



Medios Granulares

Grupo 7

Duffau, Teófilo Manuel

Lynch, Ezequiel



Fundamentos



Fundamentos

Simulación del flujo granular gravitatorio en silos:

- El sistema contiene partículas macroscópicas con comportamiento distinto al de sólidos, líquidos o gases.
- El sistema se basa en colisiones de tiempo mucho mayor al tiempo de viaje de las partículas.
- Un modelo que aproxima el caudal de estos sistemas es el de Beverloo cuya ecuación es:

$$Q \approx n_p \sqrt{g} (d - cr)^{2.5} = B (d - cr)^{2.5}$$



Implementación

Ecuaciones

Se decidió utilizar la ecuación de la teórica (N.1) siendo ξ la superposición entre la partículas y k_n y γ parámetros del tipo de partículas.

$$\mathbf{F}_N = \left[-k_n \xi - \gamma \dot{\xi} \right] \hat{n}$$

La fuerza total ejercida sobre cada partícula resulta ser la sumatoria de esas F_N con cada otra partícula o pared con la que se encuentra en contacto y sumada la fuerza gravitatoria.

Para proyectar las fuerzas normales en x e y se utilizaron las fórmulas

$$\hat{e}^n = (e_x^n, e_y^n)$$
$$\hat{e}^t = (-e_y^n, e_x^n)$$

y luego

$$F_x = F_N e_x^n$$

$$F_y = F_N e_y^n$$

Donde:

$$e_x^n = (x_j - x_i) / |\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|$$

$$e_y^n = (y_j - y_i) / |\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|$$



Modelo

- **GranularParticle:** representa la partícula y tiene toda la información que la concierne.
- **GranularGrid:** es la encargada de mantener el cell index method y calcular los vecinos.
- **SimulatorGranular:** es la simulación en sí. Con métodos para generar las partículas, calcular el siguiente paso de la simulación e imprimir a archivo cuando ella terminase.



Algoritmo

1. Se generan las partículas con distribución uniforme y se agregan al GranularGrid.
2. En cada paso:
 - a. Se calculan las fuerzas aplicadas en cada partícula.
 - b. Se actualizan las velocidades y posiciones utilizando Verlet Leap-Frog.
 - c. Si una partícula pasa cierta posición Y debajo de la ranura, se la reposiciona con velocidad 0 en el 40% superior del contenedor.
 - d. Se recalculan los vecinos usando el cell index method.
3. Se corta el ciclo al guardarse N estados.
4. Luego se guarda el archivo.

Pseudocódigo

Main():

 Simulator.simulate(deltaTime)

Simulator.simulate(deltaTime):

 deltaTime2 = 1 / (deltaTime / 60) //para que en tiempo real sean 60fps

 generateParticles() //genera hasta que no puede generar sin overlap en 1000 intentos

 counter = 0

 while(true):

 calculateParticleForces() // calcula con cada vecino y con las paredes

 updateParticlesPositions() // utilizando verlet leap frog y si cayó lo suficiente se reposiciona

 recalculateNeighbours() // utilizando cell index method

 if(counter % deltaTime2):

 saveState()

 if(savedStates == n); // n es 60 * segundos de simulación

 printToFile()

 return



Resultados

Parámetros y valores iniciales

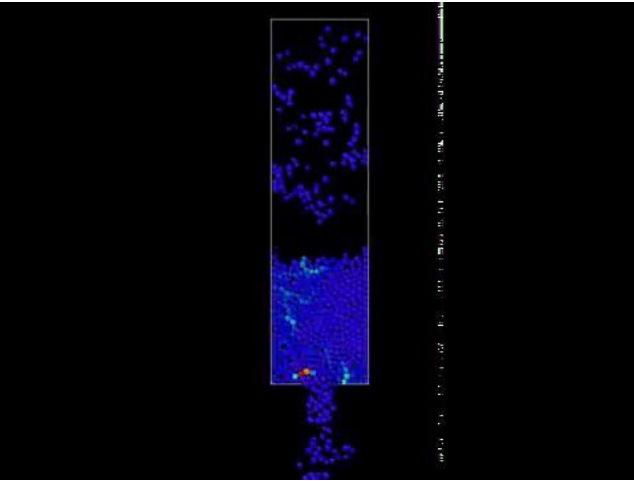


- Para llevar a cabo las simulaciones se utilizó un tiempo delta de $1e-5$ y para cada prueba se hicieron 3 simulaciones con los mismos parámetros.
- Las simulaciones en su totalidad fueron corridas con un silo de 1.5m de alto X 0,4m de ancho y con un tamaño de ranura y cantidad de partículas variable (entre 475 y 505 dependiendo del generador de números aleatorios).
- Para el cálculo de la media móvil del caudal se utilizó una ventana deslizante de 1000 elementos.

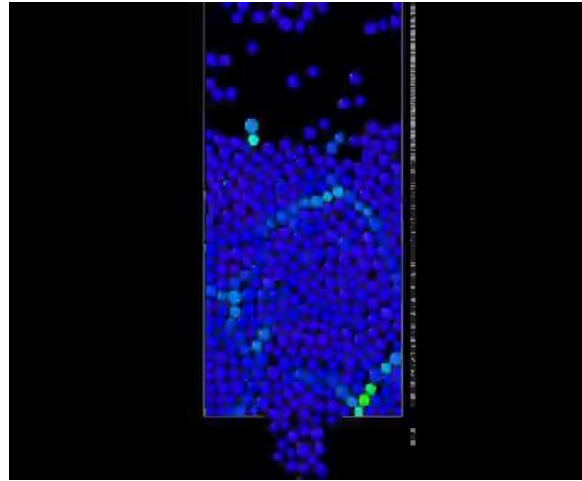


Silo con ranura

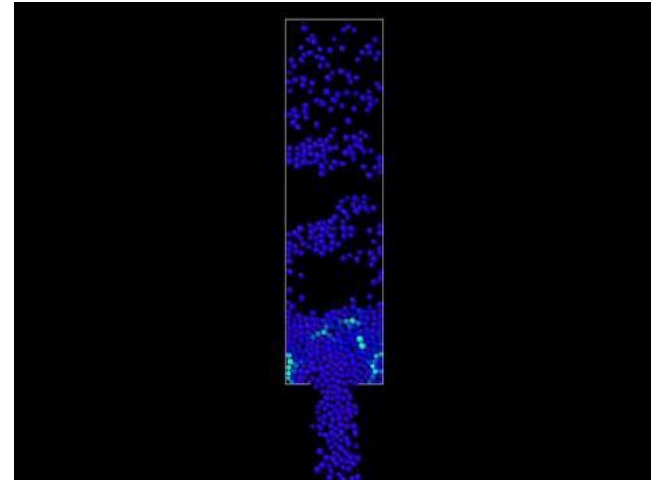
Animaciones



0.15m

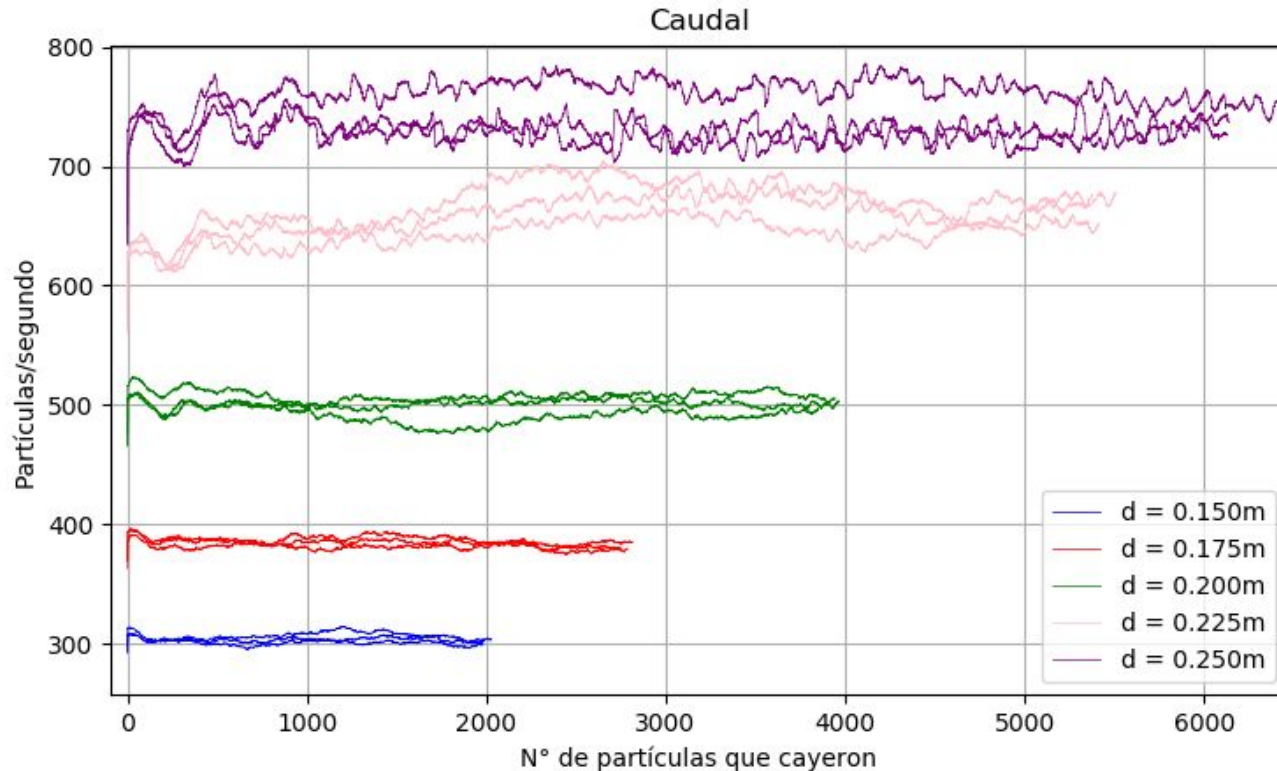


0.15m con zoom

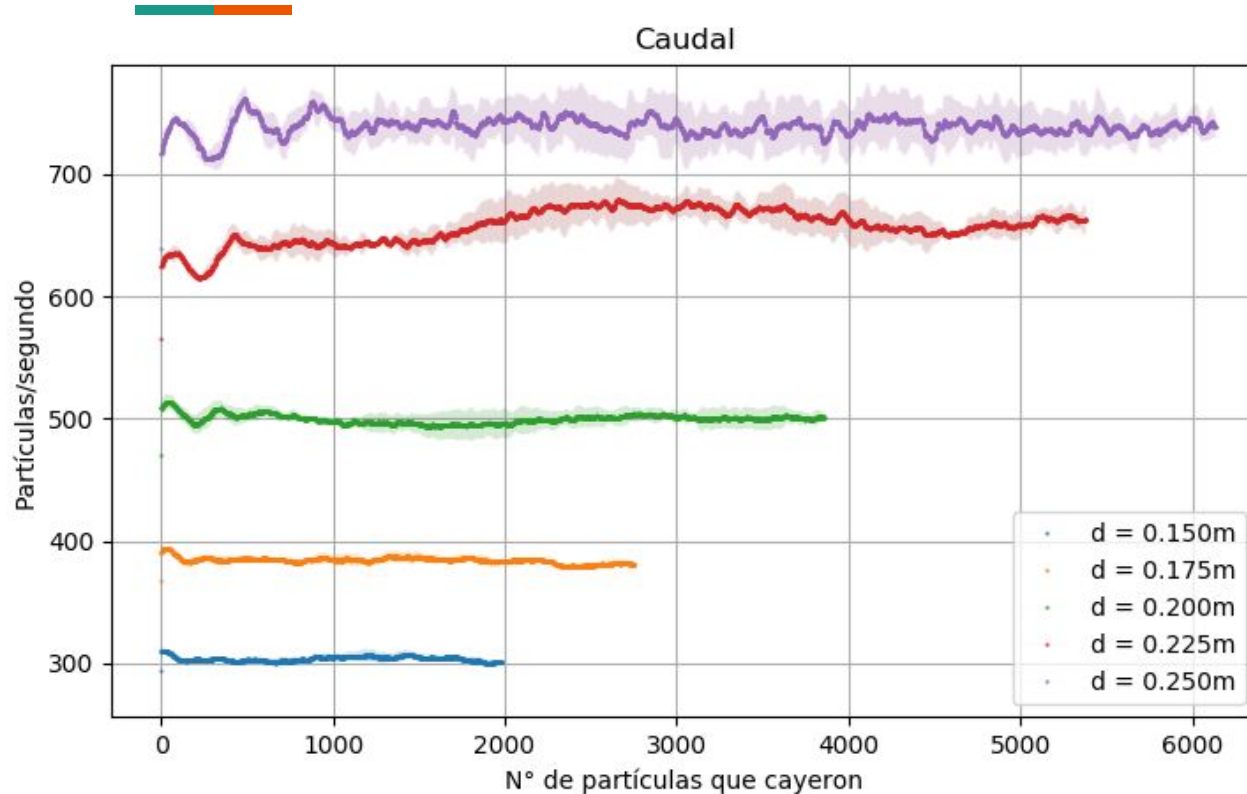


0.20m

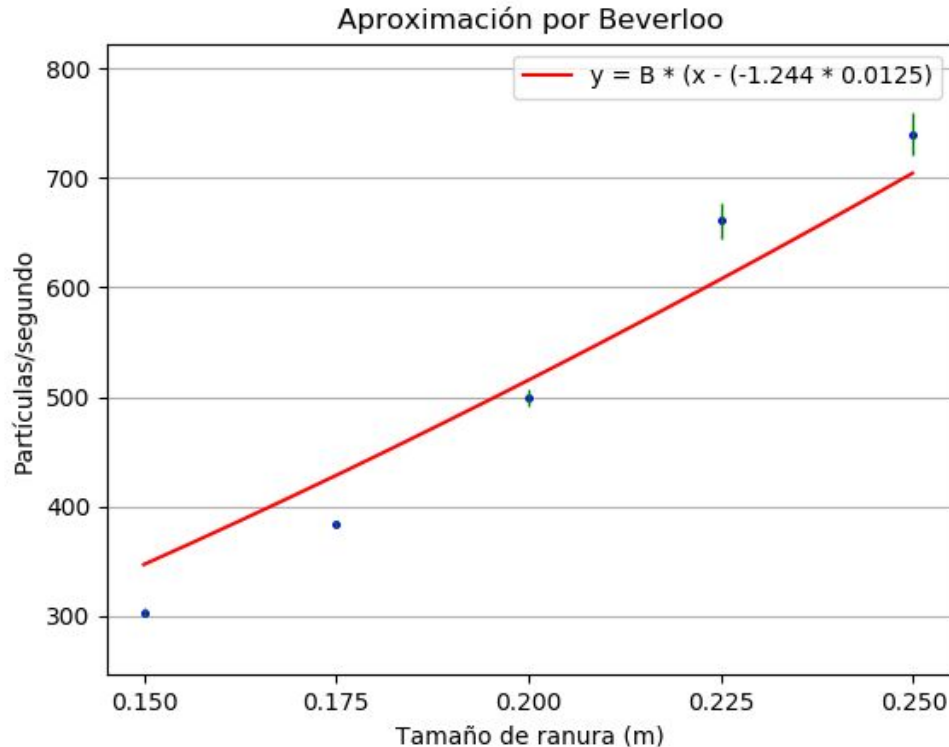
Flujo granular con distintos valores de d



Flujo granular con distintos valores de d



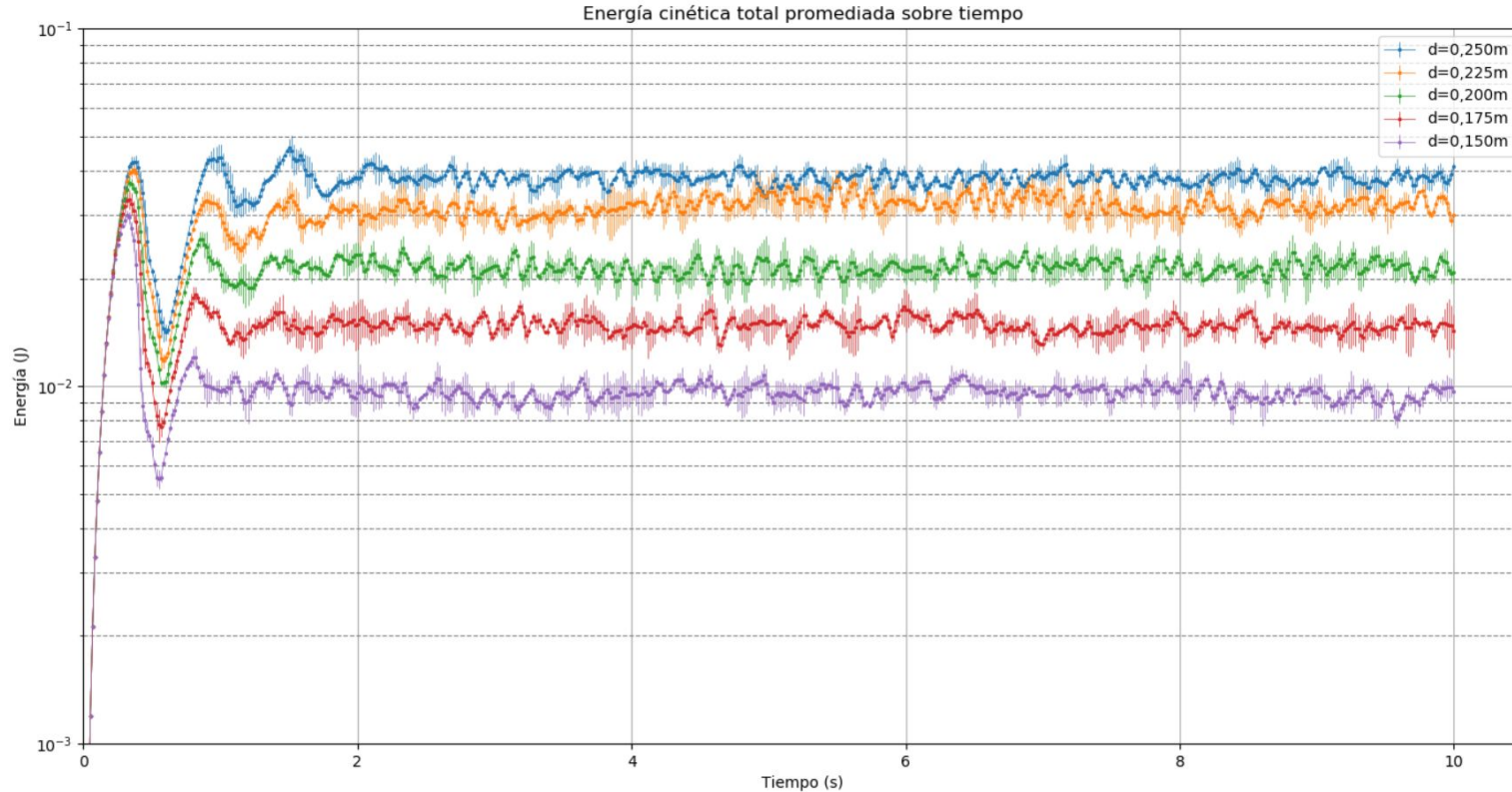
Flujo granular con distintos valores de d



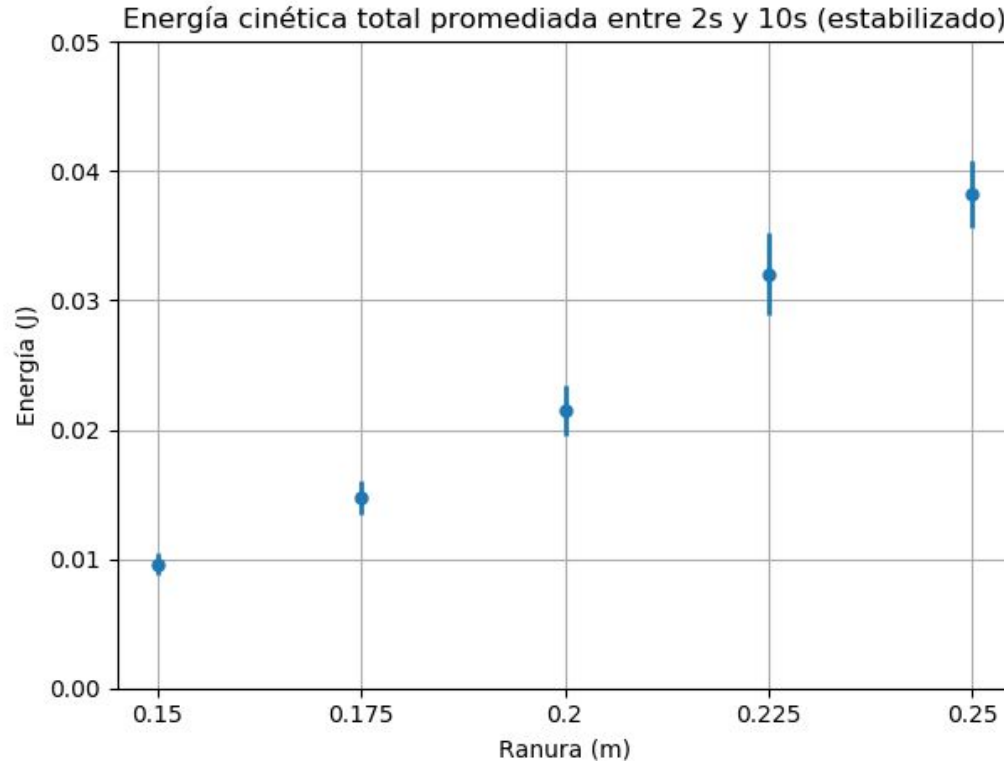
Ranura	Media	Desvío
0.150	303.494	3.414
0.175	383.917	3.698
0.200	499.467	8.312
0.225	660.963	16.858
0.250	740.148	19.193

El valor de c que minimiza el ECM de los datos con la función de Beverloo fue -1.244 y tiene un error de 8215.32

Flujo granular con distintos valores de d



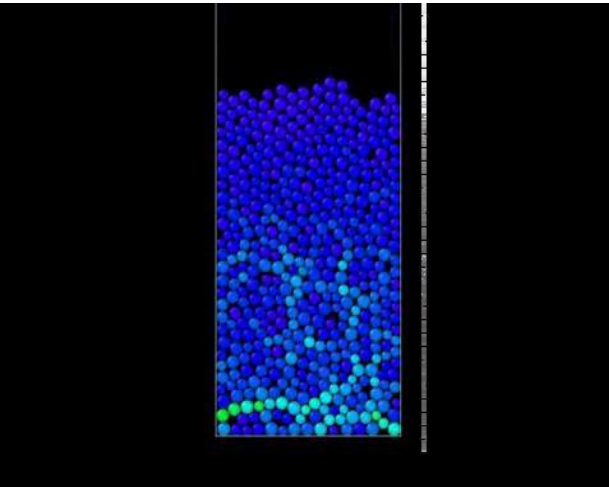
Flujo granular con distintos valores de d



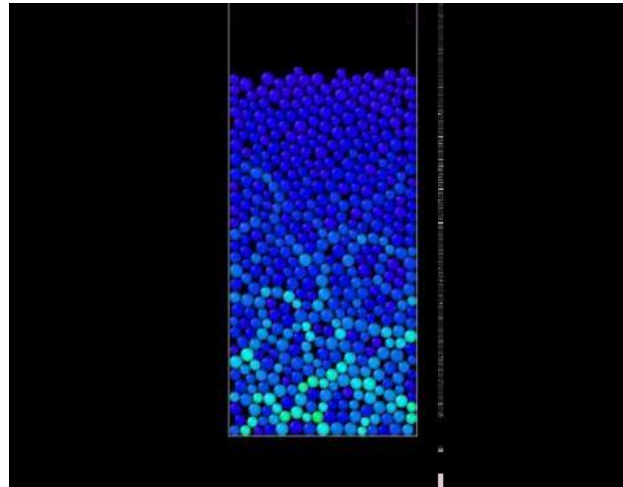


Silo sin ranura

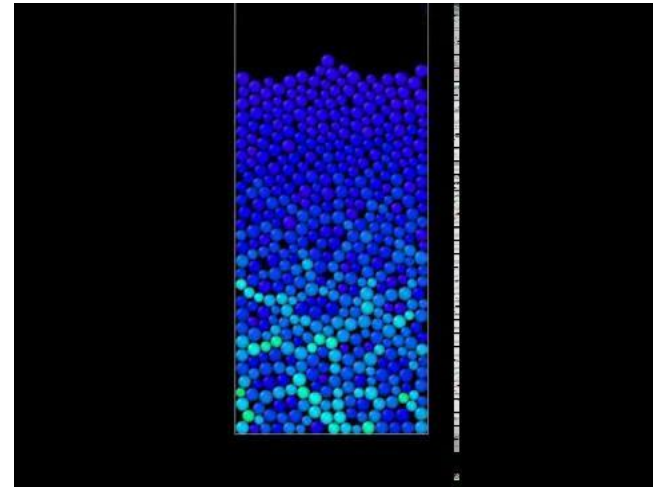
Animaciones



Gamma = 10 kg/s

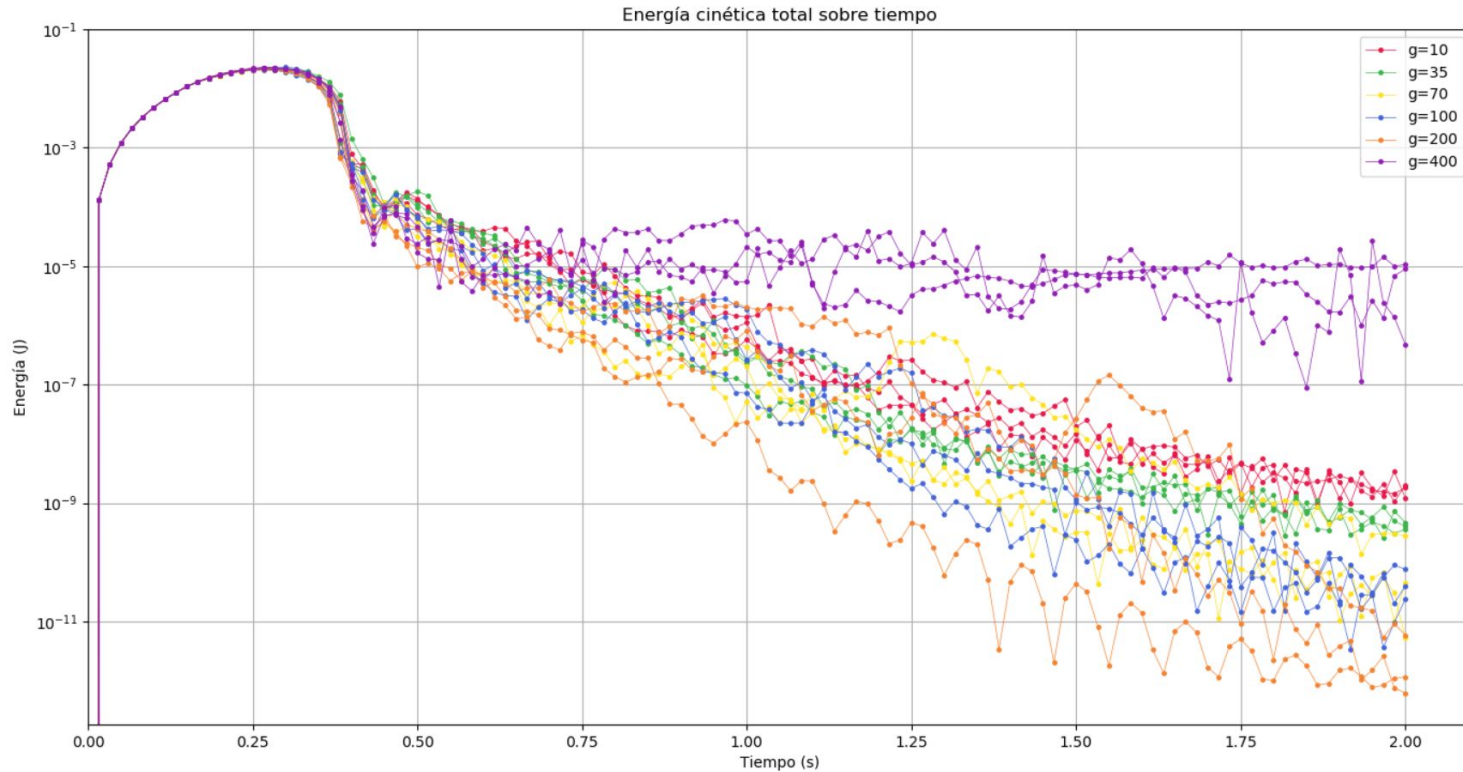


Gamma = 70 kg/s

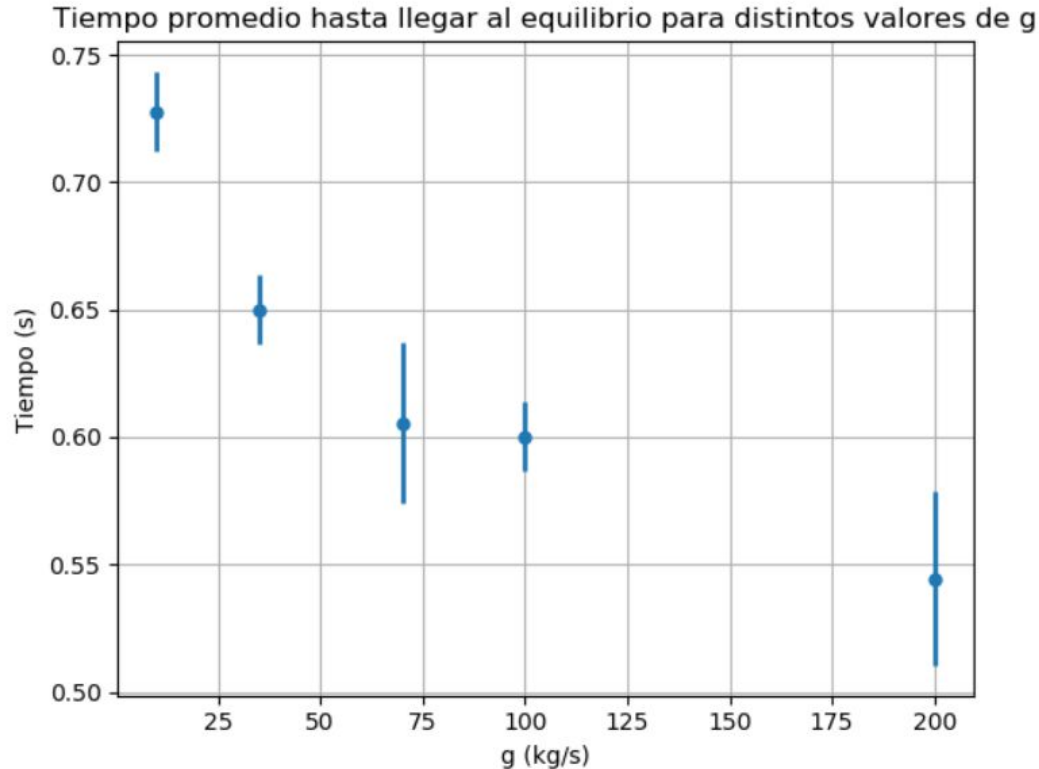


Gamma = 100 kg/s

Flujo granular con distintos valores de g



Flujo granular con distintos valores de g



Tomando como equilibrio cuando la energía cinética del sistema es menor a 10^{-6} J



Conclusiones



Conclusiones

- Si la ranura es de mayor ancho, la energía cinética del sistema es mayor.
- A medida que se aumenta el g , el tiempo necesario para llegar al equilibrio en el caso de una caja cerrada es menor.
- El caudal se pudo aproximar al modelo de Beverloo con un parámetro de $c=-1.244$