

MEDICIÓN DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD MEDIANTE UNA CÁMARA DIGITAL CONVENCIONAL

Estevez Santiago, Medrano Alberto, Muguero Florencia

santii_90@hotmail.com, jealmesa@hotmail.com, lamugui_92_flox@hotmail.com

FÍSICA EXPERIMENTAL I – FACULTAD DE CS. EXACTAS – UNICEN

OCTUBRE 2010

En este trabajo se midió de manera indirecta el valor local de la aceleración de la gravedad analizando la caída libre de un objeto. Para dicho análisis se empleó una cámara digital hogareña, y luego utilizando las ecuaciones generales de la cinemática se consiguió llegar al resultado de $g = (10.6 \pm 0,7) \text{ ms}^{-2}$.

Palabras Clave: Gravedad, Caída libre, Cinemática.

INTRODUCCION

La **gravedad** es una de las cuatro fuerzas fundamentales de la Naturaleza, junto al electromagnetismo, la interacción nuclear fuerte y la interacción nuclear débil. Es una fuerza que atrae a los cuerpos entre sí, y depende de la distancia entre los cuerpos y de sus masas.

Las experiencias de Galileo lograron demostrar que todos los cuerpos que se encuentran sobre la Tierra son atraídos hacia su centro con la misma aceleración, sin importar su masa. Dicha aceleración rige las leyes de Newton, para la cinemática por ejemplo. A partir de estas leyes se puede definir con gran precisión el valor de la gravedad por medio de experiencias de diferentes tipos, por ejemplo: péndulo simple¹, plano inclinado², tiro oblicuo³, caída libre⁴, etc.

En todas las experiencias mencionadas anteriormente el valor de la gravedad esta expresado como función de otras variables, en el tiro vertical se utiliza la siguiente ecuación⁵:

$$h = h_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (1)$$

Donde h es la altura en un instante dado, h_0 es la altura de la que se deja caer el cuerpo, v_0 es la velocidad inicial del cuerpo, g es la aceleración de la gravedad, y t es el tiempo transcurrido desde que empieza el movimiento hasta dicho instante.

Dentro del tiro vertical encontramos el caso particular de la caída libre, donde el cuerpo se deja caer desde una altura h_0 hasta el punto más bajo, considerado como $h=0$. También se supone $v_0=0$. Con estas consideraciones se llega a la siguiente ecuación:

$$h_0 = \frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

Donde ahora t es el tiempo que tarda el cuerpo en llegar hasta $h=0$ desde $h=h_0$

En esta experiencia se dejó caer un cuerpo desde distintas alturas h_0 y en todos los casos se midió el tiempo que tardó en recorrer la altura antes mencionada. De esta manera, a partir de la ecuación (2), se obtuvo el valor de g , siempre considerando que el rozamiento del aire es despreciable y al cuerpo como una masa puntual.

Detalles experimentales:

La práctica fue realizada en el laboratorio de Física de Ciencias Exactas a una temperatura de 23,5°C

Al comenzar la experiencia se definieron y midieron 4 diferentes (1.363m, 1.613m, 2.002m, y 2.203m) alturas que luego se utilizaron para el experimento. En todas ellas se tomó como h_0 a una viga (esta poseía sobre su base inferior gran cantidad de orificios, a través de las cuales se pasó el hilo que soportaba al cuerpo) sostenida del techo del laboratorio y como punto final se utilizó una superficie con distintos complementos para lograr así las diferentes alturas.

Para iniciar el movimiento se utilizó un hilo elástico, amarrado en uno de sus extremos al cuerpo utilizado, una bola de metal de 93g, (Figura 1) y en su otro extremo el operario utilizó un encendedor para cortar el hilo sin aplicar sobre el cuerpo ningún impulso.



Figura 1: Fotografía del cuerpo utilizado en las mediciones, mientras era sostenido por el hilo, instante antes de comenzar la caída.

La medición del tiempo de caída se realizó mediante una cámara digital SANYO VPC-S770, dispuesta según el esquema de la Figura 2, con la cual se filmó un video por cada una de las mediciones.

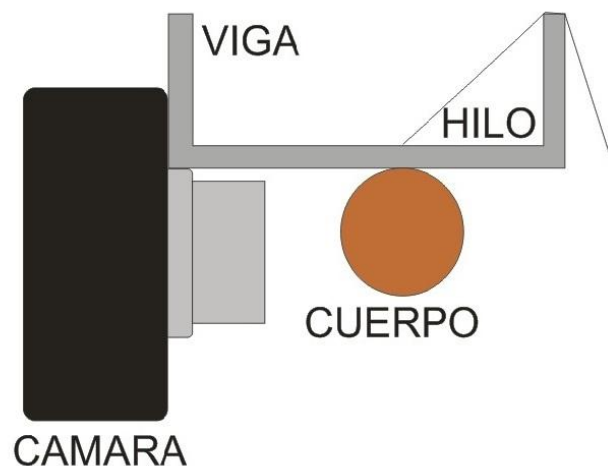


Figura 2: La cámara se sostiene de forma perpendicular a la viga, con el lente apoyado sobre un costado de la misma, de éste modo se consiguió un buen soporte para la cámara y para el cuerpo con lo cual se minimizaron los errores.

A partir de las grabaciones efectuadas, se definió un tiempo final y un tiempo inicial, de cuya diferencia se obtuvo el tiempo t a reemplazar en la ecuación (2). Estos tiempos están dados por:

1. Tiempo inicial: Para medir este tiempo se tomo cada video y se lo analizó mediante el software Adobe Premiere 6.5 Éste permite separar la filmación cuadro por cuadro (figura 3). De esta manera, luego del análisis, se logró definir el momento en el que el cuerpo se separa de la viga y de ahí, tomar el instante donde comienza el

movimiento. Para realizar esta tarea, se localizaba el cuadro en el cual el cuerpo ya había comenzado el movimiento, y se seleccionaba el tiempo del cuadro anterior para asegurarse que el intervalo entre los dos cuadros contuviera el instante real en el que comenzó el movimiento.

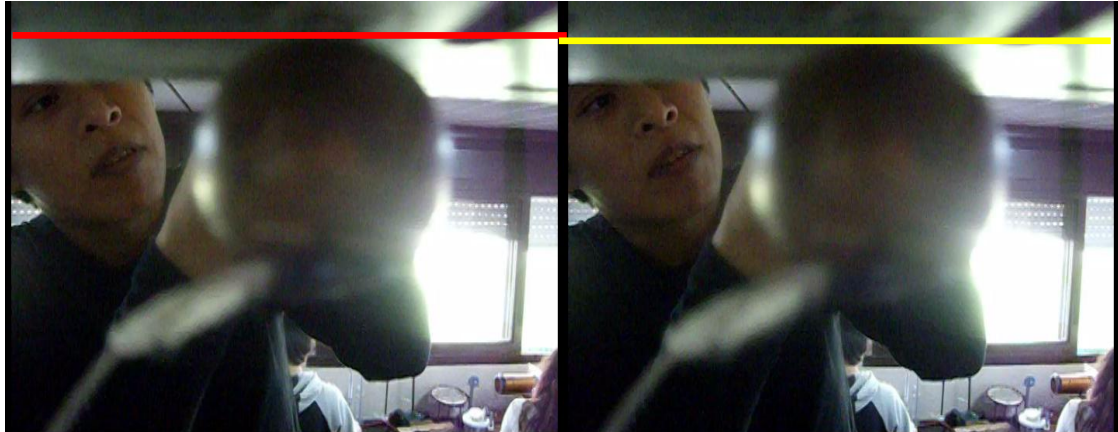


Figura 3: Aquí se muestra una secuencia de dos cuadros o fotogramas, en los cuales se ve una diferencia apreciable en la posición vertical del cuerpo. En este caso se tomo como valor para la medición el tiempo del primer cuadro.

2. Tiempo final: para obtener el tiempo final, es decir, el momento en el que la bola impacta con la superficie, utilizamos el software Cakewalk Sonar 6.0 Este programa nos permitió ver la onda de sonido de manera grafica, y a partir de ella determinar el momento exacto del golpe, representado como un pico dentro de dicha gráfica. En la Figura 4 se muestra una imagen tomada de la grafica del ruido producido por el golpe.

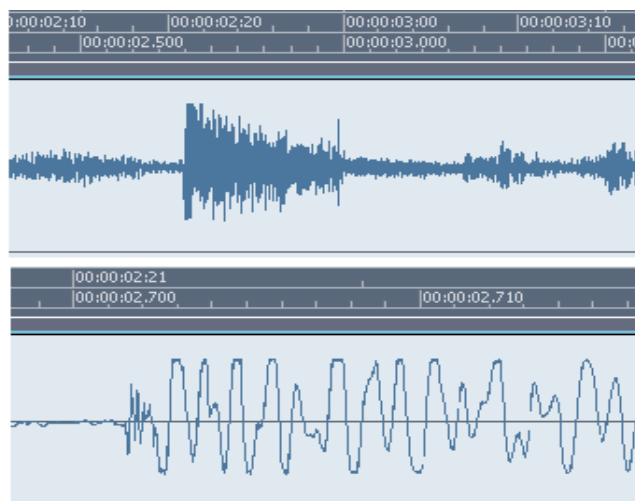


Figura 4: Muestra de los datos tomados por el software Cakewalk Sonar. En la imagen superior se muestra claramente el momento donde el cuerpo impacta contra la superficie (se toma el instante en el que comienza la onda), y la escala de tiempo utilizada por el programa.

Vale la pena destacar que, al definir los valores de t_f , se tomó en cuenta la velocidad del sonido en el aire, es decir el tiempo que transcurrió entre el impacto y el sonido detectado por la cámara, para corregir dichos valores.

La incertidumbre asociada a la medición estaría dada por:

- $\Delta h = 0.001 \text{ m}$
- $\Delta t_i = 0,0345 \text{ s.}$ (Error de t obtenido por el Adobe Premiere, 1 s. / 29 cuadros)
- $\Delta t_f = 0,001 \text{ s.}$ (Error de t obtenido por el Cakewalk Sonar)
- $\Delta (t_i - t_f) = \Delta t = 0,0345 + 0,001 = 0,0346 \text{ s.}$

Todos los valores obtenidos por la medición del tiempo inicial se ven afectados por una incertidumbre de 0,0346s. ya que en todos los casos se tomó el cuadro en el cual el movimiento no había comenzado todavía. Es indispensable notar que la incertidumbre instrumental presenta un sesgo. Teniendo en cuenta que:

$$t - 0,0346 \text{ s.} \leq t_{\text{correcto}} \leq t$$

Se puede obtener una expresión simétrica para la incertidumbre de tipo instrumental en la determinación de tiempo de caída si en vez de t consideramos el tiempo $t' = t - (0,0346/2) \text{ s.}$ tenemos que:

$$t' - \frac{0,0346 \text{ s.}}{2} \leq t_{\text{correcto}} \leq t' + \frac{0,0346 \text{ s.}}{2}$$

Entonces $\Delta t = 0.02 \text{ s}$ aproximadamente. Esta corrección fue utilizada en la Tabla 1 del Apéndice en las columnas llamadas h_i Corregido.

Luego, para aumentar la intensidad del ruido producido por el cuerpo al impactar sobre la base inferior (y que éste resalte sobre el sonido ambiente en el gráfico) se colocó sobre la base una placa metálica, considerándose su espesor en el valor de la altura medido anteriormente.

Por cada una de las h_0 tomadas se realizaron aproximadamente 30 mediciones, de las cuales, sólo se utilizaron 25 al momento de hacer la regresión lineal. De todos los valores obtenidos, fueron descartados aquellos que se alejaban del valor promedio, es decir, los que por algún error ocasionado durante el momento de medir se hayan alejado notablemente del valor estimado por la media. Estos errores mencionados se debieron a movimientos realizados por el operario que ocasionaron que las filmaciones no fuesen claras.

Finalmente, para analizar los datos se utilizó el software Origin 8.0, luego de cargar los datos, se realizó una regresión lineal para determinar el valor local de la gravedad.

Resultados

Una vez realizadas las mediciones se extrajeron los tiempos para cada una de las alturas que figuran en Tabla 1 del apéndice.

En la figura 5 se muestra la regresión lineal hecha con los datos.

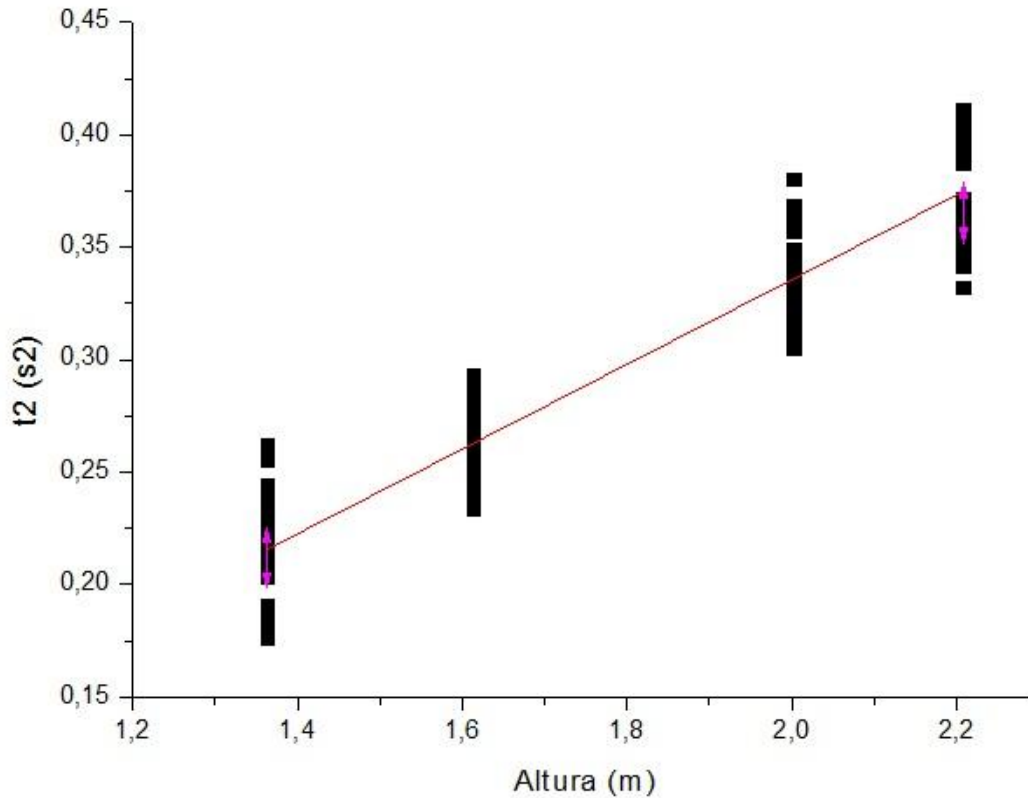


Figura 1: Tiempo al cuadrado en función de la altura h. El gráfico es el resultado del análisis realizado con el software Origin 8.0.

Por medio de la regresión lineal se logro obtener los siguientes datos:

- $\alpha = 0,18847 \text{ s}^2/\text{m}$
- $\sigma_\alpha = 0,00643 \text{ s}^2/\text{m}$
- $\beta = -0,04129 \text{ s}^2$
- $\sigma_\beta = 0,01175 \text{ s}^2$
- $r = 0,89653$

Siendo α y σ_α la pendiente de la curva con su respectiva incertidumbre, β y σ_β la ordenada al origen con su respectiva incertidumbre y r el coeficiente de correlación, el cual nos indica si es acertado utilizar este modelo (si se acerca a 1, la relación entre x e y es lineal y es aplicable el modelo de la regresión lineal)

Ahora para obtener el valor de la gravedad, utilizamos (2) y reemplazando con los datos obtenidos llegamos a:

$$g = \frac{2}{\alpha}$$

Y para obtener la incertidumbre asociada, notamos que:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta g}{g}$$

Por lo tanto, el valor de la gravedad local sería:

$$g(0,95) = (10,6 \pm 0,7) \text{ ms}^{-2}$$

Análisis

El valor obtenido a partir de esta experiencia de caída libre de la aceleración de la gravedad local fue de $(10,6 \pm 0,7) \text{ ms}^{-2}$. Se observa una notable diferencia entre el valor obtenido con este método y el valor obtenido por otros investigadores con métodos más precisos $(9,799165 \text{ ms}^{-2})^6$. Este error puede deberse a varios factores en primer lugar, a que no se tomó en cuenta el rozamiento que pudiese haber entre el hilo y la viga, luego de quemar el hilo y comenzado el movimiento. Notamos que, mientras se realizaba la práctica, el hilo retardaba la caída del objeto. De todas formas, de no haber existido este error, los tiempos hubiesen sido menores y por lo tanto el valor de g un tanto más grande, por lo que claramente no es el error principal. Además, en relación al tiempo inicial, la cámara utilizada tiene una resolución baja y no hacía foco, por lo que no era posible afirmar con total seguridad el instante en que empezaba el movimiento. Otro factor a tener en cuenta es que se supuso que la cámara utilizada graba imagen y sonido de manera sincronizada, algo que por el momento no estamos en condiciones de afirmar.

Conclusiones

Luego de realizada la experiencia de caída libre con la cámara de video, se puede afirmar que este método no es preciso en las condiciones dadas, por lo que el valor calculado con otros métodos (aprox. 9,79)⁶ no se asemeja al obtenido por la experiencia, es decir, el intervalo (9,9 – 11,3) ms⁻². El intervalo obtenido para la variable β , no contiene al cero pero se encuentra en un valor muy cercano, es decir, que el método posee un error sistemático pequeño.

En el futuro, de repetirse la experiencia debieran tomarse los recaudos mencionados anteriormente, como utilizar otro método para soltar el cuerpo, una cámara de mejor calidad, y probar si efectivamente dicha cámara graba imagen y sonido de manera sincronizada.

Apéndice

La Tabla 1 contiene los valores del tiempo obtenidos por la experiencia, además de una columna en la cual se especifica el tiempo utilizado para realizar la regresión lineal, una vez que los valores fueron corregidos restándole la mitad de su incertidumbre para lograr que el tiempo sea más aproximado al real.

Tabla 1

N de Medición	h₁	h₁ corregido	h₂	h₂ corregido	h₃	h₃ corregido	h₄	h₄ corregido
1	0,478	0,460	0,514	0,497	0,634	0,617	0,627	0,609
2	0,476	0,459	0,531	0,514	0,617	0,600	0,655	0,637
3	0,487	0,470	0,507	0,490	0,593	0,576	0,594	0,576
4	0,494	0,477	0,533	0,516	0,597	0,580	0,644	0,626
5	0,492	0,475	0,515	0,498	0,608	0,591	0,654	0,636
6	0,452	0,435	0,521	0,504	0,570	0,553	0,622	0,604
7	0,497	0,480	0,551	0,534	0,589	0,572	0,648	0,630
8	0,508	0,491	0,517	0,500	0,582	0,565	0,616	0,598
9	0,439	0,422	0,512	0,495	0,604	0,587	0,649	0,631
10	0,473	0,456	0,543	0,526	0,572	0,555	0,611	0,593
11	0,489	0,472	0,524	0,507	0,624	0,607	0,650	0,632
12	0,511	0,494	0,543	0,526	0,605	0,588	0,650	0,632
13	0,450	0,433	0,559	0,542	0,601	0,584	0,626	0,608
14	0,523	0,506	0,521	0,504	0,575	0,558	0,659	0,641
15	0,501	0,484	0,501	0,484	0,587	0,570	0,602	0,584
16	0,454	0,437	0,556	0,539	0,581	0,564	0,594	0,576
17	0,437	0,420	0,540	0,523	0,623	0,606	0,606	0,588
18	0,468	0,451	0,525	0,508	0,585	0,568	0,619	0,601
19	0,478	0,461	0,529	0,512	0,587	0,570	0,621	0,603
20	0,501	0,484	0,510	0,493	0,586	0,569	0,610	0,592
21	0,529	0,512	0,539	0,522	0,604	0,587	0,654	0,636
22	0,445	0,428	0,549	0,532	0,616	0,599	0,640	0,622
23	0,472	0,455	0,537	0,520	0,615	0,598	0,612	0,594
24	0,489	0,472	0,521	0,504	0,604	0,587	0,626	0,608
25	0,482	0,465	0,520	0,503	0,604	0,587	0,622	0,604

Referencias

¹ **García Daiana, Larregain Pedro, Machado Alejandro, “Medición de la aceleración de la gravedad”, Física Experimental I, 2008**

² **Cabrera María, Kessler Sofía, Solanilla Juan, “Determinación del valor de la aceleración de la gravedad g a través del método del plano inclinado”, Física Experimental I, 2009.**

³ **López Marina, Muriel Nadia, Noseda Victoria, Pardini, Pamela, “Aceleración de la gravedad, determinación de su valor”, Física Experimental I, 2006.**

⁴ **Prof. de Física y Química Francisco Rojas Melgarejo, “Nuevas tecnologías en la determinación experimental del valor de la aceleración de la gravedad en la Tierra”, Revista Eureka, España, 2008.**

⁵ **Resnick and Halliday, “Física Vol.I”, Compañía Editorial Continental, 2001**

⁶ **Medición obtenida por el Dr. Introcaso Antonio del Grupo de Geofísica - Instituto de Física de Rosario**