

# 147

## Simple + física



### Mide $g$ con un chorro de agua, una regla, un reloj y un recipiente graduado (31 mayo - 4 junio 2010)

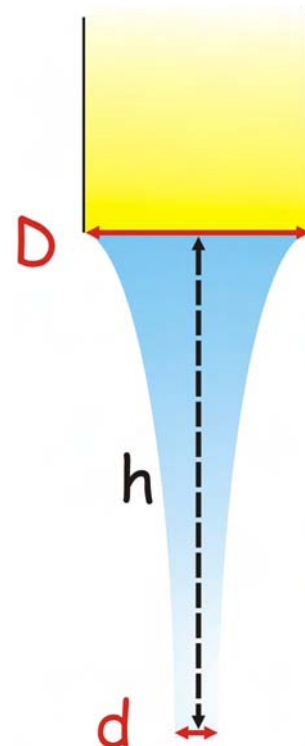
A continuación se explica un procedimiento sencillo para medir el valor de la aceleración de la gravedad terrestre,  $g$ .

Ajusta el grifo para que salga un delgado chorro de agua y mide el volumen de agua que cae en un recipiente graduado durante un tiempo determinado; así obtendrás el caudal  $Q$  del agua que fluye por el grifo. Mide el diámetro del chorro en dos puntos separados por una altura  $h$ ; denominaremos  $D$  el diámetro en la parte superior (que puede ser el diámetro interior del grifo) y  $d$  el diámetro medido en la parte inferior.

A partir de los datos anteriores, puedes obtener el valor de  $g$  mediante la siguiente expresión:

$$g = \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \frac{Q^2}{2h} \left(\frac{D^4 - d^4}{D^4 d^4}\right)$$

Si has tomado las medidas con suficiente cuidado, obtendrás un valor de  $g$  bastante aceptable.



---

AVISO: El objeto de *Simple+mente física* no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

El primer día hábil de cada semana se presentará (al menos, se intentará) una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión de la semana anterior.

---

Rafael García Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

Resp.: En primer lugar vamos a deducir la expresión que relaciona el caudal  $Q$  con los diámetros del chorro de agua,  $D$  y  $d$ , en dos puntos separados por una altura  $h$ . Denominaremos  $V$  y  $v$  las velocidades del chorro en los puntos donde su diámetro es  $D$  y  $d$ , respectivamente.

Por conservación de la masa, la ecuación de continuidad establece que el producto de la velocidad por la sección del chorro es constante:  $V \pi (D/2)^2 = v \pi (d/2)^2$ .

A partir de la ley de la conservación de la energía, la energía total (suma de la cinética y potencial) de cualquier elemento de masa  $m$  que sale del grifo es constante, por lo tanto:  $mgh + m V^2/2 = m v^2/2$ .

$$\text{De las dos expresiones anteriores se obtiene la relación } V = d^2 \sqrt{\frac{2gh}{D^4 - d^4}}. \quad (1)$$

En el punto donde la velocidad del chorro y su diámetro valen  $V$  y  $D$ , respectivamente, durante un tiempo  $\Delta t$  fluye un volumen de agua que es un cilindro de sección  $\pi (D/2)^2$  y altura  $V \Delta t$ . Si se divide este volumen de agua por el intervalo de tiempo, se obtiene el caudal  $Q = \pi V D^2/4$ , que es constante. Tras sustituir en la ecuación del caudal el valor de  $V$  dado por la ec. (1), se obtiene

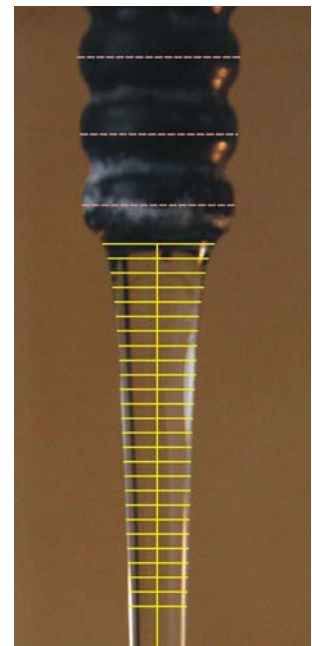
$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 D^2 \sqrt{\frac{2gh}{D^4 - d^4}}, \quad (2)$$

de donde se puede despejar el valor de la aceleración de la gravedad terrestre en término de las características del chorro de agua:

$$g = \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \frac{Q^2}{2h} \left(\frac{D^4 - d^4}{D^4 d^4}\right). \quad (3)$$

El caudal  $Q$  puede medirse con un recipiente graduado y un cronómetro. Las longitudes  $D$ ,  $d$  y  $h$  pueden medirse con una regla. Pero como el resultado que se obtiene para  $g$  es bastante sensible a la calidad de las medidas yo he procedido como se explica a continuación.

Para medir  $Q$  he empleado una balanza para obtener la masa de agua recogida en un recipiente durante un tiempo determinado; el volumen de agua recogida se obtiene al dividir esta masa entre la densidad del agua. He obtenido  $D$ ,  $d$  y  $h$  a partir de la fotografía del chorro de agua que se muestra en la imagen de la derecha, sobre la que se ha trazado líneas con un procesador de imágenes. La longitud (horizontal) y posición (vertical) de estas líneas permiten calcular el diámetro del chorro y su coordenada vertical en cada punto. Para convertir las unidades que emplea el procesador gráfico a unidades de longitud estándar (milímetros, por ejemplo) hay que tomar una referencia (en este caso es el ancho del grifo, medido con un pie de rey).

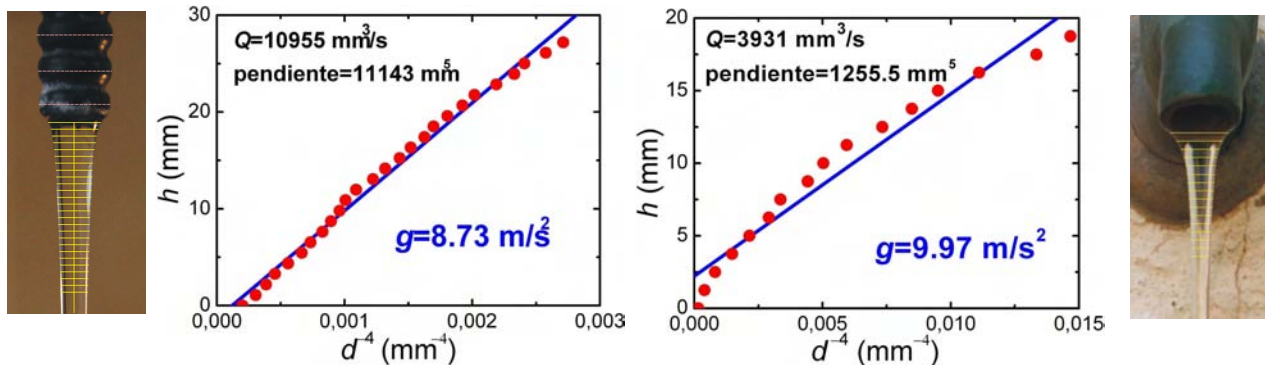


Los valores de  $g$  que obtengo si uso la ec. (3) con los dos valores de  $d$  más cercanos a la salida del grifo son  $9.3 \text{ m/s}^2$  y  $8.3 \text{ m/s}^2$ , respectivamente. Para evitar esta dependencia de  $g$  con los valores concretos empleados en cada cálculo, conviene obtener  $g$  a partir de la pendiente de un ajuste lineal, pues así contiene información sobre todas las medidas. Si se reescribe la ec. (2) como

$$h = \frac{8Q^2}{\pi^2 g} d^{-4} - \frac{8Q^2}{\pi^2 g} D^{-4} \quad (4)$$

se establece una relación lineal entre  $h$  y  $d^{-4}$ , en la que  $g$  aparece en la pendiente de la recta.

Las dos gráficas adjuntas muestran los datos representados de acuerdo con la ec. (4), para los chorros obtenidos con dos grifos diferentes. Mediante este procedimiento se obtiene  $g=8.73 \text{ m/s}^2$  en un caso y  $g=9.97 \text{ m/s}^2$  en el otro. Ambos valores son perfectamente homologables a los se puede obtener mediante otros métodos usuales en los laboratorios de física general (tales como el estudio de las oscilaciones de un péndulo o la caída libre de un cuerpo, por ejemplo).



**Miscelánea (frases, anécdotas, curiosidades...):** Disponemos de tres medios principales: observación de la naturaleza, reflexión y experimentación. La observación recoge los hechos, la reflexión los combina y la experimentación verifica el resultado de la combinación. ¡Es esencial que la observación de la naturaleza sea asidua, que la reflexión sea profunda y que la experimentación sea exacta! Casi nunca se dan estas habilidades conjuntamente. Por este motivo, no son frecuentes los genios creativos. [Denis Diderot (1713-1784), "Sobre la interpretación de la Naturaleza", XV (1753)]