cuales tiene una dimensión de malla de $\sqrt[4]{2}$, o sea, 1,189 veces la del tamiz normalizado inmediatamente más pequeño. Ordinariamente no se utilizan los tamices intermedios.

Para realizar un análisis se coloca un conjunto de tamices normalizados, acoplados verticalmente, con el tamiz más pequeño en el fondo y el más grande en la parte superior. La muestra se coloca en el tamiz superior y el conjunto se somete a sacudidas mecánicas durante un tiempo determinado, tal como veinte minutos. Las partículas retenidas sobre cada tamiz se retiran y se pesan, y las masas de los incrementos individuales sobre cada tamiz se convierten en fracciones másicas o en porcentajes de masa de la muestra total. Las partículas que pasan a través del tamiz más fino se recogen en una tapadera situada en el fondo de la columna de tamices. Los resultados de un análisis por tamizado se tabulan para mostrar la fracción másica de cada incremento sobre el tamiz en función del intervalo del incremento del tamaño de las mallas. Puesto que las partículas que son retenidas por un tamiz han pasado a través del tamiz situado inmediatamente encima de él, se necesitan dos números para especificar el intervalo de tamaños de un incremento: uno para el tamiz a través del cual pasa la fracción y otro para el tamiz sobre el que es retenida. Así, la notación 14/20 quiere decir «a través de 14 mallas y sobre 20 mallas».

Medida del tamaño con partículas finas.

Los tamaños de partículas demasiado finas para el análisis por tamizado se miden por diversos métodos, incluyendo sedimentación diferencial, medidas de la porosidad de lechos sedimentados, absorción de luz en suspensiones, adsorción de gases sobre la superficie de las partículas y por recuento visual utilizando un microscopio⁴. En un aparato de medida, llamado contador de Coulter, se prepara una suspensión diluida de partículas en un líquido eléctricamente conductor, que pasa lentamente a través de un pequeño orificio. A través del orificio se establece una diferencia de potencial eléctrico en el líquido y se mide la corriente eléctrica que circula entre dos electrodos situados antes y después del orificio. Cuando una partícula pasa a través del orificio se reduce momentáneamente la conductividad eléctrica y se produce una perturbación de la corriente. La magnitud de la perturbación es proporcional al volumen de la partícula y, en parte, a la forma de la partícula. A partir del número de perturbaciones y sus magnitudes se calcula automáticamente el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas.

PROPIEDADES DE MASAS DE PARTICULAS

Las masas de partículas sólidas, especialmente cuando las partículas están secas y no se pegan, poseen muchas de las propiedades de un fluido. Ejercen presión sobre las paredes de un contenedor, fluyen a través de un orificio o descienden por una tolva. Sin embargo, se diferencian de los líquidos y gases en varios aspectos, ya que las partículas se entrecruzan y adhieren por efecto de la presión y no pueden deslizar unas sobre otras hasta que la fuerza aplicada no alcanza un cierto valor. Contrariamente a lo que ocurre con la mayor parte de los fluidos, los sólidos granulares y las masas sólidas resisten permanentemente la distorsión cuando se someten a una fuerza distorsionante moderada. Cuando la fuerza es suficientemente grande se produce la rotura y una capa de partículas desliza sobre otra, pero entre las capas situadas a ambos lados de la fisura hay una considerable fricción.

Las masas de sólidos tienen las siguientes propiedades distintivas:

1. La presión no es la misma en todas las direcciones. En general, una presión aplicada en una dirección genera alguna presión en otras direcciones, pero siempre es más pequeña que la presión aplicada.

2. Un esfuerzo cortante aplicado en la superficie de una masa se transmite a través de toda una masa estática de partículas mientras no se produzca rotura.

3. La densidad de la masa puede variar, dependiendo del grado de empaquetamiento de los granos. La densidad de un fluido es una función exclusiva de la temperatura y la presión, como lo es cada una de las partículas individuales de un sólido, pero, en cambio, no ocurre lo mismo con la densidad global o aparente. La densidad global es mínima cuando la masa está «suelta» y alcanza un máximo cuando la masa se somete a vibración o apisonamiento. Dependiendo de sus propiedades de flujo, los sólidos en forma de partículas se dividen en dos clases: cohesivos y no cohesivos. Los materiales no cohesivos como grano, arena o briznas de plástico, fluyen fácilmente desde depósitos o silos. Los sólidos cohesivos, tales como arcilla húmeda, se caracterizan por su dificultad para fluir a través de orificios.

Almacenamiento de sólidos

Almacenamiento a la intemperie. Los materiales gruesos, tales como grava y carbón, se almacenan a la intemperie en grandes apilamientos. Cuando se trata de centenares o millares de toneladas de material, éste es el método más económico. Los sólidos se retiran del apilamiento por medio de una cinta transportadora o una pala excavadora. El almacenamiento a la intemperie puede dar lugar a problemas ambientales tales como formación de polvos o lixiviación de material soluble contenido en el apilamiento. La formación de polvos puede exigir algún tipo de recubrimiento protector del sólido almacenado; la lixiviación se puede controlar recubriendo el apilamiento o bien construyendo en su base un estanque poco profundo con el fondo impermeabilizado, de donde se puede retirar con seguridad el líquido de lixiviación.

Almacenamiento en depósitos. Los sólidos que son demasiado valiosos o demasiado solubles para estar expuestos a la intemperie, se almacenan en depósitos, tolvas o silos, que son recipientes cilíndricos o rectangulares de hormigón o metal. Los silos suelen ser altos y de diámetro relativamente pequeño, mientras que los depósitos son bastante anchos y no tan altos. Una tolva es un pequeño depósito con un fondo oblicuo, que se utiliza para el almacenamiento temporal antes de introducir los sólidos como alimentación del proceso. Todos estos contenedores se cargan por la parte superior utilizando algún tipo de elevador, mientras que la descarga se realiza generalmente por el fondo. Tal como se trata más adelante, el principal problema de diseño de un depósito es conseguir una descarga satisfactoria.

Presiones en depósitos, tolvas y silos.

Cuando sólidos granulares se almacenan en un depósito o una tolva, la presión lateral ejercida sobre las paredes en cualquier punto es menor que la calculada a partir de la carga de material situada por encima de dicho punto. Además, generalmente hay fricción entre la pared y los granos de sólido y, debido al entrecruzamiento de las partículas, el efecto de esta fricción se propaga a través de la masa. La fuerza de fricción en la pared tiende a contrarrestar el peso del sólido y reduce la presión ejercida por la masa sobre el fondo del contenedor. En el caso extremo, este efecto provoca que la masa forme un arco o puente, de tal forma que, aunque se retire el material situado debajo de la masa de sólido, éste no cae. Cuando existe una gran cantidad de sólido y la altura alcanza un valor aproximadamente tres veces superior al diámetro del depósito, el material adicional virtualmente no tiene efecto sobre la presión en la base. La masa total de depósito más material sigue, por supuesto, aumentando, pero la masa adicional es soportada por la pared y el lecho, y no por el fondo del depósito.

Descarga de depósitos.

Los sólidos tienden a descargar por cualquier orificio de un depósito, pero descargan mejor a través de un orificio situado en el fondo. La presión en una salida lateral es menor que la presión vertical para el mismo nivel, de forma que la salida se obstruye con mayor facilidad; además, la retirada de sólidos por una salida lateral de un depósito aumenta considerablemente la presión lateral sobre el otro lado durante el tiempo que está fluyendo el sólido. Una salida por el fondo no se obstruye tan fácilmente y no genera presiones anormalmente elevadas sobre ningún punto de las paredes. Excepto para depósitos pequeños, no es posible abrir todo el fondo para la descarga. Generalmente un fondo cónico o piramidal conduce a una pequeña salida circular cerrada con una válvula o a un alimentador rotatorio.

La presión en el fondo de la sección cónica o piramidal es considerablemente menor y la presión vertical fluctúa a medida que descarga el material y, por término medio, es del 5 al 10 por 100 más elevada que cuando la masa es estacionaria.

Cuando se abre la salida situada en el fondo de un depósito que contiene sólidos que fluyen libremente, el material situado inmediatamente encima de la abertura comienza a fluir. Se desarrollan uno o dos modelos de flujo dependiendo de la inclinación de las paredes en la sección inferior del depósito y del coeficiente de fricción entre los sólidos y las paredes del depósito⁵. En depósitos de fondo cónico, con un cono alto, se desarrolla flujo de masa, caracterizado porque todo el material desciende uniformemente desde la parte superior del depósito. En depósitos con un cono corto, o con paredes verticales y una abertura central en el fondo, tiene lugar flujo de túnel. En este caso, una columna vertical de sólidos, situada sobre la abertura, desciende sin perturbar al material lateral. Eventualmente comienza el flujo lateral, primeramente, desde la capa más alta de sólidos, formándose una depresión cónica en la masa. Los sólidos situados en el fondo del depósito o cerca de las paredes son los últimos en salir. El material desliza lateralmente hacia la columna central con un ángulo aproximadamente igual al ángulo de fricción interna de los sólidos. Si se añade más material por la parte superior del depósito con la misma velocidad con la que descarga por el fondo, los sólidos próximos a las paredes del depósito permanecen estancados y no descargan cualquiera que sea el tiempo que dure el flujo. La velocidad de flujo de sólidos granulares por gravedad a través de una abertura circular en el fondo del depósito depende del diámetro de la abertura y de las propiedades de los sólidos. En un amplio intervalo, no depende de la altura del lecho de sólidos.

En general, con sólidos cohesivos es difícil iniciar el flujo. Sin embargo, una vez que comienza, éste se restablece en el material situado directamente encima de la abertura de descarga. Con frecuencia la columna de sólidos situada encima de la salida se desplaza como un émbolo, dejando un «agujero de ratón» con paredes casi verticales. Los sólidos adherentes, y aun también algunos polvos secos, se adhieren fuertemente a las superficies verticales y tienen suficiente fuerza de cizalla para soportar un tapón de considerable diámetro encima de una abertura de descarga. Por tanto, para iniciar el flujo y mantener el material en movimiento, con frecuencia se requieren vibradores sobre las paredes del depósito, cuchillas rascadoras cerca del fondo del depósito, o chorros de aire en la abertura de descarga.

La abertura de descarga ha de ser suficientemente pequeña para que pueda ser cerrada fácilmente cuando los sólidos están fluyendo, pero no tanto que se obstruya. Es preferible hacer la abertura suficientemente grande para que pase todo el flujo deseado cuando está semiabierta. En este caso se puede abrir más para contrarrestar una obstrucción parcial. Sin embargo, si la abertura es demasiado grande, la válvula de cierre puede ser difícil de accionar y el control de la velocidad de flujo será malo.

Ejercicios Propuesto:

1.- Lectura Comprensiva del texto

2.- Mirar Los siguientes videos propuestos:

<https://www.youtube.com/watch?v=Rymjn9PLmJ8>

<https://www.youtube.com/watch?v=XqggGtCidY>

3.- Proponer entre sus compañeros otros videos y comentar lo que se observó y sus aplicaciones y tomar nota para la próxima clase (en lo posible clase virtual).