



# TP 5

# Medios Granulares

Grupo 13

Galende, Lautaro

Ratti, Valentín

# Introducción



# Introducción

- Constituido por partículas macroscópicas.
- Interactúan entre sí a partir de fuerzas normales y tangenciales.
- Interacciones altamente disipativas, el sistema llega al reposo si no recibe energía del exterior o propia.
- Sistemas densos:  $t_{\text{choque}} \gg t_{\text{vuelo}}$

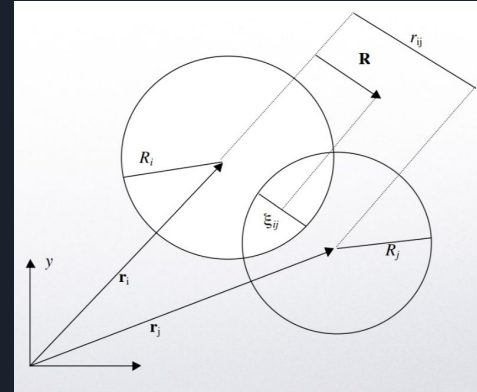
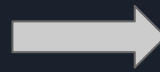
# Fundamentos

Superposición entre partículas

$$\xi_{ij} = R_i + R_j - |\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|$$

Superposición entre partícula y pared

$$\xi_{ij} = R_i - |\mathbf{r}_{ip}|$$



Fuerzas normal y tangencial

N.2)  $\mathbf{F}_N = \underbrace{-k_n \xi}_{F_N} \hat{\mathbf{n}}$

T.3)  $\mathbf{F}_T = - \underbrace{k_T \xi}_{F_T} [\dot{\mathbf{r}}_{rel} \cdot \hat{\mathbf{t}}] \hat{\mathbf{t}}$



# Fundamentos

Caudal (Ley de Beverloo)

$$Q \approx n_p \sqrt{g} (d - cr)^{1,5}$$

Presión para una partícula

$$P = \frac{\sum_i^n F n_i}{2\pi\rho}$$

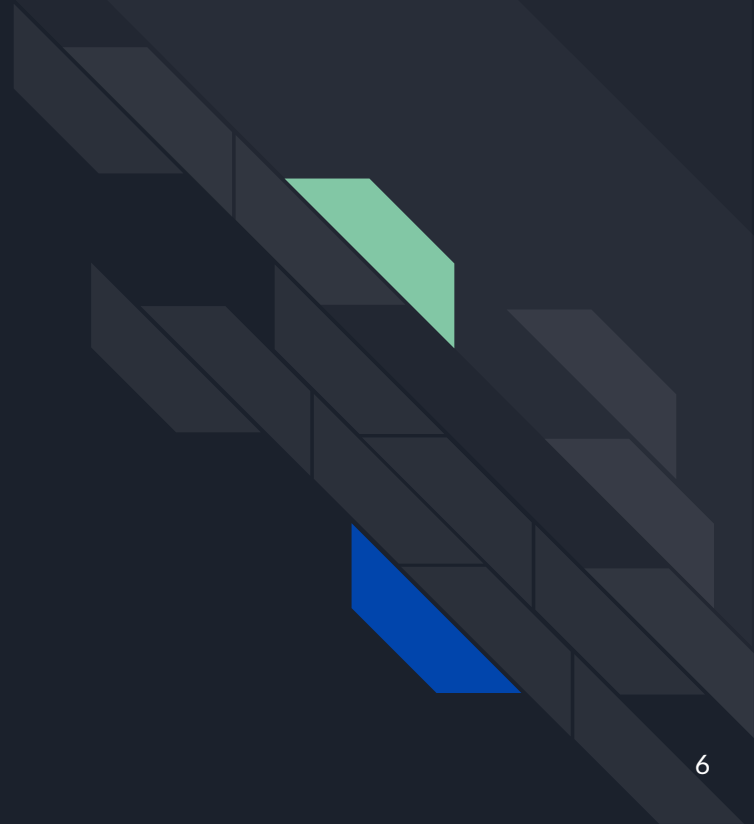
Energía Cinética

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

Sliding Window

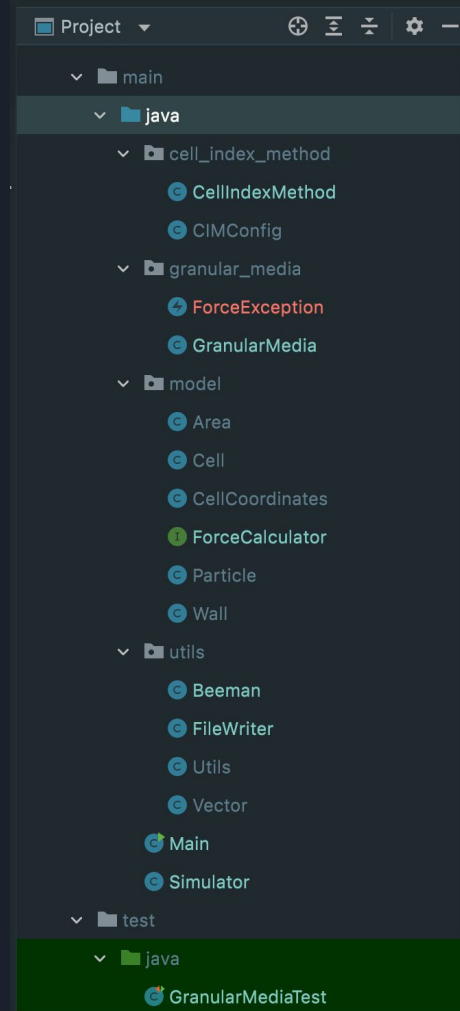
- Fija la cantidad partículas
- $\text{Window}(x,y) = N / (T_y - T_x)$

# Implementación

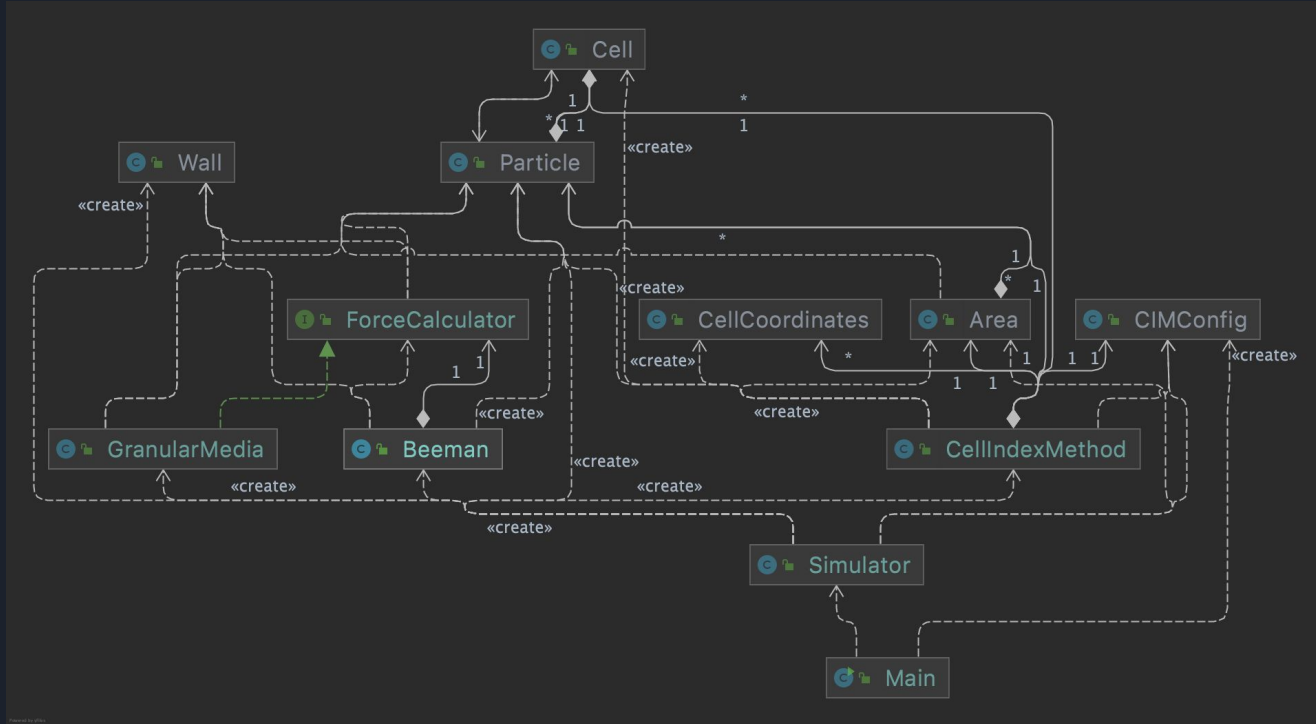


# Implementación

- Java 8
- Cell Index Method reutilizado
- Integrador Beeman reutilizado
- Ovito
- Python → Matplotlib

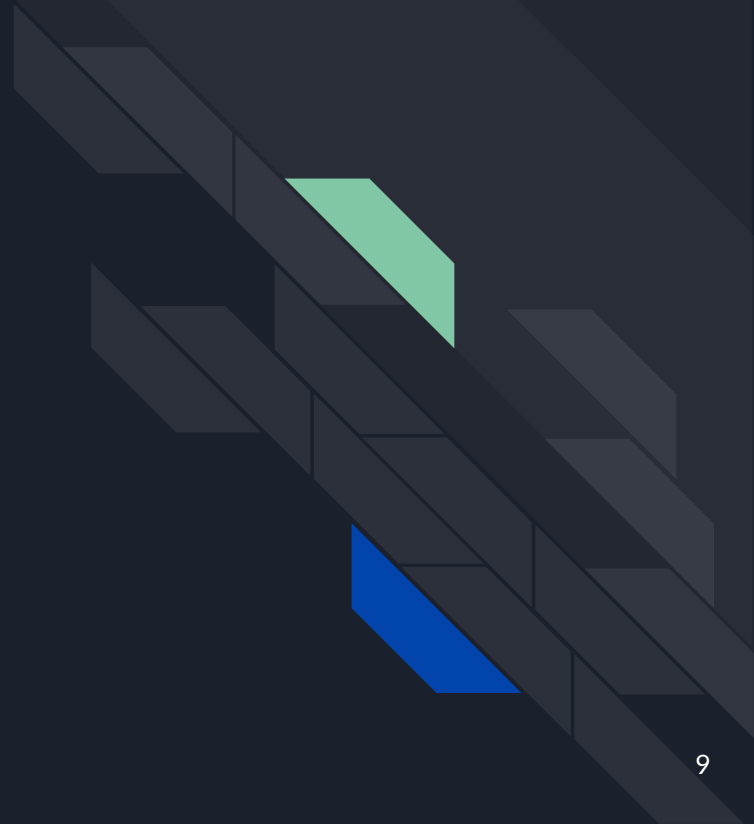


# Diagrama UML



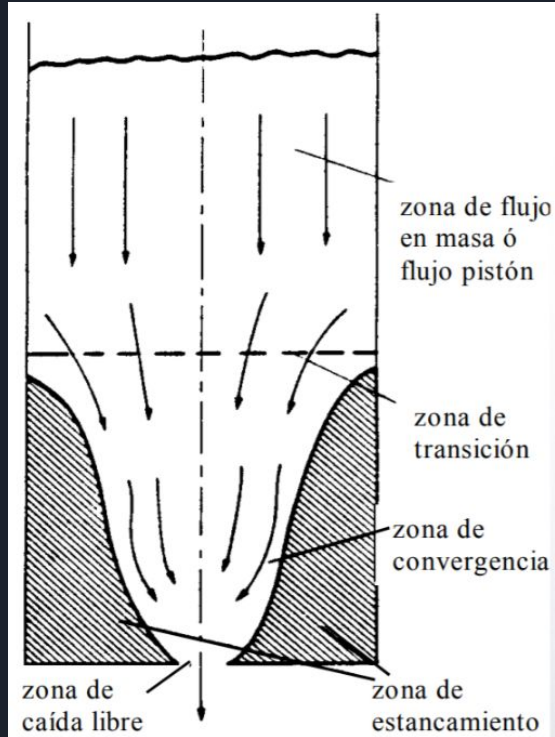


# Simulaciones



## Esquema del sistema a simular

Ejemplo flujo granular gravitatorio en silos



## Parámetros

- $L = 1 \text{ m}$
- $W = 0.3 \text{ m}$
- $D$  en  $[0.15, 0.18, 0.22, 0.24]$
- $K_n = 10^5 \text{ N/m}$
- $K_t = 2 K_n = 2 * 10^5 \text{ N/m}$
- Partículas (N) = 300
- 5 segundos de simulación
- $DT = 5 / 3 * 10^{-5}$



# Outputs

- Posición, velocidad y presión de las partículas
- Caudal
- Energía cinética

# Observables

- Caudal
  - Evolución temporal para distintas aperturas
  - Valor medio y desvío estándar para distintas aperturas
  - Ajuste del parámetro libre para la ley de Beverloo
  - Error del ajuste

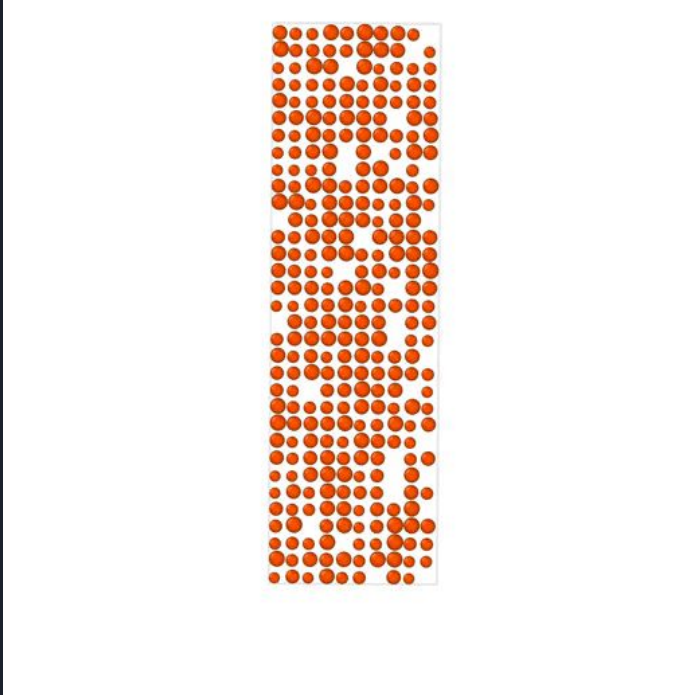
$$E(c) = \sum_i [y_i - f(x_i, c)]^2$$

- Energía cinética
  - Evolución temporal para distintas aperturas
- Silo cerrado (sin apertura)
  - Energía residual promedio
    - Suma de las energías / nro de muestras (luego de alcanzar estado de relajación)

# Resultados

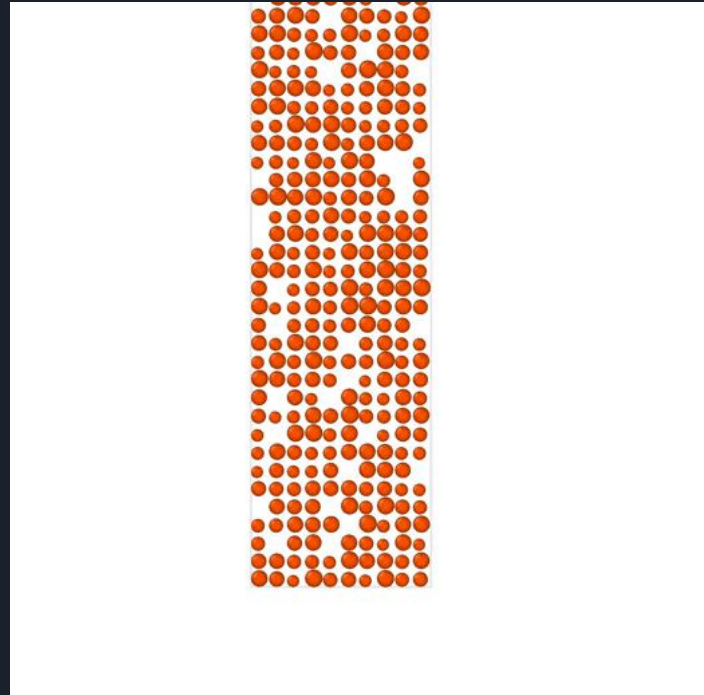
## Color en base a la presión sobre la partícula

0.15



<https://drive.google.com/file/d/1hXgnjkiKU7aVcxTvNWGUvPVM1qCezrnF/view?usp=sharing>

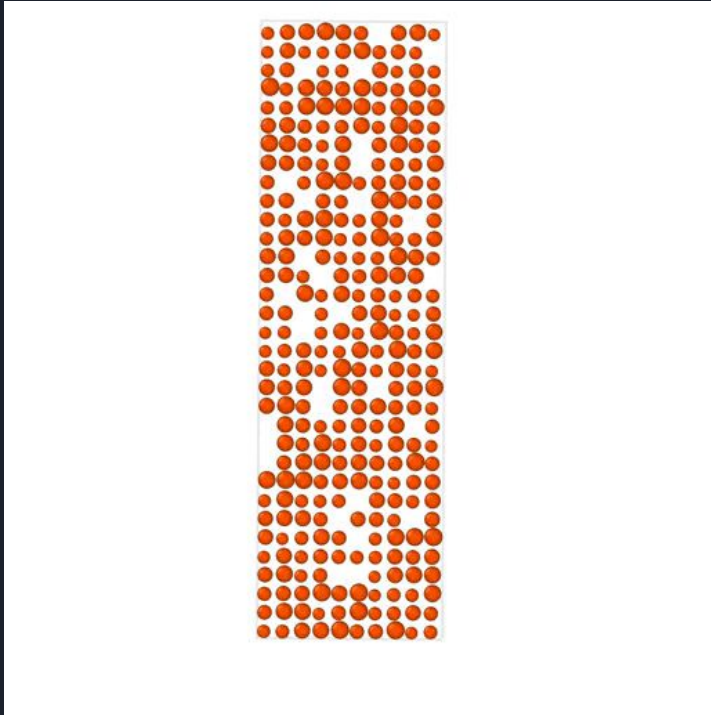
0.18



<https://drive.google.com/file/d/1cftuwLsc7KZSHfN8VWCJLzX4naF3cxCT/view?usp=sharing>

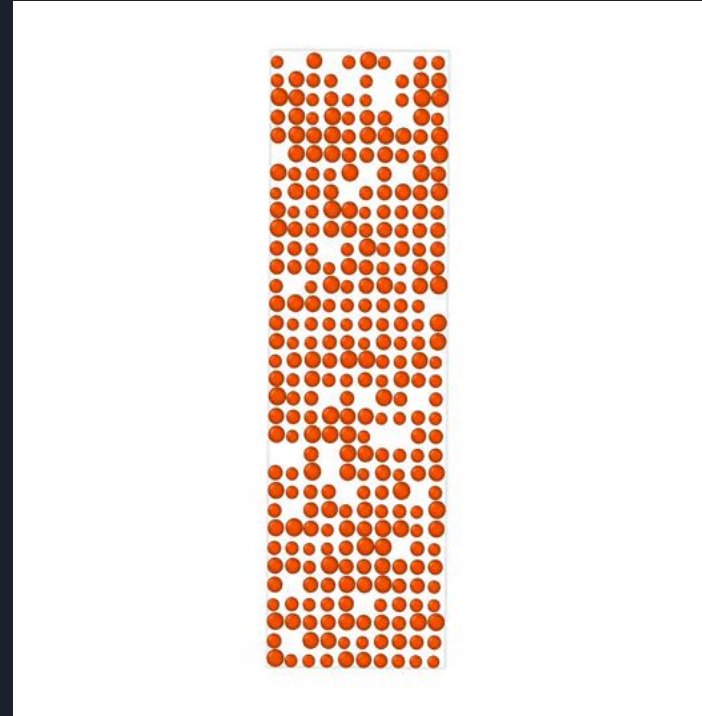
## Color en base a la presión sobre la partícula

0.22



<https://drive.google.com/file/d/1OduOnAhr1uCH3VWe3ytZYRuiqOzyxSI3/view?usp=sharing>

0.24

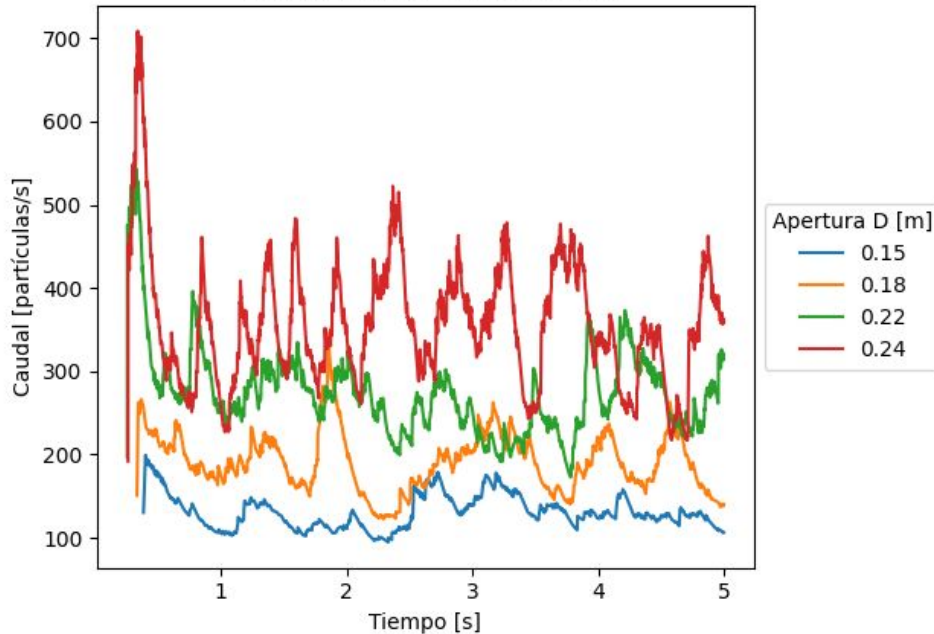


[https://drive.google.com/file/d/1uuuLZaWqJ\\_kvjii68fqP-pYd29\\_C3F6s/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1uuuLZaWqJ_kvjii68fqP-pYd29_C3F6s/view?usp=sharing)

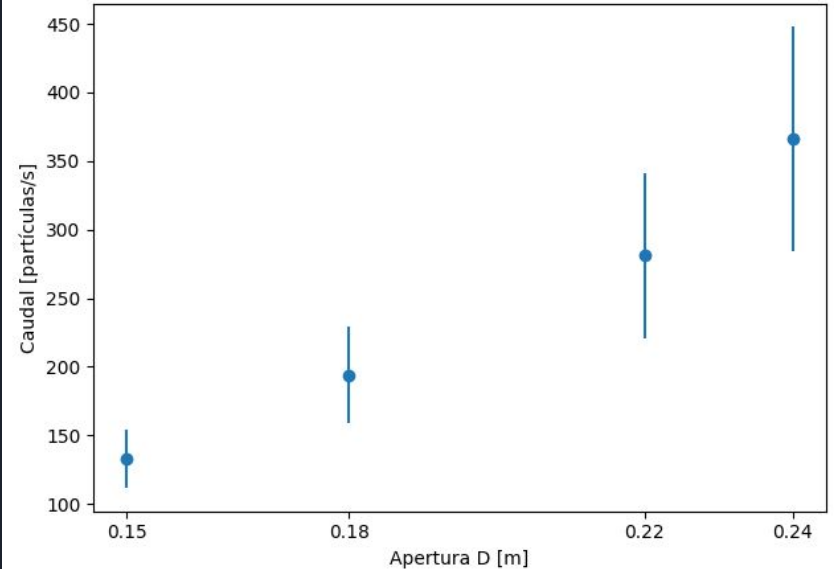


## Caudal para diferentes aperturas D

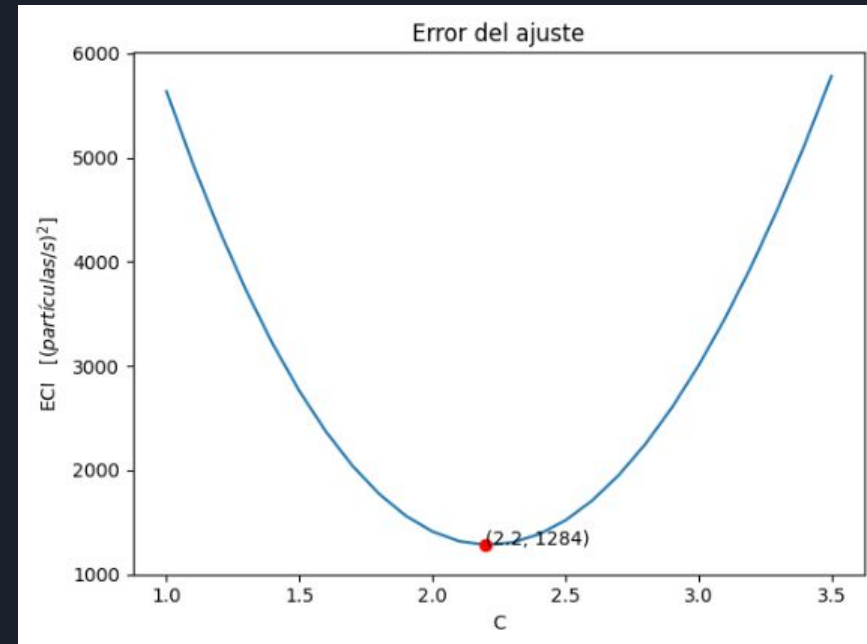
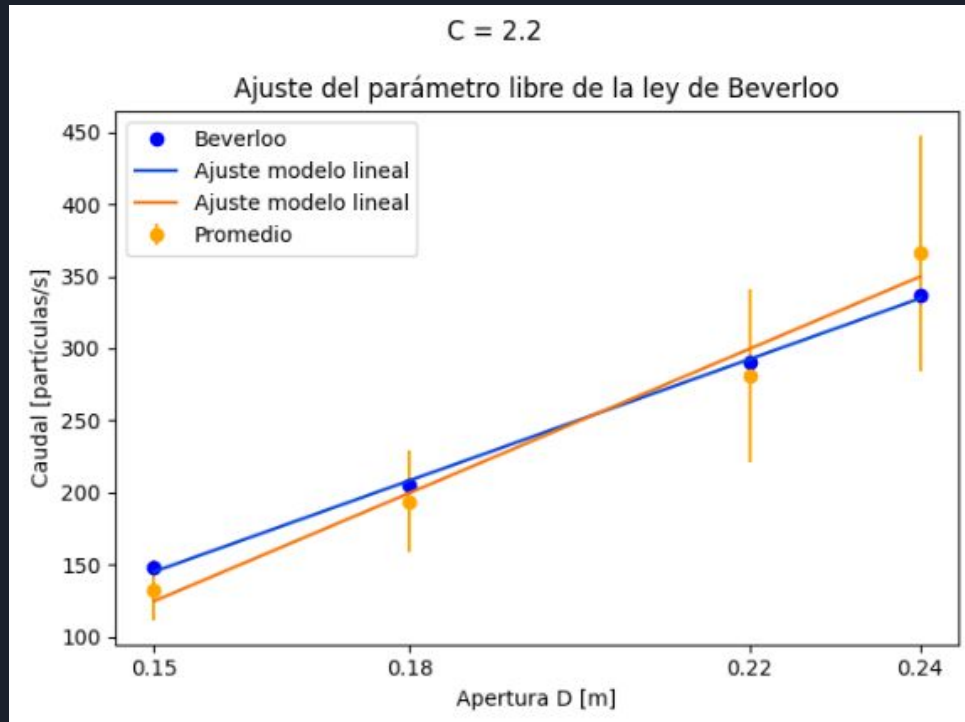
Evolución temporal del caudal



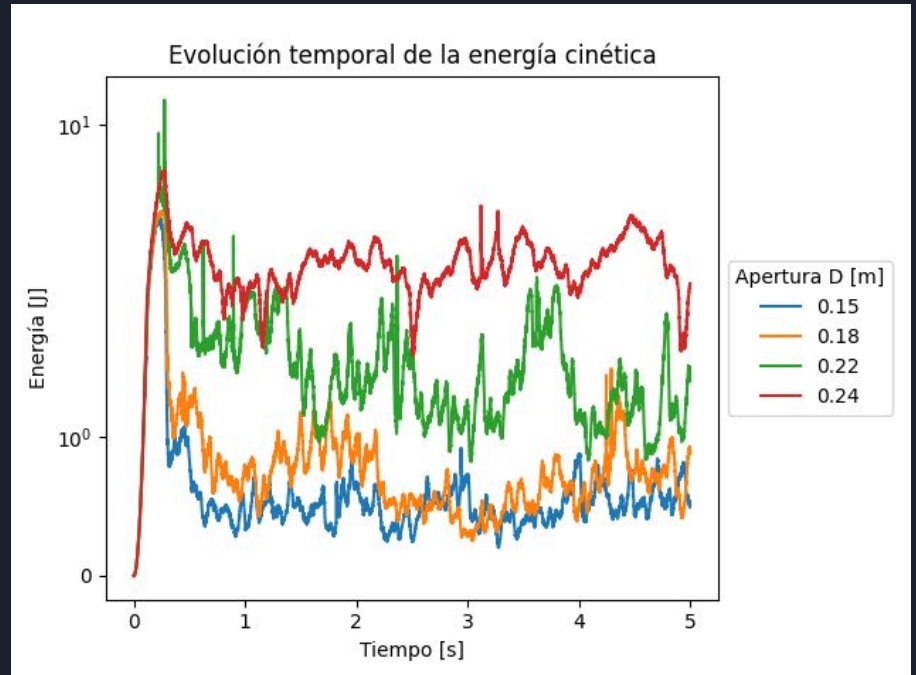
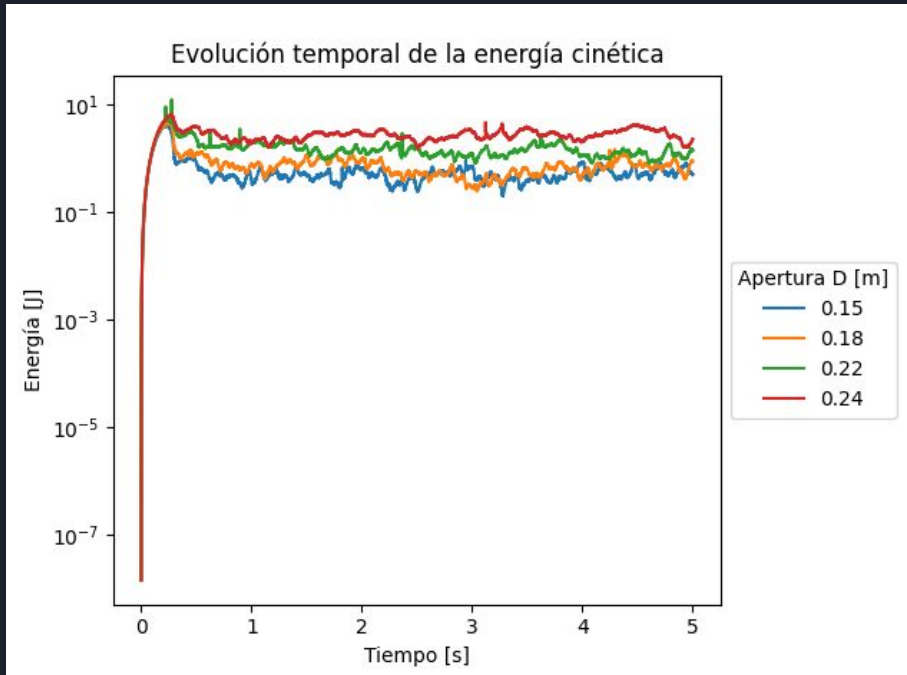
Valor medio y desviación estándar del caudal



## Caudal - Ajuste del parámetro libre de la Ley de Beverloo



## Evolución de la energía para diferentes aperturas D



## Silo cerrado - Evolución de la energía variando $Kt$

Color en base a  $V_y$

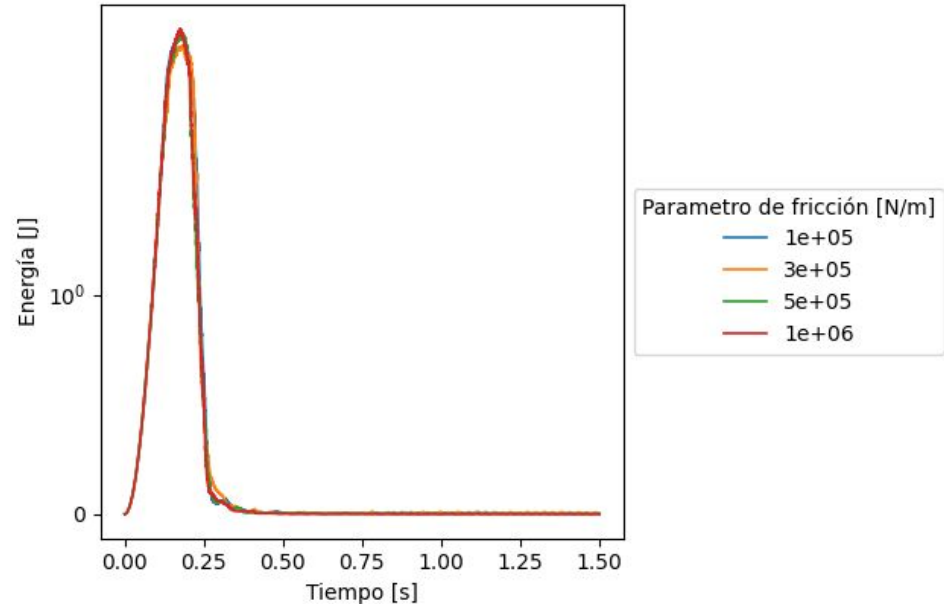


clideo.com

<https://drive.google.com/file/d/1U9nBP8yKSIU6eaBKSJ75vhp54j9vGAIL/view?usp=sharing>

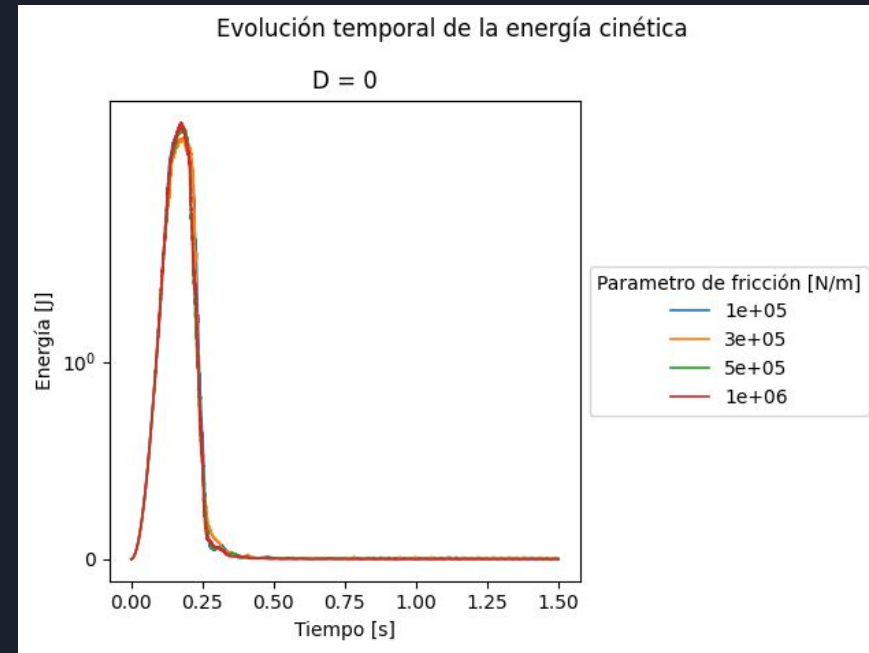
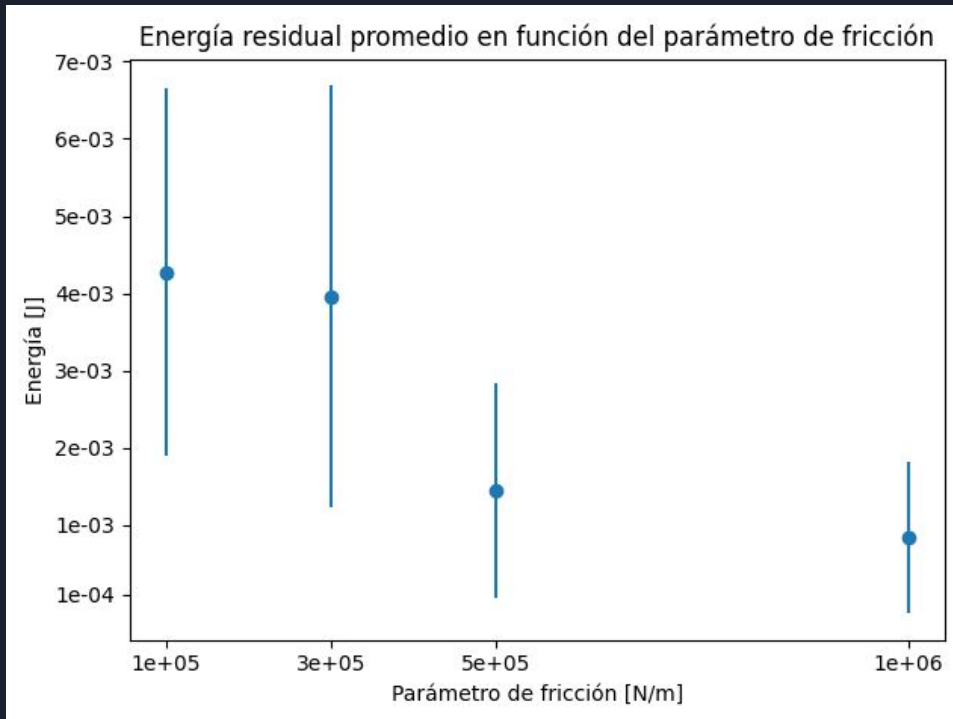
Evolución temporal de la energía cinética

$D = 0$



## Silo cerrado - Energía residual promedio variando $K_t$

Promediado a partir de  $t = 0.5s$





## Conclusiones

- Las partículas más cerca de las paredes tienen un comportamiento más lento. Se forman arcos de presión.
- A mayor apertura, mayor energía cinética y caudal.
- El desvío estándar del caudal crece al aumentar  $D$ .
- Pico de energía al inicio cuando descienden por primera vez las partículas.
- Apertura cerrada: A mayor  $K_t$ , menor energía residual promedio.
  - Pues aumenta el rozamiento haciendo disminuir las velocidades y, por lo tanto, la energía cinética.



Gracias