

El cuaderno de laboratorio, los apuntes y los cálculos en la hoja electrónica contienen muchos de los detalles del experimento que son casi solo comprensibles por el experimentador, por lo que difícilmente es un material que dé cuenta de los resultados experimentales. Como generalmente se requiere comunicar los aspectos importantes del experimento, es necesaria la preparación de un reporte o informe escrito.

Un reporte formal debe ser completo pero conciso, no caer en mucho detalle si no es necesario. El informe debe tener una estructura lógica y ser fácil de leer. El cumplir con estos requisitos es una tarea que requiere experiencia, que solo puede obtenerse al escribir muchos informes y que se puede complementar mediante la observación detallada de informes escritos por otras personas.

En el informe escrito se deben considerar varios detalles: el problema estudiado y su significado, las conclusiones que se han derivado del estudio y si estas están bien respaldadas por los datos experimentales, la información que se halle en la literatura, el procedimiento y el equipo utilizado.

Para asegurar la claridad y la estructura lógica del informe, suele dividirse en las siguientes secciones: Título, Resumen, Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones, Agradecimientos, Apéndices o Anexos, Referencias y Bibliografía. Sin embargo, en muchas ocasiones se combinan dos o más secciones con el propósito de presentar un informe más breve. Por ejemplo, algunos reportes presentan una sección de “Resultados y Discusión” o “Resultados y Análisis”, en otros no es necesario presentar la sección de “Agradecimientos” o la sección de “Apéndices”.

Aunque en nuestro curso nos preocupemos de escribir reportes técnicos, debemos procurar el uso correcto del lenguaje. Hay algunos aspectos que se aceptan por convención, como lo es escribir en tercera persona, en tiempo pasado cuando se dan detalles de lo que fue hecho durante el experimento, en tiempo presente cuando se dan detalles del estado del arte o cuando se infieren relaciones generales de los datos. También, se recomienda que las oraciones sean cortas, especialmente cuando el contenido es muy técnico o el vocabulario sea muy especializado.

Ejemplo:

Se **midió** la longitud de la barra de cobre como una función de la temperatura. El gráfico mostrado en la Figura 1 **indica** que el aumento en la longitud de la barra **es** directamente proporcional al incremento en la temperatura.

Es común que en los informes se utilicen abreviaturas para referirse a técnicas experimentales, a un instrumento utilizado o a cualquier otro concepto. En estos casos, es importante explicar la abreviatura la primera vez que sea utilizada.

Ejemplo:

En el movimiento rectilíneo uniforme (MRU), la velocidad es constante. Por otra parte, en el MRU la aceleración es cero.

Secciones del informe

Consideraremos algunos detalles que deben tomarse en cuenta en un típico informe, sin embargo, la escritura del informe muestra un estilo propio y particular, que hace diferente un informe de otro. En este curso se incentiva utilizar la creatividad pero a partir de algunas normas muy generales.

1. Título

Debe ser breve, informativo, apropiado y atractivo. Deberá especificar con claridad el tema del informe. Se recomienda evitar el uso de artículos “El” o “La” como la primera palabra.

En muchos informes, bajo el título, se da el nombre del autor, la institución a la que está adscrito y la fecha del informe. En nuestro curso preferiremos incluir la información suficiente para identificar los autores y el grupo de trabajo en una *portada*.

Como ayuda para seleccionar un título adecuado, se puede responder a varias preguntas:

1. ¿Es un trabajo experimental o teórico?
2. ¿Es una medición o un cálculo?
3. ¿Cuál es el tema del trabajo?
4. ¿Qué método general usamos?

Ejemplos:

- a) *Una comparación de las propiedades térmicas aislantes del poliestireno y de la fibra de vidrio.*
 - b) *Medición del calor específico del agua por medio de calorimetría convencional.*
-

2. Resumen

Se recomienda que sea breve –entre 50 a 150 palabras. Se debe evitar el detalle que luego se podrá hallar en las secciones siguientes. Aquí se presenta de forma directa lo que fue hecho, el por qué es importante y las principales conclusiones.

3. Introducción

Debe describir los fundamentos y los objetivos particulares del experimento. En esta sección se refiere al problema a ser investigado y se presenta el estado del arte, con el cuidado de no dar demasiado detalle, para no perder la atención del lector, pero tampoco debe carecer de información pues es posible que el lector se confunda.

La extensión de la introducción depende del tipo de reporte; se recomienda que no exceda el 20 % del total de todo el informe.

Algunos aspectos que deben ser tomados en cuenta al escribir la introducción son los siguientes:

1. Indicación del tema.
2. Revisión de la información existente.
3. Aplicación de la información al experimento específico.
4. Enunciado del propósito del experimento.

4. Materiales y métodos

Esta sección es una descripción de cómo fue realizado el experimento, además de que se presentan los materiales, las muestras y los componentes usados. Se describen en pocas palabras, las técnicas experimentales, el procedimiento y el equipo utilizado. Si es necesario se incluyen diagramas de la configuración experimental.

Aspectos que pueden tomar en cuenta para facilitar la confección de esta sección:

1. Bosquejo del procedimiento.
2. Detalles específicos de la medición.
3. Diagramas de los aparatos o de la configuración experimental.
4. Precauciones.

5. Resultados y discusión

No es necesario incluir todos los datos obtenidos en el experimento, únicamente los datos necesarios para que el análisis, la discusión y las conclusiones estén bien respaldados. Se recomienda utilizar gráficos, pues además de presentar grandes cantidades de información, suelen

verse en la primera mirada que se dé al informe y generalmente el lector lo observará con más detalle que una tabla de datos.

En la discusión se interpretará los resultados que se han presentado, enfocándose en los puntos importantes. Si se considera que alguno de los cálculos realizados debe ser presentado en detalle, como por ejemplo el cálculo de incertidumbres, este deberá incluirse en la sección de apéndices o anexos.

Algunos aspectos que deben ser considerados para la confección de esta importante sección:

1. Valores medidos.
2. Descripción de las incertidumbres.
3. Gráficos.
4. Cálculos.
5. Comparación entre el modelo y el sistema.
6. Discrepancias entre el modelo y el sistema.

6. Conclusiones

Esta es una de las secciones más importantes y en muchas ocasiones es difícil de confeccionar. Debemos regresar al propósito del experimento: cuál fue su objetivo y cómo el experimento realizado alcanza ese objetivo. Si otros investigadores han realizado una investigación similar, puede incluirse una comparación de los resultados obtenidos, dando una referencia al otro trabajo. Si se ha determinado el valor de alguna variable importante, debe darse explícitamente en las conclusiones.

7. Apéndices

Hay ocasiones en el que debe incluirse algún material que se presente dentro del propio informe afectaría la lectura del reporte, como lo es el desarrollo de algún cálculo matemático o una demostración. También pueden incluirse tablas de datos experimentales o gráficos que se considere importantes para complementar la información. En muchas ocasiones, en esta sección se incluye el listado de un programa de cómputo o una rutina que fue utilizada en el análisis de datos.

8. Referencias

Las referencias son una parte importante de los informes pues se da acceso a la información concerniente a la investigación, a los detalles de las técnicas experimentales utilizadas y a los resultados obtenidos por otros investigadores.

Hay varias formas de citar las referencias dentro de un informe. En este curso de laboratorio hemos acordado el uso de las normas APA, puesto que son normas muy utilizadas en muchas áreas y a través de ellas será sencillo adaptarse a otras convenciones.

Ejemplo

A continuación se presenta un ejemplo de informe, en donde se observan algunas de las secciones más importantes que se han mencionado hasta ahora. No se pretende con este modelo limitar al estudiante al uso exclusivo de estas secciones, al contrario, se incentiva utilizar o proponer otras formas en donde se muestre y analice adecuadamente la información.

Medición de la aceleración debida a la gravedad: Comparación de dos métodos

Natalia Guevara, Laura Murillo y Milena Rojas

Grupo 40
Laboratorio de Física General I
Escuela de Física, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Agosto de 2013

Resumen

Un objeto cayendo libremente bajo la acción de la gravedad, cerca de la superficie de la Tierra, se mueve con aceleración constante. En este informe se evalúan dos métodos para la determinación de la aceleración debida a la gravedad, g . En uno de los métodos se utiliza la relación entre g y el tiempo que tarda un objeto en caer una distancia fija. El otro método se basa en la medida del periodo de un péndulo simple. Ambos métodos resultan en valores de g que son consistentes con valores reportados anteriormente, pero se observa que el método en el que se utiliza el péndulo simple proporciona valores más exactos y precisos.

1. Introducción

Todos los cuerpos sobre la superficie de la Tierra experimentan una fuerza de atracción debida a la gravedad. El efecto de la fuerza es más evidente cuando el cuerpo se deja caer libremente bajo la influencia del campo gravitacional. La ley de Newton de la gravitación predice que la aceleración debida a la gravedad depende de la masa de la Tierra y de la distancia medida desde el centro de la Tierra, a la que se encuentra el cuerpo que cae. Como la distancia de caída de un objeto cerca de la superficie de la Tierra es pequeña comparada con el radio de la Tierra, g puede ser considerado constante en todo el recorrido. El objetivo de este experimento es comparar dos métodos para establecer el valor del campo gravitacional, g , cerca de la superficie de la Tierra.

2. Materiales y Métodos

Caída libre de objeto (Método A)

Se determinó el tiempo que una bola de metal tardó en caer varias distancias, h . La Figura 1 muestra el arreglo experimental utilizado.

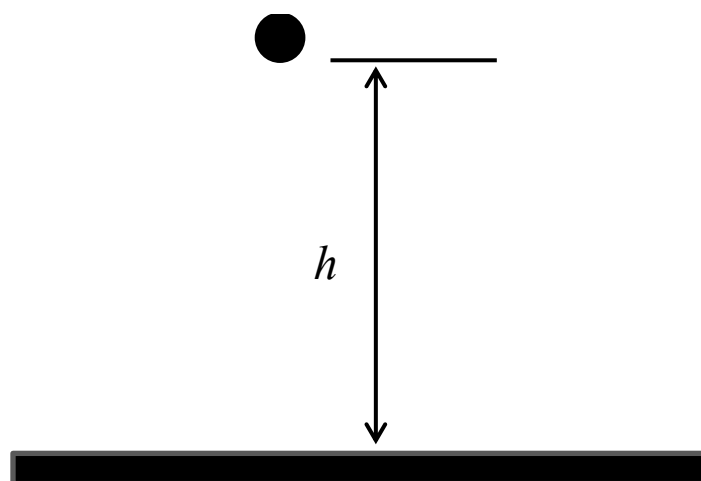


Figura 1. Disposición experimental para el método A.

La distancia h fue medida con una cinta métrica, la cual tiene una menor división de 1 mm. La medida del tiempo de caída fue realizada utilizando un cronómetro de mano con una resolución de 0,01 s. Para obtener una mejor estimación del tiempo, se realizaron 5 medidas para cada distancia (bajo condiciones de *repetibilidad*)

Periodo de un péndulo simple (Método B)

Mediante una cuerda seató una pequeña esfera de metal a un punto fijo. Se permitió oscilar el péndulo a través de un pequeño ángulo ($< 5^\circ$), como se muestra en la Figura 2.

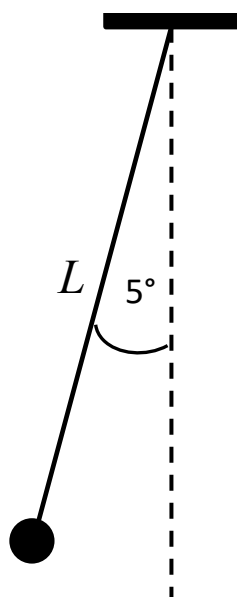


Figura 2. Disposición experimental para el método B.

Mediante un cronómetro de mano, se midió el periodo de movimiento, T , como una función de la longitud, L , del péndulo. Para reducir la influencia del tiempo de reacción, se midió el tiempo para 5 oscilaciones sucesivas.

3. Resultados y Discusión

Método A

En la Tabla 1 se muestran los datos obtenidos para la caída libre de la bola como una función de la distancia. La segunda columna de la tabla contiene el valor promedio de las cinco mediciones realizadas para cada distancia. La desviación estándar del tiempo corresponde a la desviación estándar de la distribución de las medias (JCGM, 2008).

Tabla 1. Tiempo promedio de caída de la bola para varias distancias.

Distancia $(h \pm 0,01) \text{ m}$	Tiempo $t \text{ (s)}$	Desv. Estándar $S_t \text{ (s)}$
0,86	0,38	0,06
2,02	0,65	0,06
3,01	0,79	0,10
4,26	0,99	0,10

La relación entre la distancia, h , a través de la cual el cuerpo se mueve (a partir del reposo) con aceleración constante, a , en el tiempo, t , está dada por (Resnick, Halliday, & Krane, 2004):

$$h = \frac{1}{2}at^2 \quad (1)$$

A partir de esta ecuación se obtiene

$$t = \left(\frac{2}{a}\right)^{\frac{1}{2}} h^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Esta ecuación es de la forma $y = mx + b$, con intercepto $b = 0$ y pendiente m , dada por:

$$m = \left(\frac{2}{a}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$a = \frac{2}{m^2} \quad (4)$$

En este experimento la aceleración en la ecuación (4) es igual a g . La Figura 3 muestra un gráfico de t versus $h^{1/2}$ para los datos de la Tabla 1.

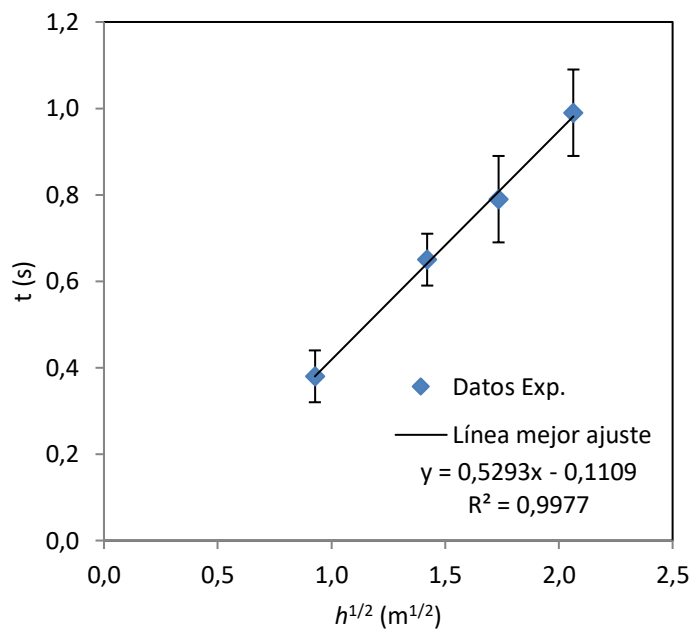


Figura 3. Gráfica de tiempo de caída de la bola versus $(\text{distancia de caída})^{1/2}$

Mediante el método de mínimos cuadrados, para un modelo lineal, obtenemos la siguiente relación entre las variables:

$$y = 0,53x - 0,11$$

Mediante la relación (5), es posible calcular la desviación estándar de la pendiente (Baird, 1991).

$$S_m = S_y \sqrt{\frac{n}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}} \quad (5)$$

donde S_y es la desviación estándar de los valores experimentales de la variable dependiente y n es el número de datos. Por tanto, utilizando la *ley de la propagación de la incertidumbre* y la ecuación (4) se encuentra que la aceleración de la gravedad es¹

$$g = (7,1 \pm 2,6) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 7,1 (1 \pm 40,8 \%) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Método B

La Tabla 2 muestra los datos obtenidos del periodo del péndulo como una función de la longitud. La incertidumbre en el tiempo corresponde al promedio de la desviación estándar aproximada para cada longitud.

Tabla 2. Valores medidos del periodo del péndulo como función de la longitud.

Longitud ($L \pm 0,005$) m	Periodo ($T \pm 0,02$) s
0,410	1,32
0,575	1,55
0,700	1,71
0,825	1,84
0,900	1,93

La relación entre el periodo del movimiento del péndulo simple (T) y su longitud (L) es (Sears, Zemansky, & Young, 1988):

$$T = 2\pi \left(\frac{L}{g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Esta ecuación es de la forma $y = mx + b$ con pendiente, m , dada por:

$$m = \frac{2\pi}{g^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

$$g = \frac{4\pi^2}{m^2} \quad (8)$$

Utilizando los datos de la Tabla 2, la Figura 4 muestra la gráfica de T versus $L^{\frac{1}{2}}$.

¹ Ver Apéndice 1 para más detalles sobre la incertidumbre de g .

Del método de mínimos cuadrados se obtiene la relación lineal $y = 1,967x + 0,0601$ y con la ecuaciones (5) y (8) se determina, mediante este método, que la aceleración debida a la gravedad es:

$$g = (10,2 \pm 0,9) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 10,2 (1 \pm 8,8 \%) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

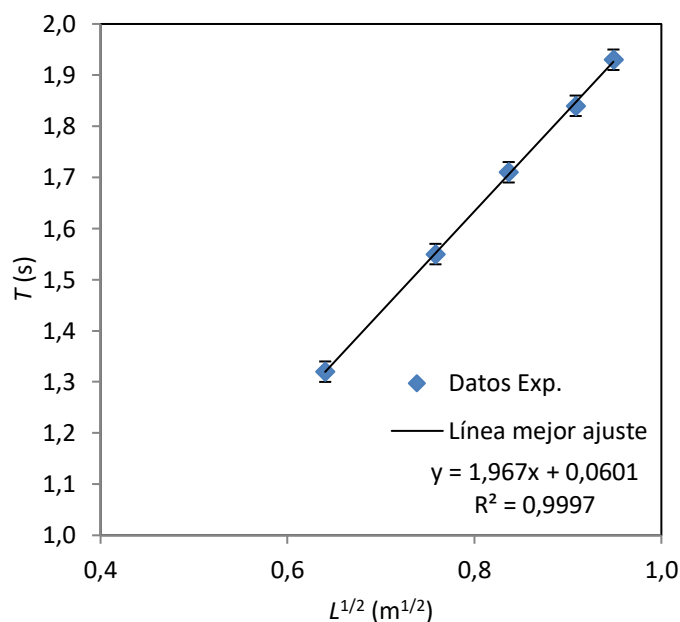


Figura 4. Periodo del péndulo en función de la longitud^{1/2}

Observe que los valores para la aceleración de la gravedad, determinados usando ambos métodos, son consistentes con los valores que se encuentran en la literatura (Crossley, Hinderer, & Riccardi, 2013). Sin embargo, el método a partir del periodo del péndulo simple es más conveniente, pues las mediciones se realizan más rápidamente y el valor de g obtenido es más cercano al publicado por otros investigadores, es decir, es un valor más exacto que el obtenido con el método A. En ambos métodos, la fuente principal de incertidumbre está en la determinación del tiempo de los eventos. Sin embargo, en el caso del péndulo, el tiempo de reacción es una pequeña fracción del tiempo total de la medición, mientras que en el método A el tiempo de reacción es significativo en cada medida. Quizás, un medio electromecánico u óptico para sincronizar el inicio y el final del movimiento de la bola con el instrumento de medición podría brindar un mejor resultado.

4. Conclusiones

Se ha determinado el valor de $g = (10,2 \pm 0,9) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ para la aceleración debida a la gravedad estudiando el movimiento de un péndulo simple. Este valor es comparado con el valor $g = (7,1 \pm 2,9) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ obtenido a partir de la medición del tiempo de caída libre de un objeto bajo la acción de la gravedad. La incertidumbre relativa de 8,8 % para el método del péndulo, comparada con la incertidumbre relativa de 40,8 % para el método de caída libre, muestra que el resultado obtenido mediante el péndulo simple presenta mayor precisión, además de ser más exacto pues el valor es más cercano al valor de referencia.

5. Referencias

- Baird, D. C. (1991). Experimentación: *Una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos*. México: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S. A.
- Crossley, D., Hinderer, J., & Riccardi, U. (2013). The measurement of surface gravity. *Reports on Progress in Physics*, 76(046101), 47.
- JCGM, C. C. (2008). Evaluación de datos de medición -Guía para la expresión de la incertidumbre de la medida. Madrid: Centro Español de Metrología.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. S. (2004). *Física*. México: Compañía Editorial Continental.
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (1988). *Física Universitaria* (Sexta ed.). México: Addison-Wesley Iberoamericana, S. A.