

# **Transformación Durante un Ciclo de Oscilación de un Medio Granular Vibrado**

**K. Rodríguez, L. I. Reyes, G. Da Costa, G. Gutiérrez**

Departamento de Física. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

## **Resumen**

Una esfera (intruso) inmersa en un medio granular sufre un proceso sencillo de segregación. Sin embargo, a escalas de tiempo pequeñas el comportamiento observado es complejo. Hacemos un estudio experimental del movimiento del intruso y del comportamiento del medio granular, dentro de un ciclo de oscilación y, mostramos nuevas evidencias sobre el rol del aire en el comportamiento observado.

## **Abstract**

A heavy sphere (intruder) immersed in a granular bed undergoes a process of segregation that is simple. Nevertheless, at small time scales the observed behavior is complex. We make an experimental study of the motion of the intruder and the behavior of the medium, within one cycle of oscillation and we show new evidences for the role of the air in the observed behavior.

## **Introducción**

Los medios granulares vibrados son de gran importancia en muchos procesos industriales relacionados con la alimentación, la medicina y, la construcción. Al someter a vibración un medio granular se observa segregación, flotación, formación de patrones, etc. (Durán, 1999). La *Flotación Inversa* se produce cuando, al introducir un intruso con mayor o menor densidad que la del medio granular bajo vibración, el más denso asciende mientras que el menos denso se hunde (Shinbrot et al, 1998). Este comportamiento se ha atribuido a que el medio experimenta transiciones fluido-sólido dentro de un ciclo de oscilación (Gutiérrez et al, 2004). En esta transición el rol del aire es muy importante (Reyes et al, 2005). Debido a ello, es de gran importancia estudiar el comportamiento del intruso y del medio granular dentro de un ciclo de oscilación.

## Montaje Experimental

Oscilamos sinusoidalmente un medio granular con un vibrador electromagnético (VTS-150-6), a una frecuencia de oscilación de  $(12,0 \pm 0,1)$  Hz y una amplitud de  $(4,3 \pm 0,1)$  mm. Utilizamos como medio granular esferas de vidrio, cuyos diámetros corresponden a: *granos pequeños*: 0,25 mm y, *granos grandes*: 1 mm. Éstos los colocamos dentro de una celda rectangular de plexiglass con dimensiones de  $(8,2 \times 15,5 \times 2,8)$  cm<sup>3</sup>. Como intruso, utilizamos una esfera de hierro con diámetro de  $(25,0 \pm 0,5)$  mm y con una densidad relativa al medio  $\rho_i / \rho_m = (5,7 \pm 0,1)$ . En la figura 1 se muestran fotos del montaje experimental y de la celda.

## Comportamiento del intruso en un ciclo de oscilación

En la figura 2 se grafica, la posición de la celda relativa al laboratorio, el tamaño de la brecha y, la posición del intruso relativa al fondo del paquete granular, para un medio granular compuesto por partículas pequeñas. Podemos inferir del gráfico que, para el caso de estas partículas, a escalas de tiempo grandes, comparadas con el período de oscilación del sistema, el desplazamiento neto del intruso es hacia arriba. Mientras que, a escalas de tiempo suficientemente pequeñas con respecto al período de oscilación del sistema, el movimiento del intruso es muy complejo, ya que, hay intervalos en los que asciende, en otros desciende y, en otros se atasca.

## Líquido Granular Viscoso

En el medio granular compuesto por partículas pequeñas, se observa la formación de una burbuja de aire en torno al intruso (Fig. 3) y, el hecho de que cuando el paquete granular desciende, el aire que se encuentra ascendiendo desde esa zona, penetra al paquete granular y genera una inestabilidad en la frontera, la cual termina en la formación de dedos (Fig. 4). Estos fenómenos no son observados cuando el medio granular está compuesto por partículas grandes (Fig. 5).

En un fluido ordinario, un rasgo característico es la formación de burbujas de aire y, el hecho de que si un fluido de baja viscosidad penetra a otro fluido de mayor viscosidad, se produce una inestabilidad en la frontera entre ambos fluidos conocida como adedamiento viscoso (Saffman et. Al, 1958). Este último comportamiento ha sido objeto de estudio en los medios granulares (Chevalier et al, 2007).

Entonces, de lo observado, podemos concluir que, para partículas pequeñas, el medio se comporta como un líquido granular viscoso en partes del ciclo de oscilación y la evidencia de ello, es la formación de una burbuja en torno al intruso y, la formación de adedamiento viscoso en el fondo del paquete granular.

Para partículas grandes, el movimiento del paquete granular forma una brecha máxima de  $(30\pm 1)$  mm [Fig. 6(a)]. El tamaño de dicha brecha es análogo al de un objeto elástico, por lo tanto, podemos suponer que el efecto del aire sobre los granos desaparece.

En la figura 6(b) mostramos evidencia de que las partículas que se encuentran cerca de las paredes del recipiente se comportan de forma diferente a las que se encuentran en la zona central del lecho granular [véase foto en la Fig. 6(b)]. En este sentido, observamos que las que están en contacto con las paredes se frenan, descendiendo primero las que se encuentran en el centro del lecho. Esto evidencia que para partículas grandes, se hace notorio el efecto de la pared sobre los granos que conforman el medio granular.

### **Conclusiones**

Para un intruso pesado inmerso en un medio granular sometido a vibración vertical sinusoidal obtenemos nuevas evidencias de que el medio se comporta como un líquido granular viscoso en partes del ciclo de oscilación y, que el efecto desaparece al incrementar suficientemente el tamaño de los granos. Las manifestaciones del estado fluido del medio son: formación de una burbuja en torno al intruso y un comportamiento tipo adedamiento viscoso en parte del ciclo de oscilación.

## Referencias Bibliográficas

Chevalier C., Lindner A., Clément E. (2007). Destabilization of a Saffman-Taylor Fingerlike Pattern in a Granular Suspension. *Physical Review Letters* **99**. pp.174501-174504.

Durán J. (1999). Sands, Powers and Grains. *Editorial Springer*.

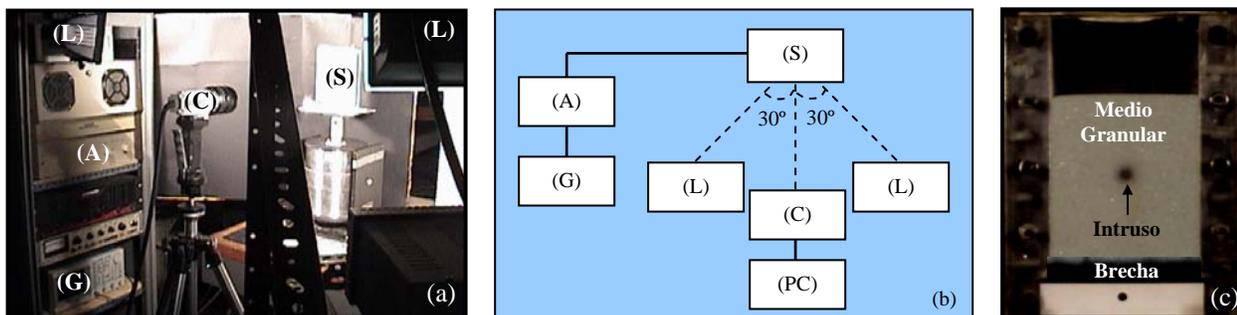
Gutiérrez G., Pozo O., Reyes L. I., Paredes R., Drake J. F., Ott E. (2004). Simple model for reverse buoyancy in a vibrated granular system. *Europhysics Letters*, **67** (3). Pp. 369-375.

Reyes L. I, Sánchez I., Gutiérrez G . (2005). Air-driven reverse buoyancy. *Physica A* **358**. 466-474.

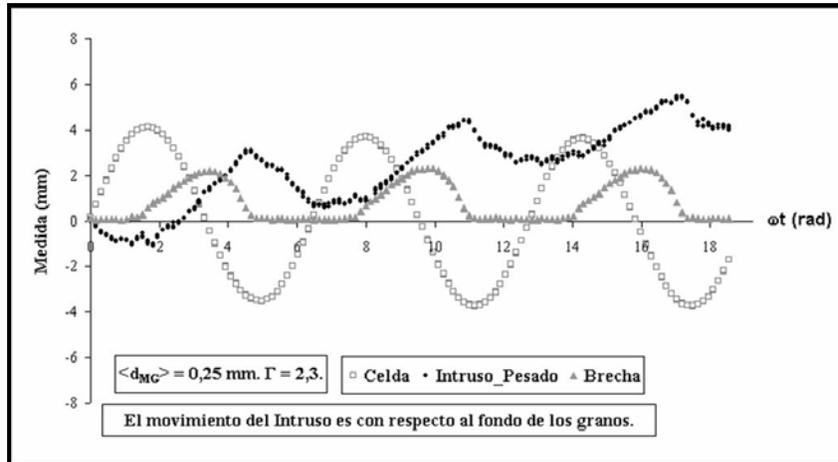
Saffman P. G., Taylor G. I. (1958). The penetration of a fluid into a porous medium of a Hele-Shaw cell containing a more viscous fluid. *Proceedings of the Royal Society, London Ser. A*245, 312-329.

Shinbrot T., Muzzio F. J. (1998). Reverse Buoyancy in Shaken Granular Beds. *Physical Review Letters* **81**. 4365-4368.

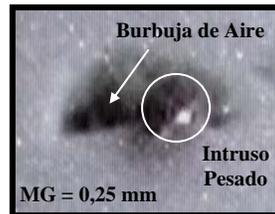
## Figuras



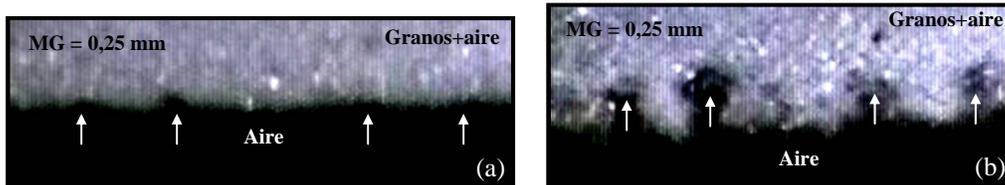
**Figura 1.** Montaje Experimental. En (a) y (b): sistema celda+vibrador (S), generador de señales (G), amplificador (A), 2 lámparas de halógeno (L) colocadas a  $30^\circ$  de (S) y cámara rápida (C) conectada a un PC. En (b): Celda utilizada con medio granular, intruso y brecha.



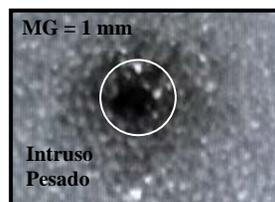
**Figura 2.** Comportamiento del intruso pesado y de la brecha formada en el fondo de un lecho granular, compuesto por partículas con diámetro aproximado de 0,25 mm.



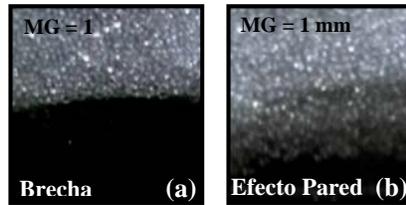
**Figura 3.** Burbuja en torno al intruso en un medio granular compuesto por partículas con diámetro aproximado de 0,25 mm. El intruso es indicado con el círculo y la burbuja con la flecha.



**Figura 4.** Cuando el penetra el medio (granos+aire) se crea una inestabilidad en la frontera (a), lo cual conduce a la formación de unos dedos en el fondo del lecho granular (compuesto por partículas con diámetro aproximado de 0,25 mm) conocida como adamiento viscoso (b).



**Figura 5.** Para un medio granular compuesto por partículas de diámetro nominal de 1 mm, no se forman burbujas en torno al intruso, indicado con el círculo.



**Figura 6.** (a) Para un medio granular compuesto por partículas con diámetro nominal de 1 mm, el medio se comporta como un objeto elástico siendo su brecha máxima de  $(30 \pm 1)$  mm, (b) no se produce el adedamiento viscoso y predomina el efecto de la pared sobre los granos.

**Katyuska Rodríguez Cabello**, es Licenciada en Física de la Universidad de Carabobo. Actualmente, finaliza su tesis Doctoral en el Laboratorio de Física de la Materia Condensada de la Universidad Simón Bolívar, trabaja como Profesora en el Departamento de Física de dicha Institución y es miembro del grupo de Sistemas Complejos. Sus áreas de investigación son: Sistemas Complejos, Óptica y Fluidos, Medios Granulares.

**Leonardo Iván Reyes Carranza**, es Profesor en el Departamento de Física y miembro del grupo de Sistemas Complejos de la Universidad Simón Bolívar. Obtuvo su Doctorado en Física en dicha Institución en 2002. Sus áreas de investigación son: Sistemas Complejos, Física Estadística, Caos y Aleatoriedad, Medios Granulares.

**Germán Da Costa Morales**, es Profesor Titular Jubilado del Departamento de Física y Jefe del Laboratorio de Óptica y Fluidos de la Universidad Simón Bolívar. Obtuvo el Doctorat 3eme Cycle en la Universidad de Beasancon, Francia (1974) y el Doctorat d'Etat en Sciences Physiques en la Universidad de Paris VI, Francia (1982). Ha publicado en: Applied Optics, Journal of the Optical Society of America, Optics Communications, Optica, Engineering, Physics Letters, etc.

**Gustavo Gutiérrez**, es Profesor del Departamento de Física y miembro del Grupo de Sistemas Complejos y de la Materia Condensada de la Universidad Simón Bolívar. Se doctoró en Física en la Universidad Central de Venezuela. Ha publicado sobre fluctuaciones, superconductividad, fluido en medios porosos desordenados, caos en sistemas electrónicos y medios granulares.