

# Movimiento de cuerpos en fluidos

Jacobo Parodi Díez

Junio 2023

## Funcionamiento de la simulación

Esta simulación está pensada primeramente para recrear el fenómeno de la fuerza de empuje de Arquímedes que ejerce un fluido sobre un cuerpo que yace dentro de él. Sin embargo, para asegurar la correcta física también las ecuaciones cinemáticas y el arrastre del fluido están programados dentro del código que lo simula. La interfaz de ésta se aprecia en la Figura [1].

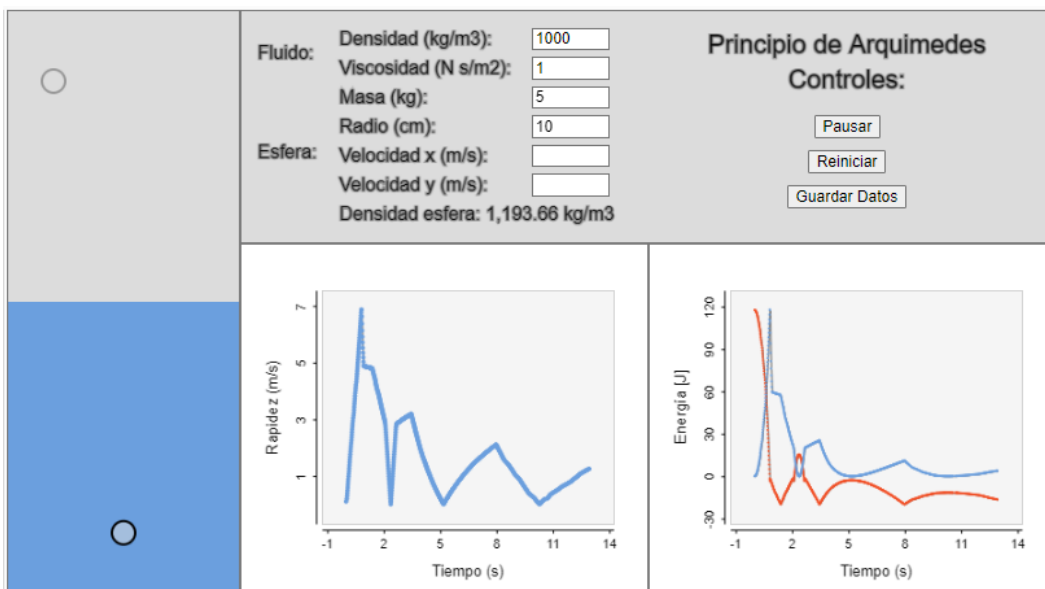


Figure 1: Interfaz de la simulación

La simulación se reproduce en el cuadro izquierdo. Comienza automáticamente con valores predeterminados para todas las variables de interés. La esfera se encuentra en la parte más superior de éste y sobre ella actúa la fuerza de gravedad que la lleva hasta el fluido. Todos estos valores pueden ser modificados en cualquier momento, ya sea las propiedades del fluido como su densidad  $\rho_f$  como su viscosidad  $\mu$  dispuestas en las unidades indicadas. Por otro lado, la esfera también cuenta con propiedades modificables como su masa, radio y velocidad inicial en cualquiera de las direcciones. Su densidad  $\rho_s$  no se puede modificar de forma directa pero esta depende de la masa  $m$  y el radio  $R$  a partir de:

$$\rho_s = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3} \quad (1)$$

La densidad, de todas formas, se encuentra siempre reportada en el cuadro de información, con el objetivo de compararla fácilmente con la densidad del fluido.

La simulación cuenta con 4 controles cuyos nombres dan a entender su función. La simulación puede reiniciarse con el botón de *Reiniciar* o reubicando el cursor sobre la simulación, en este caso se verá una esfera más transparente que puede ser ubicada en el lugar de elección de la pantalla, suponiendo así un nuevo origen. Esta simulación siempre se reiniciará con los valores que se encuentren determinados en el cuadro de información.

Finalmente, en la parte inferior derecha se encuentran dos gráficas que se actualizan en tiempo real. Una es para la rapidez (la magnitud de la velocidad) y otra tanto para la energía cinética (en azul) y la energía potencial (en naranja). En algunas ocasiones se verá que la gráfica de la rapidez cambiará de color de azul a rojo, esto significa el régimen de trabajo. En azul, implica un régimen de bajas velocidades ( $Re < 1000$ ) y una fuerza de arrastre proporcional a la velocidad:

$$F_D = 6\pi\mu Rv \tag{2}$$

Si esta gráfica pasa a color naranja entonces se encontrará en el régimen de altas velocidades ( $R_e > 1000$ ) y el arrastre será proporcional al cuadrado de la velocidad:

$$F_B = \frac{1}{2}C_D A \rho_f v^2 \tag{3}$$

### Consideraciones del modelo

La simulación hace las siguientes asunciones, aproximaciones o consideraciones:

1. Colisiones perfectamente elásticas con las paredes, conservando toda la energía cinética antes y después.
2. No se considera la energía invertida en romper la tensión superficial cuando el cuerpo ingresa en el fluido, como la fuerza de arrastre, esta fuerza no es conservativa y siempre le implicará un peaje energético a los cuerpos, sin embargo, no está considerada y esto hace que entrar y salir del fluido parezca mucho más fácil de lo que verdaderamente es.
3. En el cambio de régimen de velocidades no hay una transición continua como debería haberla para este tipo de fenómenos, pero esto no es algo que se note mucho en el desempeño de la simulación.
4. Las ecuaciones dinámicas no se resuelven, más que todo debido a que no son solubles. De esto debe tenerse en cuenta que se usa un integrador rudimentario que tiene un  $dt$  tan grande como el ciclo del *draw* del programa se demora en hacer, esto genera que los valores de este  $dt$  puedan variar de paso a paso, introduciendo ligeros errores en la trayectoria.

### Actividades propuestas

#### Experimentando con diferentes fluidos y materiales

A continuación se presentará una Tabla con propiedades de diferentes fluidos presentadas a temperaturas y valores de presión convencionales (20°C y 1atm), además de la densidad de diferentes materiales.

Fluido	Densidad (kg/m³)	Viscosidad (N s/m²)
Agua (pura)	998	1
Miel	1360	2000-10000
Aceite de oliva	920	56.2
Aceite de motor (SAE 30)	890	0.31
Petróleo (crudo)	790-980	2-50
Agua del Mar Muerto	1240	1.15
Mercurio	13590	1.6
Gasolina	680-780	0.604
Etanol	789	1.07
Acetona	790	0.32

Las viscosidades se expresan como la viscosidad cinemática en unidades del sistema internacional. De cualquier forma, estas pueden variar de acuerdo a la especie de cada fluido, pero pueden servir como una guía. De esto, las actividades que se proponen son las siguientes:

1. Pruebe diferentes valores de densidad y viscosidad considerando los fluidos que están relacionados en la Tabla u otros que puedan consultarse. También investigue densidades de materiales conocidos como puede ser acero, madera, plástico, icopor, entre otros. Recordar que para poder introducir la densidad de un objeto deseado debe fijarse el radio o la masa y calcular el otro a partir de éste. (Es importante recalcar que  $R$  afecta el número de Reynolds, mientras que la masa  $m$  no, así que aunque se preserve la densidad del objeto, toda la dinámica puede cambiar. ¡Compruébelo!)
2. Ingrese un objeto con la misma densidad del fluido dentro del fluido, sin velocidades iniciales, ¿qué sucede?
3. Ahora, ingrese un objeto con una densidad la mitad de grande que la densidad del fluido, por el principio de Arquímedes, esperamos que flote, pero, ¿cuál es el punto de equilibrio?

4. Varíe la densidad relativa  $\rho_{rel} = \rho_s / \rho_f$ . Describa como ésta afecta el punto de equilibrio. Intente encontrar este punto al situar la esfera sobre el fluido, puede saberse que se está cerca porque la velocidad obtenida por el objeto será nada o muy pequeña.

Una actividad adicional está relacionada con el principio de la velocidad terminal. Una forma fácil de imponer sobre el sistema la capacidad de llegar a esta velocidad es aumentando la viscosidad del fluido. Para una viscosidad lo suficientemente alta puede verse que el cuerpo al descender (en el caso de que la densidad del cuerpo sea mayor a la del fluido) o al ascender (en el caso contrario) alcanza rápidamente una asíntota horizontal. Animo a hacer el cálculo para determinar cual es y verificarla con la simulación, considerando que cuando se tiene una viscosidad alta lo más probable es que se trabaje en el régimen de bajas velocidades ( $Re < 1000$ ).