

## DESCARGA DE UN SIFÓN QUE CONTIENE UN FLUIDO VISCOSO

Devece Eugenio (1,2), Videla Fabián\_(1,2,5), Costa Viviana A. (1,4), Lobo Fernández Gonzalo M. J.(2,3,5)

(1) UIDET IMApEC, Dpto. de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (FI UNLP), (2) Cátedra Física I - FI UNLP, (3) Alumno - FI UNLP, (4) Cátedra Matemática B - FI UNLP (5) UIDET Centro de investigaciones Ópticas,(CIOp),

Av. 1 750, B1900TAG La Plata, Provincia de Buenos Aires  
[eugenio.devece@ing.unlp.edu.ar](mailto:eugenio.devece@ing.unlp.edu.ar)

### Resumen

En el contexto de una clase correspondiente al tema Hidrostática del segundo módulo de la asignatura Física I, se propone realizar un experimento cuya implementación consiste en un dispositivo empleado para trasvasar líquidos de un recipiente a otro. Para ensayar esta implementación se midió el caudal de descarga de una cubeta de vidrio conteniendo agua descargada a través de una manguera dispuesta en forma de "U" con un extremo sumergido en el líquido y otro libre a la atmósfera. Planteando un modelo simplificado basado en la ecuación de Bernoulli, se obtuvo una predicción de la velocidad de descarga. A partir de esa expresión se obtuvo una ecuación diferencial para la velocidad y en consecuencia para el caudal en función del tiempo. La función obtenida luego se compara con los registros experimentales observándose un apartamiento entre el modelo y el experimento. Para remediar esta situación se actuó modificando el perfil de velocidad considerando en forma fenomenológica la distribución transversal de velocidades en un tubo cilíndrico.[1]

Por otra parte se elaboró una simulación del experimento empleando el software GeoGebra esperando mejorar la comprensión de los fenómenos involucrados en la descarga y también asistir en las posibilidades de ajuste al momento de realizar comprobaciones experimentales comparando los resultados de medidas con los valores calculados con modelos menos simplificados. Además el software posee controles deslizables que permiten obtener mejores ajustes en forma ágil y así analizar las limitaciones de los modelos.

Finalmente se presenta una encuesta destinada a los estudiantes que completa la evaluación del software como herramienta de aprendizaje. Esta, consulta sobre aspectos constructivos, predicción de variables de las que depende el caudal, detención del flujo y otras consideraciones.

**Palabras clave:** Ecuación de Bernoulli, ecuación de continuidad, desarrollo de simulación, descarga de un fluido.

### Introducción

Dentro de los contenidos correspondientes a la asignatura de Física I, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, en el contexto de la enseñanza de fluidos en movimiento, los formalismos empleados incluyen la conservación de la energía mecánica formulada a través de la ecuación de Bernoulli y con su empleo describir la dinámica de los fluidos.

Entre los dispositivos usuales para contrastar con los modelos propuestos se encuentra el sifón, cuya definición convencional [2] dice: "es una tubería o tubo, en forma de "U"

invertida, que hace que un líquido fluya por una rama de la U hacia arriba, por encima de la superficie de un depósito, sin bomba, e impulsado por la caída libre del líquido a medida que fluye por la otra rama de la U cuyo líquido está sometido a su propio peso, siendo su efecto la descarga del líquido a un nivel más bajo que la superficie del reservorio de donde provino” [3].

Otras definiciones o variables estudiadas se introducen para describir este comportamiento: presión, densidad y viscosidad; su interpretación mejora observando el fenómeno de la descarga a través de la simulación facilitando el proceso de aprendizaje ya que es posible controlar su valor en cierto rango.

Consideramos que el desarrollo en GeoGebra de un simulador interactivo permitirá explorar el comportamiento del flujo y del fluido y modelar la ecuación diferencial que representa esa descarga, pudiendo variar las conclusiones de acuerdo a la influencia de los parámetros seleccionados.

Presentamos resultados de experimentos de descarga del sifón, su descripción y gráficas representando los resultados. Además se presenta una aplicación del software GeoGebra donde se implementó la simulación. Se describe qué casos permite analizar y los pasos que se proponen utilizando el software para mejorar el aprendizaje. Por último se formulan conclusiones.

### Experimentos, resultados y discusión

Para comparar los resultados obtenidos por el modelo se midieron volúmenes de agua descargados empleando un sifón cuyos parámetros se especifican en la [tabla 1](#). Estos datos experimentales se contrastan a su vez con los resultados de evaluar contra modelos que incluyen más o menos simplificaciones.

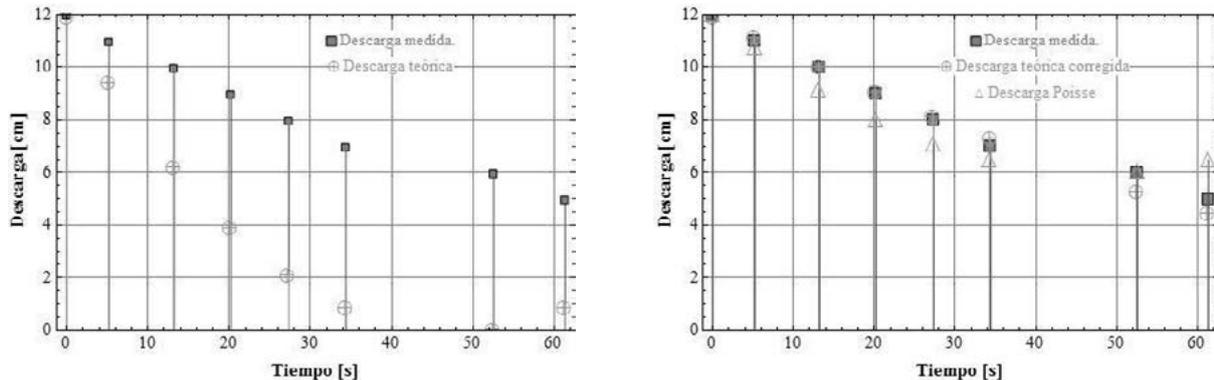
**Tabla 1.** Parámetros del sistema empleado como sifón.

Parámetro	Valor
Sección de la manguera A2	$3.3 \cdot 10^{-2} m^2$
Sección del recipiente de descarga A1	$1.1 \cdot 10^{-4} m^2$
Longitud de la manguera	0.6 m
Separación inicial entre interfaces aire-agua	0.12 m

Con los valores obtenidos en las medidas se trazó la curva de la [Figura 1a](#), que representa el volumen descargado en función del tiempo (cuadrados rellenos en gris) mientras que con círculos se representa la simulación efectuada empleando un modelo que no considera la viscosidad. En la [Figura 1b](#) se representan los resultados para modelos que incorporan el efecto de la viscosidad, evidenciando un mejor acuerdo con los resultados experimentales. La incorporación de los efectos de la viscosidad corrige considerando que el área A2 se redujo a un tercio, pero no resulta consistente con la observación de la contracción en la

sección del chorro de descarga. Otro ajuste posible surge de la aplicación de la ecuación de Hagen-Poiseuille [1], [4] una ecuación empírica que luego sería demostrada aplicando el teorema de Navier Stokes [5]. Esta última corrección produce para tubos cilíndricos un resultado simple: la velocidad promedio es  $v_r(t) = (\frac{1}{2}) v_1(t)$  cuya dependencia funcional explícita es dada en la [ecuación 2](#).

**Figura 1. a.** Se indican los valores de descarga medidos contra los predichos por un modelo muy simplificado representado por la [ecuación 1](#). **b.** Altura del nivel descargado versus tiempo incorporando la corrección de la sección eficaz de la manguera representada por cuadros grises. Los triángulos representan la corrección de Poiseulle Hagen

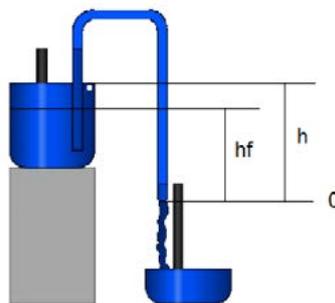


$$h_f(t) = \frac{A_1^2 h}{A_1^2 - A_2^2} - \frac{A_2^2 h}{A_1^2 - A_2^2} - \frac{A_2 \sqrt{2gh}}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} t + \frac{A_2^2 g}{2(A_1^2 - A_2^2)} t^2 \quad (1)$$

**Ec(1) corregida por viscosidad**

$$h_r(t) = h - \frac{A_2 \sqrt{2gh}}{2\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} t + \frac{A_2^2 g}{4(A_1^2 - A_2^2)} t^2 \quad (2)$$

Para determinar la velocidad empleamos el esquema de la [Figura 2](#).



**Figura 2:** Esquema del sifón propuesto.  $h_f$  indica la posición del nivel de la interfaz aire-agua en la cubeta una vez que comienza la descarga.  $h$  es la altura inicial del nivel previamente descrito, antes de comenzar la descarga

## Encuesta

Se propone como objetivo evaluar la comprensión de los principios fundamentales y otros recursos de la teoría (conocimiento sobre tipo de fluido y su modelado, ecuaciones fundamentales empleadas, conceptos de viscosidad, manejo de parámetros de diseño)

incorporados una vez realizadas las mediciones y explorada la herramienta de simulación propuesta. Se consideran también aspectos prácticos a fin de evaluar las habilidades y destrezas adquiridas, por ejemplo: medición de caudal, construcción del dispositivo etc.

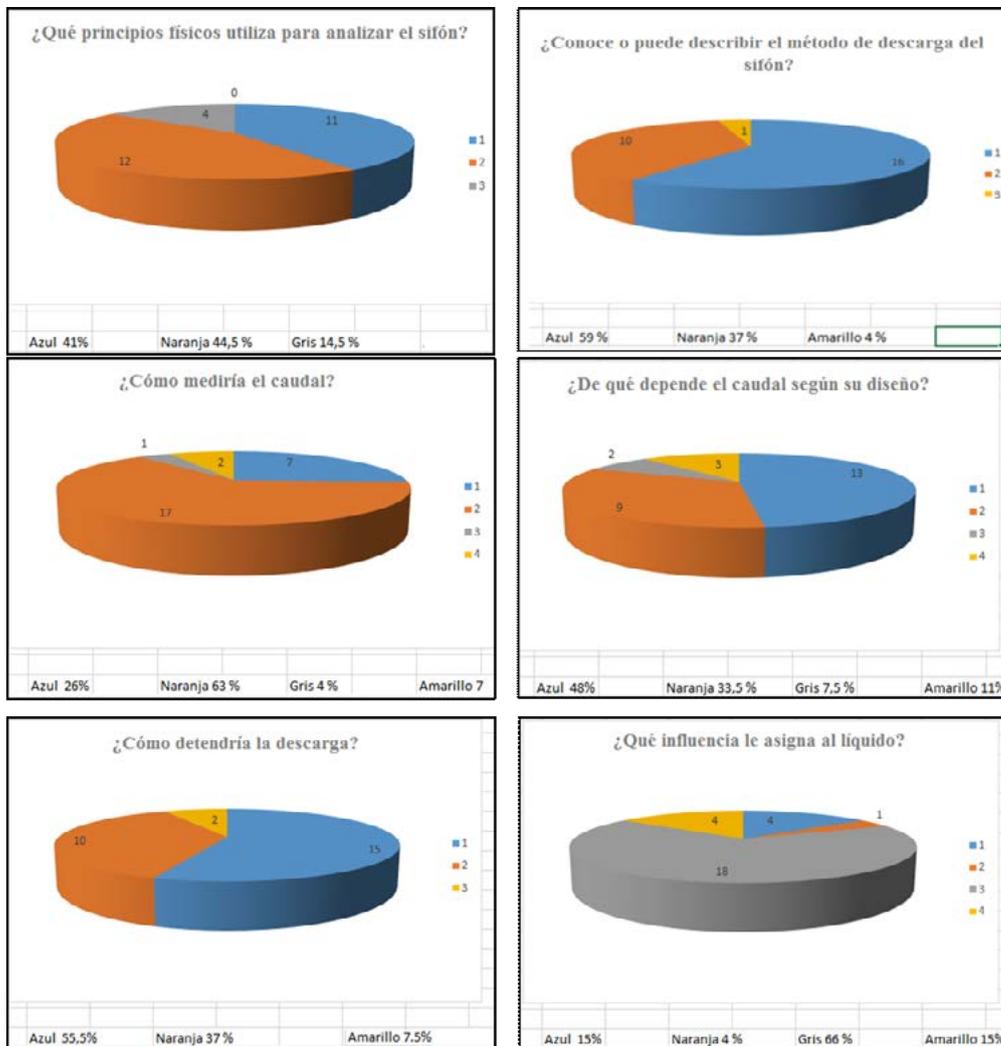


Figura 3: Estadísticas de la encuesta

en el caso 1) Explicar cómo se construye un sifón de descarga las conclusiones fueron:

- Azul: Conoce el dispositivo y puede describir su uso
- Naranja: No lo conoce
- Amarillo: En blanco, no responde

Para las preguntas 2, 3, 4, 5 y 6 la codificación en colores corresponde a las siguientes conclusiones :

- Azul: La respuesta es completa y adecuada a lo solicitado
- Naranja: contesta parcialmente
- Gris: la respuesta no es correcta
- Amarillo: No responde

3) ¿Cómo mediría el caudal?

4) ¿De qué variables depende ese caudal considerando su propuesta constructiva?.

5) ¿Cómo detendría la circulación de fluido, con una maniobra, una vez comenzada la descarga?

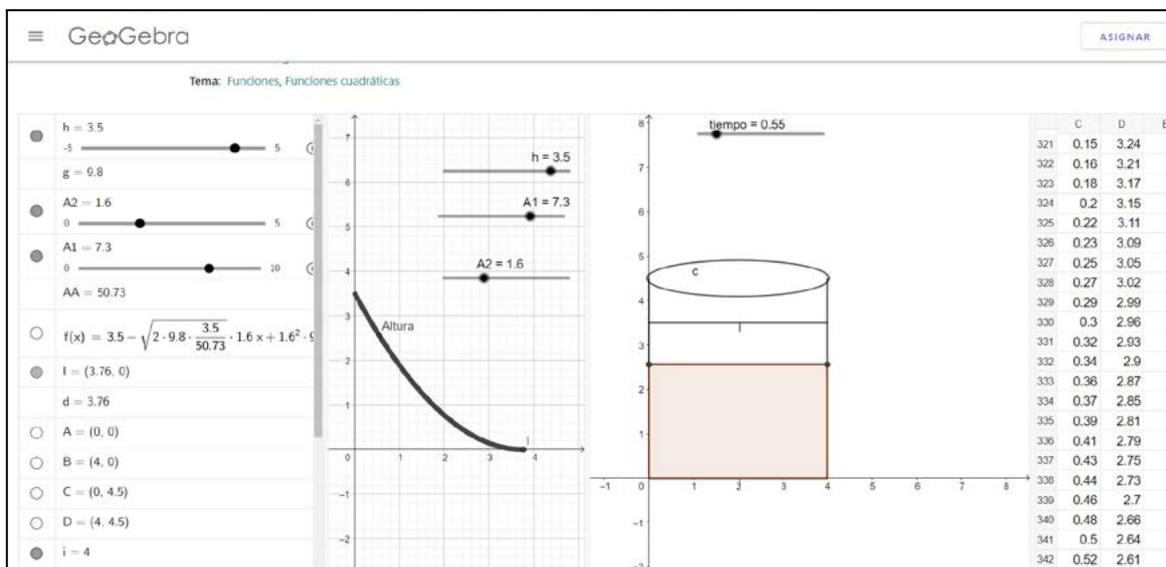
6) ¿Importa qué líquido se descarga? Explicar.

La medición del caudal y la influencia de líquido parecen corresponder al punto más desfavorablemente respondido.

### Simulaciones en GeoGebra

GeoGebra es un software de matemática dinámica, que ofrece un entorno en 2D y 3D [6] [7], posible de utilizar en todos los niveles educativos. Reúne, geometría, álgebra, hojas de cálculo, gráficos, estadísticas y cálculo en un solo entorno. Además, ofrece una plataforma en línea con más de 1 millón de recursos gratuitos para el aula creados por la comunidad, que se pueden compartir fácilmente a través de la plataforma. Como dato interesante, para este trabajo, es que GeoGebra, es una potente herramienta de simulación de procesos, con una interfaz intuitiva y ágil, que permite crear recursos de aprendizaje para la elaboración de simuladores, pues dispone de comandos, como son los “deslizadores” y de varias otras funcionalidades dinámicas, entre éstas los “comandos” y “guiones”.

Utilizando esta herramienta, se desarrolló una aplicación visible y descargable de <https://www.geogebra.org/m/pcxn8zyb> en la que se pueden manipular, usando deslizadores, la altura inicial, los valores de las secciones A1 y A2, y observar los valores que se obtienen de la altura de la descarga en función del tiempo (sin efectuar aún la corrección por la viscosidad) y simular el proceso en el tiempo. En la [Figura 4](#) se observa una captura de pantalla de tal simulación donde se visualiza la Vista Algebraica, Gráfica y de Hoja de Cálculo.



**Figura 4:** Simulación en GeoGebra de la descarga de un sifón. Los paneles indican, de izquierda a derecha: la vista algebraica, gráfica (representando el nivel de agua en función del tiempo, junto con los deslizadores correspondientes) y la hoja de cálculo respectivamente.

### Conclusiones

Se abordó el problema físico de la descarga de un sifón para contrastar las medidas de descargas contra modelos de distinta complejidad. Partiendo de la ecuación de Bernoulli se obtuvieron soluciones de la ecuación diferencial de primer orden que describe la variación del nivel de líquido con el tiempo. Sobre esas ecuaciones se incorporaron ajustes considerando dos casos: 1) una contracción de la sección 2) el efecto de la viscosidad con la corrección de Possuille Hagen.

Estos modelos se emplearon para reconstruir la situación en el software GeoGebra con el propósito de contar con una herramienta interactiva que permita la carga y representación de datos y su posterior ajuste con diferentes modelos seleccionables por alumnos. Esto permitirá verificar esos modelos y su rango de validez. Al momento, no se ha desarrollado un tratamiento estadístico que permita evaluar las incertidumbres y establecer mejores criterios para definir el modelo físico-matemático que representa la situación.

### Bibliografía

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Hagen–Poiseuille\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Hagen–Poiseuille_equation)
- [2] <https://hmong.es/wiki/Siphon>
- [3] Halliday, D. (2001). Fundamentos de física.
- [4] Suter, S. P., & Skalak, R. (1993). The history of Poiseuille 's law. *Annual review of fluid mechanics*, 25(1), 1-20.
- [5] Currie, I. G. (2016). Fundamental mechanics of fluids. CRC press. Chapter 7
- [6] Hohenwarter, M., Preiner, J., & Yi, T. (2007, July). Incorporating GeoGebra into teaching mathematics at the college level. In *Proceedings of the International Conference for Technology in Collegiate Mathematics 2007*.
- [7] Velikova, E., Mierlus-Mazilu, I., Vasileva-Ivanova, R., & Georgieva, D. (2018). About the stem Education. *Proceedings of University of Ruse*, 57, 10-14.