

Separación de las contribuciones geométrica y dinámica en el atasco en silos

Diego Gella, Diego Maza e Iker Zuriguel

Departamento de Física y Matemática Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, Pamplona, Spain

Cuando se descarga un silo lleno de material granular a través de un orificio el flujo puede ser interrumpido a causa a la formación de estructuras estables como arcos o bóvedas. La probabilidad de que se produzca este fenómeno es independiente del tiempo [1], por lo que las distribuciones de avalanchas (cantidad de material descargado entre dos atascos) son exponenciales. Por otro lado, la fuerte dependencia de la probabilidad de atasco con el tamaño de agujero se ha explicado de diferentes formas a lo largo de los años. Algunos autores lo hacen introduciendo un agujero crítico a partir del cual no se producen atascos [2, 3] mientras que otros proponen dependencias exponenciales elevadas a la dimensión del problema [3, 4] basándose en argumentos geométricos. Sin embargo, la posible relación de estos sucesos con rasgos cinemáticos o dinámicos del sistema ha pasado casi desapercibida para la comunidad. Para tratar de estudiar experimentalmente esta influencia hemos utilizado una cinta transportadora de velocidad variable para extraer el material de forma controlada.

El equipo experimental consiste en un silo cuasibidimensional lleno de esferas de acero inoxidable de diámetro $d_p = 4$ cm dispuestas en una sola capa. Para controlar la velocidad de salida se ha colocado la cinta transportadora bajo el orificio a una distancia h del fondo del silo. En primer lugar, se ha llevado a cabo un estudio de la relación de algunas magnitudes cinemáticas (velocidad, flujo, fracción de volumen) en el agujero con la velocidad de la cinta a partir del procesamiento de vídeos tomados con una cámara rápida. Para medir la probabilidad de atasco, el silo se ha complementado con un vibrador, una cámara, un panel led y una balanza. Estos aparatos sincronizados adecuadamente nos permiten medir de forma automatizada las distribuciones de avalanchas entre dos atascos, a partir de las cuales es posible calcular la probabilidad de atasco $1 - p$.

Se han realizado experimentos para tres tamaños de agujero D diferentes abarcando todo el rango de velocidades que nos permite la cinta transportadora. La figura 1 muestra $1 - p$ en función de la velocidad v media de las partículas al pasar por el agujero. La influencia de la cinemática es notable, pues al reducir al máximo la velocidad la probabilidad de atasco incrementa en casi dos órdenes de magnitud para el caso de $D = 17$ mm. Además, vemos que para el límite de velocidades bajas se obtienen valores finitos de probabilidad de atasco que dependen de D . Basándonos en el modelo de Thomas y Durian [4] pero introduciendo una dependencia lineal con la velocidad proponemos la siguiente ecuación

$$1 - p = (a + bv)^{-(D/d_p)^2}. \quad (1)$$

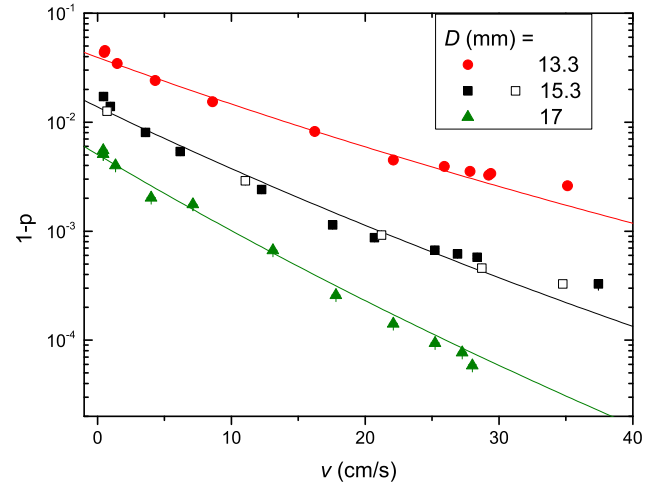


Fig. 1. Probabilidad de atasco $1 - p$ en función de la velocidad media de las partículas al pasar por el orificio para las aperturas indicadas en la leyenda. Los experimentos se han llevado a cabo fijando la cinta a una distancia h de 3.25 mm (puntos rellenos) y 4.5 mm (puntos huecos) a la parte inferior del silo.

Esta expresión incluye dos parámetros: a , que determina la probabilidad de atasco cuando la cinemática es llevada al mínimo, y b , que determina la dependencia de $1 - p$ con v . En nuestro caso, la expresión predice bastante bien los datos experimentales usando los valores de $a = 1.33$ y $b = 0.0128$ (cm/s) $^{-1}$. Además, la generalización de esta ecuación ha sido validada para distintas posiciones de la cinta y para experimentos de descarga en caída libre, es decir, quitando la cinta.

[1] I. Zuriguel, L. A. Pugnaloni, A. Garcimartín, and D. Maza, Phys. Rev. E **68** 030301(R) (2003).

[2] I. Zuriguel, A. Garcimartín, D. Maza, L. A. Pugnaloni, and J. M. Pastor, Phys. Rev. E **71**, 051303 (2005).

[3] K. To, Phys. Rev. E **71**, 060301(R) (2005).

[4] C. C. Thomas, and D. J. Durian, Phys. Rev. E **87**, 052201 (2013).