

Cadenas de fuerza en pilas granulares

Iker Zuriguel*[†] y Tom Mullin

Manchester Centre for Nonlinear Dynamics, University of Manchester, Oxford Road, Manchester, M139PL, United Kingdom

Desde que en 1979 Jotaki y Moriyama¹ descubrieron que la presión en la base de una pila de arena presenta un mínimo justo bajo el pico se ha originado un gran debate en la comunidad científica acerca del modo en que las fuerzas se distribuyen en un medio granular. Recientemente, y gracias al uso de nuevas técnicas experimentales como la fotoelasticidad², se ha observado que los esfuerzos en la muestra granular se concentran espontáneamente en las denominadas cadenas de fuerza (figura 1a). El desarrollo de estas cadenas de fuerza y sus principales propiedades parece ser la clave para comprender la mayor parte de las propiedades de los medios granulares densos.

En este trabajo se analiza el efecto de la anisotropía del grano en el perfil de fuerzas bajo una pila granular bidimensional. La comparación de los resultados de pilas de discos con pilas de cilindros elípticos y pilas de cilindros con forma de pera muestra que la anisotropía de los granos realza el mínimo de fuerzas bajo el pico de la pila. Como se muestra en la figura 1c para el caso de pilas construidas con cilindros elípticos, la fuerza bajo el pico es aproximadamente la mitad que en la zona del máximo. Este resultado es válido para distintas alturas como lo muestran los diferentes símbolos utilizados en la figura.

La principal ventaja del uso de material fotoelástico es que las cadenas de fuerza se hacen visibles con lo que se pueden estudiar sus principales propiedades. Se propone la presencia de dos tipos de cadenas de fuerza dependiendo de su orientación: las primarias que están orientadas hacia el exterior de la pila hacia donde distribuyen el peso y las secundarias, perpendiculares a las primarias, estrictamente necesarias para la estabilidad de la pila y que distribuyen el peso hacia el centro³.

Se observa que la relación entre el número de cadenas primarias y secundarias es un parámetro que está correlacionado con el tamaño del mínimo de fuerza⁴. Cuanto mayor es el número de cadenas primarias respecto al de secundarias, mayor es la cantidad de fuerza dirigida hacia el lateral de la pila y consecuentemente mayor el tamaño del mínimo de fuerza en el centro.

Finalmente se especula con el mecanismo por el cual el mínimo de presiones se acentúa para las pilas construidas con granos anisótropos. Se cree que estos granos -que en su gran mayoría están orientados horizontalmente y que no pueden rotar con facilidad- son capaces de formar estructuras estables con menos fuerzas dirigidas al centro de la pila que los discos. De este modo el número de cadenas primarias respecto de las secundarias es más importante en el caso de partículas anisótropas y el mínimo de presiones es realzado.

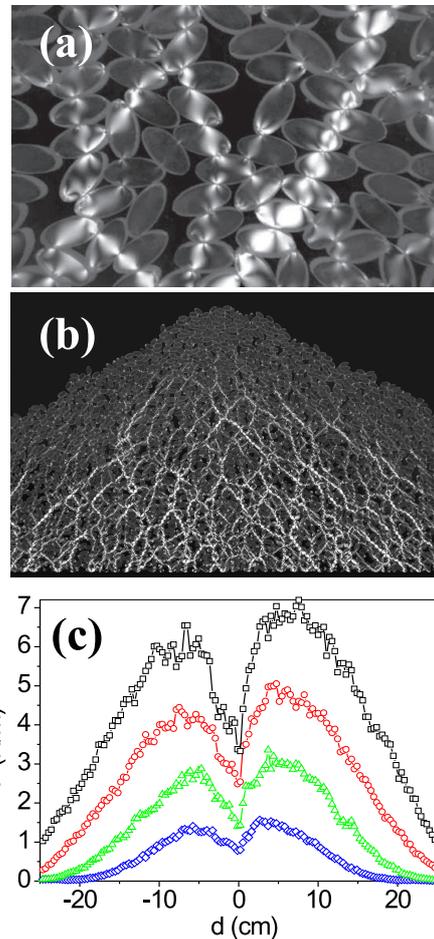


Figura 1. (a) Detalle de las cadenas de fuerza que se hacen visibles cuando partículas fotoelásticas son observadas a través de dos polarizadores cruzados. (b) Fotografía de la red de fuerzas en una pila granular construida con cilindros elípticos fotoelásticos. (c) Resultados de la fuerza media obtenida en 500 pilas para diferentes alturas en la capa granular ($h = 3.5$ cm (\square), $h = 7.0$ cm (\circ), $h = 10.5$ cm (\triangle), y $h = 14.0$ cm (\diamond)).

* iker@fisica.unav.es

[†] Departamento de Física y Matemática Aplicada, Univ. Navarra, C/Irunlarrea s/n 31008 Pamplona

¹ T. Jotaki and R. Moriyama, J. Soc. Powder Technol. Jpn. **60**, 184 (1979).

² D.W. Howell, R.P. Behringer and C.T. Veje, Phys. Rev. Lett. **82**, 5241 (1999)

³ I. Zuriguel, T. Mullin and J. M. Rotter, Phys. Rev. Lett. **98**, 028001 (2007).

⁴ I. Zuriguel and T. Mullin, Proc. Roy. Soc. A **464**, 99 (2008).