Grupo 4

Trabajo Práctico N° 5

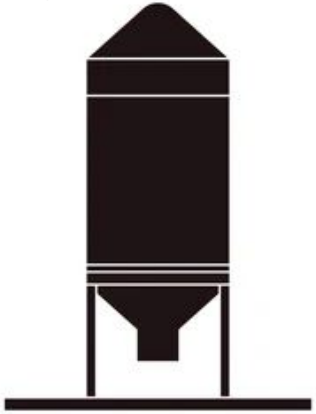
Medios Granulares

- Banfi, Malena - 61008
- Caeiro, Alejo Francisco - 60692
- Fleischer, Lucas - 61153

Introducción

Sistema Real

- Sistema constituido de muchas partículas macroscópicas
- Interacción a través de fuerzas de contacto normales y tangenciales
- Interacciones altamente disipativas, el sistema llega al reposo si no recibe energía del exterior o propias



Fundamentos

Definición de variables geométricas

Superposición entre partículas

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

Superposición entre partícula y pared

$$\boxed{\xi_{ij} = R_i - |r_{ip}|}$$

Velocidad relativa
entre partículas

$$\boxed{\dot{r}^{c}_{rel} = (\dot{r_i} - \dot{r_j})}$$

Velocidad relativa entre
partícula y pared

$$\boxed{\dot{r} = (\dot{r_i})}$$

Definiciones de Fuerzas

Fuerza de contacto normal

$$F_N = [-k_n\xi - \gamma\dot{\xi}]\hat{n}$$

Fuerza de contacto tangencial

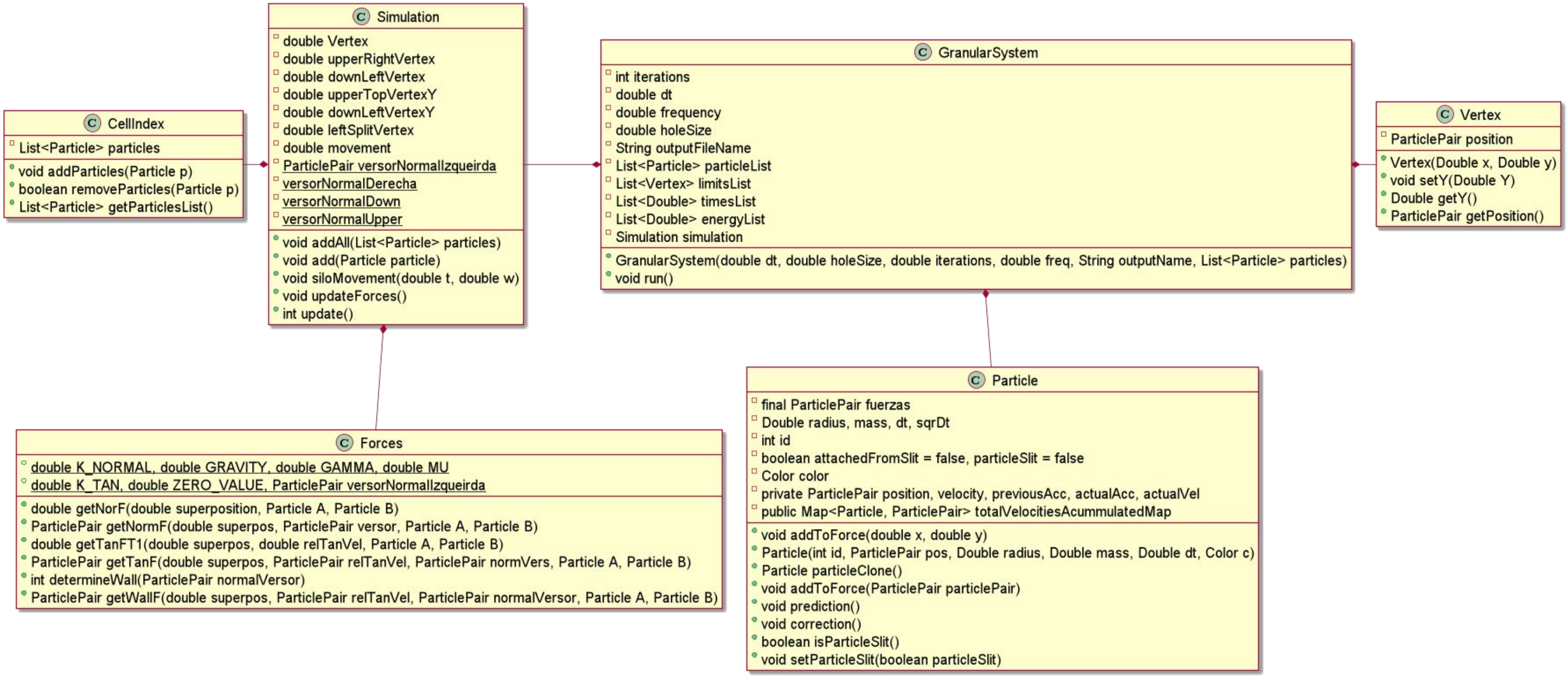
$$t_c = \begin{cases} -u|F_N|sgn(\dot{r}_{rel}.\hat{t})\hat{t} \\ -k_T\xi_T\hat{t} \end{cases} \quad donde \;\; \xi = \sum_t \Delta t \dot{r}^c_{rel}(t)$$

Suma de fuerzas proyectadas

$$F_i^{Tot} = m_i g + \sum_j F_{Nij} + \sum_j F_{Tij}$$

Implementación

Diagrama UML



Pseudocódigo

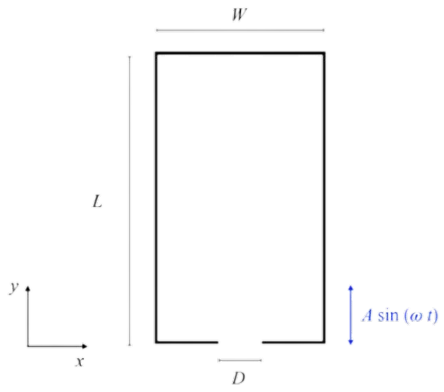
GranularSystem.java

```
void run(){
  for(int i=0 ; i < iterations ; i++){
    simulation.siloMovement(i*dt, frequency)

    particles.foreach(predict())

    simulation.uptadeForces()

    particles.foearch(correction())

    simulation.uptadeForces()
  }
}
```

Simulación

Sistema a simular

- N partículas inicialmente no superpuestas, con velocidad cero, radio *r* y masa *m* constante.
- Fluyen en un silo de ancho *W* y alto *L* con una apertura de salida de ancho *D.* Caen hasta L/10 cm y se reinyecta.
- El silo está vibrando en su base.
- Paso temporal fijo Δt1 y Δt2 fijo para imprimir el estado del sistema.
- Método de integración Beeman.



Variables de entrada: Parámetros fijos y variables

Parámetros fijos:

- N = 200
- m = 1 g
- W = 20 cm
- L = 70 cm
- A = 0.15 cm
- $\Delta t1 = 10^{-3}$ s
- $\Delta t2 = 10^{-1}$ s
- $r_i \in$ Uniforme [0.85, 1.15] cm
- T_f = 1000 s
- K_N = 250 dina/cm
- $K_T = 2|K_N|$
- γ = 2.5 g/s
- g = 5 cm/s^2

Parámetros variables:

- ω = [5, 10, 15, 20, 30, 50] rad/s
- D = [3, 4, 5, 6] cm
- $\mu = [5.10^{-1}, 7.10^{-1}]$

Observables

- Curva de Descarga
- Caudal (Q) en función de ω
- Caudal (Q) en función de D
- Ajuste del parámetro libre de la Ley de Beverloo:

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

- Error Cuadrático Medio :

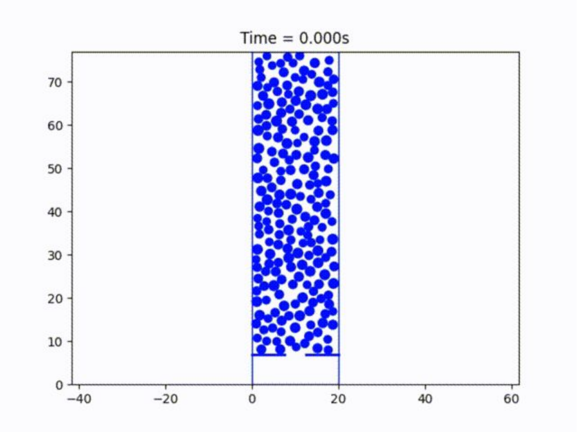
$$E(c) = \sum_{d \in D} [Q(d) - beverloo(d, c)]^2$$

Resultados

Animaciones variando ω

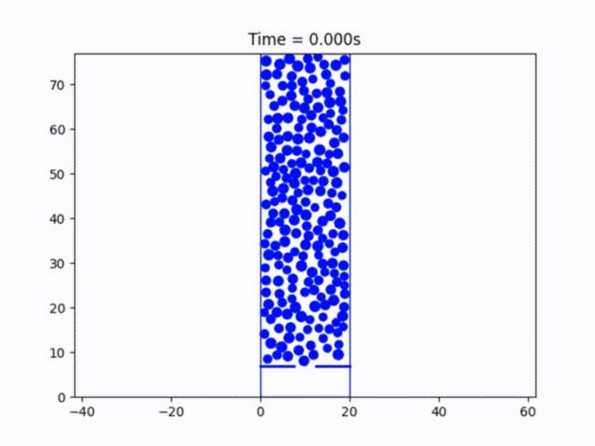
- D = 5 cm
- μ = 0.7

ω = 5 rad/s



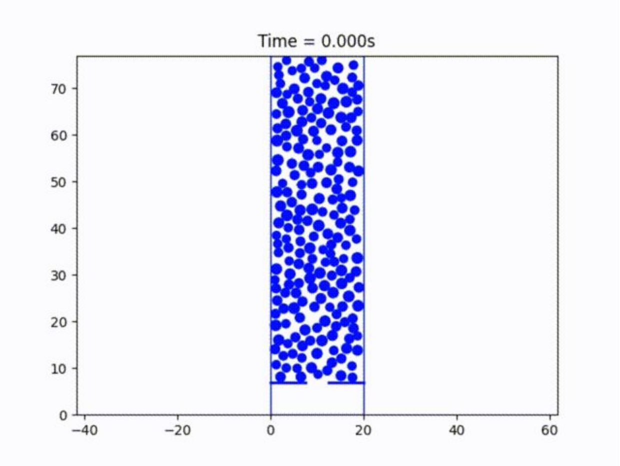
https://youtu.be/bng3H-yIUKU

ω = 20 rad/s



https://youtu.be/ZZD5yOYA65I

ω = 50 rad/s

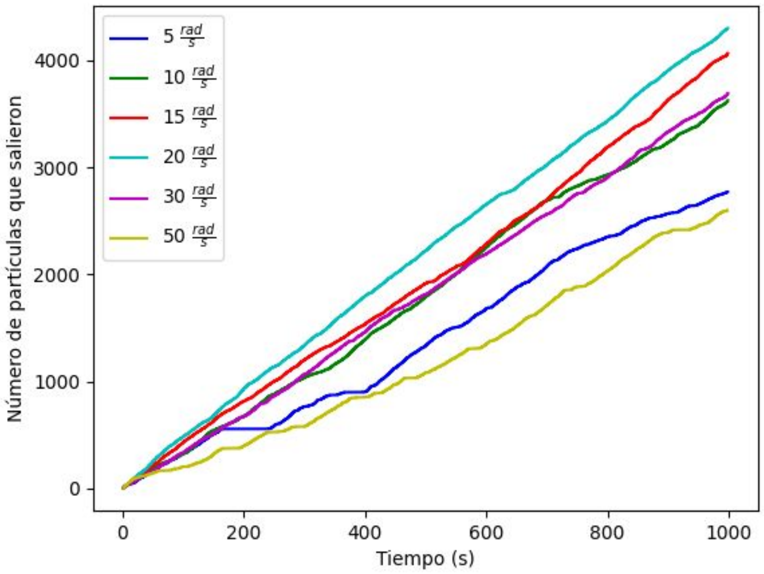


https://youtu.be/SCozr3A21hM

Gráfico de las curvas de descarga vs tiempo

- D = 5 cm

μ = 0.7



μ = 0.5

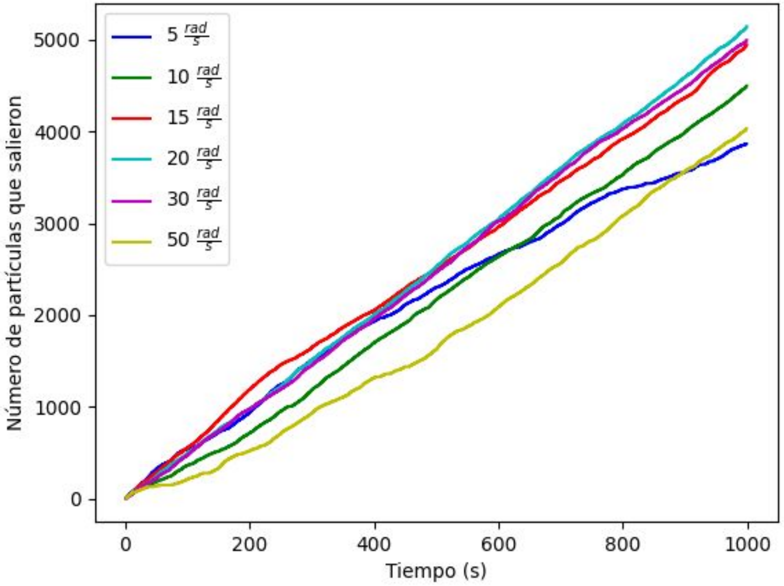
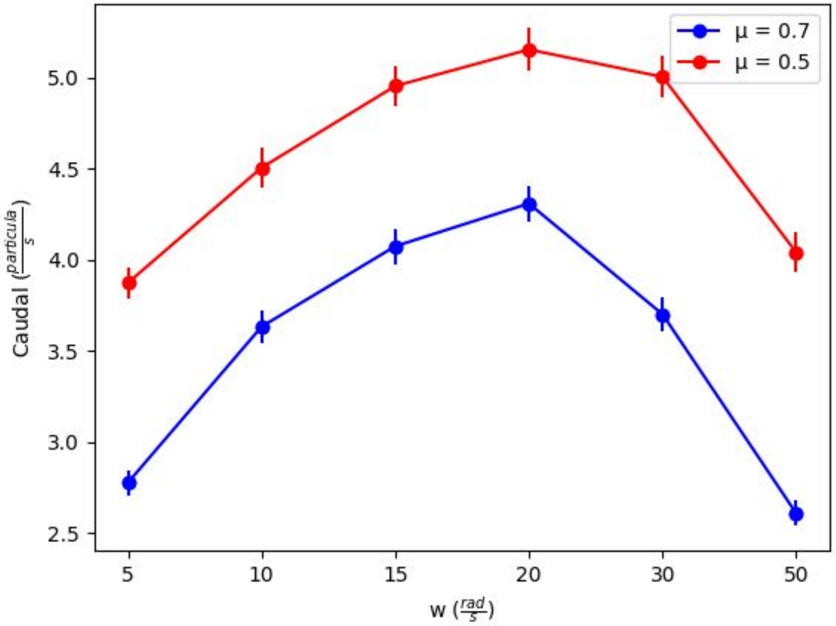


Gráfico del caudal vs ω

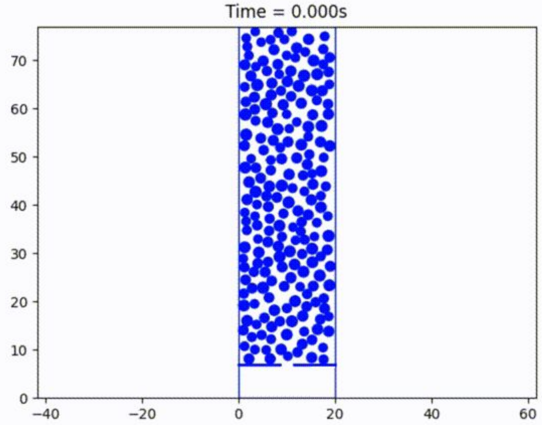
- D = 5 cm



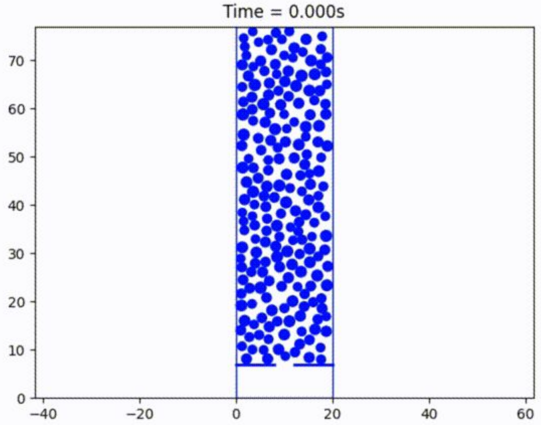
Animaciones variando la apertura

- ω = 20 rad/s

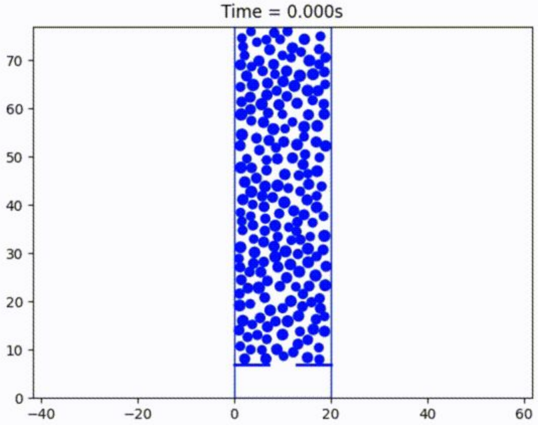
D = 3 cm



D = 4 cm



D = 6 cm



https://youtu.be/xcQfdwBMp14

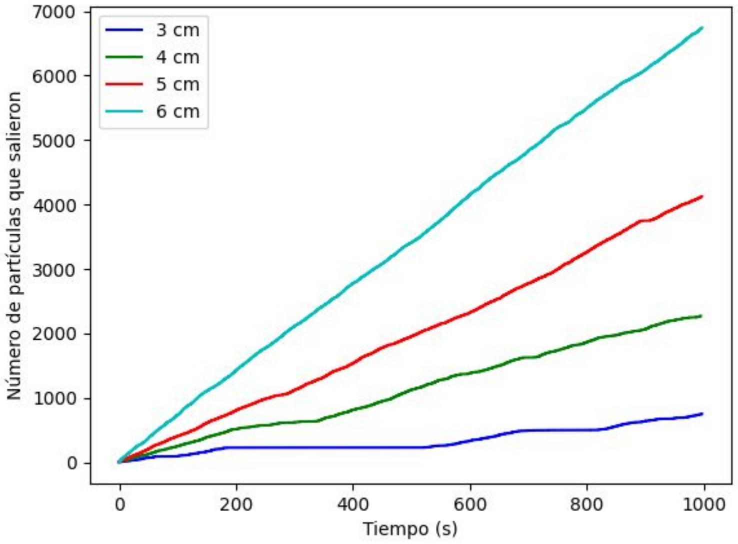
https://youtu.be/_1P3TFFASaY

https://youtu.be/Tv2xBHVmZyQ

Gráfico de las curvas de descarga vs tiempo

- ω = 20 rad/s

μ = 0.7



μ = 0.5

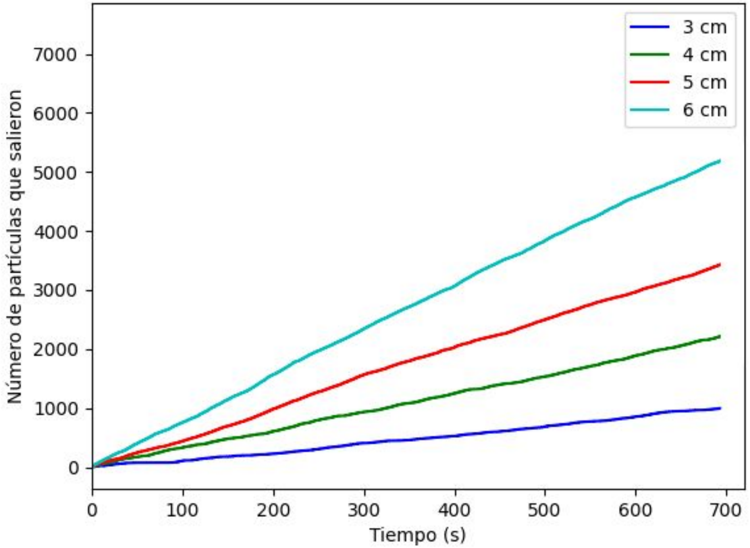


Gráfico del caudal en función del ancho de la rendija

- ω = 20 rad/s

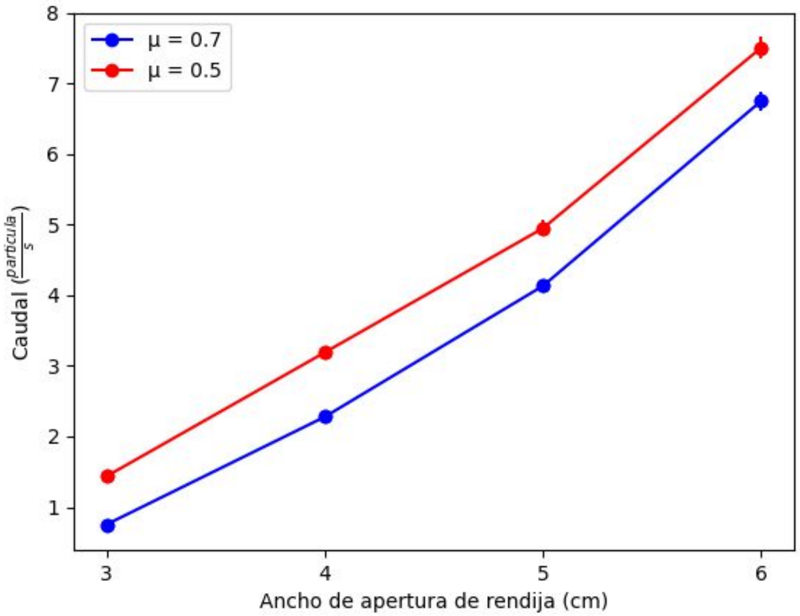
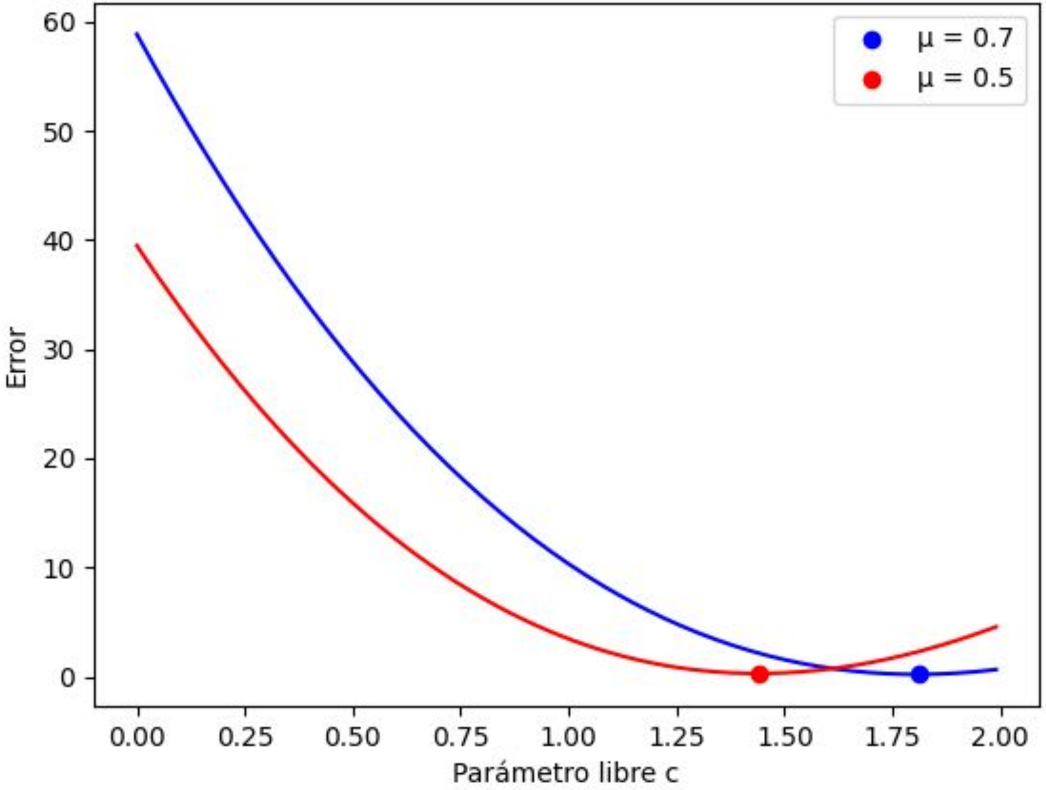
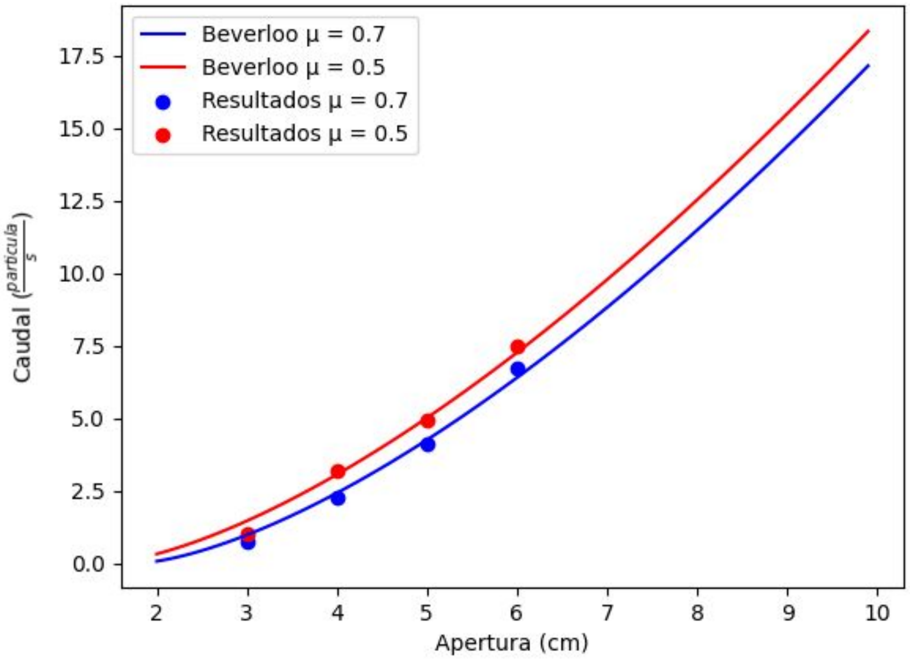


Gráfico del parámetro libre de Beverloo

- μ=0.7
  - c = 1.81
  - E(c) = 0.205
- μ=0.5
  - c = 1.44
  - E(c) = 0.286



Resultados de Beverloo



Conclusiones

Conclusiones

- Con una frecuencia angular de 20 rad/s se obtiene el mayor caudal
- Incrementar el movimiento del silo no siempre permite incrementar el flujo
- A mayor D mayor caudal
- A mayor μ menor caudal
- Las simulaciones se ajustan de manera consistente con la Ley de Beverloo

Fin

¡Muchas gracias!