

DISEÑO DE SILOS ASISTIDO POR ORDENADOR

**MALLOL G. ⁽¹⁾, AMORÓS J.L. ⁽¹⁾, LÓPEZ J. ⁽²⁾, BONO J.V. ⁽³⁾, HERNÁNDEZ A. ⁽⁴⁾,
MALLÉN J.A. ⁽⁵⁾**

⁽¹⁾ Instituto de Tecnología Cerámica, Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas Universitat Jaume I, Castellón, España.

⁽²⁾ Industrias Monzonís, S.A.

⁽³⁾ Talleres Jois, S.A. ⁽⁴⁾ Talleres del Puerto, S.A. ⁽⁵⁾ Transólidos Levante, S.A.

1. INTRODUCCIÓN

En el proceso de fabricación de productos cerámicos la mayor parte de las materias primas que se emplean se encuentran en forma de sólidos pulverulentos (el consumo de material pulverulento en el sector español de baldosas cerámicas se estima en 40.000 t/año). El comportamiento de estos materiales es tan complejo y desconocido que se producen, con demasiada frecuencia, problemas en su manejo: segregaciones, interrupciones en la descarga de los materiales de los silos por formación de bóvedas, existencia de zonas muertas en los silos, descargas incontroladas de sólidos, rotura de los silos, etc., que pueden incidir negativamente en el proceso de producción. Estos problemas pueden minimizarse si la descarga de los materiales pulverulentos es adecuada, el tamaño de la boca de salida es suficiente y se conoce la distribución de las presiones del material almacenado sobre la pared del silo ^[1].

El flujo de descarga de un material pulverulento puede ser de dos tipos: tubular o másico (figura 1). El flujo tubular consiste en la formación de un canal de flujo, alineado con la boca de salida del silo, rodeado por una zona en la cual el material permanece inicialmente estático (figura 1a). Por el contrario, en el flujo másico (figura 1b) todo el material se mueve a la vez durante la descarga; en particular, el material pegado a las paredes se desliza sobre estas vaciándose junto con el resto. En la tabla 1 se comparan los dos tipos de flujo. Para un determinado material y silo, la existencia de un tipo de flujo u otro va a depender del ángulo que forma la pared del silo en la zona de descarga con la vertical (θ).

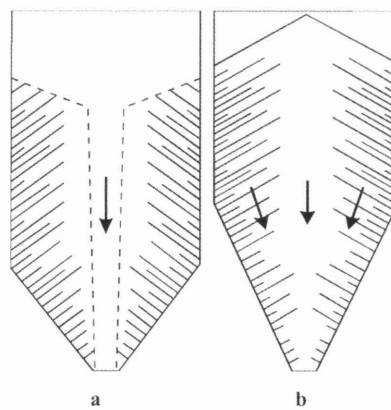


Figura 1. Flujos de descarga tubular (a) y másico (b)

FLUJO TUBULAR	FLUJO MÁSICO
La altura necesaria para la misma capacidad es menor.	Elimina la posibilidad de obstrucciones del flujo.
Las presiones que soportan las paredes son más bajas.	Minimiza los efectos asociados a la segregación por tamaños.
La abrasión sobre las paredes es menor.	Renovación del material (no existen zonas muertas). El flujo es uniforme y fácil de controlar. La densidad del lecho de polvo que se descarga es prácticamente constante. Se aprovecha toda la capacidad de almacenamiento (no existen zonas muertas).

Tabla 1. Comparación entre el flujo másico y el flujo tubular. Ventajas

El tamaño de la boca de salida de un silo (D) debe ser lo suficientemente grande para que no se obture durante su descarga. Este fenómeno puede ser debido a la formación de bóvedas, si el polvo es cohesivo, o al taponado por formación de estructuras, si las partículas son suficientemente grandes.

El material almacenado en un silo ejerce una presión normal sobre la pared del mismo, distinta según la altura del material en el silo, y cuyo valor máximo se alcanza durante el proceso de descarga. El conocimiento de la distribución de las presiones sobre la pared del silo cuando alcanzan su valor máximo, permite calcular el espesor mínimo que debe tener la pared del mismo para evitar roturas, optimizando la cantidad de material necesaria para su construcción y reduciendo el coste del silo. Debido a la variación de la densidad de los materiales pulverulentos con la presión, para una correcta estimación de la distribución de las presiones máximas sobre la pared del silo, es necesario conocer el diagrama de compactación del sólido pulverulento. Asimismo este comportamiento debe ser tenido en cuenta para calcular la capacidad real del silo.

2. METODOLOGÍA

Para el cálculo del ángulo máximo de flujo másico (θ) y del diámetro mínimo (D) que debe de tener la boca del silo para que no se produzcan bóvedas durante su descarga, se ha empleado la teoría desarrollada por Jenike, teniéndose en cuenta además la posibilidad de obturación de la boca del silo por acumulación de las partículas del material pulverulento en esta zona y la compactación que sufre el material como consecuencia del impacto durante el llenado del silo ^{[1], [2], [3], [4]}.

El cálculo de la distribución de las presiones sobre la pared del silo durante su vaciado se ha realizado según la Norma Española Experimental UNE-ENV 1991-4 de Marzo de 1998, lo cual ha permitido además estimar la capacidad máxima real del silo.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

En la figura 2 se muestra el diagrama de bloques del programa desarrollado. Mediante esta herramienta es posible calcular, para silos de cinco geometrías distintas (cilíndrico, cuadrado, rectangular, cincel y de transición), los parámetros de diseño del mismo descritos en el apartado anterior. Para poder utilizar el programa es necesario conocer el ángulo de fricción interna del sólido pulverulento (δ), el ángulo de fricción del material con la pared del silo (ϕ), la función de flujo del material pulverulento (FFM) y su diagrama de compactación ($\rho = f(P)$). Los parámetros reológicos del material pulverulento y del sistema silo-material pulverulento (δ , FFM y ϕ), se determinan experimentalmente en el laboratorio mediante células de cizalla ^{[5], [6]}.

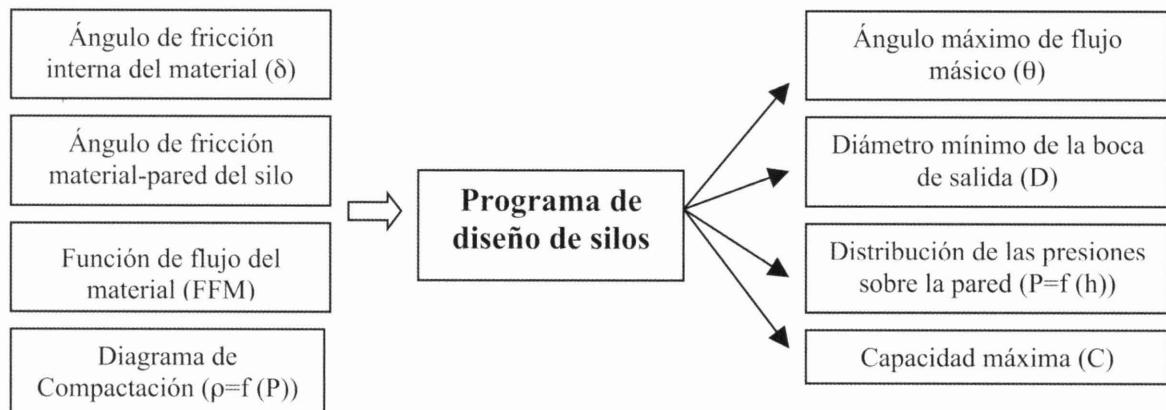


Figura 2. Diagrama de flujo del programa diseñado

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AMORÓS, J.L.; MALLOL, G.; SÁNCHEZ, E.; GARCÍA, J.; Conception des silos et tremies de stockage des matériaux particulaires et opérations de soutirage. L'Industrie Céramique & Verrière 958/04, 2-10 p, 2000.
- [2] JENIKE, A. W. Gravity flow of solids. Bulletin of the University of Utah. No 123, 1961.
- [3] JENIKE, A. W. Storage and flow of solids. Bulletin of the University of Utah. 53 (26), 1964.
- [4] WILLIAMS, J.C.; The storage and flow of powders. In: RHODES, M. J., (ed.). Principles of powder technology. Chichester: John Wiley, 1990.
- [5] WRIGHT, H.; WILKINSON, H.N.; 100 steps in bunker design. ISBN 0 9509573 0 5.
- [6] INSTITUTION OF CHEMICAL ENGINEERS; Standard shear testing technique for particulate solids using the Jenike shear cell. European Federation of Chemical Engineers, publ. IchemE, Rugby, U.K. 1989.
- [7] PESCHL, I. A. S. Z. Equipment for the measurement of mechanical properties of bulk materials. Powder handl. proces., 1(1), 73-81, 1989 .