

El doble efecto de los obstáculos en la prevención de los atascos en silo 2D

Rodrigo Caitano¹, Diego Gella¹, Daichi Yanagisawa^{2,3}, María Victoria Ferreyra⁴, and Iker Zuriguel¹

¹Departamento de Física y Matemática Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, Pamplona, Spain

²Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

³Department of Aeronautics and Astronautics, School of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

⁴Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, Argentina

La colocación de un obstáculo frente a un orificio se ha propuesto como una buena alternativa para mejorar el flujo de materiales discretos en una amplia variedad de escenarios. Sin embargo, las razones físicas detrás de este comportamiento no se comprenden completamente y la idoneidad de esta práctica ha sido cuestionada recientemente para las evacuaciones de peatones. Las explicaciones existentes que justifican el efecto de un obstáculo sobre la obstrucción están relacionadas con la dinámica del sistema. Por lo tanto, podría esperarse que si se minimiza el movimiento del grano, el impacto del obstáculo apenas sea importante. En este trabajo demostramos que esto no es así mediante la implantación de un mecanismo de extracción granular consistente en una cinta colocada debajo del orificio que permite descargar el silo de forma cuasi estática. En trabajos anteriores se ha determinado que la influencia de la velocidad de las partículas en el proceso de atasco es notable [1]. De hecho, la probabilidad de atasco p_c al descargar un silo bidimensional con velocidad constante y controlada ha sido descrita mediante la Eq. (1). Donde D es el tamaño de agujero, d_p el tamaño de la partícula, v la velocidad media de salida de los granos, y a y b son dos parámetros de ajuste. En particular, a determina la probabilidad de atasco cuando el material es extraído con una velocidad despreciable, y b determina la influencia de v en p_c .

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

Experimentalmente se comprobó que la probabilidad de detener el flujo en un silo descargado a una velocidad impuesta por la gravedad se puede reducir en un factor 100 para una determinada posición del obstáculo [2]. Un efecto similar fue también verificado en el paso de animales por una puerta [3], aunque no fue observado en el caso de evacuación de personas [4]. Un indicador que justificaría un posible origen de la reducción del atasco en el límite cuasi estático proviene del análisis de la fracción sólida bidimensional ϕ en la región comprendida entre la salida y el obstáculo.

Para evaluar la orientación de la red de contactos, calculamos el *contact fabric tensor* de segundo orden, una magnitud capaz de caracterizar estadísticamente la microestructura de un conjunto granular. Este tensor puede medir el grado de anisotropía en las direcciones de los contactos entre los granos que componen la muestra y se define para cada partícula i con la Eq. (2),

$$f_{\alpha\beta}^i = \frac{1}{N_c} \sum_c n_\alpha^c n_\beta^c, \quad (2)$$

donde, N_c es el número de contactos de esa partícula, mientras que \vec{n}^c es el vector de rama normalizado que une el centro de la partícula i con los de sus partículas en contacto.

En este trabajo demostramos experimentalmente que para el caso de la descarga de granos inertes de un silo, un obstáculo por encima de la salida conduce a una reducción de la

formación de atascos a través de dos mecanismos diferentes: i) una alteración de las propiedades cinemáticas en las proximidades de la salida que impide la estabilización de arcos; y ii) una introducción de una clara anisotropía en el *contact fabric tensor* que se vuelve relevante cuando se trabaja en régimen cuasi estático. Luego, ambos mecanismos se engloban en una sola formulación que podría ser inspiradora para otros sistemas más complejos [5].

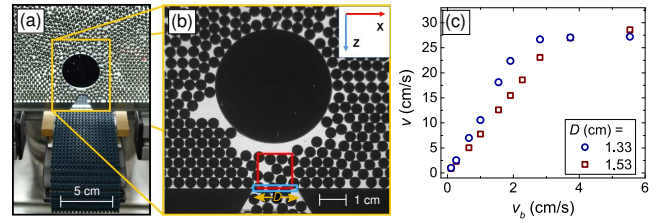


Fig. 1. **Esquema del montaje experimental.** **a** Fotografía de la parte inferior del silo donde se puede distinguir el obstáculo, el orificio y la cinta transportadora. **b** Fotograma tomado de una película grabada con la cámara de alta velocidad donde se define el tamaño del orificio. El cuadro azul es la región ubicada en la salida donde se promedia la velocidad de las partículas para calcular v . El cuadro rojo es el área representativa por encima del orificio y por debajo del obstáculo donde se promedian las magnitudes para obtener v_x , v_z y la fracción sólida ϕ . El sistema de coordenadas (donde, por conveniencia, los valores positivos se consideran en la dirección hacia abajo) también se muestra en esta figura. **c** Datos experimentales de la velocidad media de las partículas a la salida del silo v , frente a la velocidad de la cinta v_b , en el silo con el obstáculo, para los dos tamaños de orificio indicados en la leyenda. Las incertidumbres son más pequeñas que el tamaño del punto, ya que las velocidades provienen de promedios de una gran cantidad de datos.

-
- [1] D. Gella, I. Zuriguel, and D. Maza, *Decoupling Geometrical and Kinematic Contributions to the Silo Clogging Process*, Phys. Rev. Lett. **121**, 138001 (2018).
- [2] I. Zuriguel, A. Janda, A. Garcimartín, C. Lozano, R. Arvalo, and D. Maza, *Silo clogging reduction by the presence of an obstacle*, Phys. Rev. Lett. **107**, 278001 (2011).
- [3] I. Zuriguel, J. Olivares, J.M. Pastor, C. Martín-Gómez, L.M. Ferrer, J.J. Ramos, and A. Garcimartín, *Effect of obstacle position in the flow of sheep through a narrow door*, Phys. Rev. E **94**, 032302 (2016).
- [4] A. Garcimartín, J.M. Pastor, C. Martín-Gómez, D. Parisi and I. Zuriguel, *Pedestrian collective motion in competitive room evacuation*, Sci. Rep. **7**, 10792 (2017).
- [5] D. Gella, D. Yanagisawa, R. Caitano, M.V. Ferreyra and I. Zuriguel, *On the dual effect of obstacles in preventing silo clogging in 2D*, Commun Phys **5**, 4 (2022).