

Viscosidad tangencial de un fluido granular multicomponente

V. Garzó*

Departamento de Física, Universidad de Extremadura, E-06071 Badajoz

J. M. Montanero†

Departamento de Electrónica e Ingeniería Electromecánica, Universidad de Extremadura, E-06071 Badajoz

Un modo sencillo de capturar el carácter disipativo de las colisiones en un medio granular en condiciones de flujo rápido es a través de un fluido de esferas duras lisas inelásticas. Por sencillez, la gran mayoría de los estudios relativos a fluidos granulares se restringen al caso de sistemas monocomponentes donde los granos son de la misma masa y tamaño. Sin embargo, los sistemas granulares se presentan generalmente en la naturaleza caracterizados por algún grado de polidispersidad en densidad y tamaño lo cual lleva en ocasiones a fenómenos no deseados como la segregación en una mezcla granular homogénea. Debido a la dificultad que conlleva estudiar este tipo de sistemas, gran parte de los trabajos llevados a cabo en la literatura se centran en el límite cuasielástico de modo que se asume la equipartición de la energía total del sistema. Ello implica que las temperaturas parciales T_i de cada especie se hacen iguales a la temperatura granular del sistema T . Sin embargo, experimentos recientes muestran claramente la ruptura del teorema de equipartición en un fluido granular multicomponente. Dicha ruptura también ha sido encontrada a partir de resultados de teoría cinética así como en simulaciones en ordenador.

Un problema interesante es analizar el efecto de la no equipartición sobre los coeficientes de transporte de la mezcla granular. Ello ha sido llevado a cabo recientemente por Garzó y Dufty² quienes resolvieron la ecuación de Boltzmann (válida para bajas densidades) mediante el método de Chapman-Enskog a fin de obtener las ecuaciones hidrodinámicas de Navier-Stokes. Del mismo modo que en el caso elástico, los coeficientes de transporte obedecen ecuaciones integrales lineales que pueden resolverse aproximadamente a partir de un desarrollo en polinomios ortogonales (polinomios de Sonine). Dichos coeficientes de transporte están dados en términos de los coeficientes de restitución, composición, masas y tamaños de los granos. En el caso de la viscosidad tangencial, dichas predicciones teóricas presentan un excelente acuerdo³ con soluciones numéricas de la ecuación de Boltzmann obtenidas a partir del método de simulación directa de Monte Carlo (DSMC).

El objetivo de este trabajo es extender a densidades finitas el análisis realizado previamente para la viscosidad tangencial. Dicho análisis se realiza en el contexto de la teoría revisada de Enskog (RET) y para el estado del flujo tangencial uniforme. Dicho estado está caracterizado por densidades parciales constantes, temperatura uniforme, y un perfil lineal de velocidades $U_x = ay$, donde a es el gradiente constante velocidad. Nuestro objetivo ha sido resolver la RET a fin de evaluar

las contribuciones cinéticas y colisionales al coeficiente de viscosidad η . Dos rutas alternativas y complementarias han sido utilizadas. En primer lugar, la RET ha sido resuelta hasta el primer orden en a a partir del método de Chapman-Enskog. A fin de obtener una expresión explícita para η , la primera aproximación de Sonine para la función de distribución ha sido considerada. En segundo lugar, la RET es resuelta numéricamente por una extensión del DSMC al caso denso en el estado del flujo tangencial uniforme. En la simulación se introduce un termostato externo que controla el enfriamiento colisional de forma que el trabajo viscoso sigue calentando el sistema. Para tiempos largos, el sistema alcanza un régimen que puede describirse mediante la hidrodinámica lineal y el coeficiente de viscosidad puede ser medido en la simulación. En la Fig. 1 se representa la viscosidad η^* (en unidades reducidas) en función del coeficiente de restitución α en el caso de un sistema monocomponente. Vemos como la influencia de la disipación sobre la viscosidad disminuye a medida que la densidad aumenta así como el buen acuerdo entre teoría y simulación.

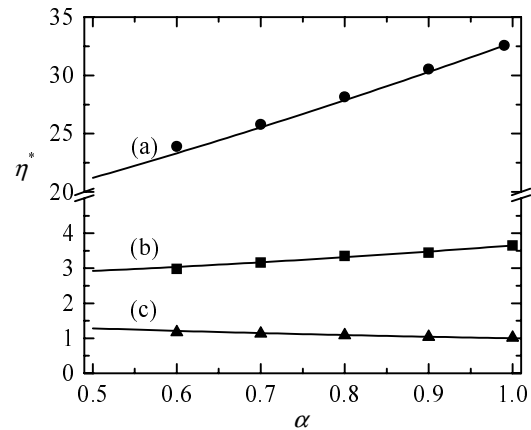


Figura 1. Viscosidad η^* frente al coeficiente de restitución α para tres valores de la fracción de empaquetamiento ϕ : (a) $\phi = 0$, (b) $\phi = 0.2$, (c) $\phi = 0.4$.

* vicenteg@unex.es

† jmm@unex.es

¹ <http://www.unex.es/fisteor/vicente>

² V. Garzó and J. W. Dufty, Phys. Fluids **14**, 1476 (2002).

³ J. M. Montanero and V. Garzó, Phys. Rev. E **67**, 021308 (2003).