

Medición de la aceleración gravitatoria en Tandil

Falagan Cristian¹, Vilatte Guillermo¹

¹*Universidad Nacional del Centro, Facultad de Ciencia Exactas - Tandil, Buenos Aires,
Argentina*

cristianfalagan@gmail.com, guillermovilatte_91@hotmail.com

SUMMARY

En este trabajo, por el método de caída libre, determinamos la aceleración de la gravedad en la ciudad de Tandil, buscando también mejorar un experimento previo, el cual se concluyó con $g = 10.2m/s^2$ con un error relativo de 4,9%. Modificando el experimento con el uso de nuevas herramientas, logramos llegar al valor de $g = 9.76m/s^2$ con un error relativo de 0,9%.

Key words: Aceleración de la gravedad, caída libre, cinemática, electroimán.

1. INTRODUCCIÓN

Podemos establecer la ley universal de gravitación de Newton diciendo que la interacción gravitacional entre dos cuerpos, puede expresarse por una fuerza de atracción central proporcional a las masas de los cuerpos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa¹.

$$F_g = G \frac{(m_1 \cdot m_2)}{r^2} \quad (1.1)$$

Donde F_g es el módulo de la fuerza ejercida entre ambos cuerpos, y su dirección se encuentra en el eje que une ambos cuerpos, y $G = 6.67384 \times 10^{-11} Nm^2 kg^{-2}$ es la constante de la Gravitación

Universal.

Usando la ley de la gravitación universal, podemos calcular la fuerza de atracción entre la Tierra de masa $m_1 = 5.974 \times 10^{24} \text{kg}$ y un cuerpo de masa m_2 . Si tomamos r en su superficie como la distancia entre el centro de gravedad de la Tierra (centro de la Tierra) y el centro de gravedad del cuerpo, tendremos que $r = 6378 \text{km}$ (igual al radio terrestre sobre la línea del Ecuador suponiendo que la circunferencia de la Tierra es circular). Agrupando dichos valores, g nos queda $g = G \frac{m_1}{r^2}$

Un objeto en caída libre es un objeto que se mueve únicamente bajo la influencia de la gravedad. Para analizar este movimiento se despreció la resistencia del aire sobre el cuerpo y la modificación de la aceleración de la gravedad con las distintas alturas.

Cuando consideramos un cuerpo que cae con una velocidad inicial, la distancia vertical h que recorre desde $t = 0$ se describe por la expresión cinemática:

$$h = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (1.2)$$

donde g es la aceleración de la gravedad, t es el tiempo de caída, h la altura y v_0 la velocidad inicial del objeto. Si suponemos que $v_0 = 0$, y calculamos los distintos valores de g mediante las medidas que obtenidas de tiempo y las que determinamos de altura:

$$g = \frac{2h}{t^2} \quad (1.3)$$

El objetivo de nuestro experimento fue calcular el valor de la aceleración de la gravedad a partir del uso de un electroiman colocado a determinadas alturas, desde donde se deja caer una esfera metálica hacia una placa sensorial, midiendo el tiempo de caída.

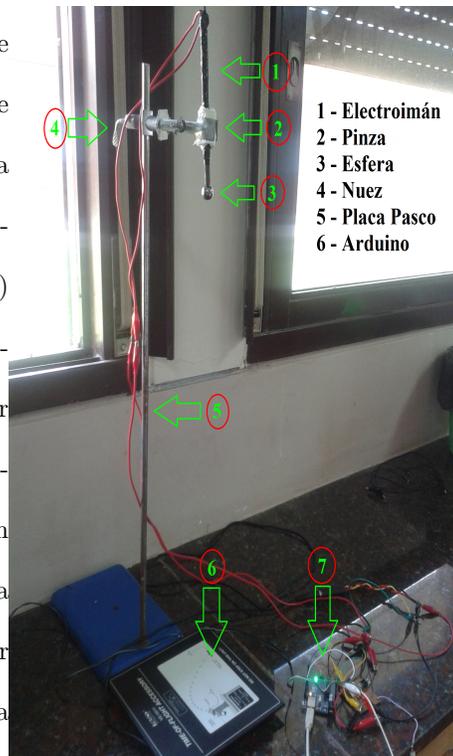
2. MÉTODOS

El método utilizado para calcular la aceleración de la gravedad fue el de caída libre. El experimento lo realizamos en el laboratorio de Física de la Facultad de Ciencias Exactas el cual consistía en

establecer tres alturas distintas ($41,1\text{cm}$ – $59,9\text{cm}$ – $79,9\text{cm}$) desde las cuales se dejó caer una esfera metálica imantable con un diámetro de $15,86\text{mm} \pm 0,01\text{mm}$ y se midió el tiempo de caída.

La estructura utilizada consistía en un soporte universal de 76 cm de altura, en el cual sujetamos con una nuez, una pinza que sostenía un electroimán en el cual quedaba atraída la esfera en el extremo inferior del mismo (Ver Figura 1.)

El sistema del electroimán, fue diseñado y realizado por los alumnos de Física Experimental 3. El mismo consiste en un electroimán controlado por computadora, mediante una placa Arduino (plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica) la cuál, por medio de un comando introducido en la computadora, la placa interrumpe la corriente que circula por el electroimán, lo cual permite que comience la caída libre de la esfera. Al mismo tiempo, comienza la medición del tiempo. En el punto final de caída, la esfera choca contra una placa Pasco ME-6810, la cual posee un sensor sonoro que en el momento en que la esfera la golpea, envía un pulso a la computadora la cual frena la medición del



tiempo. Finalmente, el tiempo medido es mostrado en la pantalla de la computadora con una resolución de milésima

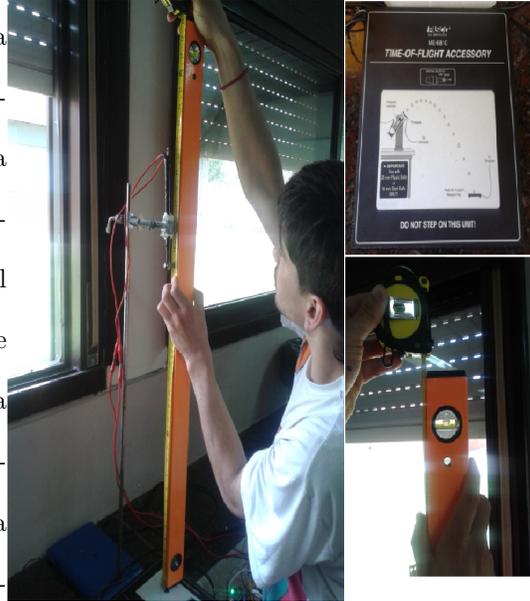
de segundo ($1 \times 10^{-3}\text{s}$).

La distancia de caída la medimos con una cinta métrica Lining de 5 metros (con resolución de 1 mm) y un medidor de nivel de 1 metro de largo. Posicionamos el medidor de manera vertical (guiándonos con la burbuja de uno de los extremos del medidor que nos indica con buena exactitud

Figura 1. Esquema de la disposición experimental y las magnitudes relevantes medidas durante la experiencia.

que medimos verticalmente) y lo apoyamos sobre la placa Pasco ME-6810 (ver Figura 2). Luego, colocamos el cero de la cinta métrica sobre el extremo inferior del medidor hasta el extremo superior, y de esta manera, medimos la distancia

desde la placa, hasta la parte inferior de la esfera (previamente colocada en el extremo inferior del electroimán). Al momento de determinar la tercera altura (79,9 cm), el soporte universal no era lo suficientemente alto por lo cual utilizamos una base de tergopol de 18,5 cm de altura, colocándola debajo del soporte y de esta forma, compensamos la altura faltante para realizar las medidas. Una vez teniendo todo los instrumentos listos, comenzamos a medir. Para cada altura establecida realizamos 20 mediciones, es decir, un total de 60 mediciones. El procedimiento para dichas



mediciones fue: Figura 2. Izq: Medicion de altura. Arriba: Pasco ME-6810. Abajo: Burbuja de nivel

- Adherir la esfera a la parte inferior del electroimán
- Esperar unos segundos, ya que al momento de colocar la esfera, ésta oscilaba unos segundos.
- Luego, desde de la computadora, enviábamos el comando, para que el electroimán dejara de imantar la esfera.
- En el momento en que el imán dejaba de imantar, la esfera iniciaba su caída y el sistema comenzaba la medición del tiempo.
- Finalmente, cuando la esfera llegaba al punto final de caída, chocando contra la placa Pasco ME-6810, ésta enviaba un pulso a la computadora, arrojándonos el tiempo total de caída.
- Como paso final, tomábamos nota de los valores de tiempo en una planilla Excel, y junto a su respectiva altura, calculámos el valor de g , mediante la ecuación (1.3).

3. RESULTADOS

Mediante los valores de tiempo obtenidos (Ver Apéndice 1), expresamos cada valor como tiempo al cuadrado y operamos mediante la ecuación (1.3), trabajando t^2 en función de h , con la cual podremos calcular el valor de g , mediante el resultado de la pendiente, es decir:

$$t^2 = \left(\frac{2}{g}\right) h \tag{3.4}$$

Finalmente, como se puede observar en la Figura (3), realizamos una regresión lineal con los datos obtenidos y de esta forma, obtener el valor de g .

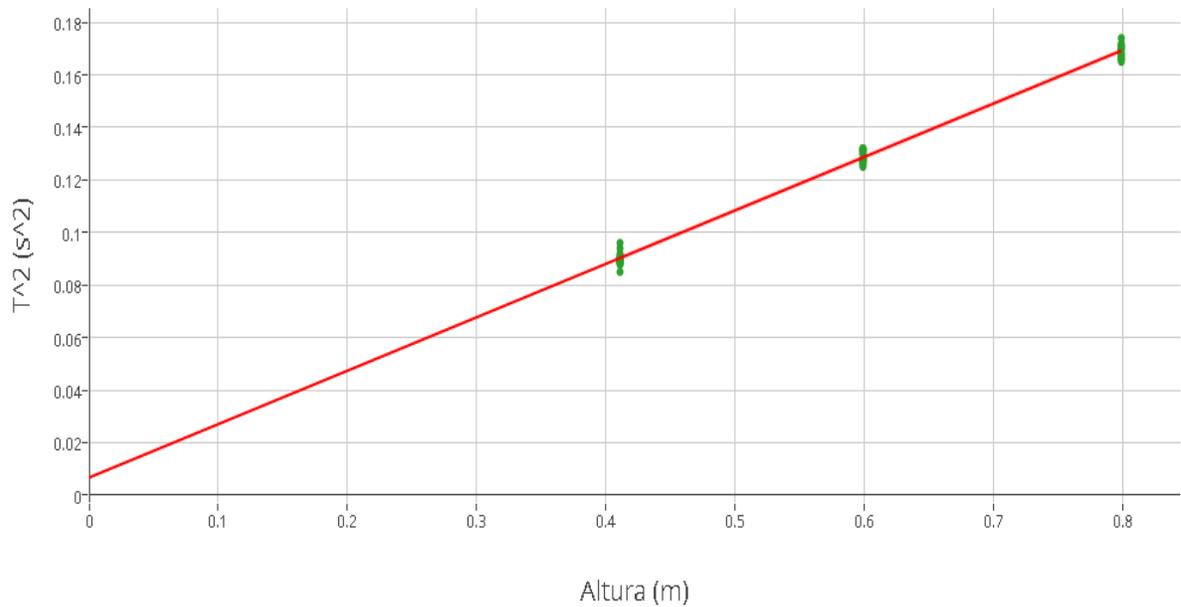


Figura 3. Regresión lineal de t^2 en función de h .

Por medio de la regresión lineal, utilizando una función $y = \alpha x + \beta$, logramos obtener los siguientes datos:

α	σ_α	β	σ_β	r
0,2034m/s ²	0,0033m/s ²	0,0067s ²	0,0020s ²	0,99

Donde α es el valor de la pendiente σ_α su respectiva incertidumbre, β el valor de la ordenada al origen y σ_β su respectiva incertidumbre y r el valor de correlación lineal.

De la ecuación 3.4 se tiene que:

$$g = \frac{2}{\alpha} = 9.76 \frac{m}{s^2}$$

Por medio de la incertidumbre instrumental ($0,08m/s^2$) y la incertidumbre por fluctuaciones al azar ($0,01m/s^2$) (ver Apéndice 2), logramos calcular la incertidumbre absoluta total de:

$$u_t = 0.09 \frac{m}{s^2}$$

Llegando al valor total de g , con un intervalo de confianza del 99%

$$g = 9,76m/s^2 \pm 0,09m/s^2.$$

4. ANÁLISIS

El valor obtenido de g fue $9,76m/s^2 \pm 0,09m/s^2$, el cual expresado por medio de un intervalo, sería:

$$9,67 < 9,76 < 9,85$$

En investigaciones previas y medios más precisos, el Dr. Introcaso Antonio del Grupo de Geofísica - Instituto de Física de Rosario², obtuvo que la aceleración gravitatoria en Tandil, es $9.7991165m/s^2$. Comparando dicho valor con nuestro resultado final, podemos confirmar que el valor obtenido por el Dr. Introcaso, forma parte del intervalo determinado en nuestra experiencia. Sin embargo, debemos tener en cuenta, que mediante los datos obtenidos en la regresión lineal, observamos que tuvimos un error sistemático por exceso en las mediciones del tiempo (1 centésima de segundo). Analizando el procedimiento realizado, podemos suponer que la diferencia de tiempo medido, era originada por un retraso en el envío de los pulsos que operaban el cronometro, ya sea por el electroimán o por la placa. Otro factor a tener en cuenta es la magnetización remanente del electroimán, es decir, la capacidad de un material para retener el magnetismo que le ha sido

inducido. Teniendo en cuenta este factor, podemos suponer que la velocidad de caída de la esfera pudo llegar a ser alterada.

Gracias al uso del electroimán, hemos logrado mejorar el valor e incertidumbre con respecto al trabajo de Fernández y col.³, en el cual realizaron un experimento similar de caída libre, pero con el uso de un fotosensor Pasco ME – 9215A conectado a la placa Pasco ME – 6810 y sosteniendo una esfera lo mas cerca posible del fotosensor. Luego de plantear su respectivo análisis, lograron llegar a la conclusión de que la consideración de $V_0 = 0$ en su modelo teórico era incorrecta ya que existía una separación significativa entre el cuerpo y el fotosensor al momento de iniciarse la caída, lo que estaría provocando una $V_0 \neq 0$. Teniendo en cuenta esto, su valor final de g , se vio afectado por un error sistemático logrando una incertidumbre relativa porcentual (4,9%), la cual logramos corregir en nuestro experimento mediante el uso del electroimán logrando una incertidumbre relativa porcentual de 0,9%.

De todas maneras, mejorando la resolución de los instrumentos utilizados, como también el método de medición de la altura de caída, se podría lograr un valor de g más exacto y preciso y acercarse al logrado por el Dr. Introcaso obtenido por instrumentos más sofisticados.

5. CONCLUSIÓN

En este trabajo, se llegó a medir la aceleración de la gravedad en Tandil con un valor de $9,76m/s^2 \pm 0,09m/s^2$, logrando incluir el valor obtenido por el Dr. Antonio Introcaso² como también, gracias al uso del electroimán, hemos logrado mejorar la determinación del instante inicial de la trayectoria en el experimento de caída libre, respecto al uso del fotosensor utilizado en el experimento de Fernández y col.³.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Alonso M., Finn E.J., Física Vol. I Mecanica, primera edición (1970).
2. Información brindada por el Dr. A. Introcaso, Grupo de geofísica del Instituto de Física de Rosario (IFIR).
3. Fernández, Guariste, Correa, Medición de la aceleración de la gravedad mediante un sistema fotosensor-placa detectora, Física Experimental I, 2010.

7. APÉNDICE

1. Valores de tiempo obtenidos respecto a las diferentes alturas.

Medición	$H_1 = 0,411 \pm 10^{-3}m$	$H_2 = 0,599 \pm 10^{-3}m$	$H_3 = 0,799 \pm 10^{-3}m$
1	$0,297s \pm 10^{-3}s$	$0,362s \pm 10^{-3}s$	$0,412s \pm 10^{-3}s$
2	$0,299s \pm 10^{-3}s$	$0,362s \pm 10^{-3}s$	$0,408s \pm 10^{-3}s$
3	$0,300s \pm 10^{-3}s$	$0,355s \pm 10^{-3}s$	$0,407s \pm 10^{-3}s$
4	$0,299s \pm 10^{-3}s$	$0,357s \pm 10^{-3}s$	$0,413s \pm 10^{-3}s$
5	$0,303s \pm 10^{-3}s$	$0,364s \pm 10^{-3}s$	$0,411s \pm 10^{-3}s$
6	$0,300s \pm 10^{-3}s$	$0,362s \pm 10^{-3}s$	$0,413s \pm 10^{-3}s$
7	$0,301s \pm 10^{-3}s$	$0,353s \pm 10^{-3}s$	$0,410s \pm 10^{-3}s$
8	$0,299s \pm 10^{-3}s$	$0,357s \pm 10^{-3}s$	$0,412s \pm 10^{-3}s$
9	$0,307s \pm 10^{-3}s$	$0,358s \pm 10^{-3}s$	$0,417s \pm 10^{-3}s$
10	$0,310s \pm 10^{-3}s$	$0,364s \pm 10^{-3}s$	$0,410s \pm 10^{-3}s$
11	$0,298s \pm 10^{-3}s$	$0,358s \pm 10^{-3}s$	$0,414s \pm 10^{-3}s$
12	$0,292s \pm 10^{-3}s$	$0,360s \pm 10^{-3}s$	$0,409s \pm 10^{-3}s$
13	$0,297s \pm 10^{-3}s$	$0,358s \pm 10^{-3}s$	$0,407s \pm 10^{-3}s$
14	$0,298s \pm 10^{-3}s$	$0,358s \pm 10^{-3}s$	$0,410s \pm 10^{-3}s$
15	$0,300s \pm 10^{-3}s$	$0,360s \pm 10^{-3}s$	$0,409s \pm 10^{-3}s$
16	$0,298s \pm 10^{-3}s$	$0,364s \pm 10^{-3}s$	$0,414s \pm 10^{-3}s$
17	$0,296s \pm 10^{-3}s$	$0,358s \pm 10^{-3}s$	$0,415s \pm 10^{-3}s$
18	$0,300s \pm 10^{-3}s$	$0,357s \pm 10^{-3}s$	$0,408s \pm 10^{-3}s$
19	$0,301s \pm 10^{-3}s$	$0,355s \pm 10^{-3}s$	$0,412s \pm 10^{-3}s$
20	$0,301s \pm 10^{-3}s$	$0,358s \pm 10^{-3}s$	$0,406s \pm 10^{-3}s$

2. La incertidumbre total fue calculada por medio de la formula:

$$u_t = \sqrt{u_\alpha^2 + u_i^2} = 0,09 \frac{m}{s^2}$$

donde u_α son las fluctuaciones al alzar o incertidumbre estadística:

$$u_\alpha = k_\alpha \frac{S_{n-1}(g)}{\sqrt{n}} = 0,01 \frac{m}{s^2}$$

y u_i es la incertidumbre instrumental:

$$u_i = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial t}\right)^2 U_{i,t}^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial h}\right)^2 U_{i,h}^2} = 0,08 \frac{m}{s^2}$$