



INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA QUÍMICA. DOSIER II

*Coordinado por los Drs. Rafael Rojas Herrera, David
Betancur Ancona y Julio César Sacramento Rivero.*

Ni sólidos, ni fluidos: materiales granulares *Neither solid nor fluid: granular materials*

*Ixchel Gijón-Arreortua¹
Sergio Baz-Rodríguez²*

Resumen

Los materiales granulares forman parte importante en diversos procesos de transformación de la materia para beneficio humano. En este artículo se presenta una breve descripción de estos materiales, así como el quehacer científico en el campo de la ingeniería relacionado con la caracterización e importancia de sus propiedades mecánicas. El estudio de sus propiedades estructurales, de flujo y de fricción es la base para desarrollar o mejorar la tecnología para diseñar, optimizar y controlar los procesos de transporte, almacenamiento, y operaciones unitarias en las cuales están involucrados. En ese mismo contexto, se presentan las capacidades experimentales en la Facultad de Ingeniería Química de la UADY para la caracterización de materiales granulares.

¹ Autor para correspondencia: ixchel.gijon@correo.uady.mx

² Cuerpo Académico de Ingeniería en Sistemas de Proceso. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán

Palabras claves: materiales granulares, partículas, sólidos

Abstract

Granular materials are an important part of various processes of transformation of matter for human benefit. This article presents a brief description of these materials, as well as scientific work in field of engineering related to characterization and importance of their mechanical properties. The study of their structural, flow and friction properties are the basis for developing or improving the technology to design, optimize and control processes of transport, storage, and unit operations in which they are involved. In this same context, experimental capabilities of the Faculty of Chemical Engineering of UADY for characterization of granular materials are presented.

Key words: granular materials, particles, solids

Introducción

Los materiales granulares consisten en partículas sólidas macroscópicas que se encuentran compactadas y rodeadas por un fluido (líquido o gas) en sus espacios intersticiales. No pueden clasificarse estrictamente dentro de los estados fundamentales de agregación de la materia como sólido, líquido y gaseoso, porque presentan propiedades físicas de dos o más estados, siendo un sistema multifásico. Las interacciones entre las fases que conforman a los materiales granulares es lo que les confiere su versatilidad y valor industrial, permitiendo que fluyan, se compriman, se aireen o, incluso se fluidicen. Sin embargo, estas mismas interacciones complican su análisis y procesamiento (1). De hecho, la descripción cuantitativa de su comportamiento mecánico es todavía parcial, por lo que el diseño de equipos que operan con estos materiales se basa en gran medida en conceptos empíricos. Por otra parte, el control de los procesos en donde se encuentran presentes está estrechamente vinculado al saber hacer de los expertos. A pesar de las investigaciones científicas en este campo, aún es necesario ampliar el conocimiento actual para mejorar la comprensión y el control de los fenómenos relacionados con su uso (2). El objetivo de este trabajo es contextualizar el quehacer científico de los materiales granulares en el campo de la ingeniería.

Ni sólidos, ni fluidos: materiales granulares

¿Qué tienen en común la arena, la sal, el cemento, los fertilizantes, los medicamentos en polvo y los granos de café? Que todos ellos son materiales granulares, es decir son partículas sólidas macroscópicas de tamaños que van desde micras a centímetros, dispersas en un fluido, el cual puede ser un líquido o gas. Si los gránulos contienen humedad, inclusive pueden estar presentes las tres fases (Figura 1). Su importancia radica en su uso en la vida cotidiana, ya que anualmente se producen millones de toneladas de ellos.

En conjunto, los materiales granulares son considerados el segundo tipo de material más importante para la actividad humana después del agua. Son objeto de estudio para la geotecnia pues constituyen parte de la corteza terrestre y pueden generar peligros naturales (deslaves, aludes, etc.). Están presentes de forma muy importante en la industria química, farmacéutica, minera, de construcción y alimentaria. Su estudio presenta diversos retos, debido a que la ciencia actual no comprende todos los aspectos de su comportamiento mecánico, lo cual incide en diversas problemáticas relacionadas con las áreas de manejo, producción y almacenamiento de estas industrias.



Polvo húmedo = sólido + líquido + gas

Figura 1. Representación de los polvos como un conjunto a granel multifásicos (3).

Para algunos científicos los materiales granulares pueden ser considerados, para fines prácticos, otro estado de la materia ya que su comportamiento no corresponde ni al de los sólidos ni al del fluido, pues cuando están en reposo o en movimiento exhiben muchas características que no puede ser anticipadas a partir del comportamiento mecánico individual de sus fases. Sus propiedades están determinadas por la manera en la cual se estructuran espacialmente sus fases constituyentes

y por la compleja interacción estática y dinámica entre las partículas sólidas (4).

Desde el punto de vista de física, los fluidos suelen describirse como un material continuo, es decir, se considera que la materia está presente en todos los puntos del espacio de forma ininterrumpida. Esto es razonable siempre que la escala de estudio sea mucho mayor a la longitud característica asociada al movimiento promedio de las moléculas, lo cual suele cumplirse si dicha escala está en órdenes de magnitud mayores a los micrómetros. Para los materiales granulares esto no se cumple, ya que los granos en sí son pequeños, pero no tan pequeños en comparación con la geometría en la que suelen almacenarse o 'fluir'. Además, los granos interactúan entre sí y con el fluido intersticial, constituyendo en conjunto una 'pseudo-fase' a veces dispersa, a veces compacta, a veces rígida, a veces fluida (Figuras 2 y 3) (5).

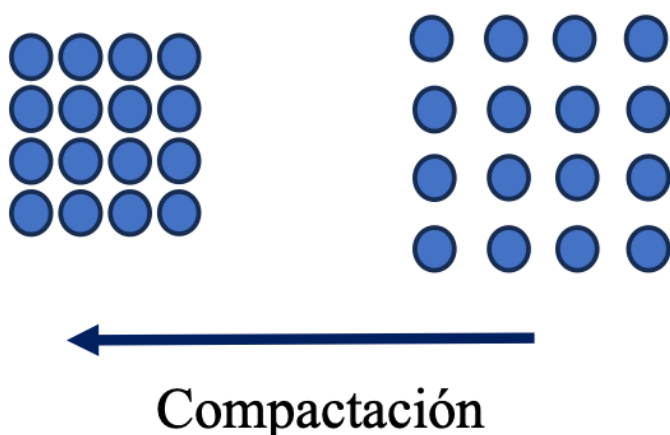


Figura 2. Acomodo de las partículas en el estado de compactación.

Desde el punto de vista formativo, los futuros ingenieros de la industria química, biotecnológica y de alimentos deben ser capaces de manejar o generar tecnología para procesar materiales granulares. Como parte de la formación dual de estudiantes de licenciatura y como objeto de investigación, en la Facultad de Ingeniería Química de la UADY (FIQ-UADY) se caracterizan las propiedades físicas como la densidad a granel, de compactación y de partícula, la distribución de tamaño, la porosidad y el contenido de humedad, con el fin de comprender cómo estas propiedades pueden afectar la fluidez, el apelmazamiento, la

velocidad de disolución y reacción (sólidos solubles y/o reactivos), el comportamiento de segregación y el rendimiento del proceso o producto. Estudiamos el ángulo de reposo y el índice de compresión clasificados dentro de las propiedades de flujo que, además de la cohesión y fricción, considera propiedades para identificar la causa de un flujo deficiente, de la segregación o falta de uniformidad de un producto (Figura 3). Estas mediciones son fundamentales al diseñar un silo, una tolva, un depósito, un alimentador, un transportador u otro equipo de manipulación o procesamiento de estos materiales.



No cohesivo

Cohesivo

Figura 3. Flujo de un material no cohesivo y cohesivo.

Los resultados obtenidos en las mediciones de densidad a granel y compactación pueden ser empleados en el diseño de envases, contenedores o recipientes. Con estas propiedades se puede determinar la relación de carga en mezcladores de cizalla. Con la porosidad se conoce si los materiales granulares ocuparan un volumen mayor o menor en su almacenamiento. El contenido de humedad permite clasificar a los materiales como secos, parcialmente saturados o saturados, este conocimiento es importante ya que influyen en las interacciones fluido-partícula, en la cohesión y su tendencia a formar conglomerados durante el proceso de mezclado. Las respuestas del estudio de las propiedades de flujo y de fricción proporcionan información sobre los aditamentos mecánicos que deberán ser implementados en las tolvas o silos para permitir una descarga adecuada, así como mejorar la alimentación a otros equipos.

En cuanto a los procesos de producción, en la FIQ-UADY se han estudiado las operaciones unitarias como el mezclado de sólidos y la reducción de tamaño por molienda. En el caso de los mezcladores de

cizalla se ha contribuido a evaluar su comportamiento en términos del tiempo de mezclado y el consumo de potencia. Se ha propuesto una ecuación para estimar la distribución de la concentración en función del tiempo y la posición considerando las variables de proceso como la carga del mezclador y la velocidad de giro del impulsor, además se ha planteado que el producto del tiempo de mezclado por el coeficiente de la velocidad de mezclado es un valor constante que puede caracterizar el rendimiento del impulsor (3). De esta forma se contribuye con información que puede ser útil para el diseño de equipos de mezclado de partículas sólidas considerando las propiedades físicas, de flujo y de fricción, así como las condiciones de operación.

Respecto a la molienda se investiga como las fuerzas generadas dentro del molido y las características mecánicas de los granos afecta las propiedades físicas del producto y el consumo de energía. La comprensión del estudio de estas propiedades permitirá desarrollar o mejorar la tecnología para diseñar, optimizar y controlar los procesos de transporte, almacenamiento, y operaciones unitarias en las cuales estén involucrados estos materiales.

El diseño operativo de silos es otra área de estudio de estos materiales presenta desafíos. Por ejemplo, aunque las predicciones teóricas para balance de fuerzas concuerden con las mediciones experimentales cuando el material granular se encuentra estático, no es posible aplicarlas cuando el material está en movimiento. De esta forma, si se emplearan modelos de este tipo es posible que se presenten fallos en el momento de la descarga. Bajo ciertas condiciones el silo podría colapsar, generando pérdidas económicas (4).

Otro problema de interés se relaciona con los cambios de densidad de los materiales granulares debido a su facilidad de moverse, lo cual les permite acomodarse y cambiar la fracción volumétrica que ocupan (3). Así, los retos y oportunidades en la investigación y aplicación de la ingeniería en este campo están asociados a los procesos de obtención en relación con las materias primas, que contribuyen a definir sus características y propiedades (molienda, secado, mezclado, separación, aglomeración y proceso de encapsulación). En el caso de la manipulación, almacenamiento y transporte se debe asegurar la preservación de las cualidades físicas y químicas, minimizando los



mecanismos de degradación. Además de investigar los cambios que conducen a la pérdida del estado particulado (hidratación, dispersión, solubilización, estructuración, etc.) durante su procesamiento (2).

Conclusiones

El estudio de materiales granulares representa un área desafiante para la ingeniería, ya que combinan características de sólidos y fluidos, lo que les otorga propiedades únicas y utilidad para diferentes aplicaciones industriales. En la FIQ-UADY se trabaja en caracterizar sus propiedades físicas y en desarrollar modelos teóricos y experimentales que permitan optimizar su manejo, almacenamiento y procesamiento. Su estudio debe mejorar la seguridad y eficiencia de los procesos, y puede abrir nuevas oportunidades para innovar en el diseño y desarrollo de tecnologías de manipulación y procesamiento de materiales granulares.

Referencias

1. Clayton, J. Reviewing current practice in powder testing. *Org. Process Res. Dev.* 2015;19 (1): 102-109.
2. Cuq B, Rondet E, Abecassis J. Food powders engineering, between knowhow and science: constraints, stakes and opportunities. *J Powder Technol.* 2011; 208 (2): 244-255.
3. Gijón-Arreortua I, Zitlalpopoca-Soriano A, Tecante A. *J Particul Sci Technol.* 2021;39 (6): 757-764.
4. Zenit R, Pulos G. Materiales granulares: otro estado de la materia. *Materiales Avanzados.* 2005; 3 (5): 21-27.
5. Shi H, Vescovi D, Singh A, Roy S, Magnanimo V, Luding S. granular flow: from dilute to jammed states. In: Sakellariou M (Editor), *Granular Materials*, InTechOpen, pp. 43-68.