

# Dinámica de arcos estables ante vibración externa constante.

Bruno V. Guerrero<sup>1</sup>, A. Garcimartín<sup>1</sup>, C. Lozano<sup>2</sup>, and I. Zuriguel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física y Mat. Apl., Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, 31080 Pamplona

<sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme - Heisenbergstraße 3, 70569 Stuttgart, Alemania

El flujo de granos (impulsado por la gravedad) que se da en contenedores que presentan salidas con estrechamientos o aberturas puede llegar a detenerse por la formación, en las vecindades de la salida, de estructuras mecánicamente estables (conocidas como arcos). La probabilidad de que ocurran estos atascos viene a ser distinta de cero cuando la salida es del orden del tamaño de los granos [1]. Una vez que el flujo se detiene y la energía cinética del medio granular se ha disipado totalmente, solo es posible restablecerlo mediante la acción de algún tipo de forzamiento externo.

Para silos que almacenan esferas y que son forzados por medio de vibración vertical, cuando la probabilidad de atasco es distinta de cero, el flujo puede tornarse intermitente por la formación y destrucción de sucesivos arcos inestables [2].

Lozano y colaboradores [3] encontraron que la presencia de defectos geométricos iniciales debilitan los arcos y los hace vulnerables ante la vibración externa. También encontraron que la distribución de los tiempos de ruptura presenta unas colas que siguen leyes de potencia, con un promedio que puede (o no) converger dependiendo de las condiciones experimentales. Además, se ha encontrado que altas frecuencias favorece el endurecimiento de los arcos a largos tiempos.

En la presente investigación, empleando el mismo montaje experimental usado por Lozano, et. al. [4] y haciendo mejoras significativas relacionadas a la adquisición y tratamiento de las imágenes, hemos logrado: a) almacenar en disco duro todas las fotos capturadas a lo largo del experimento y b) detectar y rastrear el movimiento de las esferas que conforman el arco con una resolución subpixel.

Con dichas mejoras, ahora hemos sido capaces de estudiar experimentalmente la dinámica de los arcos que son lo suficientemente estable como para soportar una vibración constante por largos tiempos (fijando el tiempo máximo a 20 minutos por arco). Si bien a simple vista no parece haber un cambio significativo en la estructura del arco, un análisis minucioso de las posiciones de las esferas que conforman el arco revela un reordenamiento estructural que permite (o no) al arco volverse más estable.

Referenciando las posiciones de las bolas del arco con sus posiciones finales calculamos el tiempo en el que cesa la dinámica, es decir, el tiempo en el que el arco alcanza una configuración que no cambia hasta finalizar el experimento.

En esta presentación mostramos que los tiempos en que cesa la dinámica aparentan ser compatibles con una ley de potencia, tal y como muestra la Figura 1. Para esta configuración experimental en particular se tiene que el primer momento de la distribución no converge. Con este estudio seguimos avanzando en la comprensión del fenómeno conocido como "atascamiento de materiales granulares en cuellos de botella" [5, 6]; ahora con la posibilidad de explorar

cuestiones asociadas a la evolución dinámica de los arcos, además de seguir estudiando la relación de la dinámica con la morfología del arco.

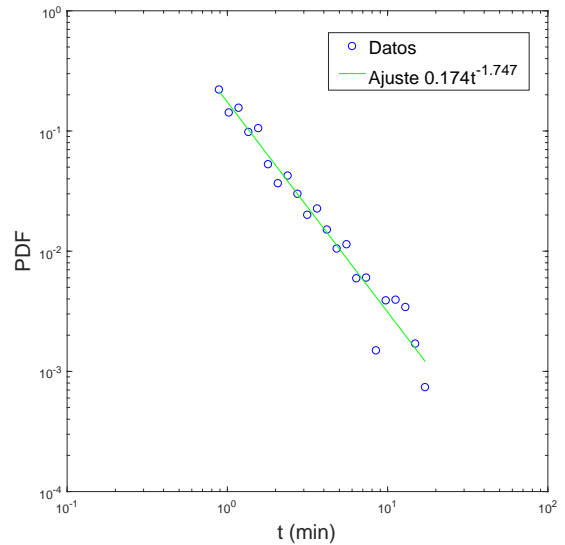


Figure 1: Distribución de probabilidad de los tiempos en que cesa la dinámica de los arcos. El ajuste lineal en el gráfico log-log sugiere que los tiempos en que cesa la dinámica siguen una distribución de probabilidad que obedece una ley de potencia del tipo  $PDF(t) \propto t^{-\alpha}$

- [1] K. To, P. Y. Lai, and H. K. Pak, "Jamming of granular flow in a two-dimensional hopper," *Physical Review Letters*, vol. 86, no. 1, pp. 71–74, 2001.
- [2] a. Janda, D. Maza, a. Garcimartín, E. Kolb, J. Lanuza, and E. Clément, "Unjamming a granular hopper by vibration," *EPL (Europhysics Letters)*, vol. 87, no. July, p. 24002, 2009.
- [3] C. Lozano, I. Zuriguel, and a. Garcimartín, "Stability of clogging arches in a silo submitted to vertical vibrations," *Physical Review E*, vol. 91, no. 6, p. 062203, 2015.
- [4] C. Lozano, G. Lumay, I. Zuriguel, R. C. Hidalgo, and A. Garcimartín, "Breaking Arches with Vibrations: The Role of Defects," *Physical Review Letters*, vol. 109, p. 068001, aug 2012.
- [5] I. Zuriguel, D. R. Parisi, R. C. Hidalgo, C. Lozano, A. Janda, P. A. Gago, J. P. Peralta, L. M. Ferrer, L. A. Pugnaroni, E. Clément, D. Maza, I. Pagonabarraga, and A. Garcimartín, "Clogging transition of many-particle systems flowing through bottlenecks.," *Scientific reports*, vol. 4, p. 7324, 2014.
- [6] I. Zuriguel, "Invited review: Clogging of granular materials in bottlenecks," *Papers in Physics*, vol. 6, p. 13, dec 2014.