

## NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL VALOR DE LA ACCELERACIÓN DE LA GRAVEDAD EN LA TIERRA

Francisco Rojas Melgarejo

Profesor de Física y Química, Departamento de Orientación, IES Pedro Peñalver, 30366 El Algar-Cartagena, Murcia (España). [francisco.rojas@educarm.es](mailto:francisco.rojas@educarm.es)

[Recibido en Junio de 2007, aceptado en Agosto de 2007]

**Palabras clave:** Caída libre, aceleración de la gravedad, nuevas tecnologías.

### PROPOSITO

En este trabajo se utiliza una cámara fotográfica digital doméstica para determinar el valor de la aceleración de la gravedad en nuestro planeta ( $g_T$ ) por alumnos de Educación Secundaria Obligatoria, como una actividad que permite el aprendizaje mediante la interrelación de diferentes áreas: matemáticas, física, informática y tecnología. Se simplifican la multitud de pasos necesarios para el montaje de la práctica de "El péndulo simple" (práctica actual para determinar  $g_T$ ), se minimizan los inevitables errores cometidos por alumnos poco experimentados, se soluciona la poca disponibilidad de material y medios para la enseñanza de las ciencias en los centros de Educación Secundaria Obligatoria, y se muestra a los alumnos la utilidad de las nuevas tecnologías de uso cotidiano y doméstico en la resolución de problemas científicos nuevos o, como en este caso, en la resolución de viejos problemas pero con métodos más simples, sin perder precisión y exactitud.

### CAÍDA LIBRE

En este trabajo estudiaremos la caída libre de una pelota con el objetivo de medir la aceleración de la gravedad en la Tierra ( $g_T$ ) a partir de las imágenes grabadas. La secuencia de caída libre a estudiar se grabó (cuatro secuencias diferentes) mediante la opción de vídeo de una cámara digital doméstica. El programa PictureProject para Windows® permitió transferir la película a un ordenador PC y la secuencia de imágenes fue reproducida mediante el programa QuickTime Player que permitió el visionado de las imágenes a intervalos de 0.07 segundos. El inicio del movimiento de caída libre fue establecido tras varias repeticiones de las secuencias y elección del momento más adecuado. Cada instante del movimiento fue seleccionado, copiado y pegado en una diapositiva del programa PowerPoint del paquete Office de Microsoft®. Mediante la opción de cuadrícula y guías se configuró un espaciado de 0.1 cm en el

avance de las guías. De esta manera se midieron sobre la diapositiva las distancias recorridas por el objeto (pelota) que se dejó caer. El cálculo de la escala (escala 1:24) que correspondió a la imagen de la diapositiva (Gómez-Escobar, 2004) y su aplicación a las distancias medidas sobre la diapositiva permitió obtener las distancias reales recorridas por el objeto (Tabla 1). Este método de análisis de imagen determinó los límites de precisión:  $s_t^{min} = \pm 0.03$  s y  $s_h^{min} = \pm 1.20$  cm, respectivamente para el tiempo y la altura. Con los valores disponibles se calculó el valor más probable  $\bar{h}$  (m).

**Tabla 1**

$t$ (s)	$h_1$ (m)	$h_2$ (m)	$h_3$ (m)	$h_4$ (m)	$\bar{h} \pm s_h$ (m)
0.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00 ± 0.00
0.07	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99 ± 0.00
0.13	1.95	1.93	1.98	1.95	1.95 ± 0.02
0.20	1.86	1.83	1.89	1.86	1.86 ± 0.03
0.27	1.73	1.69	1.78	1.72	1.73 ± 0.04
0.33	1.54	1.48	1.60	1.55	1.54 ± 0.05
0.40	1.31	1.23	1.37	1.32	1.31 ± 0.06
0.47	1.04	0.94	1.11	1.04	1.03 ± 0.07
0.53	0.72	0.60	0.79	0.73	0.71 ± 0.08
0.60	0.37	0.23	0.43	0.35	0.35 ± 0.08
0.67	0.01	----	0.02	0.01	0.01 ± 0.01

Valores experimentales medidos de tiempo ( $t$ ) y altura ( $h_1-h_4$ ).  
Valor de altura más probable ( $\bar{h}$ ) y desviación estándar en la medida de la altura ( $s_h$ ).

**Tabla 2**

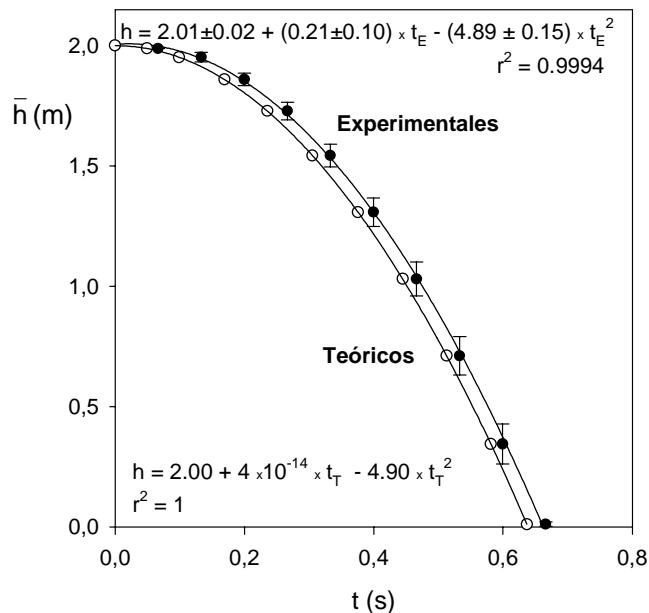
$\bar{h} \pm s_h$ (m)	$t_T$ (s)	$t_E \pm E_a^t$ (s)	$E_r^t$ (%)
2.00 ± 0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00
1.99 ± 0.00	0.05	0.07 ± 0.02	35.01
1.95 ± 0.02	0.10	0.13 ± 0.03	34.86
1.86 ± 0.03	0.17	0.20 ± 0.03	18.10
1.73 ± 0.04	0.24	0.27 ± 0.03	13.20
1.54 ± 0.05	0.31	0.33 ± 0.02	9.12
1.31 ± 0.06	0.38	0.40 ± 0.02	6.35
1.03 ± 0.07	0.44	0.47 ± 0.03	4.83
0.71 ± 0.08	0.51	0.53 ± 0.02	3.92
0.35 ± 0.08	0.58	0.60 ± 0.02	3.15
0.01 ± 0.01	0.64	0.67 ± 0.03	4.56

Valor de altura más probable ( $\bar{h}$ ) y desviación estándar en la medida de la altura ( $s_h$ ). Tiempo teórico calculado ( $t_T$ ), tiempo experimental medido ( $t_E$ ), error absoluto ( $E_a^t$ ) y error relativo ( $E_r^t$ ) en la medida del tiempo.

Los valores de desviación estándar calculados ( $s_h$ ) son pequeños, pero resultan significativos para los valores de  $\bar{h}$  finales por encontrarse dentro del límite de precisión. La diferencia entre los tiempos experimentales y teóricos,  $E_a^t$ , (Tabla 2) que corresponderían a los valores de  $\bar{h}$  medidos resultaron significativas para tiempos iniciales de ensayo (0.0-0.2 s) pues se encuentran dentro del límite de precisión de esta variable. Para tiempos avanzados, esta diferencia resultó poco significativa y se encuentran dentro de los márgenes de error experimentales aceptados ( $E_r^t \leq 10\%$ ).

Los valores experimentales reales medidos son representados ( $\bar{h}$  vs  $t$ ) mediante una gráfica de puntos (Figura 1), y ajustados a la ecuación de la función matemática más adecuada (Martínez-Salas, 1982):  $h = 2.01 \pm 0.02 + (0.21 \pm 0.10)xt_E - (4.89 \pm 0.15)xt_E^2$ . La idoneidad del ajuste realizado vino determinada por el valor del parámetro  $r^2$ . Las constantes de la ecuación de ajuste proporcionaron el valor experimental de  $g_T$  ( $9.78 \pm 0.30$  m/s<sup>2</sup>; coeficiente de variación  $CV = 3.07\%$ ), así como la altura desde la que se dejó caer la pelota ( $2.01 \pm 0.02$  m). El valor de  $g_T$  se obtuvo con un error absoluto  $E_a = 0.02$  m/s<sup>2</sup> y un error relativo  $E_r = 0.20\%$  con respecto al valor aceptado (9.80 m/s<sup>2</sup>; Taylor, 1997), y por tanto, con extraordinaria precisión y exactitud (Garber y Carey, 1992; Skoog y West, 1989). El ajuste por

regresión no lineal (Martínez-Salas, 1982) de los datos, se llevó a cabo mediante el algoritmo de Marquardt (1963) implementado en el programa Sigma Plot<sup>®</sup> 8.0 para Windows<sup>®</sup> (Jandel Scientific, 2002).



**Figura 1.-** Representación del valor de altura más probable ( $\bar{h}$ ) frente al tiempo de ensayo ( $t$ ): (●) experimentales y (○) teóricos.

La gráfica mostró una tendencia descendente coherente con el movimiento estudiado de caída libre, reforzando esta idea el signo negativo del término principal de la ecuación (con  $t^2$ ) que describe la línea de tendencia a la que se ajustaron los valores representados. A medida que el tiempo avanza, las gráficas de los valores experimentales y teóricos evolucionan de forma paralela, posiblemente debido a que las diferencias entre los correspondientes valores de ambas gráficas (Tabla 2:  $E_a^t$ ) se encuentran dentro del límite de precisión del diseño experimental que parece afectar por igual a todos los puntos de la gráfica. Los límites de precisión utilizados son mejorables utilizando un equipo de vídeo grabación-reproducción (cámara de vídeo grabación-reproducción) de mayor calidad junto con programas de análisis de imagen más avanzados.

## AGRADECIMIENTOS

A mis alumnos de 4º de Diversificación (promoción 2005-07), a mis compañeros de trabajo que activamente han contribuido a su formación, al Centro IES Pedro Peñalver y a su equipo directivo por facilitar nuestra tarea en todas aquellas cuestiones solicitadas. A Ruth y a Marta, fuentes de silenciosa inspiración.

## BIBLIOGRAFÍA

- Garber, C.C. y Carey, R.N. (1992). Estadística de laboratorio. En L.A. Kaplan y A.J. Pesce (Eds.). *Química Clínica. Teoría, análisis y correlación*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, S.A.
- Gómez-Escobar, M.C. (2004). *Métodos y técnicas de cartografía temática III. 4.* México, D.F.: Instituto de Geografía-UNAM.
- Jandel Scientific. "Sigma Plot 8.0 for Windows™". (Jandel Scientific, Ed.). Jandel Scientific: Corte Madera, 2002.
- Martínez-Salas, J. (1982). *Elementos de matemáticas*. Valladolid: José Martínez Salas.
- Skoog, D.A. y West, D.M. (1989). *Química Analítica*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.
- Taylor, J.R. (1997). *An introduction to error analysis. The study of uncertainties in physical measurements*, 2<sup>on</sup> edition. University Science Books, Sausalito, California.

## NEW TECHNOLOGIES TO OBTAIN THE EXPERIMENTAL VALUE OF THE EARTH GRAVITY ACCELERATION

**Keywords:** *Free drop, gravity acceleration value, new technologies.*