

Determinación de la fuerza de roce con el aire usando nuevas tecnologías

*Silvia E Calderon*¹, *Silvia López González*² y *Salvador Gil*³
scald@2vias.com.ar, fliaram@arnet.com.ar, salvador.gil@unsam.edu.ar

¹ Instituto Superior del Profesorado J.V.González. Rivadavia 3570 – Ciudad de Buenos Aires

² Instituto Ballester. San Martín 444. Villa Ballester. Buenos Aires

³ Universidad Nacional de San Martín, Campus Miguelete, San Martín Buenos Aires.

Resumen

En este trabajo presentamos un ejemplo de uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el ámbito educativo. Estudiamos la caída de los cuerpos cuando el roce con el aire no puede ser despreciado. Este experimento permite “descubrir” las leyes que rigen el roce con el aire y su dependencia con la velocidad del objeto que se mueve.

Usando una cámara digital comercial en modo vídeo, analizamos la caída de filtros de café y globos cargados con diferentes pesos. Nuestro estudio revela que la velocidad de caída es constante y proporcional al peso de los cuerpos. Usando las leyes de Newton, a partir de la relación funcional de la velocidad con el peso obtenemos que la fuerza de roce es proporcional al cuadrado de la velocidad. El resultado es consistente con las expectativas teóricas para este sistema.

Esta actividad es un ejemplo de una aproximación constructivista para el estudio de un fenómeno. Fue implementada durante el desarrollo de un taller organizado por el proyecto “Red Participativa de Ciencia. Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente” cuyo fin es generar propuestas educativas que promuevan un mejoramiento en la enseñanza de las ciencias en los ciclos EGB y Polimodal de Argentina.

Palabras clave: nuevas tecnologías – trabajo experimental – física - constructivismo

Consideraciones teóricas

Introducción

El proyecto “Red Participativa de Ciencia. Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente”, auspiciado por la UNSAM y financiado por el Ministerio de Educación, está creando una red (*network*) de docentes de escuelas del ciclo medio y profesores universitarios. Su fin es generar propuestas educativas de integración de las áreas de física, matemática, informática, química y tecnología del medio ambiente, que promuevan un mejoramiento en la enseñanza de las ciencias en los ciclos EGB y Polimodal de Argentina. En particular la coordinación se propone rescatar y potenciar las buenas ideas de docentes de EGB y Polimodal de distintas escuelas de manera de generar un conjunto de proyectos de bajo costo para su uso en las aulas-laboratorios y hacerlos accesibles a toda la comunidad educativa del país.

En este contexto se realizó durante los meses de abril y mayo del presente año un taller donde participaron profesores de física, química, biología y matemática. Consistió en un curso breve de capacitación en el uso de nuevas tecnologías disponibles para la enseñanza de las ciencias y en el diseño y desarrollo de trabajos experimentales utilizando nuevas tecnologías.

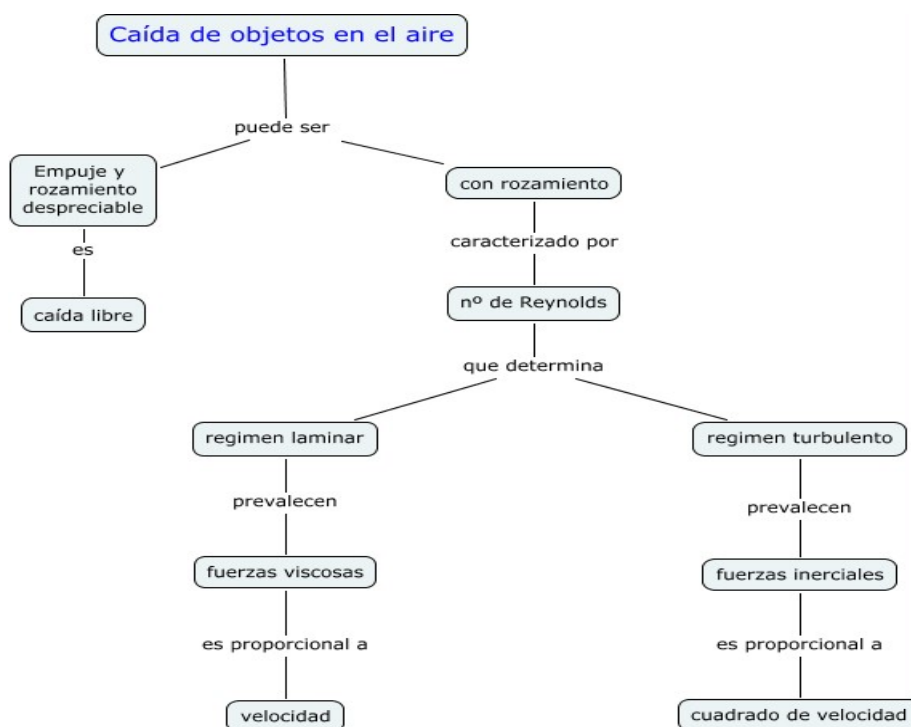
El uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la enseñanza en el nivel medio puede ser útil y oportuno. Por una parte esta tecnología permite un estudio detallado y preciso, difícil de lograr con herramientas tradicionales. Por otra los alumnos están sumergidos en un mundo informatizado y en general están preparados y motivados para su uso. Además la mayor parte de los trabajos prácticos mejoran en cuanto a la precisión de los resultados y profundidad del análisis de los mismos.

Sin embargo, en las escuelas medias no resulta una práctica habitual la incorporación de las TIC para la enseñanza de física. Estas tecnologías presentan características intrínsecas diferentes de otras herramientas culturales y generan un nuevo entorno para la adquisición y el manejo de la información. Esta especificidad propia origina transformaciones en el volumen, el costo y la estructura de obtención de la información. Un aspecto esencial es si estas transformaciones pueden aprovecharse para mejorar el aprendizaje. Es decir, si el esfuerzo que demanda la incorporación de las TIC redonda en un aumento de la comprensión conceptual de los estudiantes.

Nuestra propuesta consiste en el uso de la cámara digital en modo video para analizar la relación entre dos variables en el estudio experimental de un fenómeno. En particular se describe un experimento donde se dejan caer filtros de café de papel conocidos como “tipo canasta” y se analiza la relación entre la fuerza de rozamiento y la velocidad de caída. El mismo estudio puede realizarse usando globos inflados, con pequeñas cargas colgadas del mismo. Con la cámara digital se adquieren imágenes del movimiento, que se digitalizan. Con un software específico se analiza cada cuadro del video y se determinan las posiciones del objeto y el tiempo transcurrido.

El estudio del efecto de la resistencia del aire en objetos que caen es importante porque es parte de nuestra experiencia diaria. Las hojas de los árboles o las gotas de lluvia no parecen tener aceleración al caer¹.

En el diagrama se muestra la relación entre la velocidad de caída de un cuerpo y las fuerzas ejercidas considerando diferentes situaciones físicas.



El problema planteado es el estudio de la relación que existe entre la fuerza de rozamiento y la velocidad de caída del objeto. Para su enfoque, es posible utilizar una aproximación constructivista, dejando que los resultados experimentales nos conduzcan a encontrar la relación entre las variables que caracterizan el fenómeno.

Análisis físico del sistema

Cuando el objeto cae, las fuerzas ejercidas sobre el mismo son el empuje del aire (E), la de rozamiento (F_{roce}) con el aire y el peso (P), de la segunda ley de Newton tenemos:

$$P - E - F_{roce}(v) = m \frac{dv}{dt} \quad [1]$$

definimos $P_{ef} = P - E$, el “peso efectivo” del objeto. Su valor es el que se determina directamente con una balanza.

Nuestra hipótesis consiste en suponer que la fuerza de roce depende de una potencia n , desconocida de la velocidad, es decir F_{roce} proporcional a v^n . Si el objeto se mueve con velocidad constante, o sea cuando alcanza la velocidad terminal, según la Ec.[1], tenemos:

$$F_{roce}(v) = k \cdot v^n = P_{ef} = P - E \quad [2]$$

donde k es una constante de proporcionalidad.

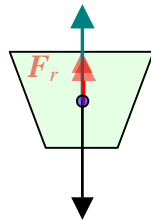


Figura 1. Diagrama de cuerpo libre del filtro de café cuando cae

Por lo tanto, midiendo la velocidad terminal de los filtros, para distintos pesos de los mismos, del gráfico de P_{ef} en función de v podemos verificar si la expresión [2] efectivamente se cumple y de los mismos gráficos obtener n .

Método experimental

El método experimental propuesto, hace uso de una cámara digital en modo vídeo.

Es precisamente este aspecto en que el presente trabajo innova respecto de los anteriores.² Las cámaras digitales se han convertido en dispositivos muy accesibles y resulta interesante utilizarlas para realizar experimentos cuantitativos.

En modo vídeo, las cámaras digitales registran fotografías de un objeto en intervalos iguales y conocidos de tiempo. En general una cámara comercial opera en 15, 25 o 30 cuadros por segundo (*fps*) según sea su especificación. De este modo cada fotograma está asociado a un tiempo bien definido. Por otra parte, cada fotograma digital contiene información de la posición del objeto en

estudio. Realizando una calibración de los píxeles a escala real, lo cual puede hacerse fácilmente con un objeto de dimensiones conocidas introducida en el experimento, es posible obtener la posición del objeto que se mueve en función del tiempo. A partir de esta información se puede reconstruir el movimiento del objeto en estudio.

En este experimento se dejaron caer filtros de café y globos de una dada altura y se filmó su caída de los mismos cargados con distintos pesos.

Se utilizó una cámara digital Sony Cybershot W5 que toma 25 cuadros por segundo. El análisis de los videos se realizó con un programa denominado Data Point³. A partir de este se obtienen las coordenadas de posición en píxel y en cada instante de tiempo correspondiente a cada cuadro o sea la tripla (t,x,y) .



Figura 2: pantalla que muestra el video filmado cuadro a cuadro

Los valores de (t,x,y) se exportaron a una hoja de Microsoft®Excel. Utilizando las dimensiones conocidas de una puerta, se reconstruyó el movimiento de los objetos en estudio.

Resultado y discusión

A partir del gráfico se determina que el cuerpo adquiere velocidad constante al poco de iniciar la caída. Se descartan los primeros valores debido a que el objeto no alcanza la velocidad límite en los primeros instantes.

Esta velocidad, conocida como velocidad terminal se obtiene de la pendiente de $y = y(t)$ ajustada con Excel

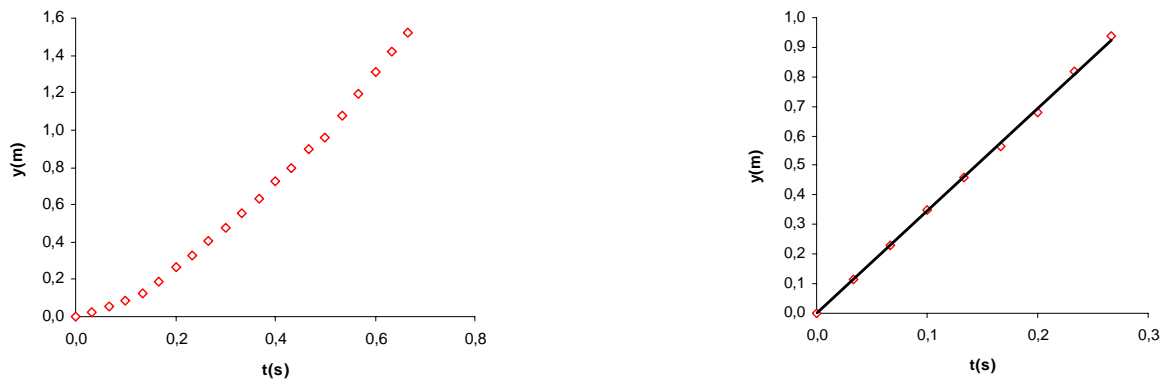


Figura 3. En el cuadro de la izquierda se muestra la posición del filtro a medida que cae en función del tiempo. En el cuadro de la derecha, se muestra los últimos valores de posición del cuerpo mientras cae en función del tiempo. La relación posición y tiempo es lineal, indicando que la velocidad es constante. La pendiente de la recta es la velocidad límite.

Una vez obtenidas las velocidades de los diferentes objetos para los distintos pesos efectivos, P_{ef} , se procedió a graficar P_{ef} en función de la velocidad terminal. En la figura 4 se presentan estos resultados en escala log-log y escala lineal.

El hecho que la gráfica de P_{ef} en función de v en escala log-log se linealice,⁴ evidencia que la relación entre estas magnitudes es de tipo potencial como sería de esperar según la expresión [2]. Del ajuste de estos datos podemos obtener los parámetros k y n de la Ec. [2].

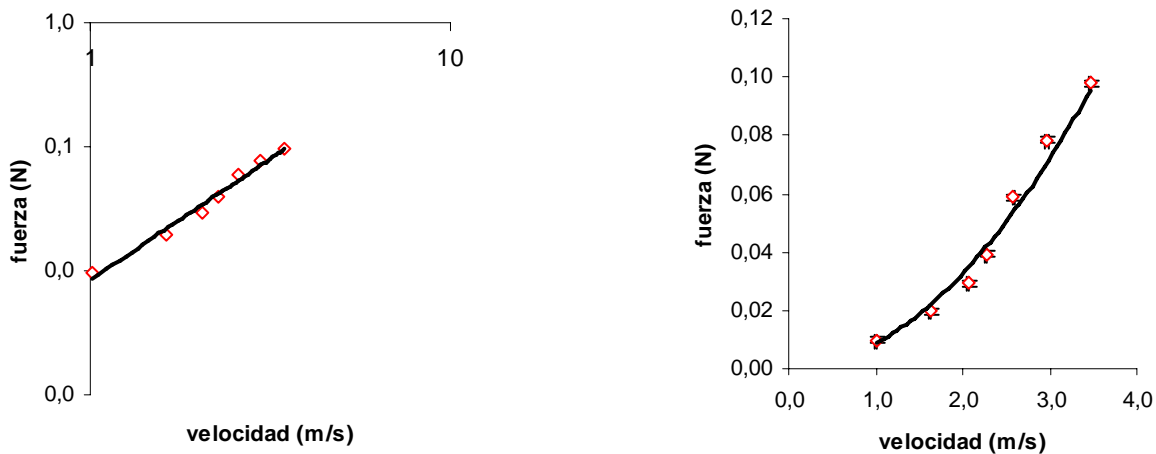


Figura 4. Representación de P_{ef} en función de v . A la izquierda en escala log-log y a la derecha en escala lineal. nuestros datos son consistentes con una fuerza de roce proporcional al cuadrado de la velocidad, o sea $n \approx 2$.

La incerteza del exponente n se calculó graficando $\log(P_{ef})$, en función de $\log(v)$. En este caso se obtiene una dependencia lineal entre las variables, y usando los métodos estándares de ajuste, podemos obtener la incerteza de los parámetros del ajuste. El valor obtenido es: $n = 1,9 \pm 0,2$ ($\epsilon_n = 7\%$).

Este resultado de la fuerza de roce es de esperar cada vez que el movimiento de un objeto en un medio fluido (aire) se realiza de tal modo que el Número de Reynolds (Re) es mayor que

aproximadamente 4000. El Número de Reynolds es el cociente entre las fuerzas inerciales y viscosas.

$$\text{Re} = \frac{\rho_{\text{medio}} \cdot v \cdot d}{\eta_{\text{medio}}} \quad [3]$$

donde ρ_{medio} es la densidad del medio, η_{medio} su viscosidad, v es la velocidad del objeto y d representa su dimensión característica, en nuestro caso el diámetro de los globos o filtro de café. En todos los casos estudiados, Re era del orden del 20000, consistente con el resultado obtenido.

Es posible presentar un argumento teórico simple que permite comprender el resultado logrado.⁵ Imaginemos que tenemos un objeto de área transversal A que se mueve en un medio fluido con velocidad v y cuya densidad es ρ , como se muestra en la Figura 5.

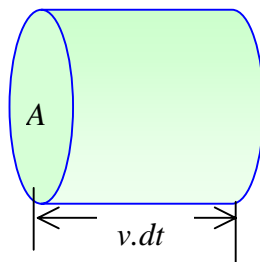


Figura 5. Objeto de área transversal A que se mueve en un medio fluido con velocidad v .

En un tiempo dt , el objeto barrerá un volumen $A \cdot v \cdot dt$. A las moléculas o partículas de fluido se le imprimirá un velocidad $\varepsilon \cdot v$, siendo ε un coeficiente que dependerá del tipo de choque, elástico, inelástico, etc.

El momento adquirido por estas partículas de fluido en dt será:

$$dp = \rho \cdot (A \cdot v \cdot dt) \cdot \varepsilon \cdot v. \quad [4]$$

Por lo tanto la fuerza de reacción contra el objeto que se mueve será:

$$F = \frac{dp}{dt} = \varepsilon \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \propto v^2. \quad [5]$$

Este resultado es compatible con el encontrado en este trabajo.

Finalmente es interesante señalar que la relación encontrada, $F \propto v^2$, es similar a la “ecuación de movimiento” de Aristóteles. Sin embargo, nuestro estudio muestra que este resultado es totalmente compatible con las leyes de Newton, mostrando así que este tipo de dependencia de la fuerza con la velocidad ($F \propto v^2$) es un caso particular de un paradigma mayor $F = m \cdot a$.

Es interesante señalar que con las leyes de Newton es posible comprender tanto la caída de los cuerpos cuando el roce es despreciable como cuando no lo es. El hecho que los cuerpos que caen, con el roce despreciable, tienen una aceleración independiente de su peso es inconsistente con las leyes de movimiento de Aristóteles.

Conclusiones

La incorporación de las TIC para el desarrollo de trabajos experimentales en la enseñanza de física es posible y beneficiosa.

Posible, porque en este trabajo mostramos como, con equipos de bajo costo o fácilmente disponibles, se pueden realizar buenas mediciones de la velocidad límite que alcanza un cuerpo cuando el roce con el aire no es despreciable. Además, la relación hallada entre la fuerza de roce y la velocidad está dentro de los resultados teóricos esperados consistente con el número de Reynolds para el objeto que se estudió.

Por otra parte es favorable porque permite hacer trabajos prácticos de laboratorio no habituales en nuestras escuelas medias e incluso en los institutos terciarios de formación docentes. Prácticas que permiten la construcción de conceptos acerca de la caída de los cuerpos.

El programa Excel es una herramienta poderosa y muy útil para el trabajo experimental, sobretodo para utilizar con alumnos de escuela media. Además este programa está disponible en la mayoría de la PC que existen en las escuelas y los hogares.

En el ejemplo desarrollado se aprecia un posible uso de las TIC en el ámbito escolar. A través de su análisis se muestra que la incorporación de las TIC pueden generar un nuevo entorno para la adquisición y el manejo de la información en el ámbito educativo. La posibilidad de trasladar al programa informático algunas actividades rutinarias que constituyen procedimientos tradicionales de los trabajos experimentales como la confección de cuadros de valores y gráficos, permite el análisis de mayor cantidad de datos en menos tiempo. Otra diferencia del desarrollo de este trabajo experimental es que los estudiantes pueden realizarlo fuera del ámbito del laboratorio escolar.

Bibliografía

¹ *Air Resistance on falling Balls and Ballons*. Gluck, P. The Physics Teacher, Vol 41, 178-180, 2003

² *Measuring air resistance in a computerized laboratory*, K. Takahashi and D. Thompson, Am. J. Phys. 67 (8),709, 1999

³ Disponible como shareware en [Hhttp://www.stchas.edu/faculty/gcarlson/physics/datapoint.htm](http://www.stchas.edu/faculty/gcarlson/physics/datapoint.htm)H

⁴ *Física re-Creativa*. Buenos Aires: Gil, S. y Rodriguez, E., Prentice Hall Buenos Aires (2001)

⁵ *Heuristic model of air drag on sphere*, J. E. Goff, Phy. Ed. **39** (6) 496, 2004