

Envejecimiento en el desatasco de un silo granular vibrado

B. V. Guerrero¹, L. A. Pugnali², C. Lozano³, I. Zuriguel¹ y A. Garcimartín¹

¹Dpto. de Física y Matemática Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, 31080 Pamplona, España

²Dpto. de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, av. 60 Esq. 124, 1900 La Plata, Argentina

³Fachbereich Physik, Universität Konstanz, Konstanz D-78457, Alemania

Cuerpos discretos fluyendo por una abertura estrecha pueden llegar a formar arcos que obstruyen la salida. El surgimiento de arcos hace que el flujo sea intermitente, bloqueándolo permanentemente cuando la energía cinética del sistema ha sido disipada. Un ejemplo representativo de este tipo de flujo es el que ocurre durante la descarga de granos de un silo [1]. Las colisiones y la fricción entre granos pueden disipar la energía permitiendo alcanzar un estado de equilibrio mecánico, del que sólo se puede salir por la acción de algún agente externo.

La vibración externa es idónea para evitar la formación de atascos y para reanudar el flujo una vez atascado. La estabilidad de un arco ante una vibración externa constante está caracterizada por el tiempo requerido para su ruptura [2] y está parcialmente vinculada a su configuración inicial. Sin embargo, para arcos que tardan en romperse, no queda claro cómo la vibración afecta a su dinámica y a su estabilidad. En esta contribución, se presentarán los resultados más recientes, (en parte ya publicados en la ref. [3]), obtenidos a partir del estudio experimental de la dinámica de arcos estables sometidos a vibración constante de baja intensidad. Para esta investigación, empleamos un silo bidimensional, lleno con esferas monodispersas. Desde el instante en que ocurre el atasco hasta su posterior ruptura, el silo es vibrado sinusoidalmente a una intensidad constante (de aceleración máxima de 0.6 veces la de la gravedad). Se registraron las posiciones de los granos en las vecindades de la salida, identificando aquellos que forman parte del arco. Estudiamos su morfología en términos del ángulo ϕ formado para cada bola del arco y sus dos vecinas respectivas.

En particular, encontramos que la desviación estándar $\sigma(t)$ de todos los ángulos ϕ para un instante t dado, describe apropiadamente el desatascamiento. La vibración favorece que el arco tienda a evolucionar hacia configuraciones cada vez más inestables siguiendo una dinámica intermitente, en donde grandes reordenamientos súbitos son alternados por periodos en los que hay apenas cambios. La fig. 1 muestra la autocorrelación de σ a dos tiempos $C(t_w, \tau)$, siendo t_w el tiempo de espera para medir correlación y τ el retardo temporal. La función $C(t_w, \tau)$ muestra que a medida que aumenta t_w el sistema relaja más lentamente y que los efectos de memoria son mayores. Este comportamiento evidencia que la ruptura de arcos es un fenómeno con envejecimiento, en concordancia con el rompimiento de ergodicidad esperado [4]. Los efectos de envejecimiento han sido

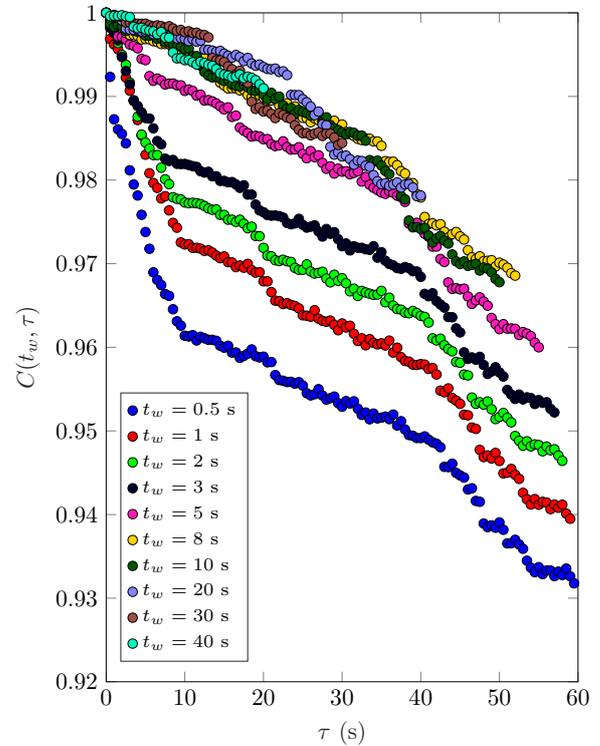


Fig. 1. Función de autocorrelación $C(t_w, \tau)$ como función del retardo temporal τ , para varios tiempos de espera t_w .

confirmados calculando el desplazamiento cuadrático medio (promediado sobre ensemble) de σ , el cual presenta un crecimiento subdifusivo que decrece a medida que aumenta t_w .

-
- [1] K. To, P. Y. Lai, and H. K. Pak, Jamming of granular flow in a two-dimensional hopper, *Phys. Rev. Lett.* **86**, 71 (2001).
- [2] C. Lozano, I. Zuriguel, and A. Garcimartín, Stability of clogging arches in a silo submitted to vertical vibrations, *Phys. Rev. E*, **91**, 062203 (2015).
- [3] B. V. Guerrero, L. A. Pugnali, C. Lozano, I. Zuriguel, and A. Garcimartín, Slow relaxation dynamics of clogs in a vibrated granular silo, *Phys. Rev. E* **97**, 042904 (2018).
- [4] C. Merrigan, S. K. Birwa, S. Tewari, and B. Chakraborty, Ergodicity breaking dynamics of arch collapse, *Phys. Rev. E* **97**, 040901 (2018).