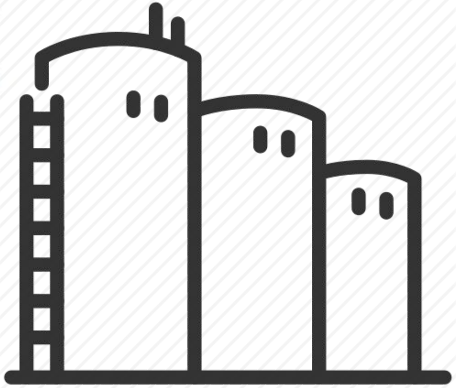
TP N° 5: Granular Flow

Grupo N° 5



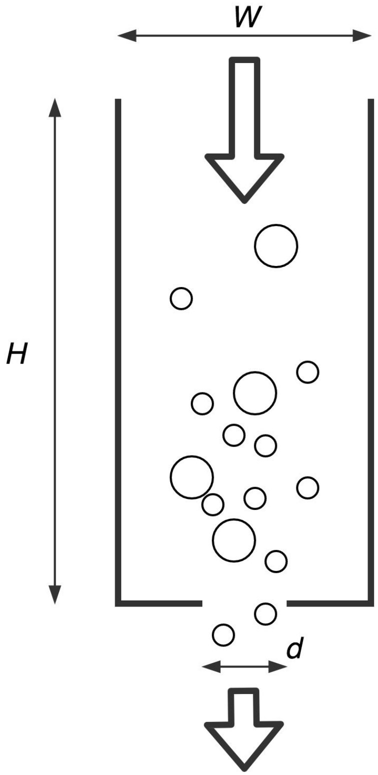
Daniel Lobo | Agustín Golmar

Fundamentos

Sistema Físico

*“Comportamiento de un **flujo granular** dentro de un silo rectangular vertical, con y sin drenaje.”*

*“El silo posee alto **H**, ancho **W** y drenaje **d**.”*



Modelo Matemático

$$\bar{F}_{flow} = \bar{F}_{gravity} + \sum \bar{F}_{contact} + \sum \bar{F}_{friction}$$

- Fuerza de **Gravedad**

$$\bar{F}_{gravity} = -mg\,\hat{y}$$

- Fuerza de **Contacto** (*choque*)

$$\bar{F}_{contact} = (-k_n \xi_0 - \gamma \xi_1)\,\hat{n}$$

- Fuerza de **Fricción**

$$\bar{F}_{friction} = -k_t\, \xi_0\, \langle r_1^{\Delta}, \hat{t} \rangle\, \hat{t}$$

Modelo Matemático

$$\bar{F}_{contact} = (-k_n \xi_0 - \gamma \xi_1)\,\hat{n}$$

- Dirección **normal**

$$\hat{n} = \frac{r_0^j - r_0^i}{\|r_0^j - r_0^i\|}$$

- Superposición

$$\xi_0 = R_i + R_j - \|r_0^j - r_0^i\|$$

- Velocidad de superposición

$$\xi_1 = \frac{\langle r_0^j - r_0^i, r_1^{\Delta} \rangle}{\|r_0^j - r_0^i\|}$$

Modelo Matemático

$$\bar{F}_{friction} = -k_t \, \xi_0 \, \langle r_1^{\Delta}, \hat{t} \rangle \, \hat{t}$$

- Dirección **tangencial**

$$\hat{t} = (-\hat{n}_y, \hat{n}_x)$$

- Velocidad relativa

$$r_1^{\Delta} = r_1^{\mathrm{i}} - r_1^{\mathrm{j}}$$

- Fricción **cinética**

Implementación

Modelo Computacional

- Java 8 SE Release
- JSON

(https://www.json.org/)
- Jackson 2.9.5

(https://github.com/FasterXML/jackson)
- Ovito

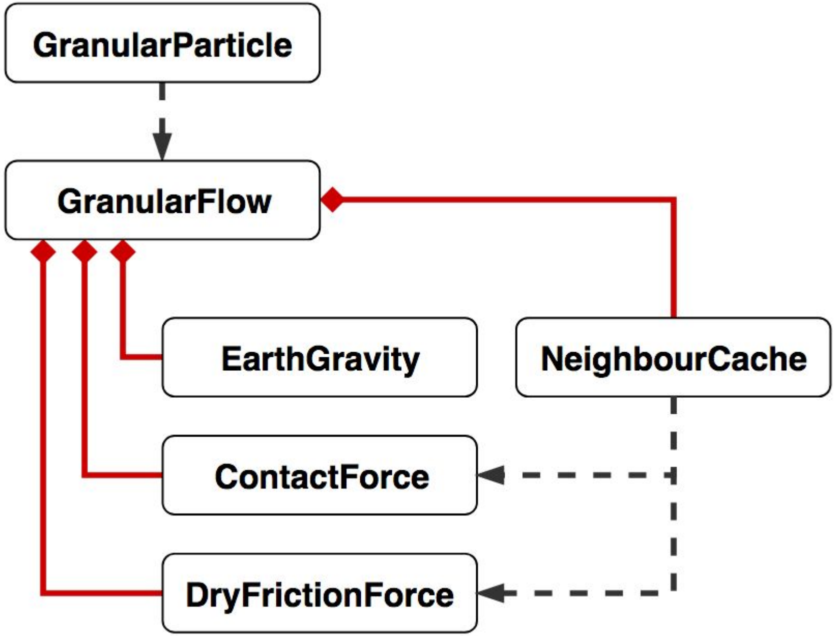
(https://ovito.org/)

- Reutilización de:
  - `TimeDrivenSimulation`
  - `ForceField`
  - `BeemanIntegrator`
  - `CellIndexMethod`

Campos de Fuerza

(ForceField<T> Interface)

- GranularFlow
    - EarthGravity
    - ContactForce
    - DryFrictionForce



Configuración

(JSON Input)

- Paso temporal (**3x10^{-5}**)

$$\Delta t < \sqrt{\frac{m}{100\, k_n}}$$

- Rigidez reducida: Θ(**10^4**)
- Amortiguación **diferencial**

$$\gamma_{critic} = 2\sqrt{mk_n}$$

```
{
    "output"            : "res/data/output.data",
    "delta"             : "0.00003",
    "time"              : "15.0",
    "fps"               : "50",
    "playbackSpeed"     : "0.5",
    "samplesPerSecond"  : "500",

    "integrator"        : "BeemanIntegrator",
    "reportEnergy"      : "false",
    "reportTime"        : "true",
    "radius"            : ["0.01", "0.015"],
    "mass"              : "0.01",

    "elasticNormal"     : "1.0E+4",
    "elasticTangent"    : "2.0E+4",
    "viscousDamping"    : "20.0",
    "siloDamping"       : "15.0",

    "generator"         : "6468409534760193l",
    "n"                 : "370",
    "height"            : "1.0",
    "width"             : "0.3",
    "drain"             : "0.15",
    "flowRate"          : "0.1",
    "injection"         : ["0.75", "1.0"]
}
```

Formato de Archivos

(Output)

- Formato **.data* y **.small*

```
<x> <y> <r> <speed> <pressure>
...
```

- Formato **.xyz* (para *Ovito*)

```
<n>
<t>
<x> <y> <r> <speed> <pressure>
...
```

- Formato **.drain* (para eventos)

```
<t> <id>
...
```

- Formato **.flow* (caudal, a paso ***flowRate***)

```
<t> <flow>
...
```

Para calcular la energía cinética!

Para la ley de Beverloo!

Simulación

Condiciones

- Colorear partículas según la **presión**:

$$P = \frac{1}{2\pi R_i} \left\| \sum \bar{F}_{contact} \right\|$$

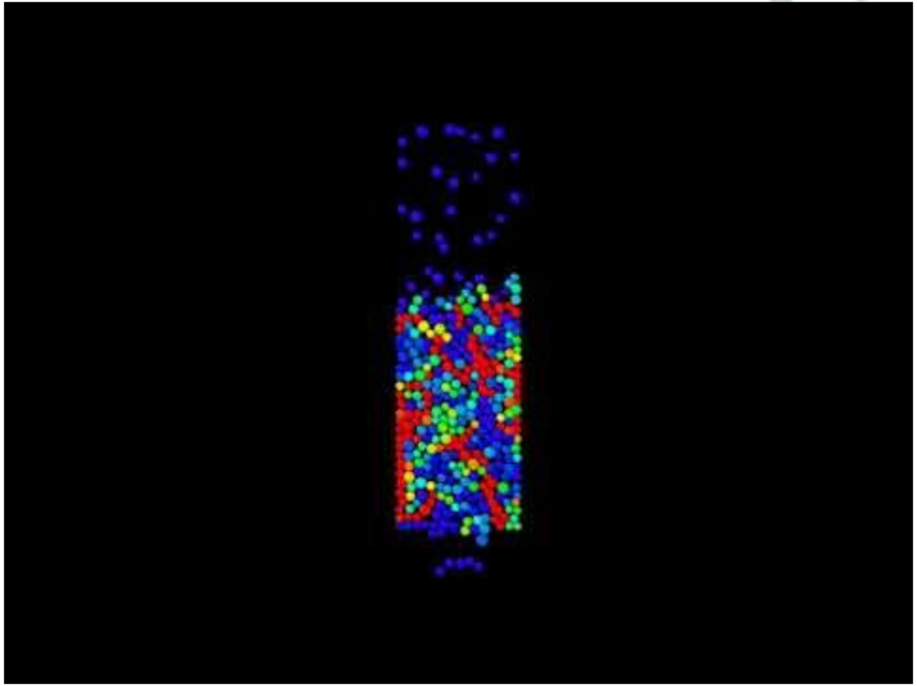
- Los parámetros geométricos del silo deben verificar:

$$0.15\, m \leq d < W < H$$

Simulación - 1

(50 FPS | Speed x0.5 | 720p)

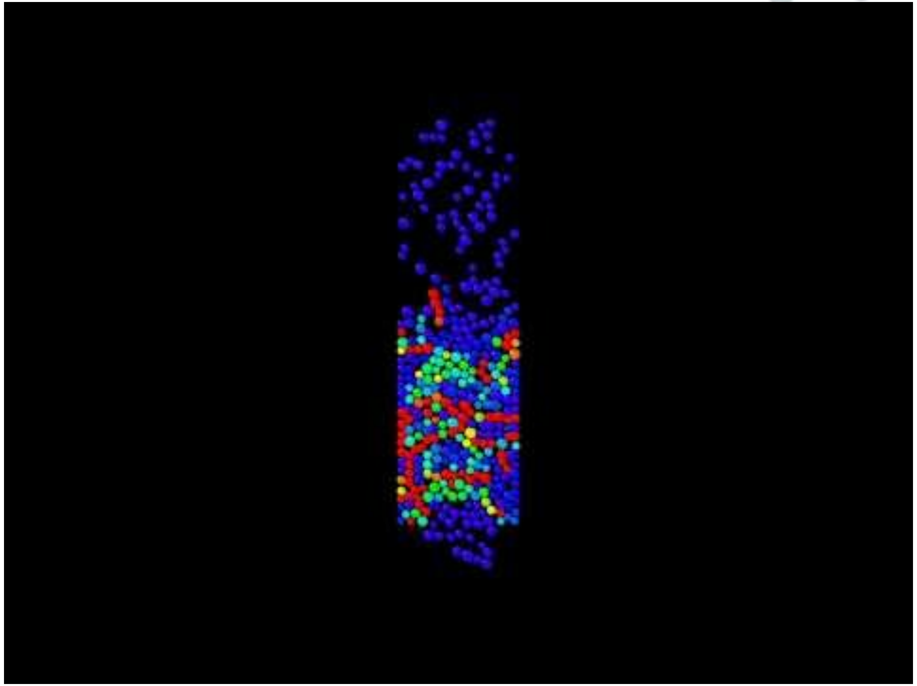
```
{
    ...
    "n"        : "370",
    "height"   : "1.00",
    "width"    : "0.30",
    "drain"    : "0.15",
    ...
}
```



Simulación - 2

(50 FPS | Speed x0.5 | 720p)

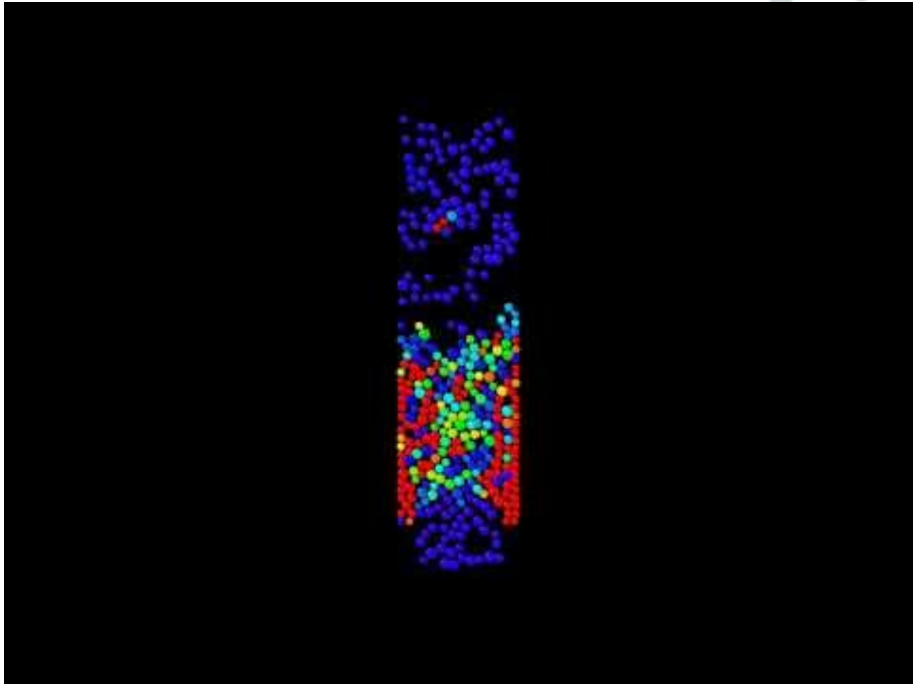
```
{
    ...
    "n"       : "370",
    "height"  : "1.00",
    "width"   : "0.30",
    "drain"   : "0.19",
    ...
}
```



Simulación - 3

(50 FPS | Speed x0.5 | 720p)

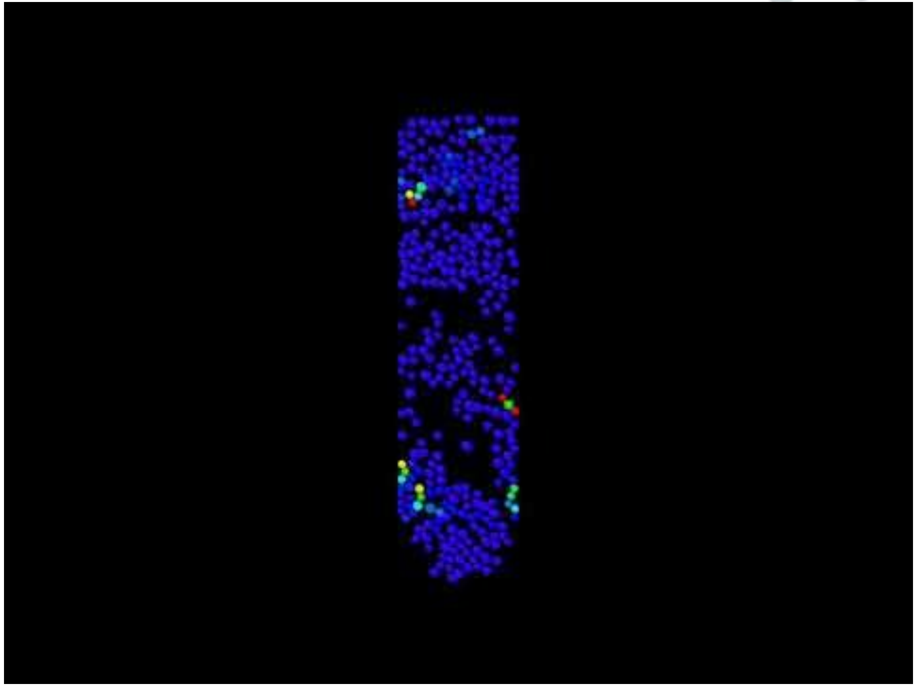
```
{
    ...
    "n"      : "370",
    "height" : "1.00",
    "width"  : "0.30",
    "drain"  : "0.23",
    ...
}
```



Simulación - 4

(50 FPS | Speed x0.5 | 720p)

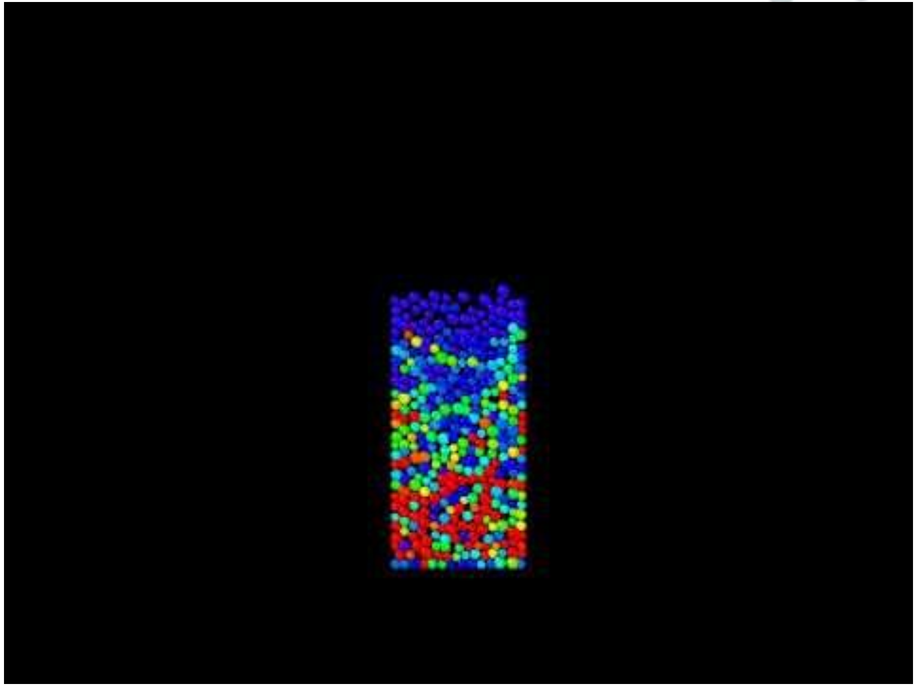
```
{
    ...
    "n"      : "370",
    "height" : "1.00",
    "width"  : "0.30",
    "drain"  : "0.27",
    ...
}
```



Simulación - 5 (*critic damping*)

(50 FPS | Speed x0.5 | 720p)

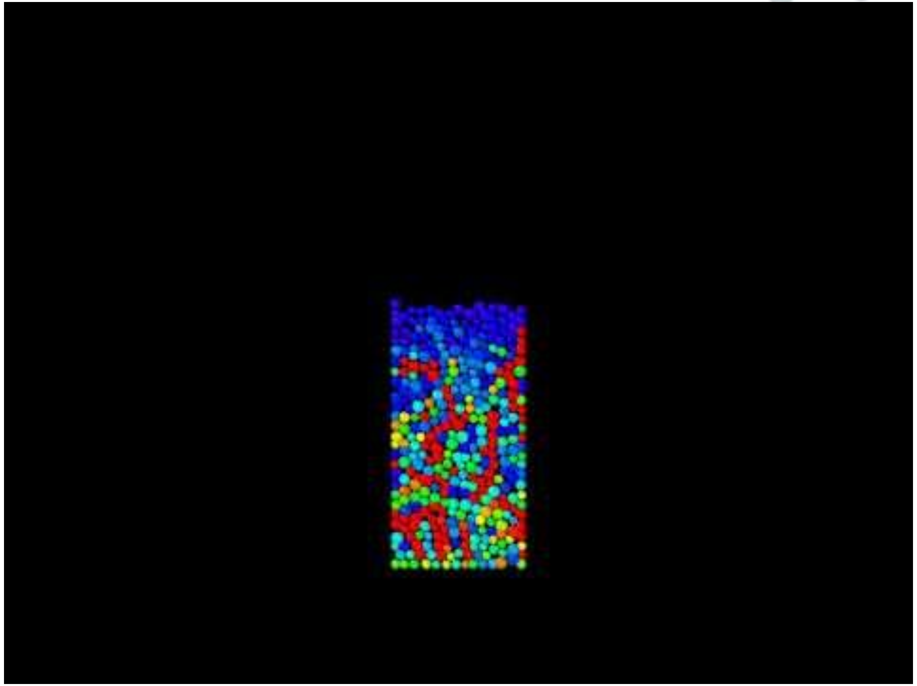
```
{
    ...
    "n"       : "370",
    "height"  : "1.00",
    "width"   : "0.30",
    "drain"   : "0.0",
    ...
}
```



Simulación - 6 (*over-critic damping*)

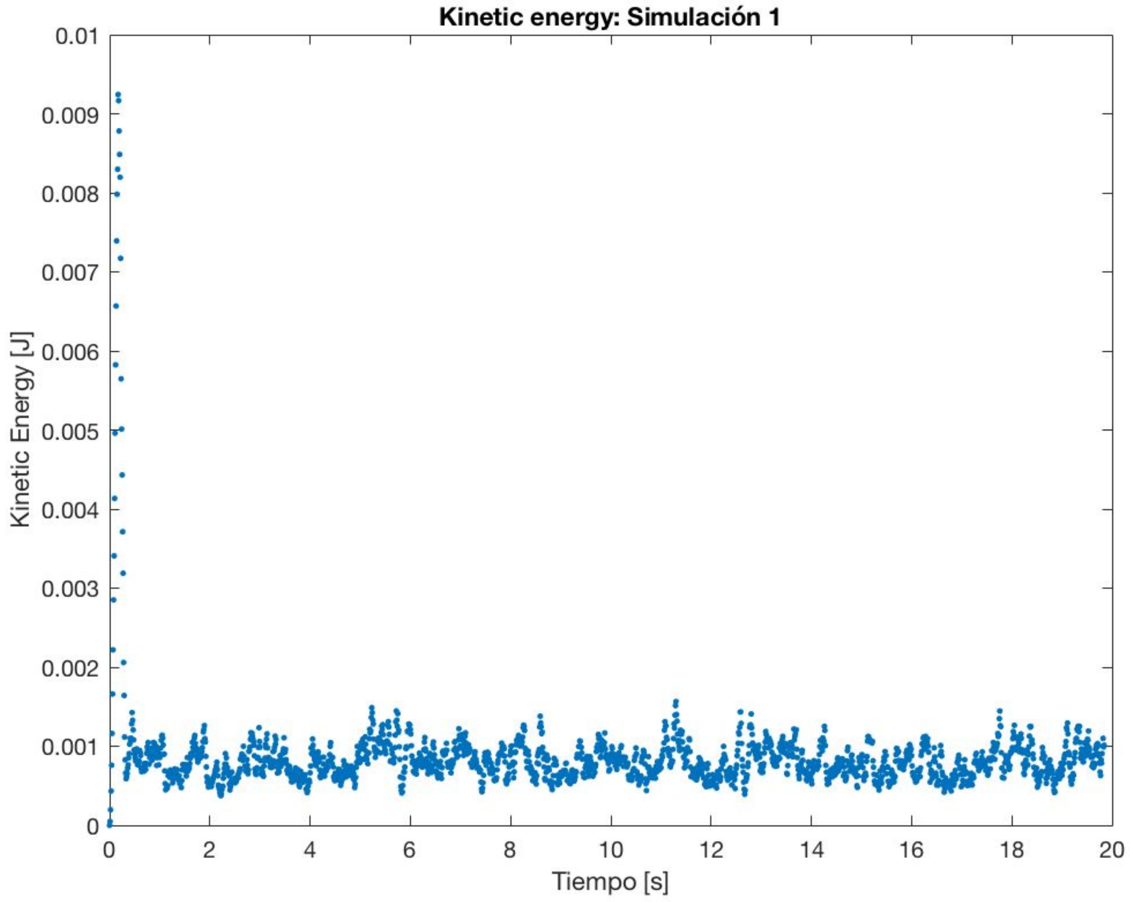
(50 FPS | Speed x0.5 | 720p)

```
{
    ...
    "viscousDamping" : "60.0",
    "siloDamping"    : "45.0",
    ...
    "n"      : "370",
    "height" : "1.00",
    "width"  : "0.30",
    "drain"  : "0.0",
    ...
}
```

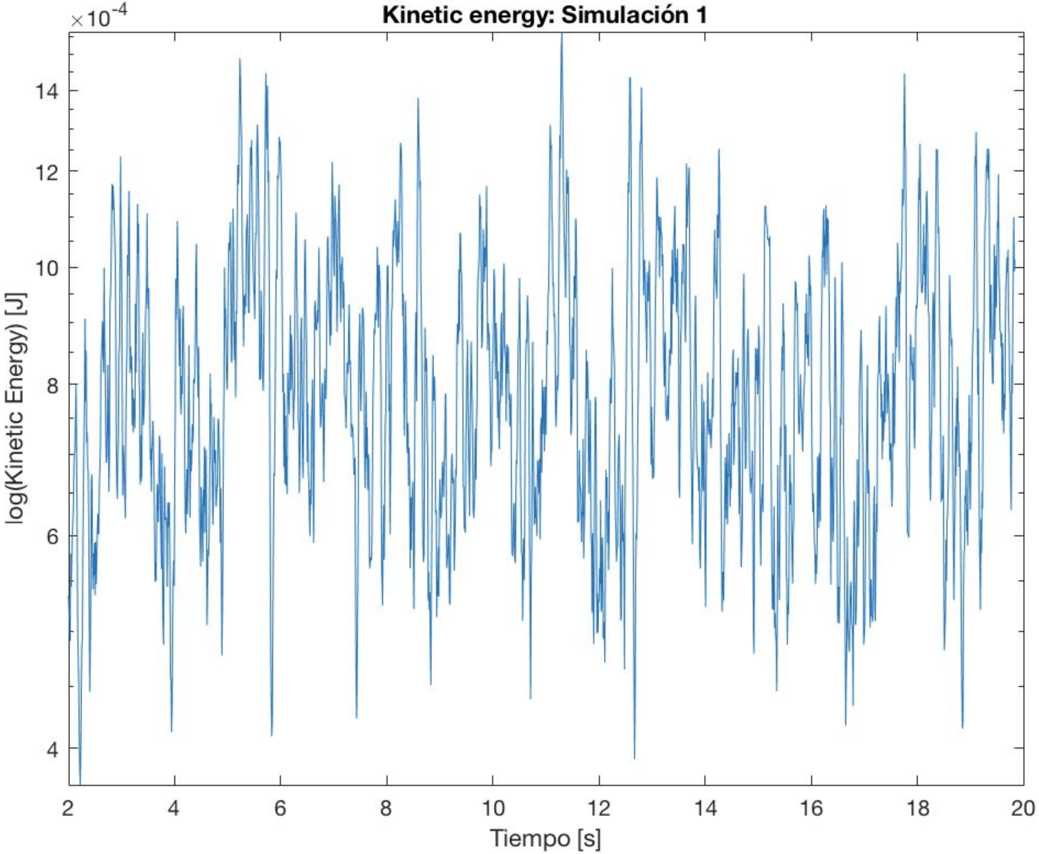


Resultados

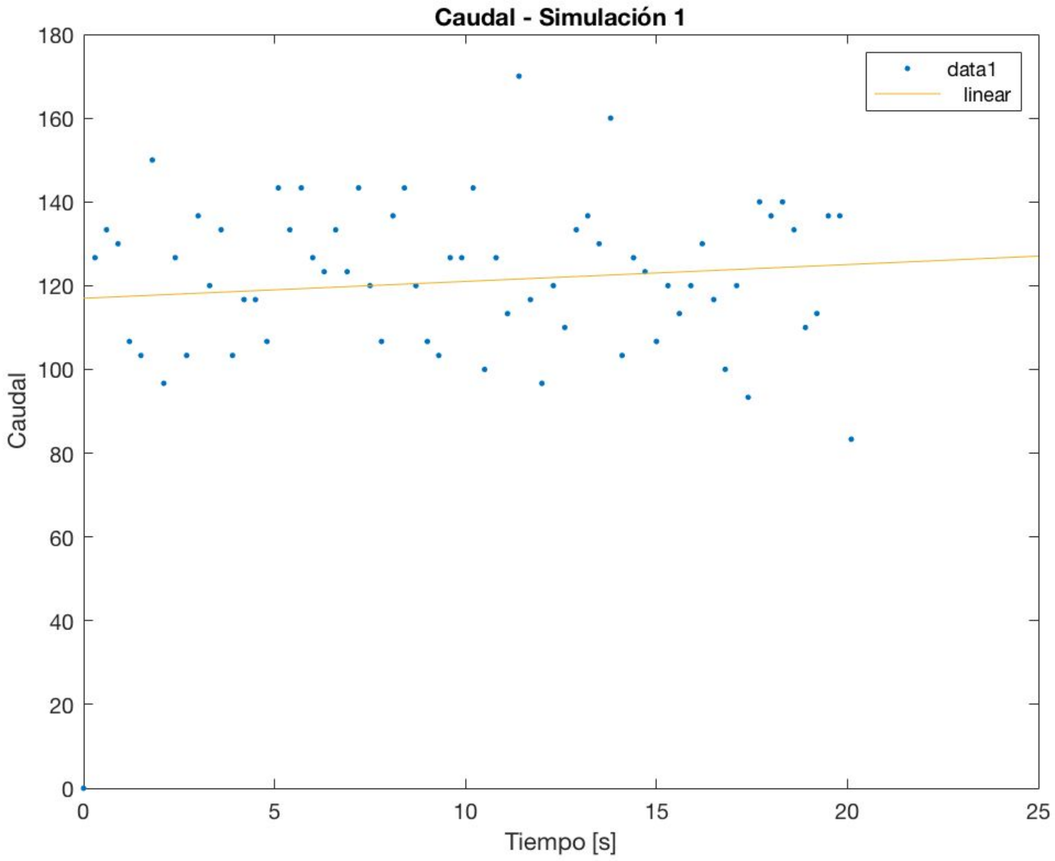
Energía Cinética del Sistema: Simulación 1



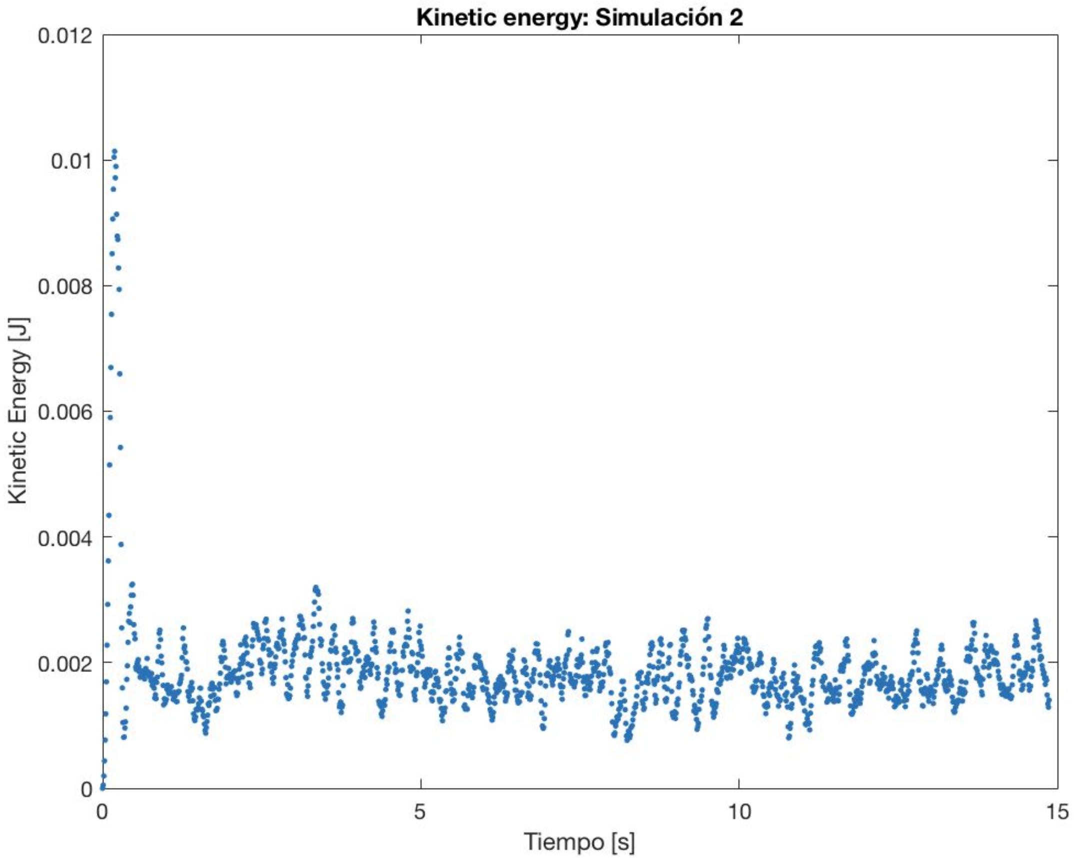
Energía Cinética del Sistema: Simulación 1 (zoom)



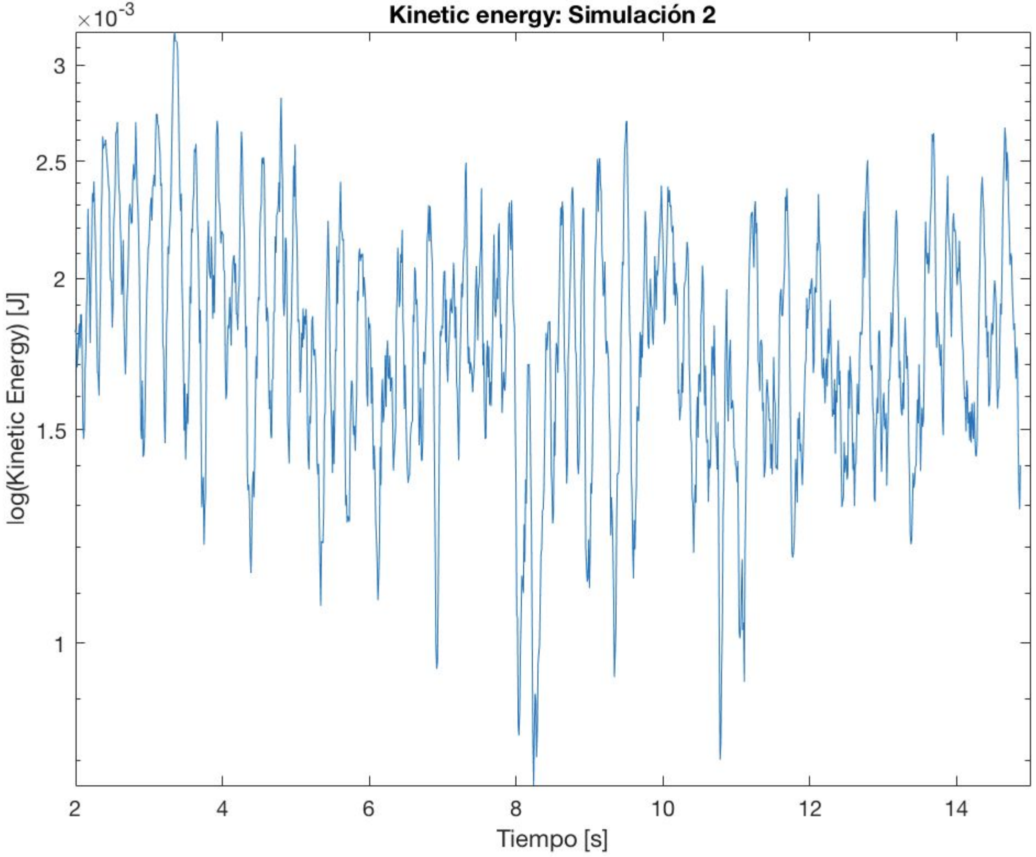
Caudal: Simulación 1



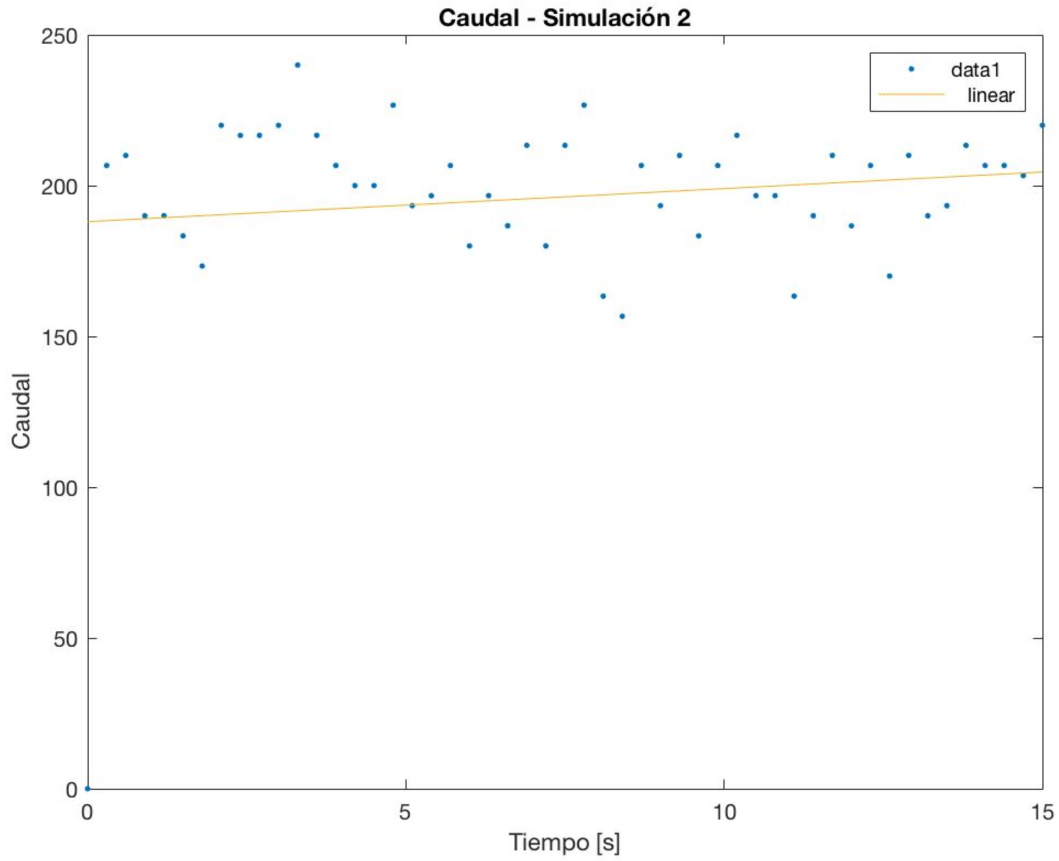
Energía Cinética del Sistema: Simulación 2



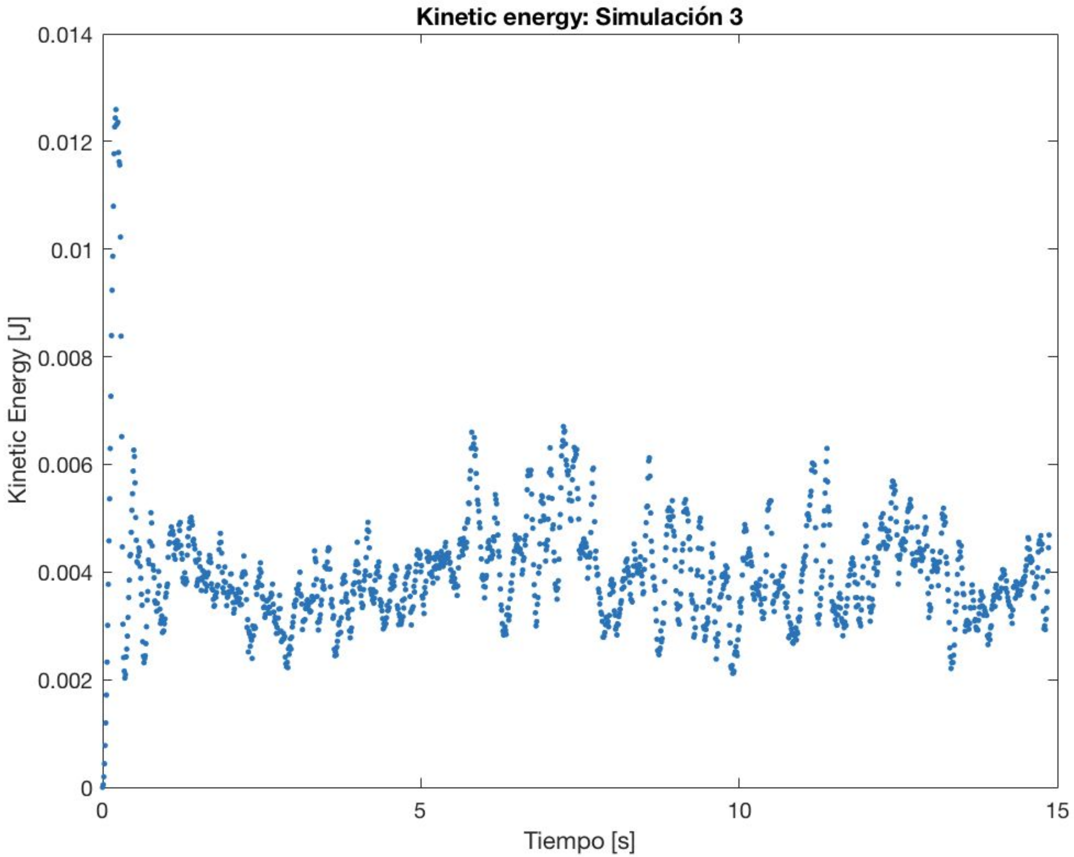
Energía Cinética del Sistema: Simulación 2 (zoom)



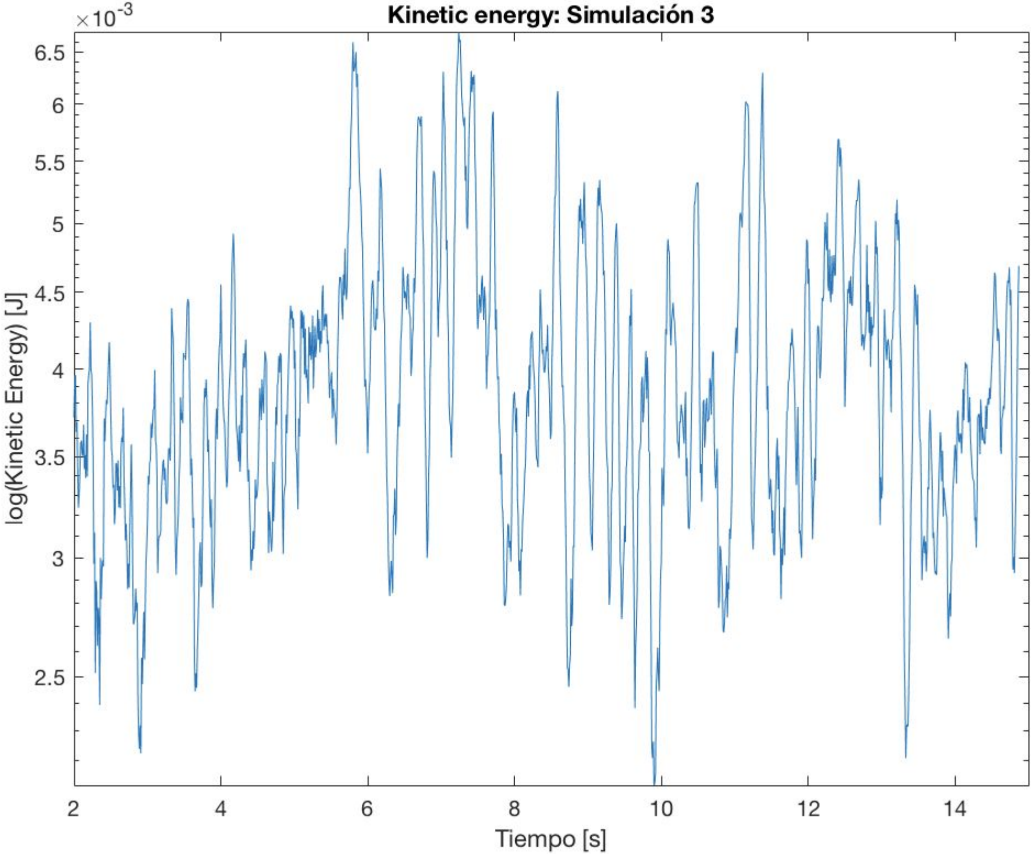
Caudal: Simulación 2



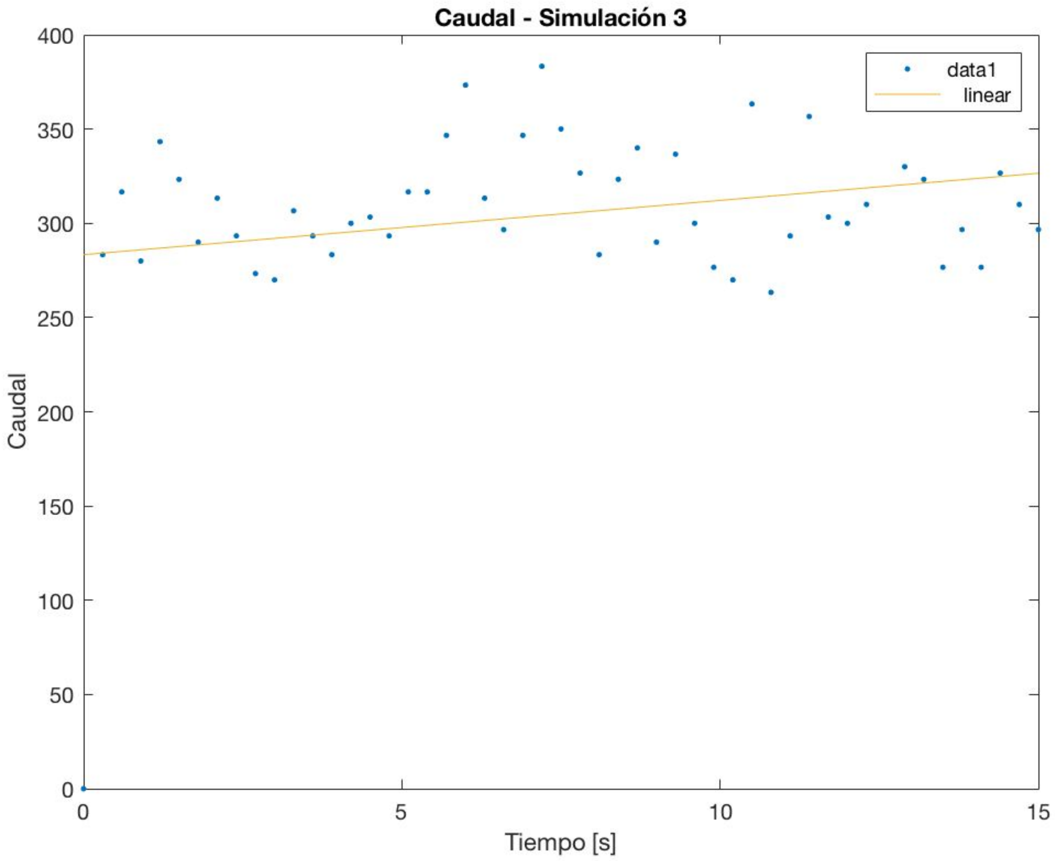
Energía Cinética del Sistema: Simulación 3



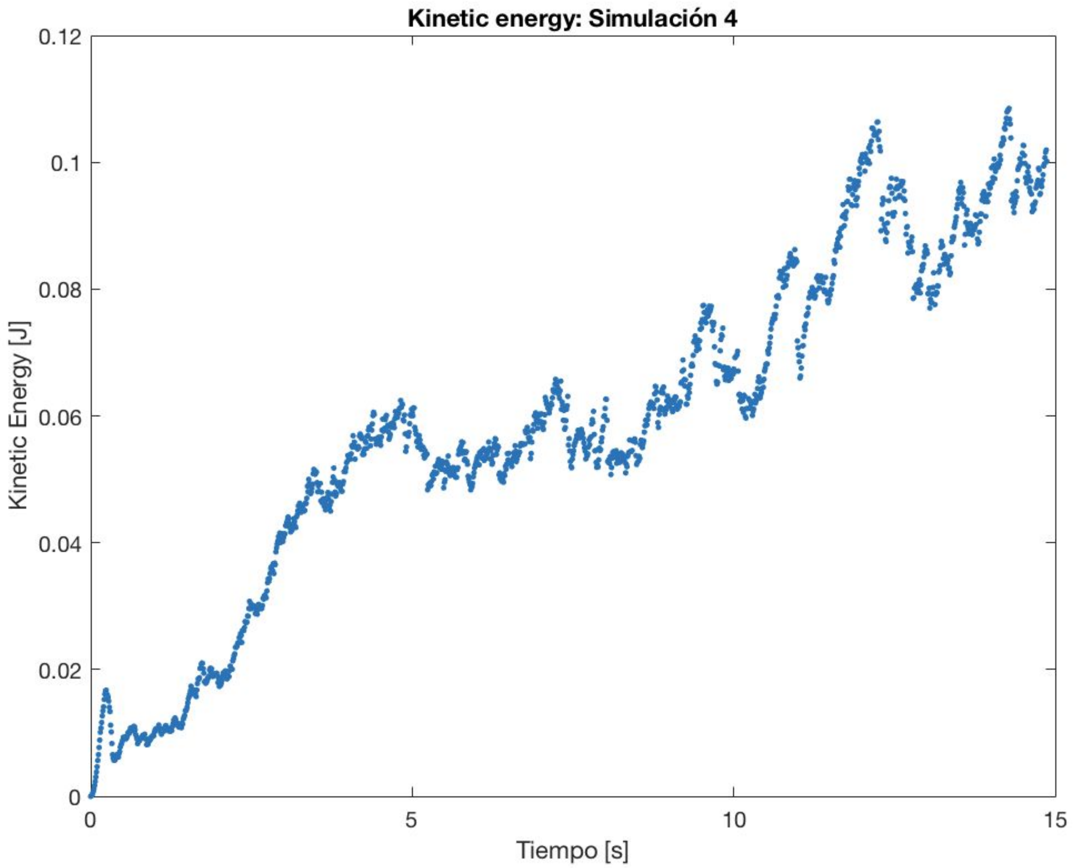
Energía Cinética del Sistema: Simulación 3 (zoom)



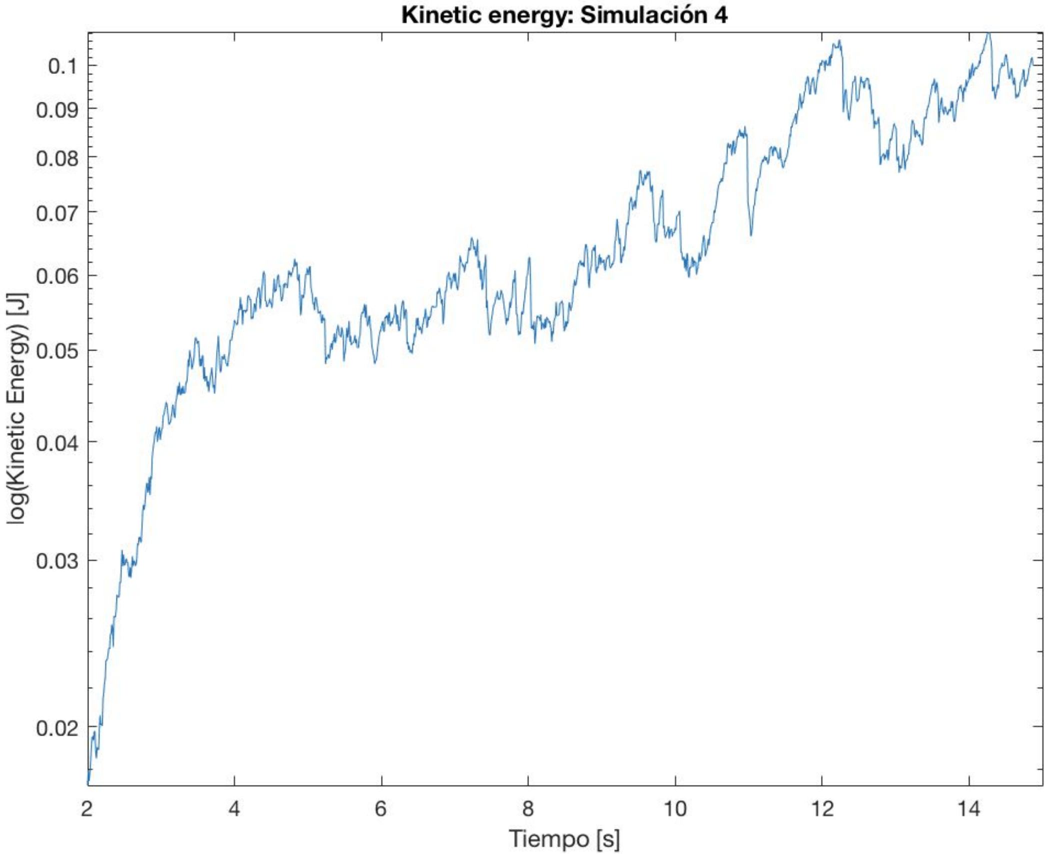
Caudal: Simulación 3 (zoom)



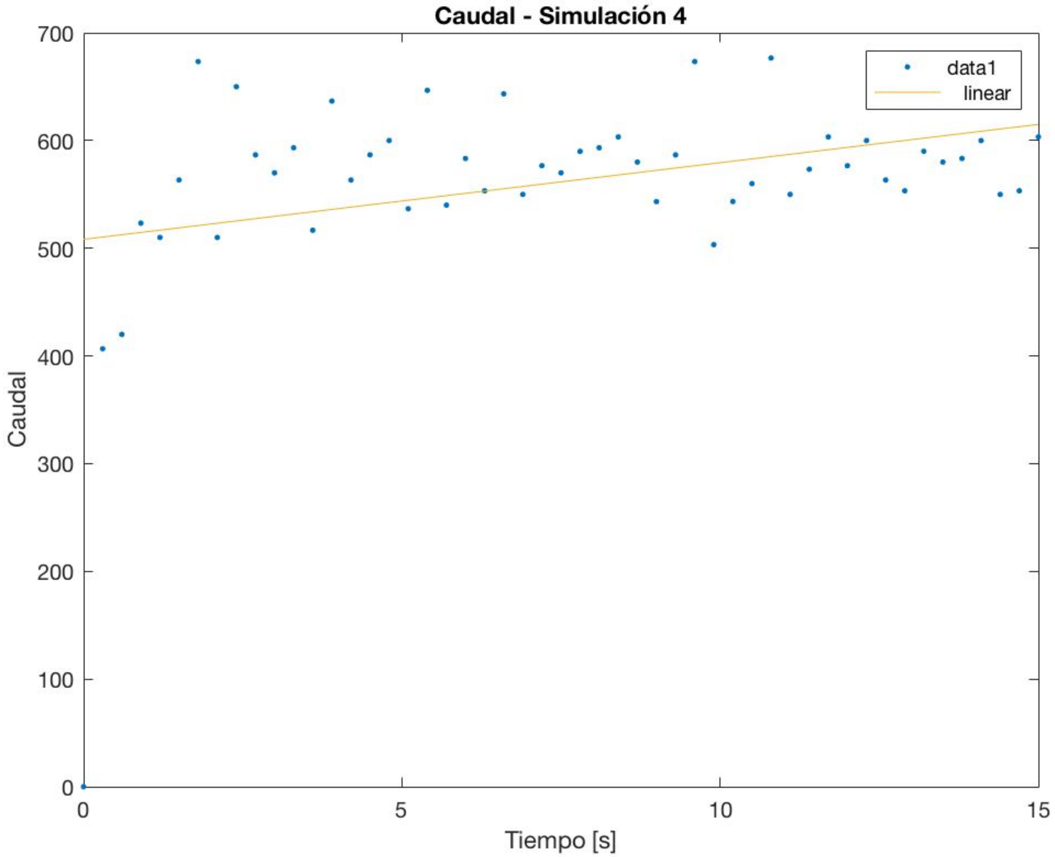
Energía Cinética del Sistema: Simulación 4



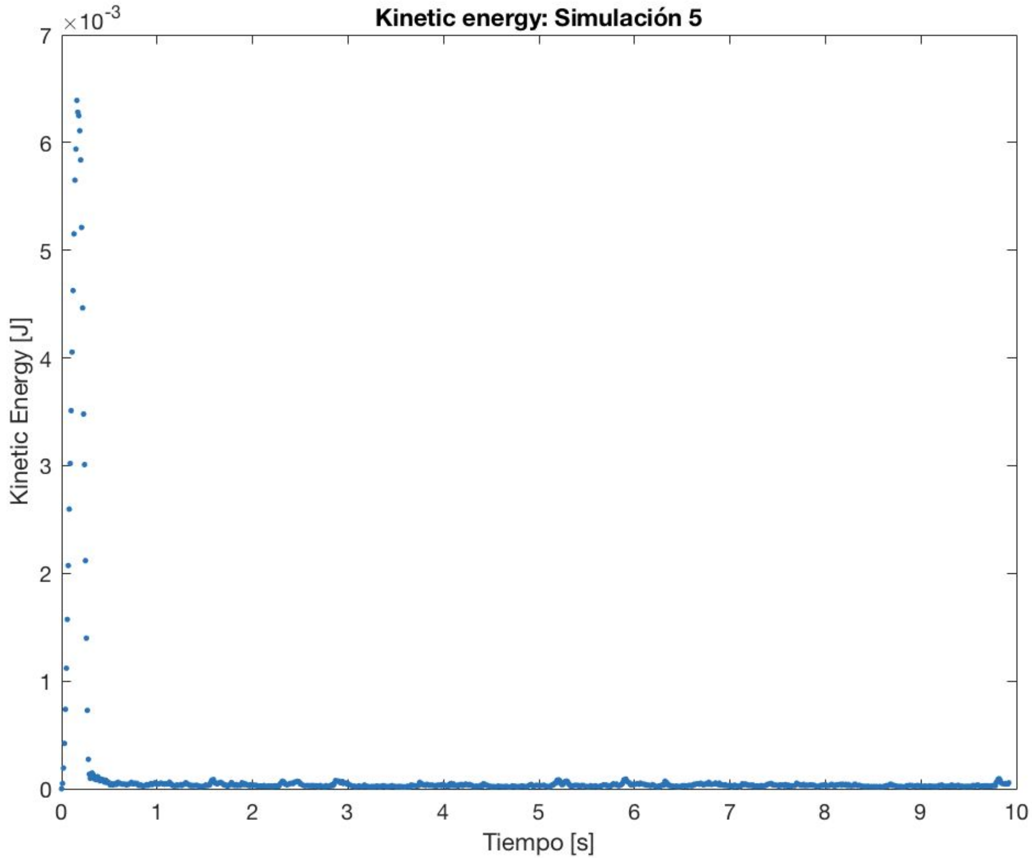
Energía Cinética del Sistema: Simulación 4 (zoom)



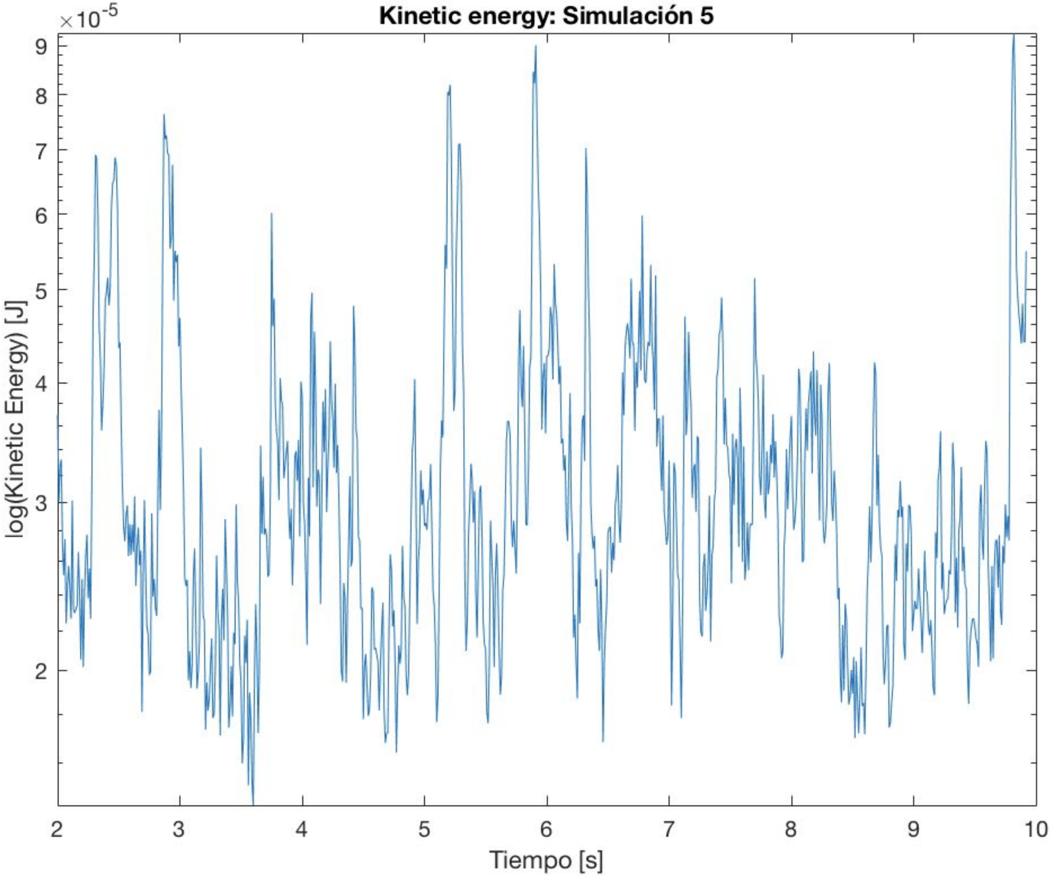
Caudal: Simulación 4 (zoom)



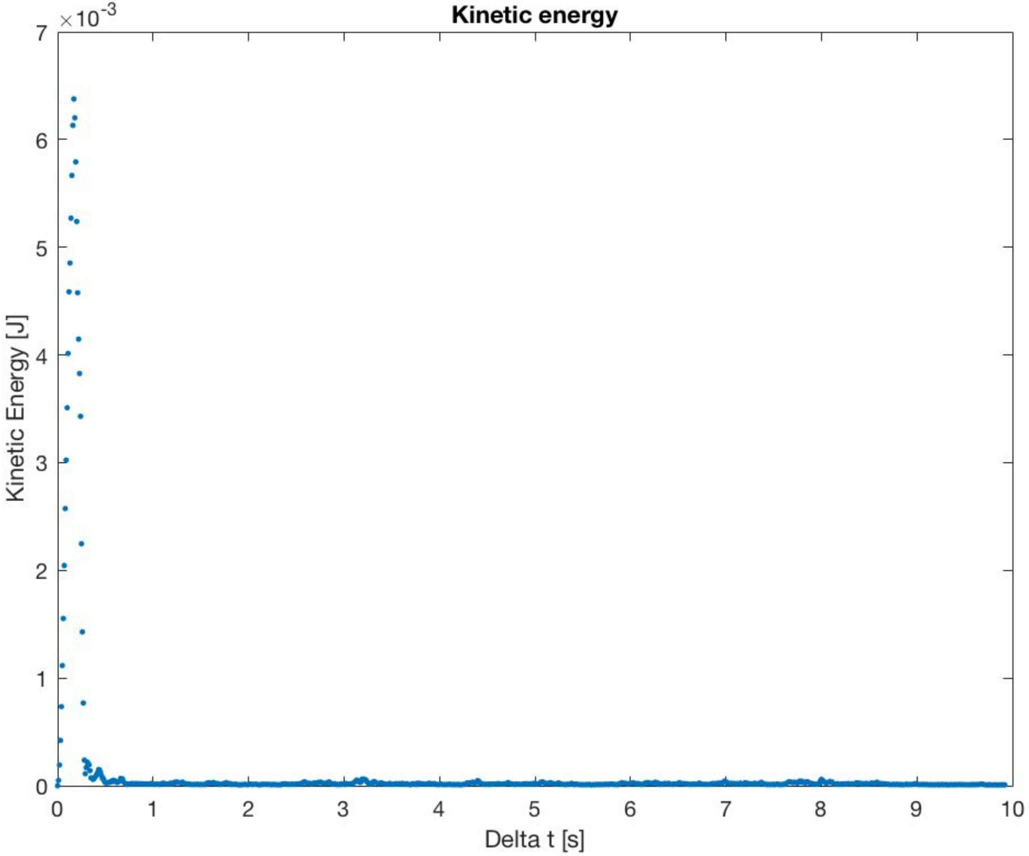
Energía Cinética del Sistema: Simulación 5



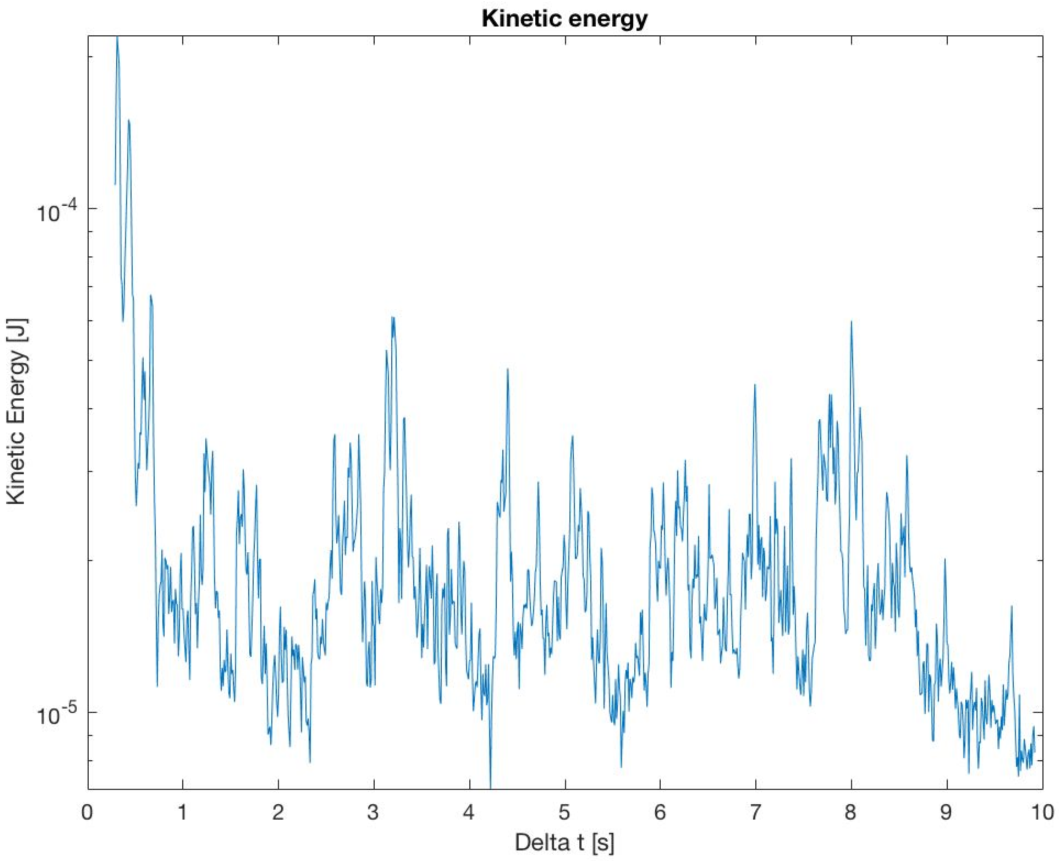
Energía Cinética del Sistema: Simulación 5 (zoom)



Energía Cinética del Sistema: Simulación 6



Energía Cinética del Sistema: Simulación 6 (zoom)



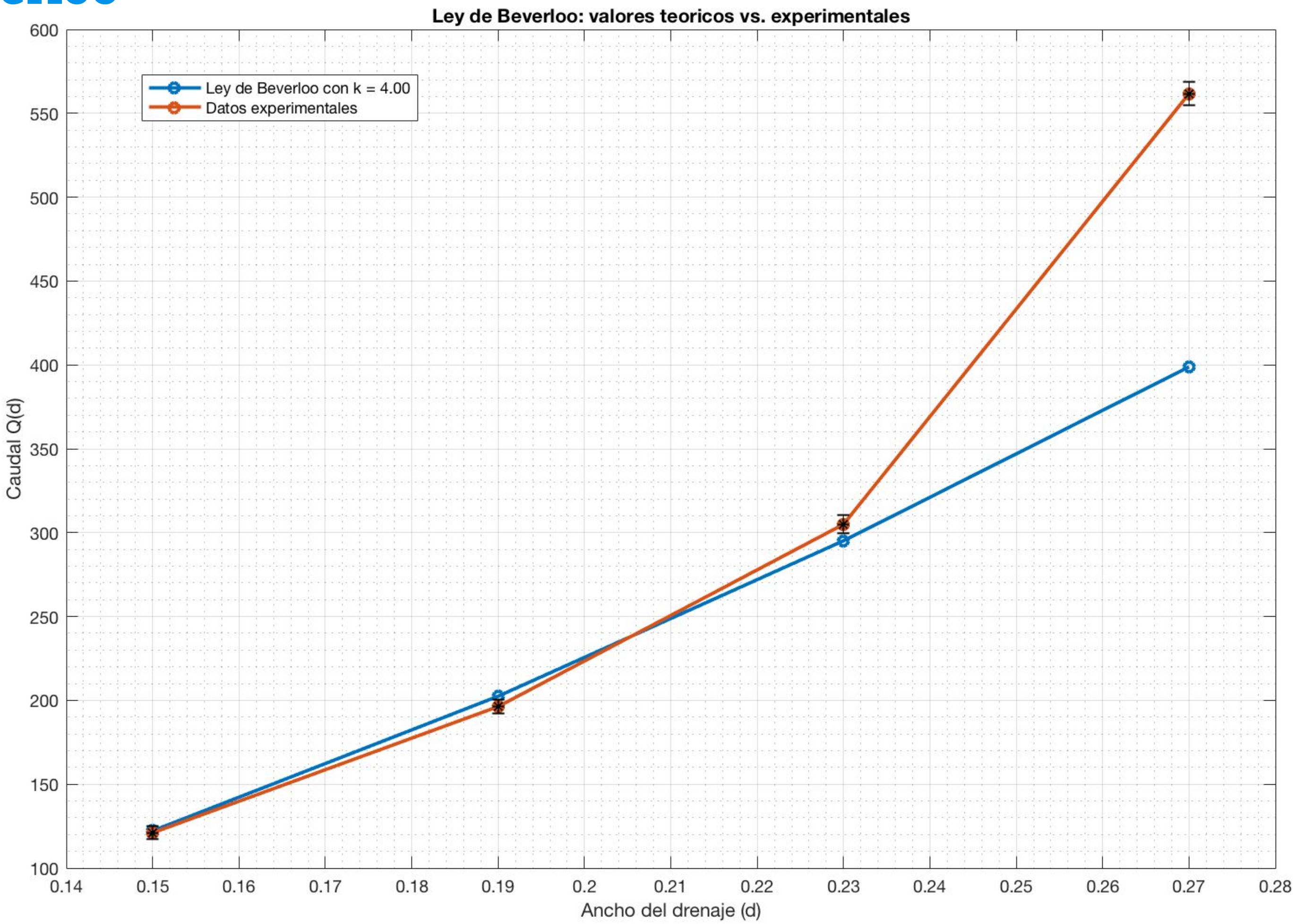
Ley de Beverloo

(Estimación del Caudal)

$$g = 9.8196\,\frac{m}{s^2} \qquad \begin{aligned} R_{min} &= 0.010\,m \\ R_{max} &= 0.015\,m \end{aligned} \qquad m = 0.01\,kg$$

$$Q(d) = \frac{N}{WH}\sqrt{g\left(d - k\,\frac{R_{min} + R_{max}}{2}\right)^3}$$

Ley de Beverloo



Conclusiones

Conclusiones

- El tiempo de relajación se determina a través de la **energía cinética**.
- El sistema disipa más energía a mayor **damping** y a mayor constante **elástica tangencial** (mayor fricción).
- En general, la energía cinética del sistema se mantiene alrededor de un valor fijo (luego de la caída inicial).
- La ley de Beverloo estima correctamente el caudal, siendo *k* dependiente de la forma* de los granos.

***(según Mankoc et. al., *"The flow rate of granular materials through an orifice"*)**

Gracias!

Grupo 5: Golmar & Lobo