TP5: Medios granulares

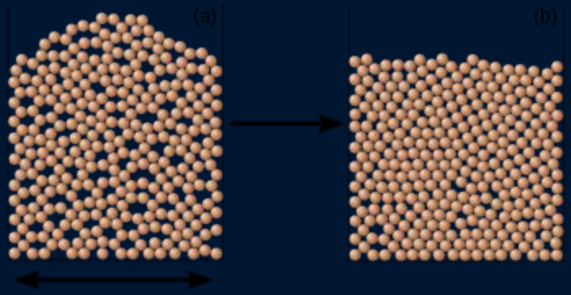
Grupo 5
Tomás Álvarez Escalante (60127)
Lucas Agustín Ferreiro (61595)
Román Gómez Kiss (61003)

Introducción

Fundamentos y modelo

Fundamentos del sistema

- Sistema de partículas macroscópicas
- Interacciones disipativas por fuerzas de contacto normales y tangenciales
- Sistemas densos $t_{choque} >> t_{vuelo}$



Modelo

Fuerza de contacto normal

$$F_{N_{ij}} = \left[-k_n \xi - \gamma \dot{\xi} \right] \widehat{n}$$

Fuerza de contacto tangencial

$$F_{T_{ij}} = min \begin{cases} -\mu \left| F_N \right| sgn\left(\dot{r}_{rel} \hat{t} \right) \hat{t} \\ -k_T \sum_t \Delta t \, \dot{r}_{rel}{}^c \, \hat{t} \end{cases}$$

Suma de fuerzas

$$F_i^{Tot} = m_i g + \sum_j F_{N_{ij}} + \sum_j F_{T_{ij}}$$

Modelo

Superposición entre partículas

$$\xi_{ij} = R_i + R_j - \left| r_j - r_i \right|$$

Superposición partícula-pared

$$\xi_{ij} = R_i - \left| r_i \right|$$

Modelo

Velocidad relativa entre partículas

$$v_{rel} = \left(v_i - v_j \right)$$

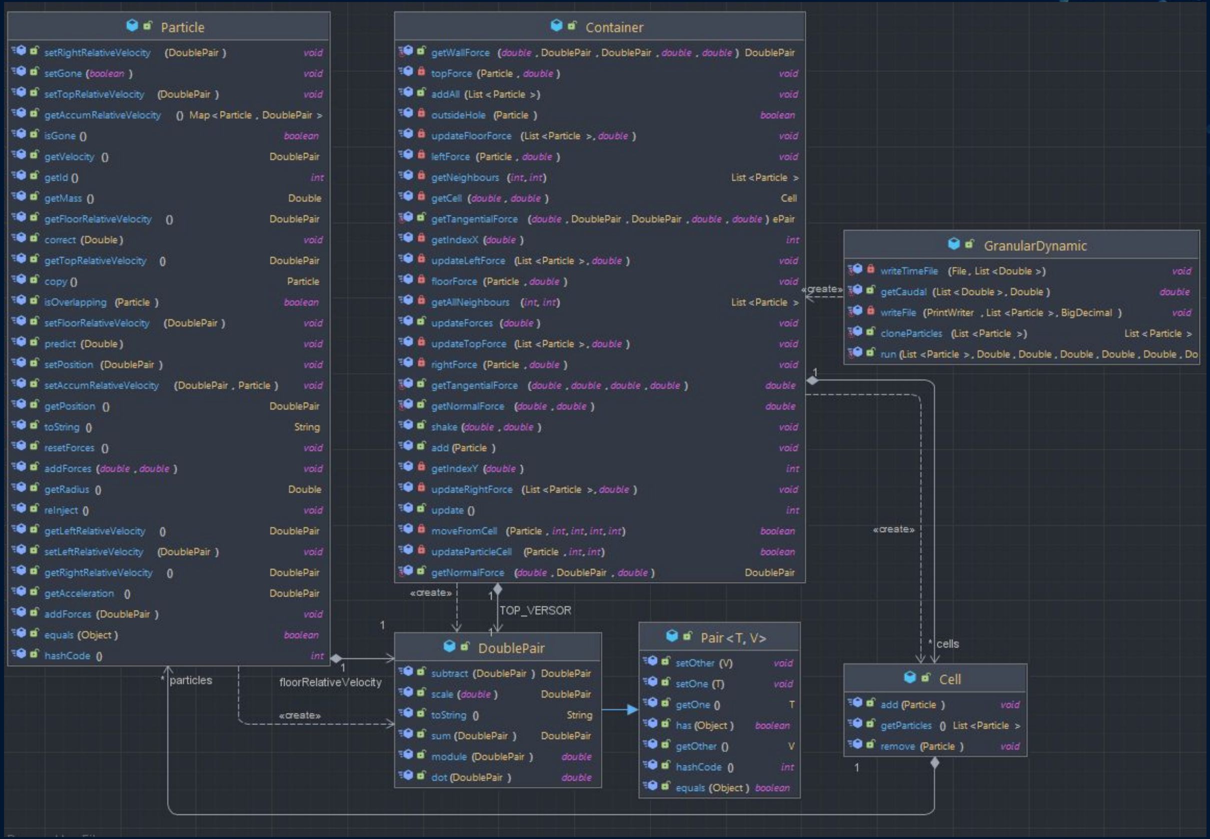
Velocidad relativa partícula-pared

$$v_{rel} = \left(v_i \right)$$

Implementación

Arquitectura y algoritmo

Diagrama UML



Pseudo-código

Algorithm 1: Algoritmo del modelo de Dinámica Granular

```
Generar partículas con (x,y) aleatorios sin superposición;
while t < t_f do
    Agitar el silo;
    for particle do
        Predecir posición con Beeman;
        Corregir con Beeman;
        Actualizar las fuerzas;
    Guardar el estado del sistema;
```

Simulaciones

Constantes, variables a estudiar y observables

Condiciones de la simulación

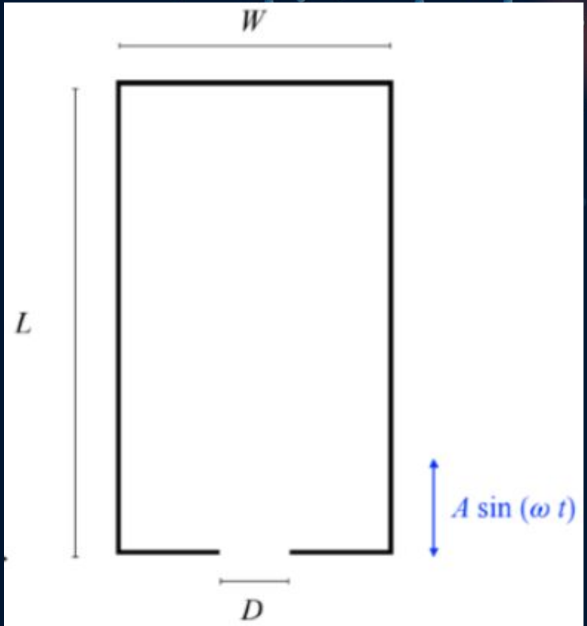
- Método de integración Beeman
- Condiciones de contorno cuasi-periódicas
- Si la partícula alcanza (L/10) cm por debajo de la salida, se reinyecta en y ε [40 cm, 70 cm] con v=0
- El silo vibra solo en su base por un forzado externo
- Partículas generadas en forma aleatoria sin superposición con v=0

Constantes

- $N = 200$
- $m_i = 1$ g
- $r = [0.85$ cm$;1.15$ cm$\}$
- $L = 70$ cm
- $W = 20$ cm
- $T_{max} = 1000$ s
- $dt = 10^{-3}$ s
- $A = 0.15$ cm
- $dt = 0.001$ s
- $k_N = 250$ dina/cm
- $|k_T| = 2.|k_T|$
- $\gamma = 2.5$ g/s
- $\mu = 0.1$
- $g = 5$ cm/s^2

Variables a estudiar

- Ancho de apertura de salida $D \in \{3, 4, 5, 6\}$ [cm]
- Frecuencia del forzado externo $\omega \in \{5, 10, 15,$ $20, 30, 50\}$ [rad/s]



Medio granular gravitatorio que fluye desde un silo 2D

Estudios a realizar

- Descarga ⟶ Nro. de partículas que salieron en función del tiempo
- Observable: Caudal (Q) ⟶ Número de partículas por unidad de tiempo
- Q en función de ω ⟶ ω que maximiza Q
- Q en función de D
- Comparación con Ley de Beverloo para silo 2D:

$$Q \approx n_p \sqrt{g}\,(d - cr)^{1.5} = B(d - cr)^{1.5}$$

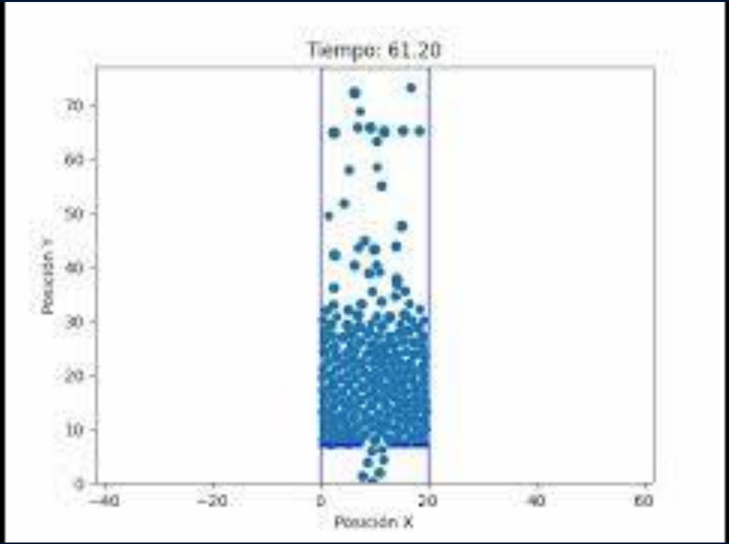
- Error de ajuste

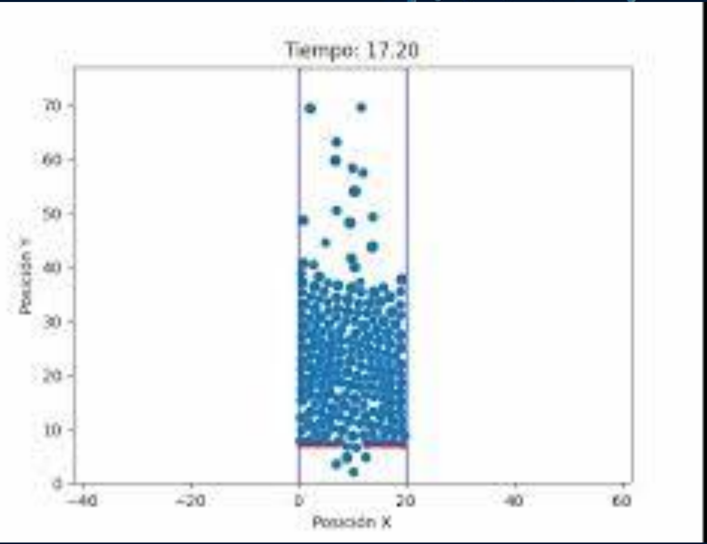
$$E(c) = \sum_{d \in D} \left[Q(d) - Q_{beverloo}(d, c) \right]^2$$

n_p ⟶ Nro. de partículas por unidad de volumen cr ⟶ Radio medio de partículas

Resultados

Animaciones y gráficos





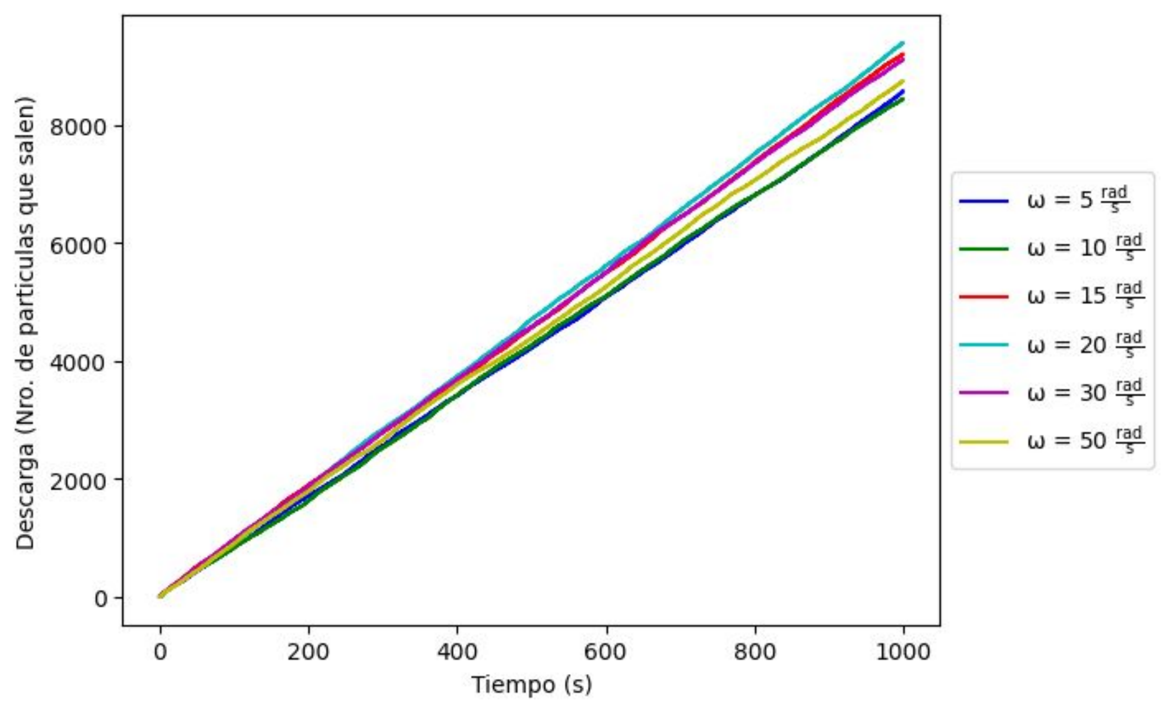
ω = 5 rad/s D = 5 cm

https://youtu.be/GeAW1jg_7wU

ω = 30 rad/s D = 5 cm

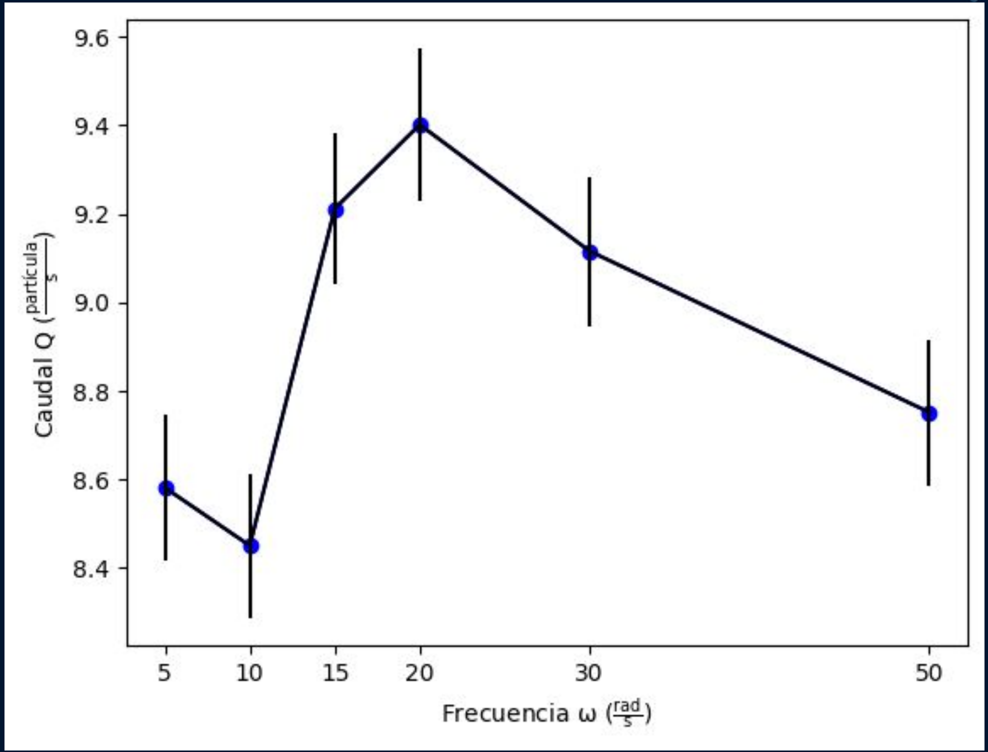
https://youtu.be/FUxutN9PgXQ

Descarga en función del tiempo

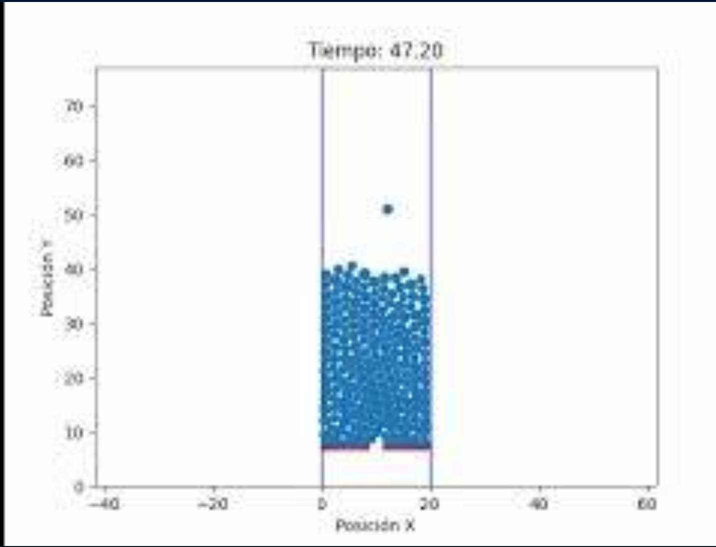


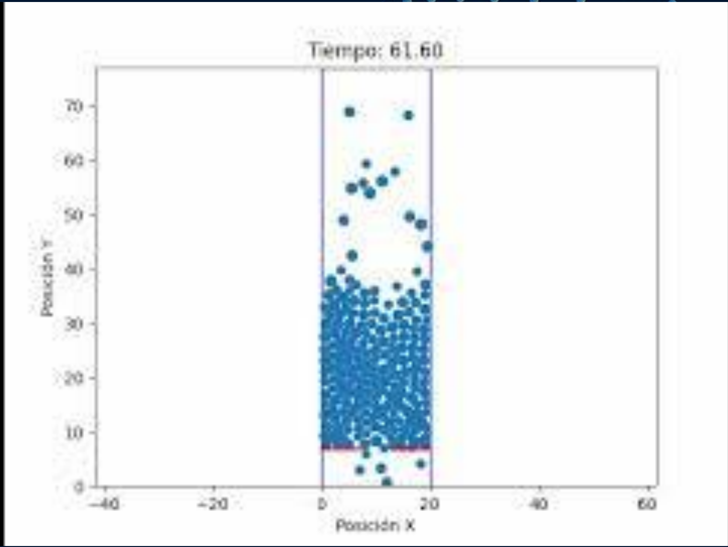
D = 5 cm

Caudal en función de la frecuencia



D = 5 cm





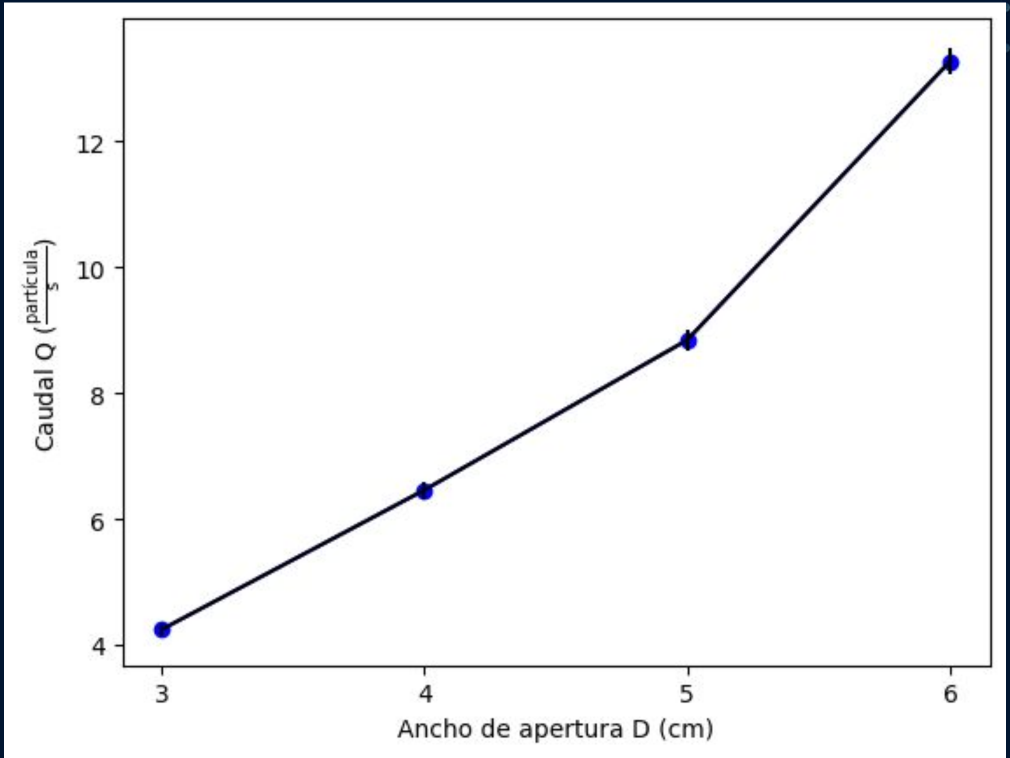
$\omega = 20$ rad/s D = 3 cm

https://youtu.be/kh8_fUBbzeM

$\omega = 20$ rad/s D = 6 cm

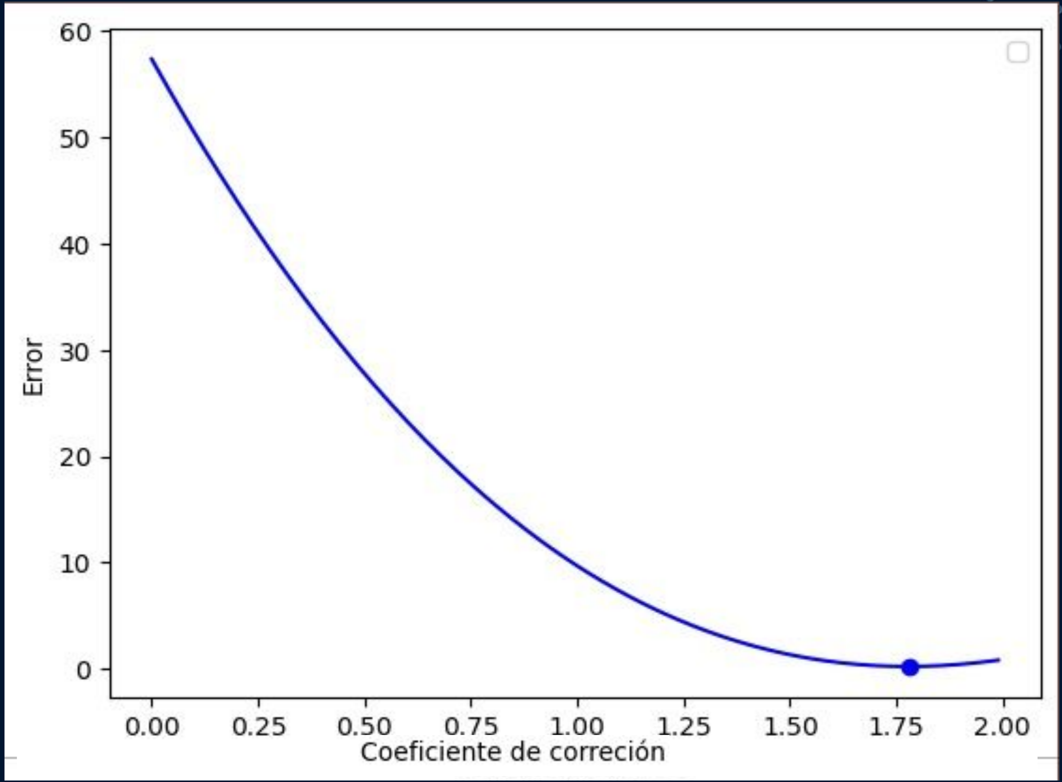
https://youtu.be/mhd63H9O-BU

Caudal para distintos tamaños de apertura



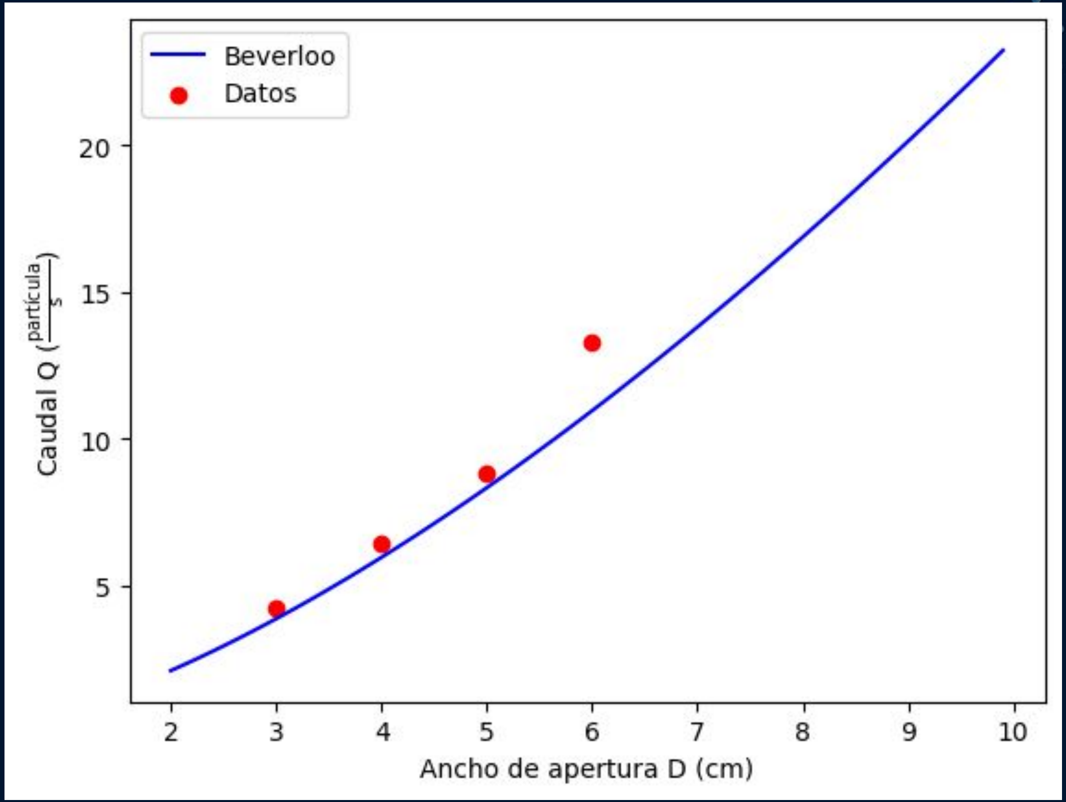
ω = 20 rad/s

Error de ajuste del parámetro libre



ω = 20 rad/s

Comparativa de los datos y Ley de Beverloo



ω = 20 rad/s

Conclusiones

1. La frecuencia que maximiza el caudal es $\omega = 20$ rad/s
2. El caudal no siempre aumenta a medida que la frecuencia lo hace
3. A mayor tamaño de apertura del silo, el caudal aumenta
4. Las simulaciones cumplen con la Ley de Beverloo

¡Muchas gracias!