



Universidad de Nariño

Vicerrectoría de Investigaciones e Interacción Social -VIIS

Plan de Mejoramiento y Actualización Pedagógica del Laboratorio de Física II del Programa de Física de la Universidad de Nariño

Acuerdo No 039 (Diciembre 14 de 2020)

INFORME PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado por:

Yithsbey Giraldo Usuga

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia
Abril 2023

28 de abril de 2023

INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

“Plan de Mejoramiento y Actualización Pedagógica del Laboratorio de Física II del Programa de Física de la Universidad de Nariño”

Departamento de Física: ACUERDO No 039 (Diciembre 14 de 2020)

Comité de Ética en Investigación: Acta de Aprobación No. 006 (Enero 22 de 2021)

Vicerrectoría de Investigaciones e Interacción Social: RESOLUCIÓN No. 0496 (marzo 26 de 2021)

PRESENTADO POR **Yithsbey Giraldo**

1. RESUMEN

En este informe final daré los resultados de mi proyecto de investigación. Se incorporaron nuevos elementos metodológicos, de contenido y virtualidad al laboratorio de Física II.

2. INTRODUCCIÓN

Durante dos (2) años, a partir del 2020, estuve encargado de desarrollar las prácticas nuevas de termodinámica, para el curso de Laboratorio de Física II del Programa de Física de la Universidad de Nariño. Se diseñaron los preinformes y exámenes virtuales para este curso. Se realizaron las prácticas virtuales. Se aplicó el sistema de adquisición de datos a una de las prácticas. Y se pretende modificar las prácticas para adaptarlas a informes virtuales.

En este trabajo debo agradecer el compromiso y la colaboración de nuestra jefa del Departamento, **Karla Reyes**, y a los laboratoristas **James Perengüez** y **Fredy Santacruz**. También debo aclarar que el trabajo en el laboratorio aún no ha finalizado, y falta mucho por hacer, pero hemos avanzado bastante en este sentido.

Hemos avanzado en el desarrollo de las prácticas en muchos frentes. Por ejemplo, tenemos unas guías de laboratorio más maduras que pueden ser ya impartidas en los cursos, y las hemos enriquecido con los exámenes y preinformes virtuales.

Adicionalmente, hemos tenido también tropiezos debido a la demora de la entrega de los equipos y a la pandemia que de alguna manera afectó nuestra metodología en el desarrollo de las prácticas. Pues también esto nos obligó a avanzar en las prácticas virtuales, pero de alguna manera van a enriquecer la calidad de las prácticas de laboratorio.

3. METODOLOGÍA

En principio, teníamos una metodología para sacar adelante las prácticas de laboratorio, que en su mayor parte se ejecutó.

- a. Hicimos una revisión del estado del Laboratorio de Física II de la Universidad de Nariño. Y encontramos la siguiente situación:
 1. El laboratorio de deformaciones ha sufrido algunas modificaciones con el uso de dinamómetros.

2. Debido a la modificación del contenido programático del curso teórico de física II, se necesita incluir prácticas de termodinámica.
 3. Se vio la necesidad de incluir prácticas virtuales para que los estudiantes sigan trabajando desde sus casas y no se retrasen en el plan de trabajo.
 4. La práctica de ondas en una cuerda y ondas sonoras requieren de generadores de frecuencia que por su exigente uso algunos se han estropeado.
 5. En algunas prácticas se trabaja mejor con un sistema de adquisición de datos dada la dificultad de tomar datos directamente. Sobre todo en las prácticas de termodinámica.
- b. Se presentó un proyecto de investigación a la VIIS a fin de conseguir recursos para mejorar la práctica de oscilaciones amortiguadas y forzadas.
 - c. Se modificó la Guía de Laboratorio de Física II a fin de adaptarse a los cursos de flexibilidad.
 - d. Se hizo la guía de laboratorio para las prácticas virtuales.

4. RESULTADOS

Vamos a exponer los resultados de acuerdo a los objetivos propuestos en el proyecto:

Objetivos	Resultados
<p>1. Determinar, en cuanto a calidad y cantidad, los equipos de termodinámica disponibles adquiridos por los laboratorios.</p>	<p>En el acuerdo 031 (20 de septiembre de 2018. Anexo soportes) se hizo una solicitud de equipos de termodinámica gestionado por el laboratorista James Perengüez y el profesor Germán Ramos (los equipos llegaron a finales de 2019):</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Aparato de dilatación lineal de sólidos ✓ ➤ Calibre de Dial ➤ Generador de vapor ✓ ➤ Termómetro de gas ➤ Bomba manual de vacío ➤ Vaso de Dewar ✓ ➤ Calentador de Noak <p>También, en un acuerdo dirigido al Departamento de Física (6 de septiembre de 2017. Anexo carta), se solicitaban equipos de termodinámica. Resumiendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ En ella se especifica los experimentos escogidos: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Leyes de los Gases ideales: Ley de Boyle-Mariotte, Ley de Gay-Lussac, Ley de Amonton. ➤ Dilatación lineal térmica, Determinación del calor Específico, Determinación del Equivalente Eléctrico del Calor, Conducción Térmica, Calor latente de fusión y evaporación, ley de Stefan-Boltzmann, Máquinas Térmicas. ➤ Los equipos requeridos son los siguientes: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Equipos para medir la temperatura (termómetros digitales y termómetros infrarrojos), calorímetros, vasos de precipitado, matraces, tubos de ensayo, pipetas volumétricas y probetas, parrillas eléctricas, nevera y congelador, mangueras, rollos de papel aluminio y metanol. ➤ Aparato de Kröncke leybold: Ley de Boyle-Mariotte. ➤ Equipo para la Ley de Gay-Lussac. ➤ Equipo para la Ley de Amonton. ➤ Aparato de Dilatación térmica. ➤ Equipo para la determinación del calor específico.

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Equipo para la determinación del Equivalente Eléctrico del Calor. ➤ Cámara de medición térmica ➤ Equipo para la medición del calor latente de fusión y evaporación. ➤ Equipo de radiación térmica. ➤ Motor Stirling.
2. Elegir concretamente las prácticas de termodinámica que se puedan realizar.	<p>Con estos equipos adquiridos se eligieron las siguientes prácticas de termodinámica:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Expansión o dilatación térmica ➤ Calorimetría ➤ Equivalencia eléctrico del calor
3. Redactar, para incluir en la guía de Laboratorio de Física II, las cuatro (4) prácticas de laboratorio elegidas.	<p>En definitiva quedaron tres (3) prácticas de termodinámica dentro de la guía de laboratorio de física II: Expansión térmica, Calorimetría y Equivalencia eléctrico del calor. Para ello se dejan de dictar las prácticas: densidad, superposición MAS y ondas mecánicas (cubeta de ondas). Las prácticas ya están listas, teoría e informe.</p>
4. Realizar e incluir los preinformes de termodinámica dentro de la metodología impartida en la parte virtual de laboratorio de Física II.	<p>Los preinformes ya son aplicables para las tres prácticas de termodinámica. Se debe seguir enriqueciendo el banco de preguntas, sobre todo para la dilatación térmica, que tiene pocas preguntas.</p>
5. Realizar dos exámenes virtuales que incluya los temas de termodinámica previamente mencionados.	<p>Sí. Ya se cuenta con dos exámenes virtuales aplicables. Pero aún falta por incluir preguntas de termodinámica. Y también se necesita seguir enriqueciendo el banco de preguntas.</p>
6. Hacer una actualización general de la Guía de Laboratorio de Física II y de sus preinformes.	<p>Sí. Respecto a los preinformes se sigue alimentado el banco de preguntas. La Guía de Laboratorio de Física II se sigue modificando y actualizando, de acuerdo con los nuevos requerimientos programáticos y metodológicos.</p>

Aparte de estos objetivos, se lograron desarrollar más trabajos que no se mencionaron en los objetivos de este proyecto:

- **Se han hecho las prácticas virtuales:** Estas prácticas virtuales se pueden aplicar, cuando por razones varias los estudiantes no puedan asistir a las clases de laboratorio presenciales. Pero se deben seguir mejorando estas prácticas.
- **Sistemas de adquisición de datos:** con las nuevas tecnologías, los sistemas de adquisición de datos son una herramienta muy útil para la toma automática de datos experimentales. En algunas de las prácticas de laboratorio de física II se están utilizando sistemas de adquisición de datos, debido a la dificultad de un registro manual. Esto ocurre con la práctica Equivalente Eléctrico del Calor y con las Oscilaciones Amortiguadas y Forzadas.

5. DISCUSIÓN

Se lograron muchos resultados importantes en este proyecto. Pero debo mencionar que aún hay cosas por hacer, ya sea porque se necesitan más equipos o reemplazarlos para mejorar los

experimentos, o seguir mejorando la base de datos de las preguntas de los preinformes, etc. A continuación menciono algunas:

- a) Las prácticas del Laboratorio de Física II deben ser modificadas, actualizadas y mejoradas. Esto debido a la llegada de nuevos equipos, entre ellos los sistemas de adquisición de datos, que modifican los montajes experimentales.
- b) Se está pensando en crear los informes virtuales, para que los estudiantes presenten sus informes a través de la plataforma COES-MOODLE. Ya se han hecho unas pruebas iniciales y los resultados han sido muy alentadores, tanto para el profesor como los estudiantes.
- c) Seguir mejorando las prácticas virtuales del Laboratorio de Física II. Ya se tienen unas guías iniciales, aplicables, pero se pueden mejorar aún más.
- d) Se necesita seguir alimentando los bancos de preguntas para los preinformes y exámenes virtuales.

6. RECOMENDACIONES

Pretendemos a futuro presentar un nuevo proyecto a fin de seguir madurando las guías de laboratorio. La parte virtual de los laboratorios entraría como un proceso más en la formación integral del estudiante, que implicaría tres pasos en el proceso de formación: fortalecimiento teórico (preinforme), entendimiento del fenómeno (simulación virtual) y comprobación experimental (práctica real).

Como ya lo mencionamos necesitamos la consecución de nuevos equipos para mejorar las prácticas de laboratorio:

- a) Adquisición de más computadores para la sala de cómputo: a fin de realizar los exámenes de laboratorio, de manera individual, a los estudiantes de física.
- b) Seguir con la implementación de los sistemas de adquisición de datos en algunas prácticas de laboratorio.
- c) Seguir alimentando los bancos de preguntas de los preinformes y exámenes virtuales.

También hay que comentar que todas las guías de laboratorio de física necesitan estar actualizadas permanentemente, ya sea porque llegan nuevos equipos, mejores maneras de realizar una práctica, agregar más preguntas a los preinformes, cambios en las prácticas por la actualización de los contenidos de una asignatura, etc. En fin, este es un trabajo permanente que justifica la aprobación de un proyecto de actualización de guías todo el tiempo.

7. CONCLUSIONES

Hemos logrado un trabajo importante en la actualización y diseño de prácticas de la Guía de Laboratorio de Física II, para adaptarse al nuevo plan programático que incluye temas de termodinámica. Hemos sacado adelante los preinformes y exámenes virtuales. También las prácticas virtuales y la implementación de los sistemas de adquisición de datos.

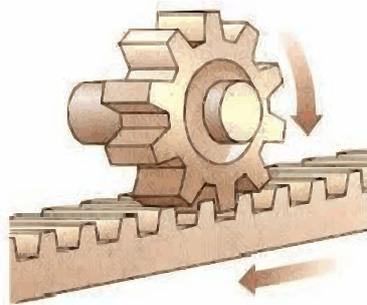
8. ARCHIVO ADJUNTO

A este informe final adjunto:

- Las prácticas de termodinámica
- Enlace en el COES donde se encuentran disponible los preinformes y exámenes virtuales
- Guía virtual del Laboratorio de Física II
- Proyecto de investigación presentado al Departamento de Física y a la VIIS



Prácticas de Termodinámica



YITHSBEY GIRALDO USUGA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Física
San Juan de Pasto, Nariño
Colombia
2023

Contenido

1	Dilatación Térmica	1
2	Calorimetría	9
3	Equivalente Eléctrico del Calor	23

1

Dilatación Térmica

1.1 Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio y responda el preinforme virtual correspondiente, en el COES de la Universidad: <http://coes.udenar.edu.co/>

1.2 Objetivos

- Observar alguno de los efectos del cambio de temperatura en sólidos.
- Calcular, comparar y analizar los coeficientes de dilatación lineal.
- Establecer relaciones empíricas (relaciones matemáticas obtenidas de los resultados experimentales) entre las diferentes variables involucradas en el fenómeno
- Montar y operar un dilatómetro.
- Desarrollar tu capacidad para planificar y diseñar tu actividad experimental.

1.3 Dilatación de los sólidos

Un hecho muy conocido es que las dimensiones de los cuerpos aumentan cuando se eleva su temperatura. Salvo algunas excepciones, todos los cuerpos, independientemente de que sean sólidos, líquidos o gaseosos, se dilatan cuando aumenta su temperatura [1].

La Figura 1.1 muestra un experimento sencillo que ilustra la dilatación de un sólido: a la temperatura ambiente, la esfera metálica A puede pasar con pequeña holgura por el anillo B. Al calentar únicamente la esfera, se halla que ya no pasa por el anillo.

Debido a la elevación de su temperatura, la esfera se dilató. Si se espera a que su temperatura vuelva a su valor original, la esfera se contraerá y volverá a pasar por el anillo.



Figura 1.1: Cuando se calienta la esfera metálica sus dimensiones aumentan, es decir, se dilata.

1.3.1 Por qué se dilatan los sólidos

Si analizamos la estructura interna de un sólido, podremos entender por qué se produce la dilatación.

Los átomos que constituyen la sustancia sólida se encuentran distribuidos ordenadamente, lo cual origina una estructura denominada *red cristalina* del sólido. La unión de tales átomos se logra por medio de fuerzas eléctricas que actúan como si hubiera pequeños resortes que unen un átomo con otro (Fig. 1.2). Esos átomos están en constante vibración respecto de una posición media de equilibrio.

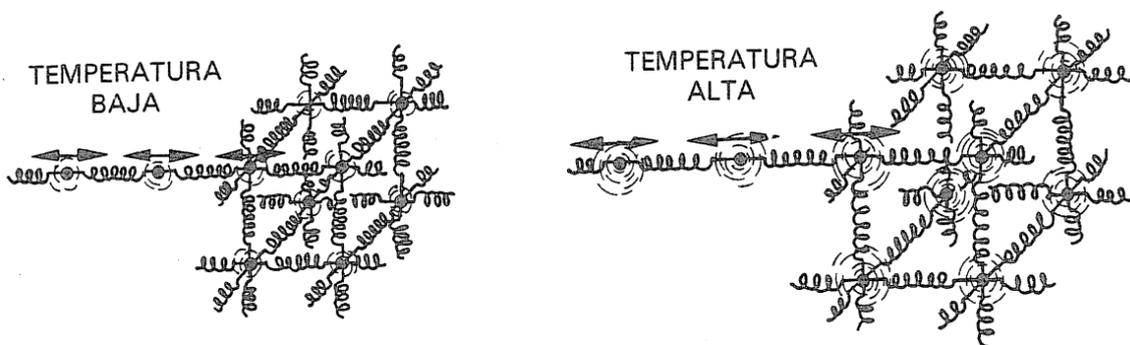


Figura 1.2: La elevación de la temperatura produce un aumento en la distancia media entre los átomos de un sólido. Por ello, una sustancia sólida se dilata o aumenta de tamaño.

Cuando aumenta la temperatura del sólido se produce un incremento en la agitación de sus átomos, haciéndolos que vibren y se alejen de la posición de equilibrio. Por otra parte, la fuerza que se manifiesta entre los átomos actúa como si el “resorte” fuera más resistente a la compresión que a la tensión. En consecuencia, la distancia media entre los átomos se vuelve mayor (Fig. 1.2), ocasionando la dilatación del sólido.

1.3.2 Dilatación lineal

Al tomar una barra de cierta temperatura y calentarla, se producirá un aumento en todas sus dimensiones lineales, o sea, aumentará su longitud, su altura, su anchura, o la dimensión de cualquier otra línea que imaginemos trazada en la barra. En un laboratorio podemos descubrir experimentalmente qué factores influirán en la dilatación de cualquiera de esas líneas.

Consideremos, por ejemplo, que L_0 es la longitud inicial de una barra, a una temperatura t_0 . Si elevamos la temperatura de la barra a t , su longitud se vuelve L . Entonces, una variación de temperatura $\Delta t = t - t_0$ produjo una dilatación $\Delta L = L - L_0$ en la longitud de la barra (Fig. 1.3). Al hacer varias mediciones de Δt y ΔL para barras de diferente longitud (diversos valores de L_0), es posible concluir que la dilatación (ΔL) depende de la longitud inicial (L_0) y del aumento de la temperatura (Δt), siendo proporcional a ambos, es decir

$$\Delta L \propto L_0 \quad \text{y} \quad \Delta L \propto \Delta t.$$

Una de las propiedades de las proporciones nos permite escribir que

$$\Delta L \propto L_0 \Delta t$$

donde

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta t. \quad (1.1)$$

La constante de proporcionalidad α se denomina *coeficiente de dilatación lineal*. La ecuación $\Delta L = \alpha L_0 \Delta t$ permite calcular la dilatación de cualquier dimensión lineal si conocemos su valor inicial L_0 , la variación de la temperatura Δt , y el valor de α .

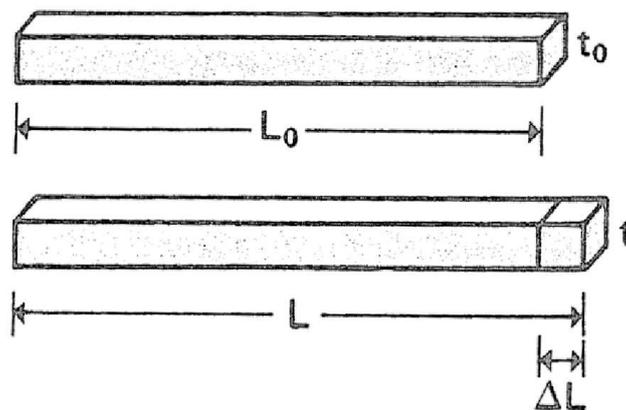


Figura 1.3: Dilatación lineal de una barra.

1.3.3 El coeficiente de dilatación lineal

De la expresión $\Delta L = \alpha L_0 \Delta t$ vemos que el valor de α se puede obtener si medimos los valores de ΔL , L_0 y Δt :

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta t}.$$

Si efectuamos experimentos con barras de distinto material, se comprueba que el valor de α es distinto para cada uno de esos materiales. Esto se puede comprender recordando que las fuerzas que unen a los átomos y a las moléculas varían en una sustancia a otra, haciendo que se dilaten de distinta manera. La Tabla 1.1 proporciona los coeficientes de dilatación lineal de algunas sustancias.

Coeficiente de dilatación lineal	
Sustancia	α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Aluminio	23×10^{-6}
Cobre	17×10^{-6}
Invar	0.7×10^{-6}
Vidrio común	9.0×10^{-6}
Cinc	25×10^{-6}
Vidrio Pyrex	3.2×10^{-6}
Tungsteno	4×10^{-6}
Plomo	29×10^{-6}
Sílice	0.4×10^{-6}
Acero	11×10^{-6}
Diamante	0.9×10^{-6}

Tabla 1.1: Coeficiente de dilatación lineal de diferentes materiales.

Por la expresión $\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta t}$, vemos que unidad de medida de α es el inverso de una unidad de temperatura, pues $\Delta L/L_0$ es una magnitud adimensional (un número, sin unidades). Entonces, α se puede expresar como

$$\frac{1}{^{\circ}\text{C}} = ^{\circ}\text{C}^{-1}, \quad \text{o bien,} \quad \frac{1}{\text{K}} = \text{K}^{-1}.$$

Observemos que en la Tabla 1.1, los coeficientes están en $^{\circ}\text{C}^{-1}$. Así, para el cobre, por ejemplo, tenemos que $\alpha = 17 \times 10^{-6} ^{\circ}\text{C}^{-1}$. Esto significa que una barra de cobre de 1 cm (o

bien, 1 m, 1 km, etc.) de longitud, aumenta 17×10^{-6} cm (o bien, 1 m, 1 km, etc.) cuando su temperatura se eleva en 1°C .

1.4 Instrucciones de la Práctica

Introducción: En este laboratorio se van a realizar experimentos para determinar la dilatación de materiales por efectos de cambio de temperatura .

1. Procedimiento: realice un procedimiento experimental para comprobar las siguientes hipótesis:

Hipótesis:

- La dilatación de un sólido es directamente proporcional a su longitud inicial y al cambio de temperatura.
- Cada material tiene su propio coeficiente de dilatación lineal.

Nota: Antes de empezar la práctica, deben ser cuidadosos con el mechero, úsenlo con precaución. Lo mismo con el agua caliente, que debe mantenerse siempre en su lugar. Los sólidos van a adquirir una temperatura elevada, no deben manipularlos directamente con sus manos.

1.1 Procedimiento para determinar el coeficiente de dilatación de un sólido:

Para medir el coeficiente de dilatación, van a usar un dispositivo similar al indicado en la Figura 1.4. En el punto A del montaje se ubica el material de interés, se trata de un tubo hueco de aluminio, hierro o cobre, fijo en ambos extremos. Mida la longitud inicial de este tubo, y su temperatura. Asegúrense de fijar bien el sensor de temperatura o termocupla al tubo para que haya buen contacto térmico. Y además, es recomendable que se enfríe inicialmente el tubo por debajo de la temperatura ambiente. Registren estos datos en su informe.

Como pueden observar, en un extremo del tubo se encuentra el dilatómetro que permite medir la dilatación del cilindro; donde cada división del dilatómetro corresponde a una expansión (o compresión) del tubo aproximada de $2/100$ mm (el radio de la escala es $R = (100.0 \pm 0.5)$ mm).

Por el otro extremo del tubo (punto B) hay una manguera conectada a una probeta con agua hirviendo por el que va a entrar el vapor de agua al tubo, dilatándolo hasta cierto punto. Mida la temperatura del tubo en esta situación y su dilatación suministrada por el dilatómetro. Llene la Tabla 3.1 del informe y determine, con ayuda de la ecuación (1.1), el coeficiente de dilatación del metal.

Comparen sus resultados medidos de los coeficientes de dilatación de los materiales con los suministrados en la literatura, Tabla 1.1.

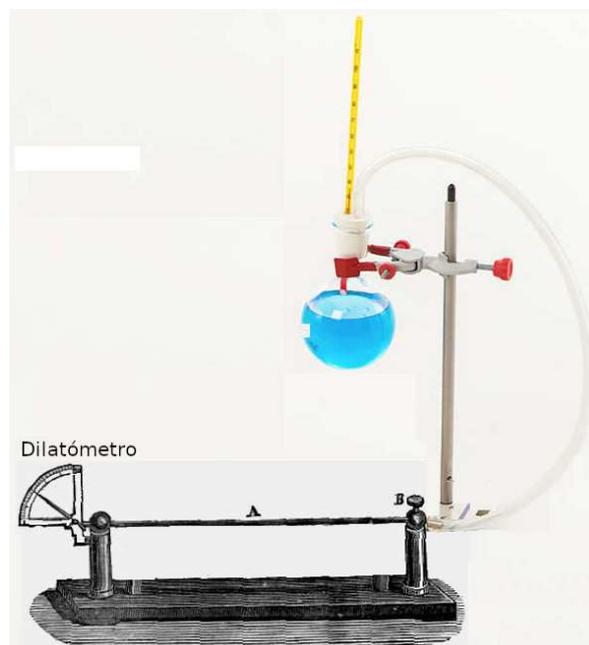


Figura 1.4: Procedimiento para determinar el calor específico de una material sólido.

Dilatación térmica

Autores(código): _____

Programa: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

1. Procedimiento

1.1. Coeficiente de dilatación de materiales:

$L_0 =$ _____ \pm _____. Descripción:

Material					
Hierro					
Cobre					
Aluminio					

Tabla 1.2: (Describe la Tabla y sustente sus datos)

Comparen sus resultados : _____

2. Discusión y Conclusiones



2

Calorimetría

2.1 Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio y responda el preinforme virtual correspondiente, en el COES de la Universidad: <http://coes.udenar.edu.co/>

2.2 Objetivos

- Estudiar procesos de transferencia de calor.
- Aplicar el principio de conservación de la energía.
- Determinar la temperatura final de una mezcla.
- Practicar con el calorímetro y calcular el calor específico de sustancias conocidas y desconocidas.

2.3 El calor como energía

Actualmente, se considera que cuando crece la temperatura de un cuerpo, la energía que posee en su interior, denominada *energía interna*, también aumenta. Si este cuerpo se pone en contacto con otro de más baja temperatura, habrá una transmisión o transferencia de energía del primero al segundo, energía que se denomina *calor*. Por tanto, el concepto moderno de calor es el siguiente [2]:

calor es la energía que se transmite de un cuerpo a otro, en virtud únicamente de una diferencia de temperatura entre ellos.

Debemos observar que el término *calor* sólo debe emplearse para designar la energía en *transición*, es decir, la que se transfiere de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura. La transferencia de calor hacia un cuerpo origina un aumento en la energía interna de agitación de sus moléculas y átomos, o sea, que ocasiona un aumento en la *energía interna*

del cuerpo, lo cual, generalmente, produce una elevación de su temperatura. Por tanto, no se puede decir que un “un cuerpo tiene calor” o que “la temperatura es una medida del calor de un cuerpo”. En realidad, lo que un material posee es *energía interna*, y cuanto mayor sea su temperatura, tanto mayor será también dicha energía interna. Naturalmente, si un cuerpo se encuentra a mayor temperatura que otro, puede transmitir parte de su energía interna a este último. Esta energía transferida es el calor que pasa de un cuerpo a otro (Figura 2.1).

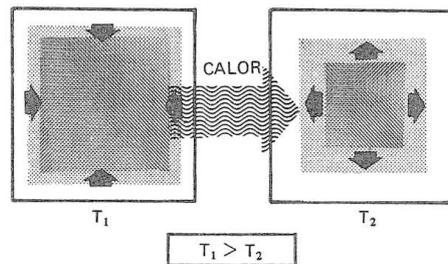


Figura 2.1: El calor es la energía que se transmite de un cuerpo a otro en virtud de una diferencia de temperatura entre ellos.

Es importante observar, incluso, que la energía interna de un cuerpo puede aumentar sin que el cuerpo reciba calor, siempre que reciba alguna otra forma de energía. Cuando, por ejemplo, agitamos una botella con agua, su temperatura se eleva, a pesar de que el agua no haya recibido calor. El aumento de energía interna en este caso, se produjo debido a la energía mecánica transferida al agua cuando se efectúa el trabajo de agitar la botella.

2.3.1 Unidades del calor

Una vez establecido que el calor es una forma de energía, es obvio que una cantidad de calor debe medirse en unidades energéticas. Entonces, en el SI, mediremos el calor en *joules*.

Pero en la práctica actual se emplea aún otra unidad de calor, muy antigua (de la época del calórico¹), la cual recibe el nombre de *caloría* (cal). Por definición, 1 cal es la cantidad de calor que debe transmitirse a 1 g de agua para que su temperatura se eleve en 1° C (Figura 2.2). La relación entre estas dos unidades es

¹A principios del siglo XIX, los científicos explicaban el equilibrio térmico (es decir, cuando dos cuerpos con diferentes temperaturas se ponen en contacto, alcanzan, luego de cierto tiempo, una misma temperatura), suponiendo que todos los cuerpos contenían en su interior una sustancia fluida, invisible y de masa nula, llamada calórico. Cuanto mayor fuese la temperatura de un cuerpo, tanto mayor sería la cantidad de calórico en su interior. De acuerdo con este modelo, cuando dos cuerpos con distintas temperaturas se ponen en contacto, se produce una transmisión de calor del cuerpo más caliente al más frío, ocasionando una disminución en la temperatura del primero y un incremento en la del segundo. Una vez que ambos cuerpos hubiesen alcanzado la misma temperatura, el flujo de calórico se interrumpiría y permanecerían, a partir de ese momento, en equilibrio térmico. A pesar de que esta teoría explicaba satisfactoriamente una gran número de fenómenos, algunos físicos se mostraban insatisfechos en relación con ciertos aspectos fundamentales del concepto del calórico, y trataron de sustituirla por otra, más adecuada, en la cual el calor se considera como una forma de energía.

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$$

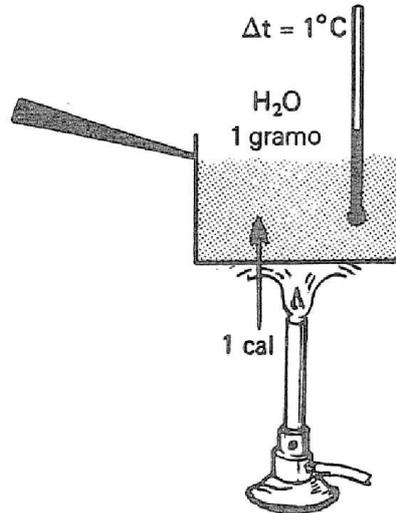


Figura 2.2: Una caloría es la cantidad de calor que se necesita para elevar en 1°C la temperatura de 1 g de agua.

2.4 Capacidad térmica y calor específico

2.4.1 Capacidad térmica

Suponga que a un cuerpo A se le proporciona una cantidad de calor igual a 100 cal, y que su temperatura se eleva 20°C . Pero si se suministra esa misma cantidad de calor (100 cal) a otro cuerpo, B, podemos observar un aumento de temperatura diferente, por ejemplo, de 10°C (Figura 2.3). Por tanto, al proporcionar la misma cantidad de calor a cuerpos distintos, en general, éstos presentan diferentes variaciones en sus temperaturas. Para caracterizar este comportamiento de los cuerpos se define una magnitud, llamada *capacidad térmica o calorífica*, de la siguiente manera:

si un cuerpo recibe una cantidad de calor ΔQ y su temperatura varía en Δt , la capacidad térmica de este cuerpo está dada por

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t}.$$

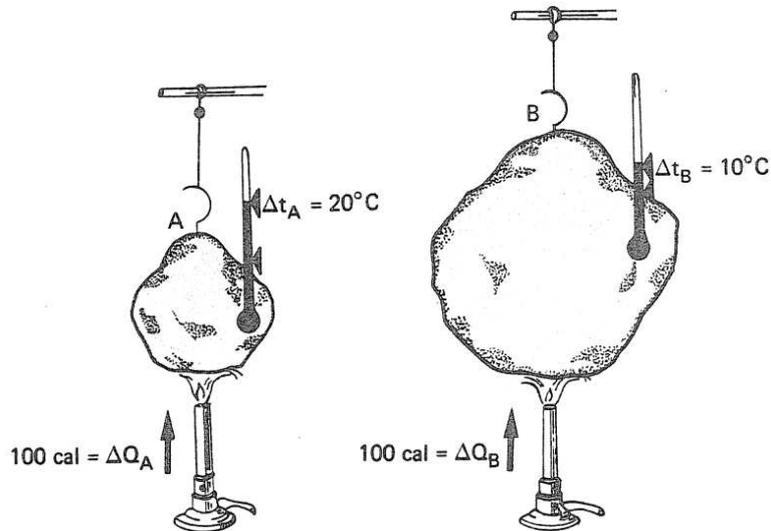


Figura 2.3: Cuerpos diferentes generalmente experimentan distintas variaciones de temperatura al recibir la misma cantidad de calor.

Así, al calcular las capacidades térmicas de los cuerpos A y B (Figura 2.3), tendremos

$$C_A = \frac{\Delta Q_A}{\Delta t_A} = \frac{100 \text{ cal}}{20^\circ\text{C}}$$

donde $C_A = 5.0 \text{ cal}/^\circ\text{C}$.

$$C_B = \frac{\Delta Q_B}{\Delta t_B} = \frac{100 \text{ cal}}{10^\circ\text{C}}$$

donde $C_B = 10 \text{ cal}/^\circ\text{C}$.

Estos resultados indican que debemos proporcionar al cuerpo A, 5.0 cal por cada grado ($^\circ\text{C}$) de elevación en su temperatura, mientras que para el cuerpo B se necesitan 10 cal para producir el mismo efecto. Entonces, cuanto mayor sea la capacidad térmica de un cuerpo, tanto mayor será la cantidad de calor que debemos proporcionarle para producir determinado aumento en su temperatura, y de la misma manera, tanto mayor será la cantidad de calor que cederá cuando su temperatura sufra determinada reducción.

Como la capacidad térmica de un cuerpo está dada por la relación $C = \Delta Q/\Delta t$, una unidad para medir esta magnitud es la $\text{cal}/^\circ\text{C}$, la cual ya usamos en esta sección. Como sabemos que el calor es una forma de energía y que, por tanto, se puede expresar en *joules*, también podemos emplear como unidad de capacidad térmica $\text{J}/^\circ\text{C}$.

2.4.2 Calor específico

De manera general, el valor de la capacidad térmica varía de un cuerpo a otro. Independientemente que estén hechos del mismo material, dos cuerpos pueden tener distintas capacidades térmicas, pues sus masas pueden ser diferentes.

De modo que si tomamos bloques hechos del mismo material, de masas m_1, m_2, m_3 , etc. (Figura 2.4), sus capacidades térmicas C_1, C_2, C_3 , etc., serán distintas. Pero se halla que al dividir la capacidad térmica de cada bloque entre su masa, se obtiene el mismo resultado para todos los cuerpos, es decir,

$$\frac{C_1}{m_1} = \frac{C_2}{m_2} = \frac{C_3}{m_3} = \dots \text{constante} \quad (\text{para un mismo material})$$

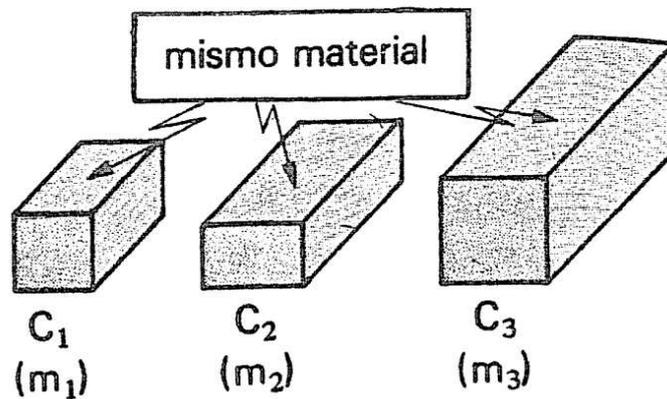


Figura 2.4: Cuerpos del mismo material pero de masas diferentes, poseen capacidades térmicas distintas.

Entonces, el cociente C/m es constante para determinado material, y varía, por tanto, de una material a otro. Este cociente se denomina *calor específico*, c , del material². Por consiguiente,

si un cuerpo de masa m tiene una capacidad térmica C , el calor específico, c , del material, que constituye el cuerpo está dado por

$$c = \frac{C}{m}.$$

Por ejemplo, de un bloque de plomo cuya masa es $m = 170 \text{ g}$, se sabe que su capacidad térmica es $C = 5.0 \text{ cal}/^\circ\text{C}$. Por consiguiente, el calor específico del plomo es

$$c = \frac{C}{m} = \frac{5.0 \text{ cal}/^\circ\text{C}}{170 \text{ g}}$$

donde

$$c = 0.030 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

²Esta cantidad suele llamarse también, más concretamente, *capacidad térmica específica*.

Observemos que la unidad empleada para medir el calor específico: cal/g·°C. Obviamente también la podríamos expresar en J/kg·°C. El resultado obtenido arriba indica que para elevar en 1 °C la temperatura de 1 g de plomo, debemos suministrarle 0.030 cal de calor.

Como el calor específico es característico de cada material, su valor para cada sustancia se determina con todo cuidado en los laboratorios y los resultados se tabulan como podemos observar en la Tabla 2.1

Calores específicos	
Sustancia	C (cal/g·°C)
Agua	1.00
Hielo	0.55
Vapor de agua	0.50
Aluminio	0.22
Vidrio	0.20
Hierro	0.11
Latón	0.094
Cobre	0.093
Plata	0.056
Mercurio	0.033
Plomo	0.031
Grafito	0.170

Tabla 2.1: Calores específicos de distintas sustancias.

En la sección 2.3.1 vimos que 1 cal es la cantidad de calor que debe suministrarse a 1 g de agua para que su temperatura aumente 1 °C. Podemos, entonces, concluir que el calor específico del agua es

$$c = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

El calor específico del agua es mucho mayor que los calores específicos de casi todas las demás sustancias (véase Table 2.1). Esto significa que al ceder la misma cantidad de calor a iguales masas de agua y de alguna otra sustancia, se observa que la masa de agua se calienta mucho menos (Figura 2.5).

Se sabe que el calor específico de un material puede presentar variaciones en determinadas circunstancias. Así, cuando una sustancia pasa del estado sólido al estado líquido (o gaseoso), su calor específico se altera. Por ejemplo, en la Tabla 2.1 vemos que el calor específico

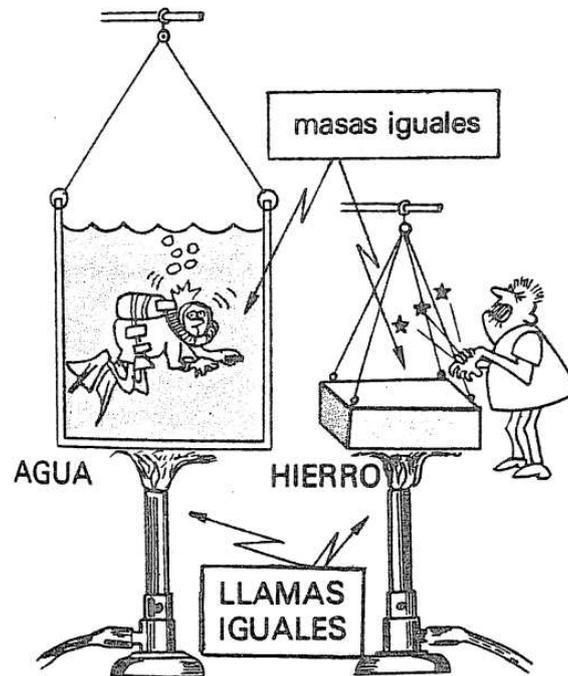


Figura 2.5: Cuando dos cuerpos de masas iguales reciben iguales cantidades de calor, el de menor calor específico tiene un mayor aumento de temperatura.

del agua (en estado líquido) es $1.0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, mientras que el del hielo es $0.55 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, y el del vapor de agua, $0.50 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$.

2.4.3 Cálculo del calor absorbido por un cuerpo

La capacidad térmica de un cuerpo se definió como $C = \Delta Q / \Delta t$. Entonces, la cantidad de calor, ΔQ , que absorbe (o libera) un cuerpo, cuando su temperatura varía en Δt , está dada por

$$\Delta Q = C \cdot \Delta t$$

Inclusive, podemos expresar ΔQ en función del calor específico c , y de la masa m , del cuerpo, recordando que $c = C/m$, donde $C = m \cdot c$. Así, para ΔQ resultado

$$\Delta Q = m c \Delta t$$

Por tanto, llegamos al resultado siguiente:

la cantidad de calor ΔQ , absorbida o liberada por un cuerpo de masa m y calor específico c , cuando su temperatura varía en Δt , se calcula por la relación

$$\Delta Q = m c \Delta t$$

Ejemplo 1. Un bloque de aluminio, cuya masa es $m = 200\text{ g}$, absorbe calor y su temperatura se eleva de 20°C a 140°C . ¿Cuál es la cantidad de calor absorbida por el bloque?

Como ya sabemos, esta cantidad de calor puede calcularse por $\Delta Q = m c \Delta t$. Consultado la Tabla 2.1, encontramos que el calor específico del aluminio es $c = 0.22\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$. La variación de temperatura del bloque fue $\Delta = 140^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 120^\circ\text{C}$. Así que

$$\Delta Q = m c \Delta t = 200 \times 0.22 \times 120$$

donde

$$\Delta Q = 5.3 \times 10^3\text{ cal}$$

Observemos que el valor de ΔQ se expresó en calorías, porque se consideró m en gramos, c en $\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ y Δt en $^\circ\text{C}$. Entonces,

$$\text{g} \times \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \times ^\circ\text{C} = \text{cal}$$

Si la temperatura del bloque descendiera de 140°C a 20°C , liberaría $5.3 \times 10^3\text{ cal}$, o sea, la misma cantidad de calor que absorbió al calentarse. ■

2.4.4 Calorímetro

Un calorímetro es un instrumento que se usa para medir el calor intercambiado entre dos cuerpos colocados en su interior, pudiéndose obtener, como resultado de esta medición, el calor específico de una sustancia cualquiera que se utilice en el experimento.

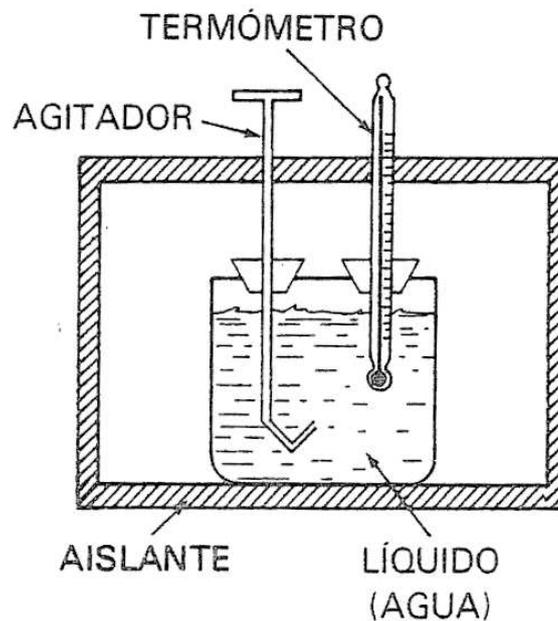


Figura 2.6: Cuando dos cuerpos de masas iguales reciben iguales cantidades de calor, el de menor calor específico tiene un mayor aumento de temperatura.

La Figura 2.6 presenta un tipo común de calorímetro. Consiste, esencialmente, en un recipiente interno de paredes pulidas reflejantes, dentro de otro recipiente cerrado de paredes aislantes. De este modo se puede aislar físicamente el interior del calorímetro impidiendo

la entrada o salida de calor (como en los termos comunes o vasos Dewar). A menudo el calorímetro contiene algún líquido (generalmente agua) y está provisto de dos accesorios: un termómetro y un agitador para revolver el líquido y obtener rápidamente el equilibrio térmico en su interior. Cuando uno o más cuerpos son colocados en el interior de un calorímetro y cuyas temperaturas son diferentes de las de los cuerpos que se encuentran ahí, habrá intercambio de calor entre ellos hasta que se alcance el equilibrio térmico. Como ya vimos, no puede haber entrada ni salida de calor en el calorímetro. Así, por el Principio de Conservación de la Energía, se concluye que una vez que se alcanza el equilibrio térmico:

el calor total liberado por los cuerpos se enfrían, es igual que el calor total absorbido por los cuerpos que se calientan.

o, como suele decirse, resumiendo, en el interior de un calorímetro tenemos que

$$\text{calor cedido} = \text{calor absorbido} \quad (2.1)$$

El empleo de esta igualdad permite determinar en un laboratorio los valores de diversas magnitudes térmicas características de un cuerpo o de una sustancia, tales como la capacidad térmica, calor específico y otras. El ejemplo siguiente muestra cómo se puede usar un calorímetro para determinar el calor específico de una sustancia.

Ejemplo 2. *Un calorímetro, cuya capacidad térmica es $42 \text{ cal/}^\circ\text{C}$, contiene 90 g de agua. La temperatura del conjunto es de 20°C . En su interior, se coloca un bloque de hierro cuya masa es de 100 g y cuya temperatura es de 85°C . El termómetro muestra que después de alcanzar el equilibrio térmico, la temperatura del conjunto es de 25°C . Con los datos de este experimento podemos determinar el calor específico del hierro como sigue.*

Observemos que el bloque metálico se enfrió (de 85 a 25°C) mientras que el agua y el calorímetro se calentaron (de 20 a 25°C). Recordando que cuando un cuerpo se calienta o se enfría, el calor que absorbe o libera está dado por $\Delta Q = C \Delta t$ o por $\Delta Q = m c \Delta t$, podemos escribir:

$$\begin{aligned} \text{calor cedido por el hierro} &= 100 \times c \times (85 - 25) \\ \text{calor absorbido por el agua} &= 90 \times 1 \times (25 - 20) \\ \text{calor absorbido por el calorímetro} &= C \Delta t = 42 \times (25 - 20) \end{aligned}$$

Si emplemos la igualdad

$$\text{calor cedido} = \text{calor absorbido}$$

tenemos

$$\begin{aligned} 100 \times c \times (85 - 25) \\ = 90 \times 1 \times (25 - 20) + 42 \times (25 - 20) \end{aligned}$$

Al resolver esta ecuación obtenemos para el calor específico del hierro

$$c = 0.11 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

■

2.5 Instrucciones de la Práctica

Introducción: En este laboratorio se van a realizar experimentos para determinar la capacidad térmica de un calorímetro y el calor específico de diferentes materiales.

1. Procedimiento: realice un procedimiento experimental para comprobar las siguientes hipótesis:

Hipótesis:

- El calor total liberado por los cuerpos se enfrían, es igual que el calor total absorbido por los cuerpos que se calientan.
- El calor específico es independiente de la masa.

Nota: Antes de empezar la práctica, deben ser cuidadosos con el mechero, úsenlo con precaución. Lo mismo con el agua caliente, que debe mantenerse siempre en su lugar. Los sólidos van a adquirir una temperatura elevada, no deben manipularlos directamente con sus manos, para ello cada sólido tiene una cuerda de sujeción.

1.1 Procedimiento para determinar la capacidad térmica de un calorímetro:

Van a trabajar con un calorímetro similar al indicado en la figura 2.6.

Tomen un cierto volumen de agua bien fría, de masa m_f , para que llenen parcialmente el vaso del calorímetro, a una temperatura inicial t_f . Luego, esta agua la van a mezclar con una masa m_c de agua caliente a la temperatura $t_c \approx 40^\circ\text{C}$. Procuren que la mezcla no rebose el vaso del calorímetro. Agiten la mezcla hasta que se alcance la temperatura de equilibrio t_e .

Trabajen varios casos con diferentes masas y temperaturas, y depositen sus resultados en la Tabla 3.1.

Para determinar la capacidad térmica C del calorímetro usen la fórmula

$$C = \frac{m_c c_a (t_c - t_e)}{t_e - t_f} - m_f c_a, \quad (2.2)$$

donde c_a es el calor específico del agua líquida. Esta ecuación fue deducida a partir del principio de conservación de la energía indicado en la ecuación (2.1).

1.2 Procedimiento para determinar el calor específico de un sólido:

El proceso está esquematizado en la Figura 2.7.

Escojan un sólido de su interés. Midan su masa m_s y luego lo introducen en agua hirviendo y esperen un cierto tiempo hasta que el sólido alcance la temperatura t_s del agua caliente. Por otro lado, preparen el calorímetro con cierta cantidad de masa m_i de agua fría a la temperatura t_i . A continuación, saquen el sólido del agua hirviendo lo más rápido posible y lo introducen en el calorímetro, el cual deben tapar inmediatamente³. Agiten y midan la

³Deben ponerle mucha atención a este paso que suele ser una de las causas principales de error en el

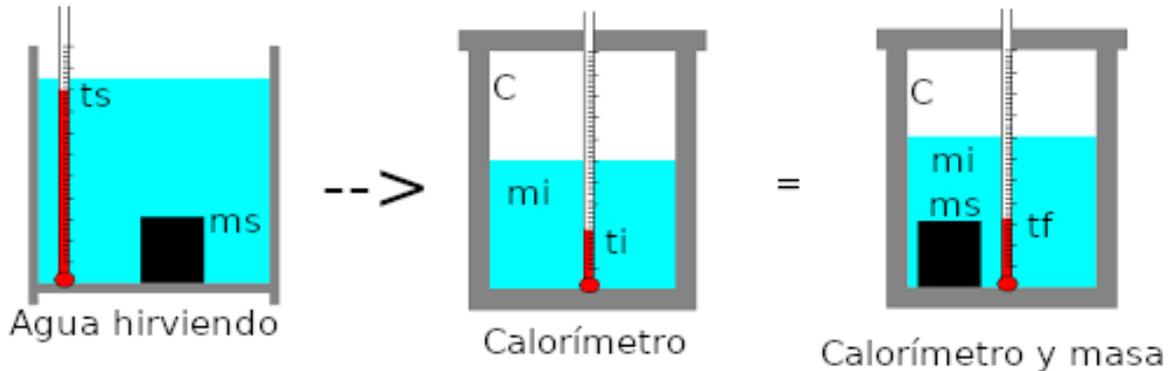


Figura 2.7: Procedimiento para determinar el calor específico de una material sólido.

temperatura de equilibrio t_f .

Es bueno que repitan el proceso un vez más, pues puede suceder que los resultados varíen de manera apreciable por lo que debe aplicarse los métodos aleatorios de una distribución gaussiana. Deposite sus resultados en la Tabla 3.1.

Con los datos datos experimentales obtenidos, usando de nuevo la ecuación (2.1) pueden determinar el calor específico c_s del sólido. Tenemos que:

$$c_s = \frac{(m_i c_a + C)(t_f - t_i)}{m_s(t_s - t_f)} \quad (2.3)$$

donde c_a es el calor específico del agua y C la capacidad térmica del calorímetro medido anteriormente.

Comparen su resultado medido del calor específico del material con el suministrado en la literatura, Tabla 2.1.

experimento.

Calorimetría

Autores(código): _____

 Programa: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

1. Procedimiento

1.1. Capacidad térmica de un calorímetro:

$c_a =$ _____ \pm _____. Descripción: 

Tabla 2.2: (Describe la Tabla y sustente sus datos) 

1.2. Calor específico de un material:

$C =$ _____ \pm _____. Descripción: 

Tabla 2.3: (Describe la Tabla y sustente sus datos) 

Comparen sus resultados :  _____

2. Discusión y Conclusiones



3

Equivalente Eléctrico del Calor

3.1 Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio y responda el preinforme virtual correspondiente, en el COES de la Universidad: <http://coes.udenar.edu.co/>

3.2 Objetivos

- Aprender algunos principios sobre energía y potencia eléctrica, y la relación entre el trabajo eléctrico y el calor.
- Comprobar experimentalmente el “equivalente eléctrico del calor”.
- Encontrar el factor de conversión entre las unidades de energía: “cal” y “joule”.

3.3 Equivalente Joule del calor

El concepto de energía eléctrica se desarrolló utilizando los principios de la energía mecánica, así que desde sus orígenes, el campo de la electricidad y la mecánica usaron las mismas unidades de energía: julio o joule. Pero no ocurrió lo mismo con la energía térmica, que se desarrolló separada de las leyes de la mecánica y la electricidad, por lo que suele tener sus propias unidades de energía: cal o caloría [3] ¹. El físico inglés James P. Joule fue el primero en estudiar la equivalencia de estas dos formas de energía, y descubrió que existe una constante de proporcionalidad entre ellas, por lo que esta constante se denomina equivalente Joule del calor y se indica con el símbolo J . El equivalente Joule del calor es la cantidad de energía mecánica o eléctrica contenida en una unidad de energía térmica. Es decir,

$$1 \text{ cal} = J \text{ julio.} \quad (3.1)$$

La tarea es determinar el valor de este factor J en esta práctica ².

¹Con los trabajos de Rumford y otros científicos, se había demostrado que el calor es una forma de energía [1].

²El valor exacto de esta cantidad es $J = 4.184$.

3.4 Valor de J

Vamos a transformar energía eléctrica en térmica [4]. Se observa experimentalmente que cuando una corriente pasa por un cable, éste aumenta su temperatura. A nivel microscópico, esto se debe a que los electrones que constituyen la corriente chocan con los átomos del cable y en este proceso de colisión se transfiere algo de energía de los electrones al cable. La fuente inicial de esta energía es eléctrica y la forma final es en calor, que se irradia hacia fuera y a través del cable. La cantidad de energía eléctrica transformada en calor dependerá de la corriente que pase por el cable, del voltaje o diferencia de potencial entre los extremos del cable, y de la resistencia del cable, que está relacionada con el proceso de colisión anterior.

Para medir el equivalente Joule del calor usaremos el montaje, cuyo esquema se indica en la Figura 3.1. El principio de este experimento consiste en suministrar energía eléctrica a un calefactor (resistencia eléctrica) sumergido en el agua dentro de un calorímetro y medir el calor desarrollado. Cuando por el calefactor circula una corriente eléctrica I y se desarrolla

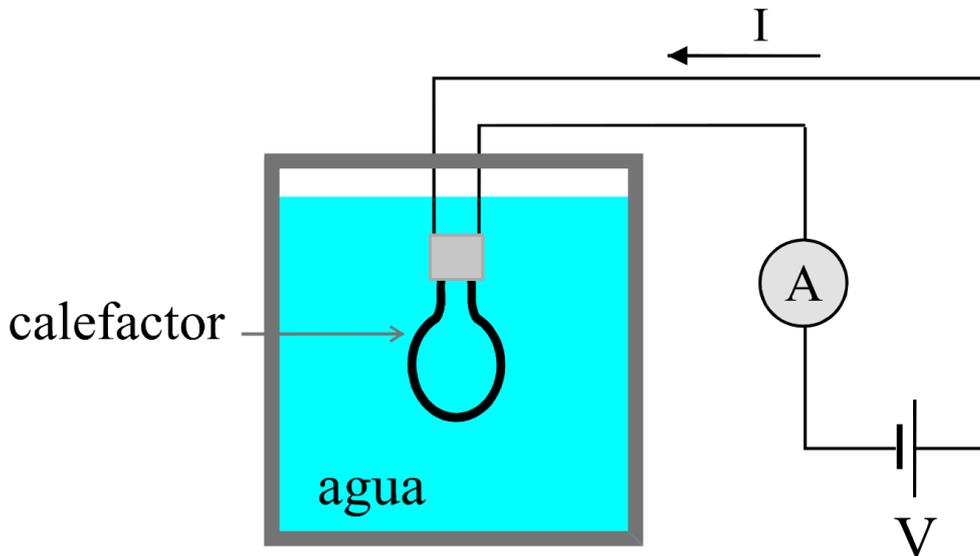


Figura 3.1: Diagrama del dispositivo para estudiar el equivalente eléctrico del calor [5].

en él una diferencia de potencial V , la potencia P que disipa el calefactor por efecto Joule está dada por: $P = VI$. Si I se mide en amperios y V en voltios, la potencia queda expresada en vatios [5]. La energía W suministrada al calefactor en un tiempo t será:

$$W = P \cdot t = VIt, \quad (3.2)$$

donde hemos supuesto que I y V son aproximadamente constantes. En nuestro experimento, este calor W se transfiere al recipiente con agua, haciendo que la temperatura del agua y del frasco aumenten en ΔT . Pero normalmente, la energía eléctrica W transferida se expresa en julios mientras que el cálculo del calor absorbido por el calorímetro se expresa en calorías. Así para que ambas expresiones queden en las mismas unidades usemos el factor de

conversión, relación (3.1), para pasar de calorías a julios (J julio/cal):

$$W = J \cdot (m_{\text{agua}} c_{\text{agua}} + C) \Delta T, \quad (3.3)$$

donde m_{agua} es la masa de agua, c_{agua} es el calor específico del agua y C es la capacidad térmica del recipiente del calorímetro.

Usando la relación (3.2) en la ecuación (3.3), y definiendo la cantidad conocida:

$$\alpha = \frac{(m_{\text{agua}} c_{\text{agua}} + C)}{VI},$$

y partiendo de una temperatura inicial T_0 , la temperatura T del sistema aumenta linealmente con el tiempo de acuerdo a la relación:

$$T = T_0 + \frac{1}{J\alpha} t, \quad (3.4)$$

que es válida hasta la temperatura de ebullición del agua.

3.5 Instrucciones de la Práctica

Introducción: En este laboratorio se va a realizar un experimento para determinar el equivalente Joule del calor.

1. Procedimiento: realice un procedimiento experimental para comprobar las siguientes hipótesis:

Hipótesis:

- La energía eléctrica y térmica son dos tipos de energía, donde $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ julios}$.
- Cuando la energía eléctrica se transfiere a un calorímetro con agua, éste aumenta su temperatura en forma lineal con el tiempo.

Una idea es trabajar con un calorímetro y una resistencia.

Nota: Antes de empezar la práctica, deben ser cuidadosos con estos dispositivos calientes. Deben mantenerse siempre en su lugar.

1.1 Procedimiento para determinar el equivalente Joule del calor:

Mida la temperatura ambiente T_{amb} . Llene el calorímetro con unos 170 g de masa de agua, m_{agua} , fría (a unos 10°C por debajo de la temperatura ambiente) hasta que el calefactor (lamparita) quede totalmente inmerso en el agua (ver Fig. 3.2). Agregue al agua unas gotas de tinta negra para mejorar la absorción de la luz producida por la lamparita y reducir así el escape de la radiación del calorímetro. Conecte la fuente de tensión a los terminales del calefactor, el amperímetro y el voltímetro para poder medir la corriente y el voltaje en el

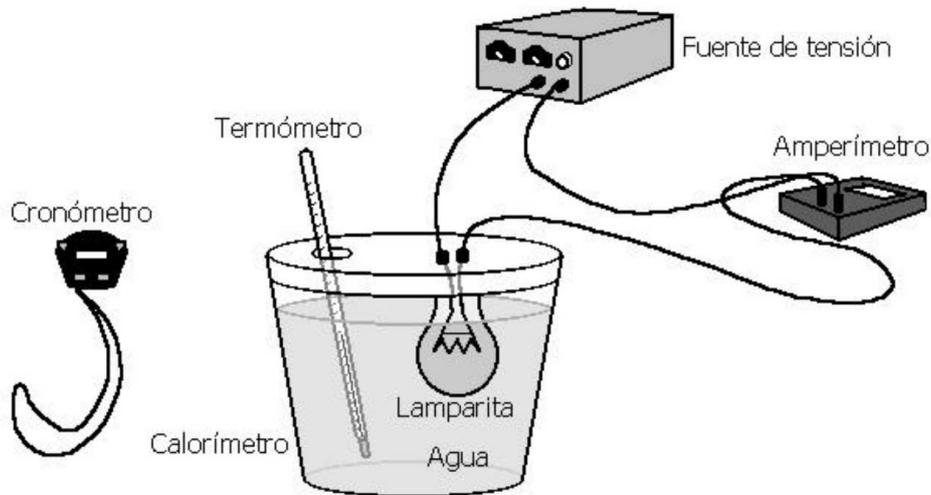


Figura 3.2: Diagrama del dispositivo para estudiar el equivalente eléctrico del calor [6].

calefactor simultáneamente. La capacidad térmica C del calorímetro suministrada por el fabricante es de $23.0 \pm 0.1 \text{ cal/}^\circ\text{C}$.

Mida la temperatura inicial T_0 del agua en el calorímetro. Elija un voltaje V que no supere los 10 V para encender el calefactor, registre la corriente I , y simultáneamente el tiempo transcurrido t y la temperatura T del agua que se calienta en el calorímetro. Estos datos se pueden registrar en un video con el celular, o a través de un sistema de adquisición de datos. Y además, para mejorar la homogeneidad del calentamiento del agua es recomendable que usen un agitador magnético.

Una recomendación es que el experimento finalice cuando se alcance una temperatura de 10°C por encima de la temperatura ambiente. En general, se debe cumplir que

$$T - T_{\text{amb}} = T_{\text{amb}} - T_0. \quad (3.5)$$

La razón de esto, es que en el calorímetro hay una pequeña transferencia de calor del exterior hacia el agua cuando ésta está fría por debajo de la temperatura ambiente, y hacia el exterior cuando la temperatura del agua está por encima de la temperatura ambiente. Así que trabajando en estos márgenes de temperatura, ecuación (3.5), el calor cedido es igual al calor ganado por el agua en su interacción con el ambiente externo.

Equivalente Eléctrico del Calor

Autores(código): _____

Programa: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

1. Procedimiento

1.1. Procedimiento realizado para determinar el equivalente Joule del calor:

$J_{\text{teo}} = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 

$c_{\text{agua}} = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 

$T_{\text{amb}} = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 

$m_{\text{agua}} = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 

$C = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 

$T_0 = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 

$V = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 

$I = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 

$\alpha = \text{_____} \pm \text{_____}$. Sustente: 



Tabla 3.1: (Describa la Tabla y sustente sus datos) 

Analice la gráfica:  _____

$J_{exp} = \text{_____} \pm \text{_____}$. Sustente: 

Compare sus resultados :  _____

2. Discusión y Conclusiones



Referencias

- [1] Luz, Antônio Máximo Ribeiro da y Beatriz Alvarenga Álvares: *Física General con experimentos sencillos*. Oxford, Ciudad de México, 4ª edición, 1998, ISBN 978-970-613-147-8, 970-613-147-7.
- [2] Máximo, Antônio y Beatriz Alvarenga: *Física General, con experimentos sencillos*. Oxford, Delegación Cuauhtémoc, C. P. 06470, México. D. F., cuarta edición, 1998, ISBN 978-970-613-147-8, 970-613-147-7.
- [3] School-of, Physical Sciences (NISER): *Electrical Equivalent of Heat 'J'*. <https://www.niser.ac.in/sps/>, 2022.
- [4] Romani, Julieta, Paula Quiroga, María G. Larreguy y María Paz Frigerioo: *Determinación del equivalente eléctrico del calor*. <https://www.fisicarecreativa.com/>, 2002.
- [5] Gil, Salvador y Eduardo Rodríguez: *Física recreativa*. Prentice Hall, Buenos Aires, 2001.
- [6] Mora, Leidy Daniela Clavijo: *Laboratorio Física 2 B-G*. <https://www.studocu.com/co/user/4094889>, 2006.



Laboratorio de Física II

Buscar Cursos

Mis cursos > Facultad de Ciencias Exactas y Naturales > Física > Semestre 2 > Laboratorio de Física II > Preinformes y Exámenes

Laboratorio de Física II

Administración

- Administración del curso
 - Editar ajustes
 - Activar edición
 - Finalización del curso
 - Usuarios
 - Filtros
 - Informes
 - Configuración Calificaciones
 - Resultados
 - Insignias
 - Copia de seguridad
 - Restaurar
 - Importar
 - Reiniciar
 - Banco de preguntas
 - Repositorios
 - Papelera de reciclaje

Información Preinformes y Exámenes Guías de Laboratorio

Videos Educativos Software y Recursos Karla Lab-Fis2(Yithsbey)

PREINFORMES

Laboratorio 1: Análisis Gráfico y Numérico

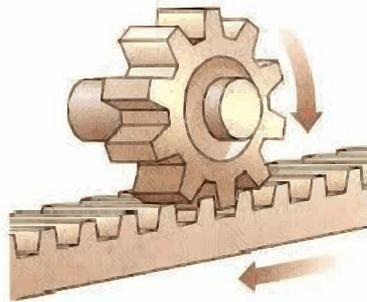
Debido 22 de abril de 2026

0 de 22 Intento

Usuario identificado



Guía de Laboratorio Virtual de Física II



YITHSBEY GIRALDO USUGA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Física
San Juan de Pasto, Nariño
Colombia
2023

Contenido

1	Deformaciones: Ley de Hooke, Resortes en Serie y Paralelo	1
2	Presión en un Fluido	11
3	Principio de Arquímedes	23
4	Dinámica de Fluidos	31
5	Movimiento Armónico Simple I: Masa-Resorte	41
6	Movimiento Armónico Simple II: Péndulo Simple - Péndulo Físico	51
7	Oscilaciones Amortiguadas y Forzadas	61

1 Deformaciones: Ley de Hooke, Resortes en Serie y Paralelo

1.1 Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio y responda el preinforme virtual correspondiente, en el COES de la Universidad: <http://coes.udenar.edu.co/>

1.2 Objetivos

Se pretende ver cómo influye la masa de un resorte en el sistema resorte-masa, y con esto analizar experimentalmente la ley de Hooke y determinar la constante de elasticidad del resorte por el método estático. Luego investigar el movimiento del sistema resorte-masa y verificar que se comporta como un oscilador armónico simple de un periodo determinado, que también permite medir la constante de elasticidad del resorte.

Verificar que dos resortes en paralelo tengan una constante de resorte efectiva dada por $k = k_1 + k_2$.

Verificar que dos resortes en serie tengan una constante de resortes efectiva dada por $1/k = 1/k_1 + 1/k_2$.

1.3 Materiales

- 1 Regla graduada de 1.0 m
- 10 combinaciones de masas
- 1 Balanza gramera
- Soporte universal
- 2 Resortes

1.4 Fundamento Teórico

1.4.1 Ley de Hooke en un Resorte

Para mantener un resorte estirado una distancia x más allá de su longitud sin estiramiento debemos aplicar una fuerza de magnitud F . Si el desplazamiento x no es excesivo, vemos que la fuerza ejercida por el resorte estirado es directamente proporcional a x :

$$F = -k x, \quad (1.1)$$

donde el signo menos indica que la fuerza que ejerce el resorte se opone al desplazamiento. La cantidad k se conoce como **constante elástica del resorte**, propiedad que caracteriza al mismo, y sus unidades en el SI son N/m (en el sistema cgs es dn/cm , dinas por centímetro). La relación (5.1) se conoce como la **ley de Hooke**, aunque no debería llamarse "ley", pues es una afirmación acerca de un dispositivo específico y no una ley fundamental de la naturaleza. Se considera un **resorte ideal** cuando es de masa despreciable y satisface la ley de Hooke. La curva de deformación en función del esfuerzo para un resorte ideal (Figura 5.1), presenta un comportamiento lineal. La elongación del resorte variará proporcionalmente con la fuerza aplicada de acuerdo a la ley de Hooke.

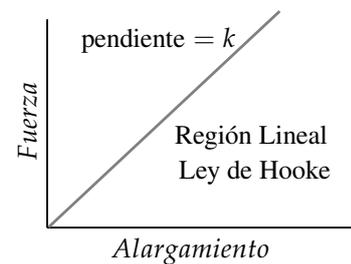


Figura 1.1: Deformación en función del esfuerzo para un resorte ideal.

Ejemplo 1. Medición constante elástica. Sistema resorte-masa. Caso estático. Una manera de verificar la ley de Hooke es usar como fuerza F aplicada, la magnitud del peso (mg) de una masa suspendida del extremo libre de un resorte que cuelga (Figura 5.2); lo que constituye un sistema resorte-masa. Cuando el sistema alcanza el equilibrio, se debe cumplir que

$$F = mg = k x, \quad (1.2)$$

donde x es la magnitud del alargamiento del resorte. El sistema resorte-masa puede permanecer indefinidamente en estado de equilibrio, mientras ninguna fuerza externa actúe sobre él.

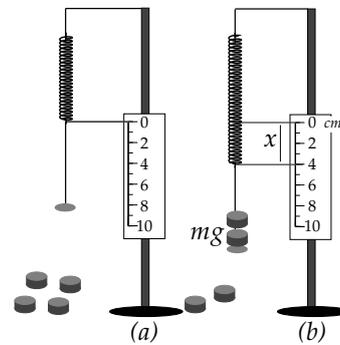
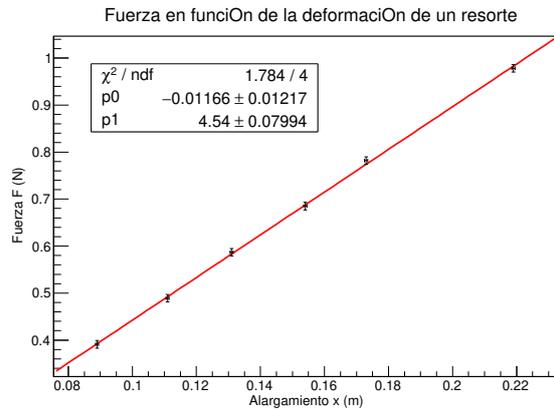


Figura 1.2: resorte deformado por la fuerza externa mg .

Para determinar la constante k se utiliza el montaje resorte-masa descrito en la Figura 5.2. La regla adyacente al resorte se usa para medir los desplazamientos. Es recomendable suspender una masa inicial (Fig. 5.2 a) a fin de trabajar en la región donde es válida la ley de Hooke (ver Figura 5.1). La posición "cero" del alargamiento del resorte se indica con dicha masa suspendida. Así que cuando una masa adicional m , se suspende del resorte es posible medir el alargamiento x , experimentado por el mismo respecto de su estado inicial (Fig. 5.2 b).

Se hizo el experimento con diferentes valores de m : 40.0, 50.0, 60.0, 70.0, 80.0 y 100.0 g, se obtuvieron datos para x de 8.90, 11.10, 13.10, 15.40, 17.30 y 21.90 cm, respectivamente. Los errores considerados fueron de 0.8 g y 0.05 cm. A partir de estos datos determine el valor de la constante de elástico (k) del resorte.

Solución: Se llevaron los datos a la Tabla 5.1, con $g = 9.78 \text{ m/s}^2$.



$F (\pm 8) (\times 10^{-3}) (N)$	391	489	587	685	782
$x (\pm 0.05) (\times 10^{-2}) (m)$	8.90	11.10	13.10	15.40	17.30

Tabla 1.1: Datos de la deformación de un resorte usando el montaje resorte-masa.

Figura 1.3: Fuerza $F (= mg)$ en función de la deformación x en un sistema resorte-masa estático. Los datos fueron extraídos de la Tabla 5.1.

Al hacer una regresión lineal de acuerdo con la ecuación (1.2), usando los datos de la Tabla 5.1, del peso (mg) en función del alargamiento (x) (Fig. 5.3). El ajuste de los datos anteriores, la pendiente corresponde a la constante elástica k del resorte, y tiene un valor de:

$$k = 4.54 \pm 0.08 \text{ N/m.}$$

Los datos se ajustan correctamente con la ecuación (1.2), y el intercepto de la gráfica con el eje vertical puede valer cero.

1.5 Resortes en serie y en paralelo

1.5.1 Resortes en paralelo

Dos resortes estarán en paralelo, cuando están conectados por sus dos extremos (ver Fig. 1.4).

Para facilitar la visualización del sistema, consideraremos que están situados verticalmente y un peso mg cuelga de ellos. La masa está unida al techo a través de dos resortes, de constantes k_1 y k_2 .

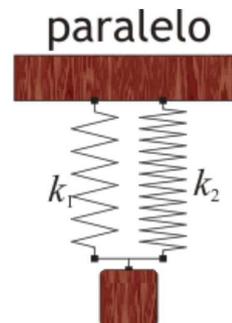


Figura 1.4: Dos resortes conectados en paralelo.

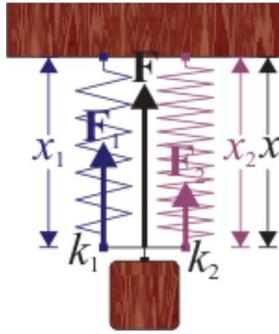


Figura 1.5: Visualización de las fuerzas y deformaciones que sufren los dos resortes conectados en paralelo.

También podemos afirmar, que la constante elástica resultante, k , de dos resortes en paralelo es mayor que la constante de cualquiera de los resortes:

$$k = k_1 + k_2. \quad (1.3)$$

$$k > k_1, k_2.$$

1.5.2 Resortes en serie

Dos resortes estarán en serie, cuando están unidos uno en seguida del otro y en el punto de conexión no hay conectado ningún resorte adicional (ver Fig. 1.6).

El resorte 1 se encuentra anclado a la pared y se estirará una cantidad x_1 (ver Fig. 1.7). El resorte 2 se encuentra anclado a éste, y se estirará una cantidad $x_2 = x - x_1$, entonces $x_1 + x_2 = x$. La fuerza sobre la masa m , situada en el extremo libre del resorte 2, es ejercida por este resorte $mg = F_2 = -k_2(x - x_1)$. Como el punto de unión de los resortes se encuentra en reposo $F_1 = F_2 = F$, esto es, la fuerza se transmite a lo largo de la asociación, de forma que la fuerza que la masa ejerce sobre el resorte 2 es la misma que la que éste hace sobre el resorte 1 y la que éste hace sobre el punto de anclaje.

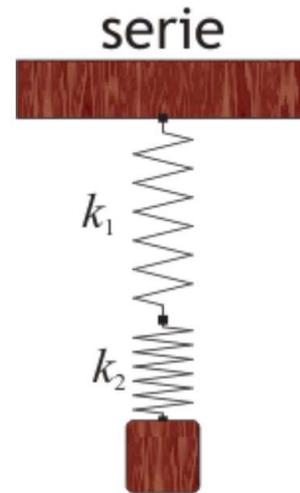


Figura 1.6: Dos resortes conectados en serie.

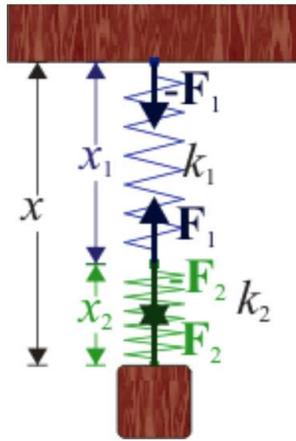


Figura 1.7: Visualización de las fuerzas y deformaciones que sufren los dos resortes conectados en serie.

Esto es razonable si uno considera el caso de que la masa cuelga del techo mediante la serie de dos resortes. La fuerza hacia abajo en la posición de la masa es simplemente su peso. La fuerza hacia abajo en el punto de unión de los resortes, sigue siendo el peso de la masa inferior, ya que el resorte lo suponemos sin masa. La fuerza hacia abajo en el extremo superior sigue siendo el mismo peso, ya que los dos resortes los suponemos sin masa. La fuerza se conserva a lo largo de una asociación en serie. Por tanto, $x_1 = -F_1/k_1 = -F/k_1$ y $x_2 = -F_2/k_2 = -F/k_2$, así que $x = x_1 + x_2 = -(1/k_1 + 1/k_2)F$. Y la constante equivalente a la asociación en serie cumple

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \Rightarrow k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}. \quad (1.4)$$

También podemos afirmar, que la constante elástica resultante, k , de dos resortes en serie es menor que la constante de cualquiera de los resortes:

$$k < k_1, k_2.$$

1.6 Procedimiento experimental

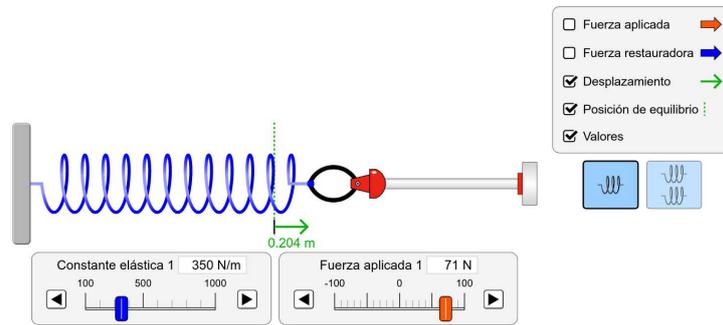
1.6.1 Procedimiento realizado para determinar la constante elástica de un resorte:

Van a utilizar un simulación virtual:

https://phet.colorado.edu/sims/html/hookes-law/latest/hookes-law_es.html



Seleccionen la “Introducción”.



Elijan un valor para la constante elástica $k_{1\text{teo.}}$. Señalen los items “Desplazamiento”, “Posición de equilibrio” y “Valores”.

Deformen el resorte para que determinen el desplazamiento y la fuerza aplicada. Lleven los datos a la Tabla 5.3. Grafiquen para comprobar la ley de Hooke. Determine la constante elástica, $k_{1\text{exp.}}$, del resorte. Comparen su resultado con el valor teórico configurado en su simulación.

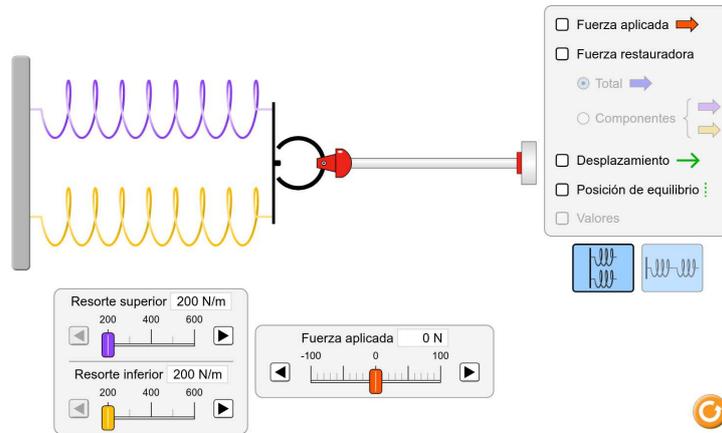
Repitan el proceso para determinar la constante elástica, $k_{2\text{exp.}}$, de un segundo resorte. Consignen los datos en la Tabla 1.3.

1.6.2 Resortes en paralelo

Seleccionen ahora “Sistemas”.



Van a considerar la configuración en paralelo como se indica en la Figura 1.4.



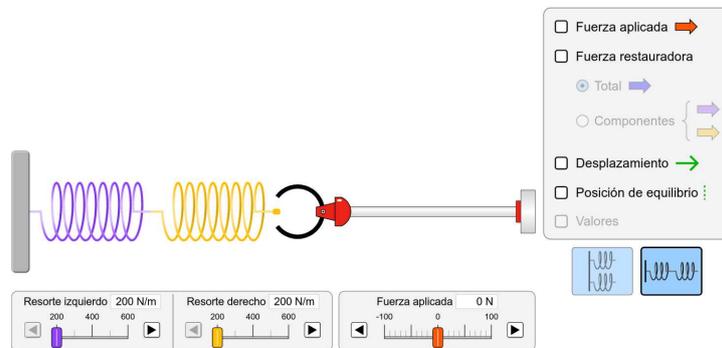
Asignen los valores de las constantes elásticas con los que trabajaron previamente.

Sigan un proceso parecido a la práctica anterior (Sec. 1.6.1) para determinar la constante equivalente, $k_{p_{exp}}$, de los dos resortes en paralelo. Consignen sus datos en la Tabla 1.4.

Determinen la constante elástica que se espera para dos resortes en paralelo, $k_{p_{teo}}$. (Ec. (1.3)). Comparen ambos resultados.

1.6.3 Resortes en serie

Ahora, considere sus dos resortes en serie como se indica en la Figura 1.6.



Asignen los valores de las constantes elásticas con los que trabajaron previamente.

Sigan un proceso parecido a la práctica anterior para determinar la constante equivalente, $k_{s_{exp}}$, de los dos resortes en serie. Consignen sus datos en la Tabla 1.5.

Determinen la constante elástica que se espera para dos resortes en serie, $k_{s_{teo}}$. (Ec. (1.4)). Comparen ambos resultados.

Deformaciones: Ley de Hooke, Resortes en Serie y Paralelo

Autores(código): _____

 Programa: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

1. Procedimiento realizado para determinar la constante elástica de un resorte (Sección 1.6.1):

$k_{1\text{teo.}} = \text{_____} \pm \text{_____}$

Tabla 1.2: (Describe la Tabla y sustente sus datos)

$k_{2\text{teo.}} = \text{_____} \pm \text{_____}$

Tabla 1.3: (Describe la Tabla y sustente sus datos)

¿Ha comprobado la ley de Hooke?: justifique _____

Constante elástica del resorte 1: $k_{1\text{exp}} = \text{_____} \pm \text{_____}$.

Constante elástica del resorte 2: $k_{2\text{exp}} = \text{_____} \pm \text{_____}$.

Justifique : _____

Compare sus resultados experimentales con los teóricos (use el error relativo porcentual y criterio de la igualdad)



2. Resortes en paralelo: (Sección 1.6.2) 

Tabla 1.4: (Describa la Tabla y sustente sus datos) 

Constante equivalente dos resortes en paralelo:  $k_{p_{exp.}} = \text{_____} \pm \text{_____}$

Justifique : _____

Valor teórico esperado de dos resortes en paralelo:  $k_{p_{teo.}} = \text{_____} \pm \text{_____}$

Justifique : _____

¿Son iguales ambos valores?

3. Resortes en serie: (Sección 1.6.3) 

Tabla 1.5: (Describa la Tabla y sustente sus datos) 

Constante equivalente dos resortes en serie:  $k_{s_{exp.}} = \text{_____} \pm \text{_____}$

Justifique : _____

Valor teórico esperado de dos resortes en serie:  $k_{s_{teo.}} = \text{_____} \pm \text{_____}$

Justifique : _____

¿Son iguales ambos valores?

Conclusiones: _____



2

Presión en un Fluido

2.1 Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio y responda el preinforme virtual correspondiente, en el COES de la Universidad: <http://coes.udenar.edu.co/>

2.2 Objetivos

- Comprender el concepto de presión en los fluidos y cómo cambia con la profundidad.
- Aprender a utilizar el manómetro para determinar presiones y entender el principio de Pascal.
- Comprender el efecto de la presión atmosférica y su relación con algunos fenómenos cotidianos.

2.3 Fundamento Teórico

2.3.1 Concepto de Presión

Presión, es una propiedad intensiva, y se refiere a los efectos de una fuerza que actúa distribuida sobre una superficie. Así, un individuo situado de puntillas sobre lodo blando se hunde, en tanto que otro de igual peso que calce botas anchas, al repartir la fuerza sobre una mayor superficie, puede caminar sin dificultad [?]. La fuerza puede ejercerla un sólido, un líquido o un gas. Frecuentemente, la fuerza causante de una presión es simplemente el peso de un cuerpo o material. En un fluido confinado entre fronteras sólidas, la presión actúa perpendicularmente a la frontera. De ahí que se defina la presión como la razón de la fuerza F ejercida (perpendicularmente) sobre la unidad de área A :

$$P = \frac{F}{A}. \quad (2.1)$$

La unidad de presión en el Sistema Internacional (SI) es el N/m^2 que recibe el nombre de pascal y se abrevia como Pa .

Ejemplo 2. Presión. Se quiere cortar un trozo de carne con un cuchillo ejerciendo sobre él una fuerza de 19.6 N . Calcule la presión aplicada por el cuchillo sobre la carne, si:

- Se corta con el canto que tiene una superficie de 0.80 cm^2 .
- Se corta con el filo que tiene una superficie de $0.000010\text{ cm}^2 = 10^{-5}\text{ cm}^2$.

Solución: en el primer caso la presión ejercida es $P_1 = \text{Fuerza}/\text{Área} = 19.6\text{ N}/0.80\text{ cm}^2 = 2.45 \times 10^5\text{ Pa}$. En el segundo caso $P_2 = 19.6\text{ N}/10^{-5}\text{ cm}^2 = 1.96 \times 10^{10}\text{ Pa}$. Una interpretación de estos resultados es que en el primer

caso por cada metro cuadrado de superficie se ejerce una fuerza de $2.45 \times 10^5\text{ N}$, y en el segundo caso una fuerza de $1.96 \times 10^{10}\text{ N}$. Por tanto resulta más fácil cortar la carne en el segundo caso. ■

Ejemplo 3. Fuerza. Conocida la presión de un sistema se puede calcular la fuerza que ésta ejerce sobre determinada superficie. Por ejemplo, calcule la fuerza que actúa sobre el tapón de un colchón de aire, sabiendo que tiene una presión de $1.42 \times 10^5\text{ N/m}^2$ y el radio del tapón es de 1.5 mm [?]. Solución: el área A de un tapón circular de radio r está dada por $A = \pi r^2$. Entonces, al usar (2.1), la fuerza sobre el tapón es $F = P A = (1.42 \times 10^5\text{ N/m}^2) \times (\pi \times 1.5 \times 10^{-3}\text{ m})^2 = 1.0\text{ N}$. ■

2.3.2 Presión en Fluidos

Se denomina fluido a aquellas sustancias que pueden fluir y adoptan la forma del recipiente que lo contiene [?, ?]. El área de la física que estudia los fluidos en movimiento, se conoce como **hidrodinámica**. Pero aquí vamos a estudiar sólo fluidos en reposo (equilibrio), es decir la **hidrostática**. Los fluidos (líquidos y gases) en equilibrio ejercen sobre las paredes de los recipientes que los contienen y sobre los cuerpos contenidos en su interior fuerzas que actúan siempre perpendicular a las superficies ¹.

Transmisión de presiones en los líquidos: principio de Pascal

Esta ley se aplica específicamente a fluidos incompresibles (líquidos) y dice lo siguiente:

Una presión externa aplicada a un líquido confinado se transmite sin menoscabo a cada parte del fluido.

La Figura 2.1 ilustra el proceso.

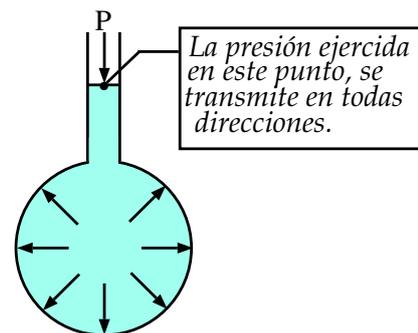


Figura 2.1: Principio de Pascal

¹Si hubiera una componente de la fuerza paralelo a la superficie, entonces por acción-reacción, la fuerza opuesta haría que el fluido fluyera, lo que no es cierto puesto que el fluido se encuentra en reposo [?].

Principio fundamental de la hidrostática: variación de la presión con la profundidad

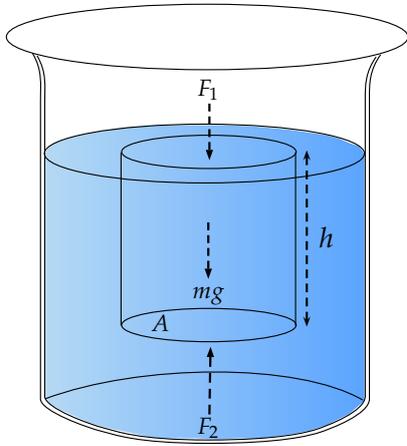


Figura 2.2: Variación de la presión con la profundidad.

Como hemos visto, los fluidos en reposo ejercen presión. Muchas veces el peso del fluido *no* es despreciable y por lo tanto ésta aumenta con la profundidad. Considere un recipiente como el de la Figura 2.2 que contiene un líquido cualquiera y queremos saber la presión hidrostática, P , a una profundidad h por debajo de la superficie. Imagine una columna cilíndrica de líquido, de área transversal A , por encima de dicho punto que se extiende hasta la superficie. El resto de líquido ejerce presión perpendicular a la superficie de la columna cilíndrica. La fuerza total resultante sobre el cilindro es cero porque está en equilibrio. Las fuerzas laterales que actúan sobre el cilindro son debidas a la presión del líquido circundante y, por simetría, la presión debe ser la misma en todas las direcciones a una misma profundidad; por lo anterior se considera sólo las fuerzas verticales. La atmósfera actúa con una presión ², P_0 , ejerciendo una fuerza hacia abajo, $F_1 = P_0 A$, sobre la cara superior de dicha columna. Mientras que en la cara inferior se ejerce una fuerza hacia arriba igual a $F_2 = P A$. La fuerza resultante, $F_2 - F_1 = (P - P_0)A$, equilibra el peso del líquido contenido en el cilindro igual a $mg = (\rho h A) g$, donde ρ es la densidad del fluido y g la gravedad. Igualando ambas fuerzas y cancelando las áreas, se obtiene:

$$P = P_0 + \rho g h, \tag{2.2}$$

La presión P es la presión absoluta a la profundidad h resultante de la presión debida al líquido y a la atmósfera. La diferencia $\Delta P = P - P_0$, se denomina **presión manométrica** en dicho punto. La expresión (2.2) indica claramente que en un líquido la presión aumenta linealmente con la profundidad y que es la misma en todos los puntos situados al mismo nivel.

Ejemplo 4. Presión en fluido a cierta profundidad. Calcule la presión que existe en un punto situado 10m bajo la superficie del mar, sabiendo que la densidad del agua de mar es de 1.03 g/cm^3 .
Solución: la presión manométrica a 10m de profundidad es

$P - P_0 = \rho g h = (1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) \times (9.8 \text{ m/s}^2) \times (10 \text{ m}) = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$. Es decir, la presión a 10 m de profundidad es $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ mayor que la presión en la superficie. Así que la presión absoluta a esta profundidad es $P = P_0 + \rho g h = 1.013 \times 10^5 + 1.01 \times 10^5 = 2.02 \times 10^5 \text{ Pa}$. ■

2.3.3 Presión Atmosférica

La presión atmosférica, como lo indica su nombre, es la presión que ejerce la atmósfera de la Tierra. El valor real de la presión atmosférica depende de la altura del lugar respecto al nivel del mar, la temperatura y en general de las condiciones climáticas. Del mismo modo en que existe una presión hidrostática en los líquidos asociada con su peso, las masas de gas originan presiones debidas a su propio peso. Tal es el caso de la atmósfera.

²La presión atmosférica a nivel del mar vale $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Unidades de presión

Existen otras unidades de presión, no relacionadas con ningún sistema de unidades en particular, que se han popularizado por su frecuente uso y se siguen usando en la actualidad junto con el pascal. Entre ellas se encuentran la atmósfera y el bar.

La primera comprobación experimental de la existencia de una presión asociada al aire fue efectuada por Evangelista Torricelli (conocido como experimento de Torricelli). El experimento consistió en llenar con mercurio (de densidad $\rho_{Hg} = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ a 0° C) un tubo de vidrio de aproximadamente un metro de longitud, el cual una vez lleno y cerrado provisionalmente, se invierte y se sumerge en una cubeta también llena de mercurio. Cuando se abre el extremo sumergido se observa que éste sólo se vacía en parte, quedando en su interior una columna de mercurio, que al *nivel del mar* alcanza unos setenta y seis centímetros ($h = 0.76 \text{ m}$). El anterior resultado indica que el valor de la presión atmosférica al nivel del mar es $P_0 = (\rho_{Hg})gh = 13.6 \times 10^3(9.8)(0.76) = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$. Este valor se define también como 1 atm de presión, o sea

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa.} \quad (2.3)$$

En meteorología se emplea generalmente el *bar*, que realmente es un múltiplo del pascal y equivale a 10^5 N/m^2 .

Presión manométrica

La presión manométrica ΔP se define como la diferencia entre la presión real (absoluta) P de un sistema y la presión atmosférica P_0 . Es decir $\Delta P = P - P_0$ que corresponde al valor "adicional" de la presión por encima o por debajo de la presión atmosférica. Así que la lectura de un manómetro puede ser positiva o negativa.

Ejemplo 5. Presión en los neumáticos. En las estaciones de servicio todavía se acostumbra medir la presión del aire de los neumáticos en lb/plg^2 (libra fuerza por pulgada cuadrada), también conocida como *psi*. La libra fuerza es una unidad de fuerza que equivale a 4.452 N y la pulgada es una unidad de longitud igual a 2.54 cm . Así que $1 \text{ lb}/\text{plg}^2 = 1 \text{ psi} = 6900 \text{ Pa}$. Generalmente la presión registrada en un neumático es manométrica, así que ¿Cuál es la presión absoluta del aire, en atmósferas, de un neumático de automóvil que está inflado a una presión de 32 psi ? [?]
 Solución: $32 \text{ psi} = 32 \times 6900 / (1.013 \times 10^5) = 2.18 \text{ atm}$. Las 32 psi es la presión adicional a la atmosférica (que tiene el neumático aun estando "desinflado"), de modo que la presión del aire del neumático es, en realidad, de 3.18 atm ($= 2.18 \text{ atm} + 1 \text{ atm}$) = 46.7 psi . ■

Ejemplo 6. Manómetro de tubo abierto. Un manómetro es un dispositivo diseñado para medir la presión manométrica en los fluidos.

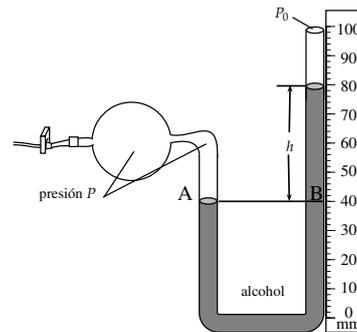


Figura 2.3: El Manómetro de Tubo Abierto permite medir la presión P del sistema.

Uno de uso frecuente es el manómetro de tubo abierto (Fig.2.3), que consiste en un tubo en forma de U con una de sus dos ramas conectada al sistema cuya presión se quiere medir y la otra abierta a la atmósfera. La presión se determina por la variación del nivel de líquido en el tubo y

aplicando el hecho de que la presión en A es la misma que en B. El fluido manométrico generalmente usado es alcohol, agua o mercurio.

Determine la presión manométrica registrada por el manómetro de la Figura 2.3, considerando que el manómetro contiene alcohol de densidad $(0.89 \pm 0.05) \text{ g/cm}^3$.

Solución: Aplicando la ecuación (2.2), donde los valores de $\rho = (890 \pm 5) \text{ kg/m}^3$ y $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. El manómetro registra una profundidad $h = (40 \pm 2) \times 10^{-3} \text{ m}$. Luego la presión manométrica medida es: $\Delta P = P - P_0 = \rho gh = (890 \pm 5)(9.8)(0.040 \pm 0.002) = (349 \pm 20) \text{ Pa}$, por encima de presión atmosférica. ■

Ejemplo 7. Cápsula manométrica. Una cápsula manométrica es básicamente una pequeña caja cilíndrica impermeable cubierta completamente por una membrana elástica. La caja es conectada, por medio de una manguera flexible, a un manómetro de tubo abierto (Fig. 2.4). La cápsula manométrica está sumergida en una cubeta con agua y por medio de una regla es posible determinar la profundidad a la cual se encuentra. ¿Cómo están relacionadas la presión ejercida por el líquido sobre la cápsula a medida que se sumerge, con el cambio de presión que indica el manómetro de alcohol?

Solución: La presión absoluta en A vale $P_0 + \rho(\text{alcohol})gh$, donde h es la altura de la columna de alcohol. La presión en B es la experimentada por la cápsula manométrica a medida que se sumerge, que vale $P_0 + \rho(\text{agua})gH$, donde H es la profundidad a la que se encuentra la cápsula. Igualando ambas presiones, $P_0 + \rho(\text{alcohol})gh = P_0 + \rho(\text{agua})gH$, se obtiene la relación:

$$H = (\rho(\text{alcohol})/\rho(\text{agua}))h. \quad (2.4)$$

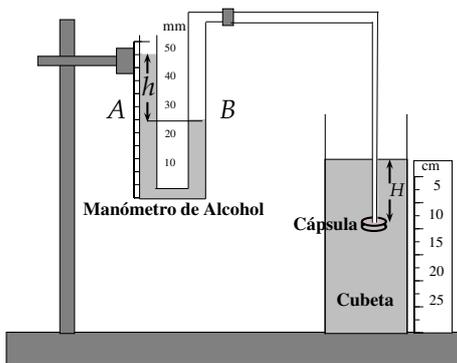


Figura 2.4: Variación de la profundidad, H, de un líquido en función de la altura, h, de un manómetro.

La expresión (2.4), deducida a partir de la ecuación fundamental de la hidrostática (2.2), permite obtener una relación entre las densidades de los fluidos empleados. ■

Ejemplo 8. Campana de vacío. Este dispositivo está conformado por una bomba extractora y una campana de vidrio Pyrex de aproximadamente 4 mm de espesor de la cual se evacúa la mayor cantidad de aire (Fig.2.5).

Un globo semi-inflado es introducido dentro de la campana de vacío. Con la ayuda de personal especializado, se comienza a realizar el vacío dentro de la campana utilizando la bomba extractora para tal fin. A medida que la presión disminuye (extracción del aire), el globo comienza a inflarse. Cuál es la explicación correcta para este fenómeno?

Solución: Un globo aumenta de volumen al inflarlo. Es decir, al entrarle un gas aumenta la presión en el interior, y por tanto las paredes se dilatan. El globo de la experiencia está inflado levemente con aire y por tanto, antes de hacer el vacío, la presión interior es igual a la presión atmosférica. La presión exterior, que empieza siendo la atmosférica, va disminuyendo a medida que se va haciendo el vacío en la campana. Al ser más pequeña la presión exterior, que la interior del globo, éste se infla hasta alcanzar el equilibrio de presiones.

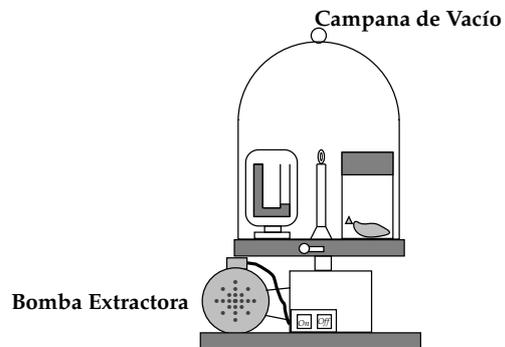


Figura 2.5: Campana de vacío.

2.4 Instrucciones de la Práctica

Verificar la ecuación fundamental de la hidrostática

Introducción: En este laboratorio se va a diseñar un experimento para comprobar la relación

que existe entre la presión ejercida por un fluido específico sobre un cuerpo y la profundidad a la cual éste se sumerge.

1. Procedimiento: Se diseña un procedimiento experimental para comprobar la siguiente hipótesis:

Hipótesis: La presión manométrica en un punto de un fluido es directamente proporcional a su profundidad. Y dos puntos a la misma profundidad experimentan la misma presión.

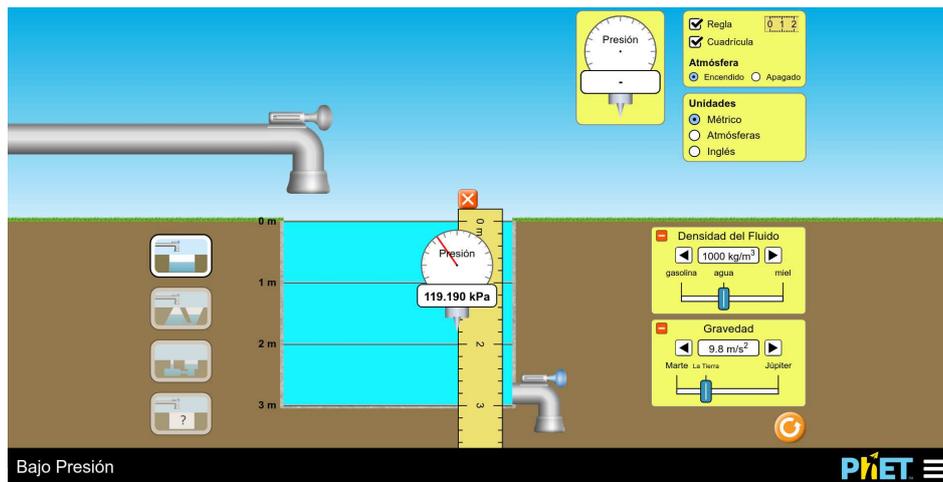
La idea es trabajar con la simulación

https://phet.colorado.edu/sims/html/under-pressure/latest/under-pressure_es_PE.html

Es bueno asegurarse de registrar lo que se hace y cómo se hace, para que el procedimiento del informe sea preciso y refleje completamente lo que se desarrolla.

1.1 Procedimiento a realizar para verificar la variación de la presión con la profundidad utilizando la simulación:

Van a verificar la ecuación (2.2). Para ello van a medir la presión (P) en un líquido a cierta profundidad (h). Configure su simulación como se indica a continuación:

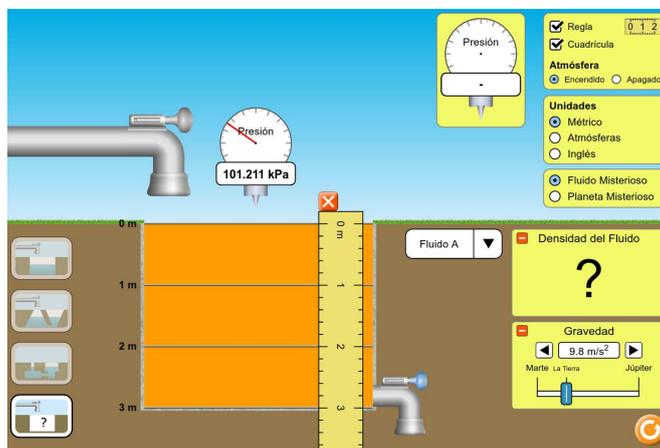


Llenen el pozo completamente con agua ($\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$) sobre la superficie terrestre ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$). Se tomará en cuenta la presión atmosférica. Usen la sonda, donde la punta inferior indica la presión (en $\text{kPa} = 10^3 \text{ Pa}$), para medir la presión absoluta a cierta profundidad. Tengan en cuenta la sensibilidad de la regla para medir distancias. Y defina una estrategia para determinar los errores de medición.

Registren sus datos en la Tabla 2.1. Grafiquen y ajusten. Analicen la calidad y obtengan los parámetros de ajuste. Verifiquen si sus predicciones coinciden con sus resultados experimentales.

1.2 Fluido misterioso:

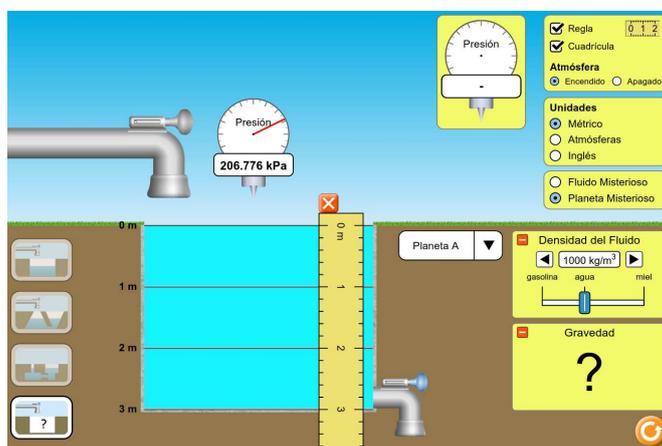
De acuerdo con la técnica desarrollada en la práctica 1.1, usted puede determinar la densidad de un fluido misterioso (A). Trabajen sobre la superficie terrestre con presión atmosférica.



Expliquen su procedimiento para llevar a cabo esta tarea.

1.3 Planeta misterioso:

De acuerdo con la técnica desarrollada en la práctica 1.1, usted puede determinar la gravedad de un planeta misterioso (A). Trabajen con agua y en presión atmosférica.



Expliquen su procedimiento para llevar a cabo esta tarea.

Presión en un Fluido

Autores(código): _____

Programa: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

1. Procedimiento

1.1. Procedimiento a realizado para verificar la variación de la presión con la profundidad utilizando la simulación:

$\rho_{\text{teo.}}$ =  _____ \pm _____. *Describa:*

$g_{\text{teo.}}$ =  _____ \pm _____. *Describa:*

Tabla 2.1: (Describa la Tabla y sustente sus datos y errores) 

Analice la calidad y parámetros de ajuste. Verifique si sus predicciones coinciden con sus resultados experimentales: 



1.2 Fluido misterioso:

$g_{\text{teo.}}$ =  _____ \pm _____. *Describa:*

Explique su procedimiento: 

Densidad fluido A:  _____ \pm _____

1.3 Planeta misterioso:

$\rho_{\text{teo.}}$ =  _____ \pm _____. *Describa:*

Explique su procedimiento: 

Gravedad planeta A:  _____ \pm _____



2. Discusión y Conclusiones *(Cuente su historia)*



3

Principio de Arquímedes

3.1 Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio y responda el preinforme virtual correspondiente, en el COES de la Universidad: <http://coes.udenar.edu.co/>

3.2 Objetivos

- Verificar experimentalmente el principio de Arquímedes.

3.3 Fundamento Teórico

3.3.1 Flotación y Principio de Arquímedes

Los objetos sumergidos en un fluido parecen pesar menos que cuando están fuera del fluido. Por ejemplo, una roca que podría levantarse del suelo sólo con dificultad, podría levantarse más fácil del fondo del agua. Cuando la roca rebasa la superficie del agua, parece mucho más pesada. Muchos objetos como la madera, flotan sobre la superficie del agua. Se trata de dos ejemplos de *flotación*. En cada uno de ellos, la fuerza de gravedad actúa hacia abajo, pero además, el líquido ejerce una *fuerza de flotación* (o fuerza de empuje) hacia arriba [?]. El **principio de Arquímedes** establece el valor y la dirección de esta fuerza:

Si un cuerpo está parcial o totalmente sumergido en un fluido en reposo, éste ejerce una fuerza hacia arriba sobre el cuerpo igual al peso del fluido desplazado por el cuerpo [?].

La fuerza de flotación se presenta debido a que la presión de un fluido aumenta con la profundidad. Así, la presión hacia arriba que se ejerce sobre la superficie inferior de un objeto sumergido es mayor que la presión hacia abajo sobre su superficie superior. Para demostrar este principio, consideremos una porción arbitraria de fluido en reposo. En La Figura 3.1a, el contorno irregular es la superficie que delimita esta porción de fluido. Las flechas representan las fuerzas que el fluido circundante ejerce sobre la superficie de frontera. Todo el fluido está en equilibrio, así que la suma de todas las componentes horizontales de la fuerza sobre esta porción de fluido es cero. Por otro lado, la suma de todas las componentes verticales de las fuerzas debe ser una fuerza hacia arriba de igual magnitud al peso mg del fluido dentro del contorno. Además, la suma de los momentos de torsión (o torques)

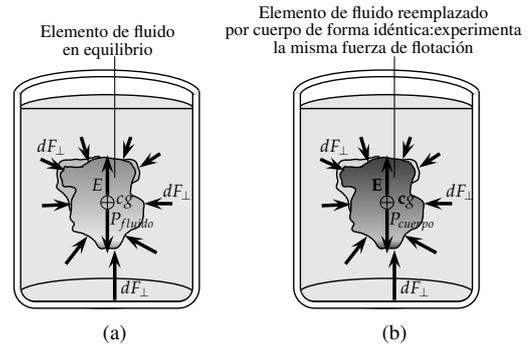


Figura 3.1: Principio de Arquímedes. (a) Un elemento de fluido en equilibrio. La fuerza de flotación del fluido circundante es igual al peso del elemento. (b) Si el elemento de fluido se sustituye por un cuerpo de idéntica forma, el cuerpo experimenta la misma fuerza de flotación que en (a). Esta fuerza es igual al peso de fluido desplazado.

sobre la porción de fluido debe ser cero, así que la línea de acción de la fuerza resultante debe pasar por el centro de gravedad de esta porción de fluido. Ahora, quitamos el fluido que está dentro del contorno y lo reemplazamos por un cuerpo sólido cuya forma sea idéntica (Figura 3.1b). La presión en cada punto es exactamente la misma que antes, de modo que la fuerza total hacia arriba ejercida por el fluido sobre el cuerpo también es la misma, es decir, es igual al peso mg del fluido que se desplazó para colocar el cuerpo. Esta es precisamente la **fuerza de flotación** o **empuje** hacia arriba que actúa sobre el cuerpo sólido.

La línea de acción de la fuerza de flotación pasa por el centro de gravedad del fluido desplazado (que no necesariamente coincide con el centro de gravedad del cuerpo) [?]. Así que la magnitud de la fuerza de empuje E , que ejerce hacia arriba un fluido de densidad ρ sobre un sólido sumergido de volumen V , es

$$E = \rho g V, \tag{3.1}$$

donde g es la aceleración gravitatoria.

Ejemplo 9. Peso real y peso aparente. Arquímedes fue cuestionado sobre si una corona hecha para el rey de su país era de oro puro. Así que resolvió el problema pesando la corona en el aire y posteriormente en agua como se muestra en la Figura 3.2. Sus medidas fueron de 7.84 N en el aire y 6.86 N en agua. Cuál fue la respuesta que Arquímedes dió al rey? [?]

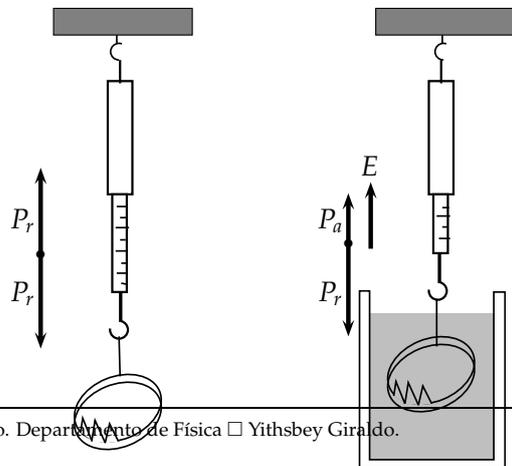


Figura 3.2: La corona de Arquímedes.

Solución: Cuando la corona es pesada en el aire, la escala en el dinamómetro mide el peso real de la corona $P_r = 7.84\text{N}$. Si posteriormente es sumergida en agua, la fuerza de empuje E hacia arriba, reduce la medida indicada en el dinamómetro a un peso aparente $P_a = 6.86\text{ N}$, tal que

$$P_r = P_a + E. \tag{3.2}$$

Por lo tanto el empuje ejercido sobre la corona es igual a la diferencia de su peso real y su peso aparente, $E = P_r - P_a = 0.98\text{ N}$.

De acuerdo con el principio de Arquímedes, el empuje es igual a la magnitud del peso de agua desplazada por la corona, por lo tanto $\rho_1 g V_c = E = 0.98\text{ N}$, donde el volumen de agua desplazada coincide con el volumen, V_c , de la corona ya que está sumergida completamente; y $\rho_1 = 1.0\text{ g/cm}^3$ es la densidad del agua. Despejando, encontramos que $V_c = 1.0 \times 10^{-4}\text{ m}^3$. De esta manera se determina que la densidad de la corona es

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} = \frac{g m_c}{g V_c} = \frac{P_r}{g V_c} = 8.0 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Arquímedes sabía que la densidad del oro puro es $19.3 \times 10^3\text{ kg/m}^3$, de tal manera que le informó al rey que había sido engañado. ■

Ejemplo 10. Verificación del principio de Arquímedes. Un cilindro sólido graduado de peso real, P_r , se sumerge en el agua (ver Figura 3.3). Se varía el volumen del cilindro sumergido, V , o sea el empuje $E (= \rho g V)$ del líquido sobre éste. Con un dinamómetro se va midiendo el peso aparente, P_a , correspondiente. Como el sistema está en equilibrio se satisface la ecuación (3.2), es decir,

$$P_a = P_r - \rho g V, \tag{3.3}$$

donde ρ es la densidad del líquido.

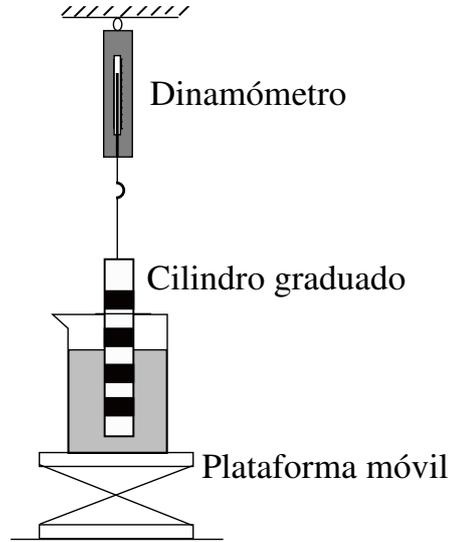


Figura 3.3: Cilindro semisumergido. El peso aparente, P_a , lo registra el dinamómetro y con el volumen sumergido, V , se puede medir el empuje E .

Los resultados son los siguientes:

$V (\pm 1) \times 10^{-6} (\text{m}^3)$	$P_a (\pm 0.05) (\text{N})$
20	1.60
40	1.30
60	1.20
80	0.98

Tabla 3.1: Medida del volumen sumergido, V , de un cilindro en agua, y su peso aparente P_a .

La representación gráfica (Figura 3.4) del peso aparente P_a en función del volumen V sumergido, muestra que es una línea recta en concordancia con la ecuación (3.3), de pendiente negativa, $-\rho g = -(9800 \pm 1100)\text{kg/m}^2\text{s}^2$, que coincide con los valores conocidos del producto de la densidad del agua y la aceleración de la gravedad. El intercepto $(1.76 \pm 0.06)\text{ N}$, se sabe que corresponde al peso real del cilindro. Con este valor se puede determinar la masa del cilindro: $m = P_r'/g = (1.76 \pm 0.06)/9.78 = 0.180 \pm 0.006\text{ kg}$.

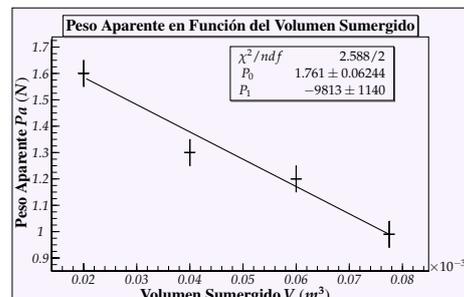


Figura 3.4: Peso aparente en función del volumen sumergido del cilindro. Los datos provienen de la Tabla (3.1). ■

Ejemplo 11. Verificación Directa del Principio de Arquímedes. Para verificar directamente el principio de Arquímedes, se hace un montaje como el de la Figura 3.5, que se describe a continuación:

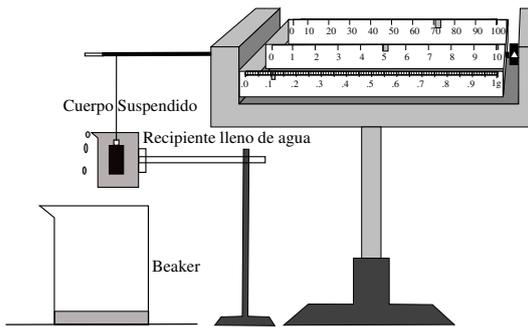


Figura 3.5: Verificación directa del principio de Arquímedes: "el peso del volumen de líquido desalojado por el cuerpo es igual al empuje".

- Se toma un beaker vacío y se determina su peso, $P_{\text{beaker-vacío}}$
- Se suspende un objeto de la balanza y se mide su peso real, P_r .
- Se coloca encima del beaker vacío un recipiente lleno completamente de agua.
- El cuerpo suspendido se sumerge completamente en el recipiente con agua, procurando que éste no toque las paredes del recipiente, de tal manera que cierta cantidad de líquido se "riega", la cual con mucho cuidado se deposita en el beaker. Se mide el peso aparente del cuerpo sumergido, P_a .
- Se calcula el empuje teórico, $E_{\text{teo}} = P_r - P_a$.
- Se retira el beaker con el agua depositada y se procede a pesar nuevamente, este valor será $P_{\text{beaker+agua-desplazada}}$, así el peso del agua desalojada se encuentra de la diferencia $P_{\text{agua-desplazada}} = P_{\text{beaker+agua-desplazada}} - P_{\text{beaker-vacío}}$, que corresponderá al empuje experimental, E_{exp} . Este valor se compara con el valor del empuje teórico y deben coincidir, es decir, el peso del volumen del líquido desalojado por el cuerpo, es igual al empuje. ■

3.4 Instrucciones de la Práctica

Verificar la ecuación fundamental para el empuje

Introducción: En este laboratorio se va a diseñar un experimento para comprobar el principio de Arquímedes.

Material disponible:

3. Procedimiento: Se diseña un procedimiento experimental para comprobar la siguiente hipótesis:

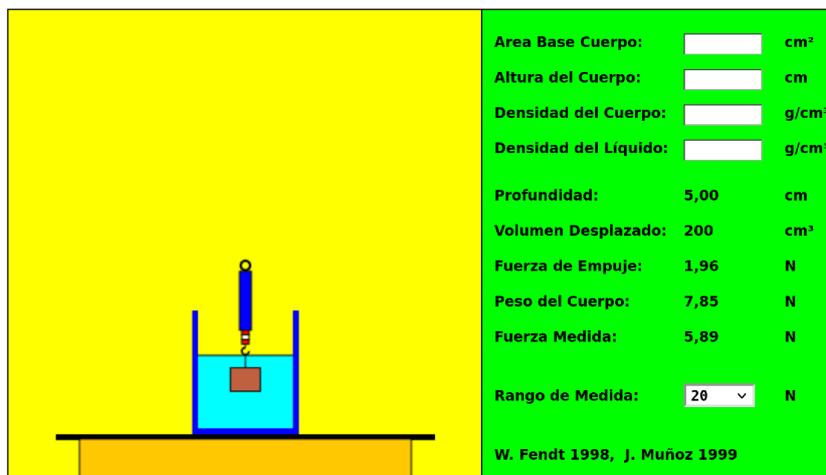
Hipótesis: Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja.

Para ilustrarse puede estudiar los montajes descritos en los ejemplos 10 y 11. Es bueno asegurarse de registrar lo que se hace y cómo se hace, para que el procedimiento del informe sea preciso y refleje completamente lo que se desarrolla.

La idea es trabajar con la simulación:

https://www.walter-fendt.de/html5/phes/buoyantforce_es.htm

3.1 Procedimiento a realizar para verificar el principio de Arquímedes: Lo que debe verificar es la relación (3.1). Para ello utilice la simulación sugerida previamente:



Area Base Cuerpo:	<input type="text"/>	cm ²
Altura del Cuerpo:	<input type="text"/>	cm
Densidad del Cuerpo:	<input type="text"/>	g/cm ³
Densidad del Líquido:	<input type="text"/>	g/cm ³
Profundidad:	5,00	cm
Volumen Desplazado:	200	cm ³
Fuerza de Empuje:	1,96	N
Peso del Cuerpo:	7,85	N
Fuerza Medida:	5,89	N
Rango de Medida:	20	N

W. Fendt 1998, J. Muñoz 1999

Establezca las cantidades físicas del problema, que mantendrá constante durante su experimento, es decir, la densidad del líquido y la densidad del cuerpo (Nota: es recomendable que la densidad del fluido sea menor que la densidad del sólido, para que el cuerpo se sumerja completamente dentro del líquido). En las instrucciones de la simulación está indicada la gravedad con la que van a trabajar. Deposite estas constantes en su informe.

Varíe el volumen del cuerpo, para ello establezca diferentes valores del área de su base y su altura. Sumerja el cuerpo en el líquido, y de los datos suministrados por la simulación puede extraer la fuerza de empuje.

Registre sus datos en la Tabla 3.2. Grafique y ajuste. Analice la calidad y obtenga los parámetros de ajuste. Verifique si sus predicciones coinciden con sus resultados experimentales.

Principio de Arquímedes

Autores(código): _____

Programa: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

1. Procedimiento realizado para verificar el principio de Arquímedes :

Densidad líquido: \pm _____ .

Sustente:

Densidad cuerpo: \pm _____ .

Sustente:

Gravedad: \pm _____ .

Sustente:

Tabla 3.2: (Describe la Tabla y sustente sus datos)



Analice la calidad y parámetros de ajuste. Verifique si sus predicciones coinciden con sus resultados experimentales: 

2. Discusión y Conclusiones *(Cuenta su historia)*



4

Dinámica de Fluidos

4.1 Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio y responda el preinforme virtual correspondiente, en el COES de la Universidad: <http://coes.udenar.edu.co/>

4.2 Objetivos

- Reconocer las características de flujo de fluidos.
- Verificar experimentalmente la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli.
- Verificar la experiencia de Torricelli.

4.3 Fundamento Teórico

4.3.1 Dinámica de Fluidos

El flujo de fluidos suele ser extremadamente complejo, como se aprecia en las corrientes de los rápidos de los ríos o en las llamas de una fogata, pero algunas situaciones se puede representar con modelos idealizados relativamente simples. Un **fluido ideal** es *incompresible* (su densidad no puede cambiar) y no tiene fricción interna (llamada **viscosidad**). El camino de una partícula individual en un fluido en movimiento se llama **línea de flujo**. Si el patrón global de flujo no cambia con el tiempo, entonces tenemos un **flujo estable**. En un flujo estable, cada elemento que pasa por un punto dado sigue la misma línea de flujo. En este caso, el “mapa” de las velocidades del fluido en distintos puntos del espacio permanece constante, aunque la velocidad de una partícula específica pueda cambiar tanto en magnitud como en dirección durante su movimiento. Una **línea de corriente** es una curva cuya tangente en cualquier punto tiene la dirección de la velocidad del fluido en ese punto. Si el patrón de flujo cambia con el tiempo, las líneas de corriente no coinciden con las de flujo. Consideremos sólo situaciones de flujo estable, en las que las líneas de flujo y las de corriente son idénticas.

Las líneas de flujo que pasan por el borde de un elemento de área imaginario, forman un tubo llamado **tubo de flujo**. Por la definición de línea de flujo, si el flujo es estable el fluido

no puede cruzar las paredes laterales de un tubo de flujo; los fluidos de diferentes tubos de flujo no pueden mezclarse. En un **flujo laminar** las capas adyacentes de fluido se deslizan suavemente una sobre otra y el flujo es estable. Si la tasa de flujo es suficientemente alta, o si las superficies de frontera causan cambios abruptos en la velocidad, el flujo puede hacerse irregular y caótico. Esto se llama **flujo turbulento**. En un flujo turbulento no hay patrón de estado estable; el patrón de flujo cambia continuamente [?].

Los líquidos son aproximadamente incompresibles en casi todas las situaciones, y también podemos tratar un gas como incompresible si las diferencias de presión de una región a otra no son muy grandes. La fricción interna en un fluido causa esfuerzos de corte cuando dos capas de fluido adyacentes tienen un movimiento relativo, como cuando un fluido fluye dentro de un tubo o alrededor de un obstáculo. En algunos casos, podemos despreciar estas fuerzas de corte en comparación con las fuerzas debidas a la gravedad y a diferencias de presión. Aspectos que tendremos en cuenta en las siguientes dos secciones.

4.3.2 Ecuación de continuidad

Considere una porción de un tubo de flujo entre dos secciones transversales estacionarias con áreas A_1 y A_2 (Figura 4.1). La rapidez del fluido en estas secciones son v_1 y v_2 , respectivamente. No fluye fluido por los costados del tubo porque la velocidad del fluido es tangente a la pared en todos sus puntos. Durante un tiempo corto Δt , el fluido en A_1 se mueve una distancia $v_1 \Delta t$, así que un cilindro de fluido de altura $v_1 \Delta t$ y volumen $\Delta V_1 = A_1 v_1 \Delta t$ fluye hacia el tubo a través de A_1 . Durante ese mismo lapso, un cilindro de volumen $\Delta V_2 = A_2 v_2 \Delta t$ sale del tubo a través de A_2 . Consideremos el caso de un fluido incompresible cuya densidad ρ tiene el mismo valor en todos los puntos. La masa Δm_1 que fluya por A_1 en el tiempo Δt es

$\Delta m_1 = \rho A_1 v_1 \Delta t$. Así mismo, la masa Δm_2 que sale por A_2 en el mismo tiempo es $\Delta m_2 = \rho A_2 v_2 \Delta t$. En flujo estable, la masa total en el tubo es constante, así que $\Delta m_1 = \Delta m_2$, entonces $\rho A_1 v_1 \Delta t = \rho A_2 v_2 \Delta t$, o sea que [?]

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (\text{ecuación de continuidad, fluido incompresible}), \quad (4.1)$$

expresa la conservación de la *razón de flujo de volumen*, $A v$, la rapidez con que el volumen cruza una sección del tubo. Este producto se conoce como *flujo volumétrico* o *caudal* y se denota como Q , sus unidades en el SI son m^3/s .

Ejemplo 12. Ecuación de continuidad y caudal. ¿Qué radio debe tener un ducto de calefacción, si el aire que se mueve en su interior a $3.0m/s$ debe sustituir el aire de una habitación de $300m^3$ de volumen cada $15min$? Suponga que la densidad del aire permanece constante.
Solución: Como del ducto de calefacción sale hacia la habitación $300m^3$ de aire cada $15min (= 900s)$, entonces el caudal es $Q = Av = 300/900 = (1/3)m^3/s$, de donde el área

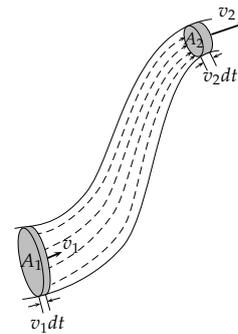


Figura 4.1: Tubo de flujo con área transversal cambiante. Si el fluido es incompresible, el producto Av tiene el mismo valor en todos los puntos a lo largo del tubo.

del ducto es $A = Q/v = (1/3)/3 = 0.11m^2$. Si el ducto tiene un sección transversal circular, entonces $A = \pi r^2$ y vemos que el radio debe ser de 19cm. ■

4.3.3 Ecuación de Bernoulli

Consideremos un *fluido ideal* de densidad ρ , a lo largo de un tubo de flujo no uniforme como se indica en la Figura 4.2. Denotemos como S_1 la sección cilíndrica sombreada en la parte inferior, de área transversal A_1 , y como S_2 la parte sombreada en la sección superior de área transversal A_2 . La fuerza ejercida en la sección S_1 por el fluido tiene una magnitud P_1A_1 , donde P_1 es la presión en dicha sección. El trabajo realizado por esta fuerza en un tiempo Δt , es $W_1 = F_1\Delta x_1 = P_1A_1\Delta x_1 = P_1\Delta V$, siendo V el volumen en la sección S_1 . De igual manera, el trabajo realizado por el fluido en la sección S_2 en el mismo tiempo Δt es $W_2 = -P_2A_2\Delta x_2 = -P_2\Delta V$, siendo P_2 la presión ejercida en la sección S_2 . De la ecuación de continuidad, el volumen que pasa por la sección S_1 es igual al volumen que pasa por la sección S_2 en el mismo instante de tiempo. El signo negativo del trabajo indica que la fuerza

se opone al desplazamiento. El trabajo total realizado por estas fuerzas en un tiempo Δt es $W = (P_1 - P_2)\Delta V$. Parte de dicho trabajo es empleado en cambiar la energía cinética del fluido al igual que su energía potencial gravitacional. Si m es la masa de fluido que entra por la sección A_1 y sale por la sección A_2 en un tiempo Δt , el cambio en la energía cinética de esta masa es: $\Delta K = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$, donde v_2 y v_1 son las velocidades del fluido en las secciones S_2 y S_1 respectivamente. De igual manera, el cambio en la energía potencial gravitacional del fluido es: $\Delta U = mgy_2 - mgy_1$, donde g es la gravedad. Dado que $W = \Delta K + \Delta U$ [?], se obtiene que $(P_1 - P_2)V = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1$.

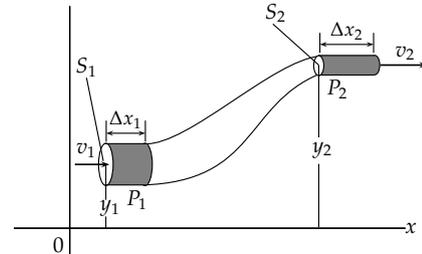


Figura 4.2: Tubo de flujo: El trabajo neto realizado sobre un elemento de fluido por la presión del fluido circundante es igual al cambio de la energía cinética más el de la energía potencial gravitacional.

Teniendo en cuenta que $\rho = m/V$, la expresión anterior se reduce a:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 = \text{constante}, \quad (\text{ecuación de Bernoulli}). \quad (4.2)$$

donde los subíndices 1 y 2 se refieren a *cualesquier* dos puntos del tubo de flujo.

La ecuación de Bernoulli es una consecuencia de la conservación de la energía en los fluidos en movimiento. Establece que en un *fluido incompresible y no viscoso*, la suma de la presión hidrostática, la energía cinética por unidad de volumen y la energía potencial gravitacional por unidad de volumen, es constante en todos los puntos del fluido.

Ejemplo 13. Teorema de Torricelli. Este teorema se refiere a la velocidad de salida de un líquido por un pequeño orificio situado a cierta profundidad de un recipiente abierto. Un tanque que almacena agua tiene un agujero en su parte inferior a una profundidad h , como se observa en la Figura 4.3. El diámetro del agujero es pequeño comparado con el diámetro del tanque. Determine la velocidad con la que el fluido sale por el agujero del fondo.

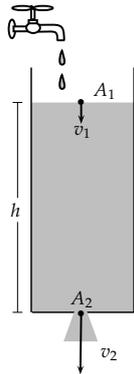


Figura 4.3: Teorema de Torricelli.

Solución: Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 (superficie del líquido, $y_1 = h$) y 2 (orificio de salida del agua, $y_2 = 0$) y dado que en ambos puntos la presión que actúa es la atmosférica, se deduce que: $\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh = \frac{1}{2}\rho v_2^2$, donde ρ es la densidad del agua. Como el área del orificio, A_2 , es mucho menor que el área A_1 del tanque, el líquido en la superficie está aproximadamente en reposo y por lo tanto se puede considerar que v_1 es cero. De esta manera se obtiene la velocidad de salida del fluido por el orificio

$$v_2 = \sqrt{2gh}, \quad (\text{teorema de Torricelli}) \quad (4.3)$$

que es la misma velocidad que alcanza un cuerpo al ser soltado desde esta misma altura.

A el fin de mantener el nivel del líquido a una profundidad h , se utiliza el frasco de Mariotte, Figura 4.4. Por ejemplo, suponiendo que $h = 25.0 \pm 0.1$ cm, la velocidad constante de salida es $v = 221.1 \pm 0.4$ cm/s.

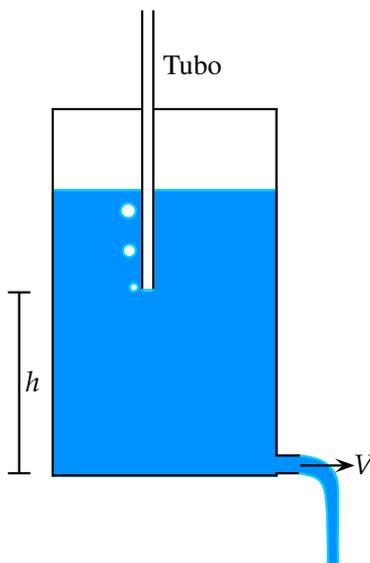


Figura 4.4: Frasco de Mariotte: montaje para comprobar el teorema de Torricelli.

Un estudiante encontró una manera de medir experimentalmente la velocidad, v , de salida del agua por el orificio del frasco de Mariotte. Lo hizo a partir de la definición de caudal, $Q = Av$; para ello midió el tiempo empleado en recolectar en una probeta una cierta cantidad de volumen de líquido que salía por el orificio. Realizando varias medidas, observó que para recoger un volumen de agua $V = 50 \pm 1$ cm³, empleó un tiempo $t = 5.32 \pm 0.07$ s. Luego el estudiante midió el área del orificio y obtuvo un valor $A = 0.043 \pm 0.001$ cm². A partir de estos datos determinó el caudal, $Q = V/t = (50 \pm 1)/(5.32 \pm 0.07) = 9.4 \pm 0.2$ cm³/s. Por lo tanto, la velocidad de salida es $v = Q/A = 219 \pm 7$ cm/s. ■

Ejemplo 14. Tubo de Venturi. La Figura 4.5 muestra un medidor Venturi, que se usa para medir la rapidez de flujo en un tubo. La parte angosta del tubo se llama garganta. Asuma un fluido estable incompresible y no viscoso, y demuestre que la presión en la parte ancha es mayor que en la parte angosta.

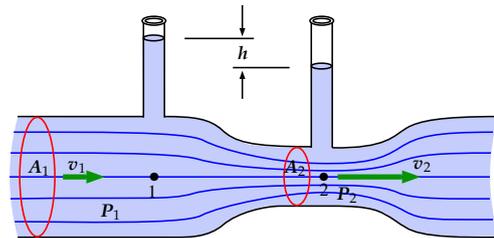


Figura 4.5: El medidor de Venturi.

Solución: Por tratarse de un fluido ideal, podemos aplicar la ecuación de Bernoulli en la parte ancha (punto 1) y angosta (punto 2) del tubo. Los dos puntos tienen la misma coordenada vertical ($y_1 = y_2$), así que la ecuación (4.2) se reduce a: $P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$, y en consecuencia $P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2)$. Y de la ecuación de continuidad (4.1), donde las áreas transversales $A_1 > A_2$, implica que la rapidez del fluido en la parte ancha es menor que en la parte angosta, $v_1 < v_2$, y por tanto

$$P_1 > P_2, \quad (4.4)$$

es decir, en el tubo de Venturi, donde la velocidad del fluido es menor la presión es mayor. Que podemos interpretar como una fuerza neta a la derecha que acelera el fluido al entrar en la garganta, y una fuerza neta a la izquierda que lo frena al salir.

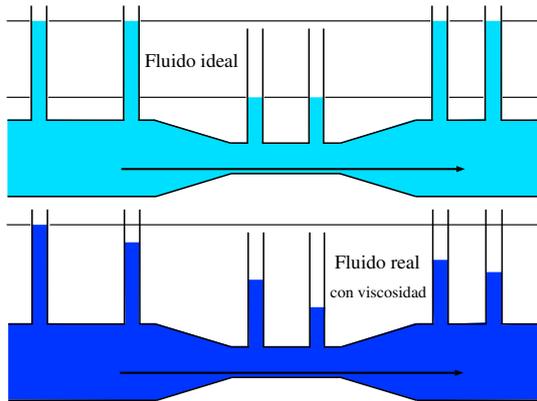


Figura 4.6: Presión en un tubo de Venturi real.

Pero otra cosa sucede en un fluido real. Un fluido viscoso tiende a aferrarse a una superficie sólida y las fuerzas de fricción disipan energía por calentamiento, así que en un fluido real, la presión disminuye a lo largo de la tubería, como lo indica la Figura 4.6. ■

Ejemplo 15. La cubeta hidrodinámica. Para observar los tipos de flujo y sus características se emplea un montaje denominado “la cubeta hidrodinámica” que consiste en una pequeña cubeta de aproximadamente 200 cm² de área y una profundidad de 2 cm. En ella se deposita un fluido generalmente agua y se añade pequeñas partículas (licopodio) que sirven para distinguir la trayectoria del fluido. Una bomba impulsada por un motor pone en circulación el líquido y es posible controlar su velocidad por medio de una perilla. El montaje se muestra en la Figura 4.7.

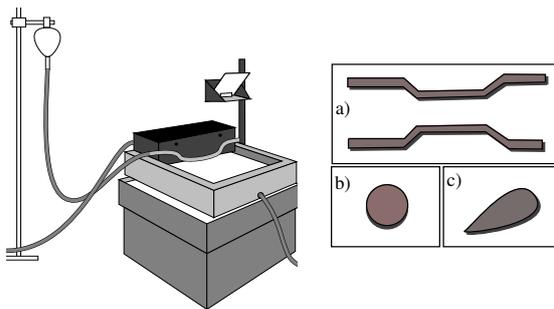


Figura 4.7: Cubeta hidrodinámica para observación de flujos. Y diferentes perfiles: a) Perfil en forma de tubería, b) Perfil circular, c) Perfil ala de un avión (alar o aerodinámico).

La cubeta está iluminada por un proyector que permite visualizar en una pantalla el comportamiento del flujo cuando se colocan una serie de perfiles, tales como los mostrados en la Figura 4.7.

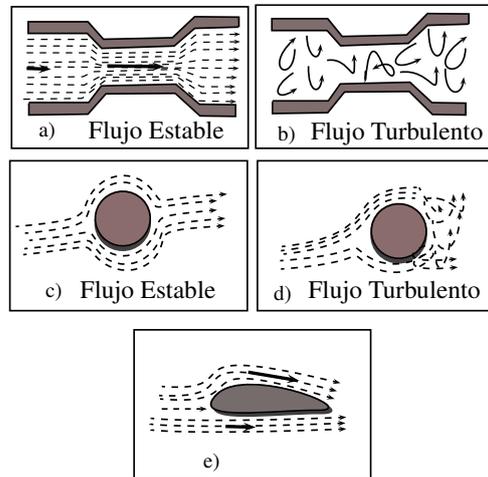


Figura 4.8: Comportamiento del fluido bajo diferentes perfiles. a) flujo laminar y turbulento.

El perfil, Figura 4.8 a), consta de una “tubería” la cual presenta diferentes áreas. Es posible observar el aumento de la velocidad cuando el flujo alcanza la región más estrecha, con lo que se verifica la ecuación de continuidad. De igual modo, si la velocidad es pequeña, se distingue claramente un flujo estable (laminar) caracterizado por una serie de líneas de flujo paralelas y con una dirección estable. Al aumentar la velocidad, empiezan a formarse torbellinos y se pierde la laminaridad de las líneas de flujo, éstas se cruzan entre sí y cada partícula que llega a un punto del fluido parece tener diferente velocidad, Figura 4.8 b).

Al colocar el perfil 4.8 c) que corresponde a un pequeño cilindro circular, se observan las líneas de fluido que rodean al obstáculo. Para velocidades bajas se ve nuevamente un flujo laminar pero al aumentar la velocidad se observan fenómenos de turbulencia detrás del cilindro.

El perfil 4.8 e) en la forma de un ala de avión, es denominado perfil aerodinámico o fusiforme, tiene una curvatura que obliga a pasar el fluido a mayor velocidad por encima que por debajo del ala, causando una diferencia de presiones, más baja arriba que abajo, que empuja el ala hacia arriba. Esta diferencia de presiones origina la fuerza de sustentación necesaria para mantener en vuelo a un avión. ■

4.4 Instrucciones de la Práctica

Verificar la ecuación fundamental de la hidrodinámica

Introducción: En este laboratorio se va a diseñar un experimento para comprobar las ecuaciones de Bernoulli y de continuidad. Además, se van a observar ciertas características de los fluidos ideales.

3. Procedimiento: Se va a diseñar un procedimiento experimental para comprobar las siguientes hipótesis:

Hipótesis:

- En cualquier punto de un tubo de flujo incompresible el caudal se mantiene constante, es decir, la velocidad del flujo de un fluido es inversamente proporcional al área de la sección que está atravesando.
- La energía total por unidad de volumen entregada un fluido ideal en movimiento es la misma en todos los puntos del camino recorrido por el fluido.

Van a usar el siguiente montaje virtual:

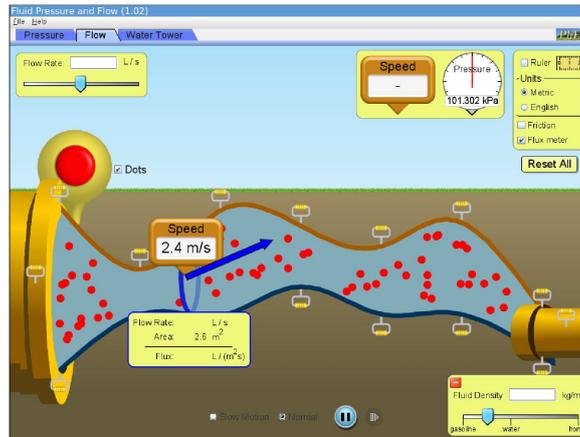
<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/fluid-pressure-and-flow/latest/fluid-pressure-and-flow.html?simulation=fluid-pressure-and-flow>

Estudien los montajes descritos en los ejemplos 14, 13 y 15. Es bueno asegurarse de registrar lo que se hace y cómo se hace, para que el procedimiento del informe sea preciso y refleje completamente lo que se hizo.

3.1 Procedimiento para verificar la ecuación de continuidad: Primero seleccionen la pestaña central "flow" (flujo) en la parte superior izquierda de la simulación.

Para verificar la ecuación de continuidad van a hacer un trabajo numérico. Con ayuda de la pestaña deslizante que se encuentra en la esquina superior izquierda de la simulación, fijen un caudal ("Flow Rate") diferente al valor que suministra la simulación, en litros por segundo (L/s). Y lo mismo para la densidad del fluido ("Fluid Density"), opción que se despliega en la parte inferior derecha ¹. Van a trabajar la simulación con diferentes secciones transversales, por lo que es recomendable que cambien el tamaño del ducto por el que fluye el líquido, como se muestra a continuación.

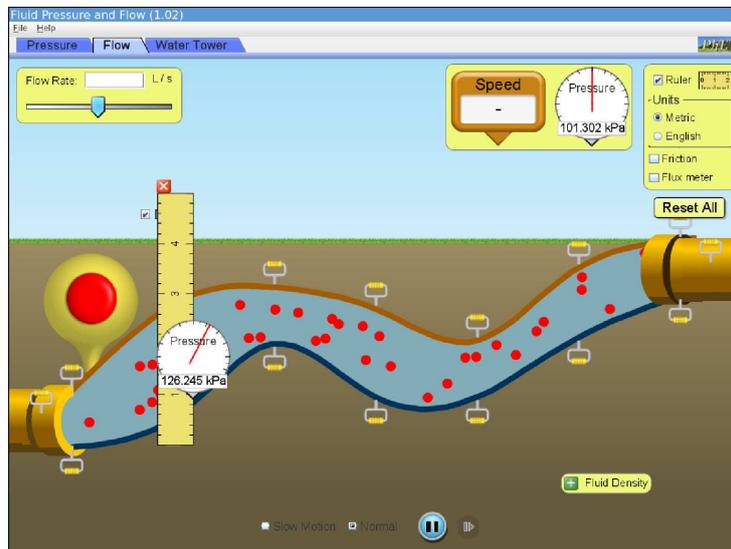
¹Estos valores los mantendrán constantes durante todas las prácticas.



Como se observa, se utilizan las unidades métricas ("Metric"), sin fricción ("Friction"), y se tiene habilitada la pestaña "Flux meter" (medidor de flujo), con el que se puede determinar el área transversal de la sección de interés. Y simultáneamente, con el medidor "Speed", se puede determinar la velocidad del fluido en ese lugar.

Registren los datos en la Tabla 4.1, y realicen el análisis numérico del caudal, apoyándose con la distribución normal o gaussiana de los datos considerados, es decir, del producto "área por velocidad". Comparen su resultado con el esperado.

3.2 Procedimiento para verificar la ecuación de Bernoulli: Sigán con la misma simulación del caso anterior ("flow"). Pero ahora van a verificar la ecuación de Bernoulli (4.2). Apliquen un tratamiento numérico al problema. Para ello consideren diferentes alturas y secciones transversales, como pueden observar a continuación:



En este caso, sólo se tiene habilitada la casilla "Ruler" (regla), en la parte superior derecha, para medir alturas.

Como se trata de un tubo bastante grueso, y estamos trabajando con flujos laminares, es recomendable que sólo consideren el extremo inferior (o superior) del tubo, para medir alturas, presiones y velocidades. Registren sus medidas en la Tabla (4.2), y verifiquen la ecuación de Bernoulli.

Dinámica de Fluidos

Autores(código): _____

 Programa: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

1. Procedimiento:

Caudal: _____ \pm _____ . Explique: 

Densidad fluido: _____ \pm _____ . Explique: 

Gravedad: _____ \pm _____ . Explique: 

1.1 Procedimiento realizado para verificar la ecuación de continuidad:

Tabla 4.1: (Describe la Tabla y sustente sus datos) 

Compare su resultado experimental con el esperado: 



1.2 Procedimiento realizado para verificar la ecuación de Bernoulli:

Tabla 4.2: (Describe la Tabla y sustente sus datos) 

Discuta sus resultados: 

2. Discusión y Conclusiones (Cuenta su historia) 

5

Movimiento Armónico Simple I: Masa-Resorte

5.1 Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio y responda el preinforme virtual correspondiente, en el COES de la Universidad: <http://coes.udenar.edu.co/>

5.2 Objetivos

Se pretende ver cómo influye la masa de un resorte en el sistema resorte-masa, y con esto analizar experimentalmente la ley de Hooke y determinar la constante de elasticidad del resorte por el método estático. Luego investigar el movimiento del sistema resorte-masa y verificar que se comporta como un oscilador armónico simple de un periodo determinado, que también permite medir la constante de elasticidad del resorte.

5.3 Fundamento Teórico

5.3.1 Ley de Hooke en un Resorte

Para mantener un resorte estirado una distancia x más allá de su longitud sin estiramiento debemos aplicar una fuerza de magnitud F . Si el desplazamiento x no es excesivo, vemos que la fuerza ejercida por el resorte estirado es directamente proporcional a x :

$$F = -k x, \quad (5.1)$$

donde el signo menos indica que la fuerza que ejerce el resorte se opone al desplazamiento. La cantidad k se conoce como **constante elástica del resorte**, propiedad que caracteriza al mismo, y sus unidades en el SI son N/m . La relación (5.1) se conoce como la **ley de Hooke**, aunque no debería llamarse "ley", pues es una afirmación acerca de un dispositivo específico y no una ley fundamental de la naturaleza. Se considera un **resorte ideal** cuando es de masa despreciable y satisface la ley de Hooke. Los resortes reales no siempre obedecen la ley de Hooke con precisión, pero es un modelamiento útil.

Un resorte real tiene un límite de deformación en el que se pierde esta proporcionalidad (límite elástico), no satisfaciendo la ley de Hooke [?].

De igual manera, la curva de deformación en función del esfuerzo para un resorte real (Figura 5.1), presenta un comportamiento no lineal al inicio. A medida que el resorte se contrae a su posición sin estirar (**longitud natural del resorte**), el espacio entre las espiras del resorte decrece hasta cero antes de que la fuerza de restauración del resorte sea cero. Como una consecuencia las espiras adyacentes son comprimidas una contra otra aunque no exista una contracción neta del resorte. Es necesario aplicar una fuerza significativa al resorte hasta que las fuerzas de compresión sean vencidas. Una vez que éstas sean superadas la elongación del resorte variará proporcionalmente con la fuerza aplicada de acuerdo a la ley de Hooke.

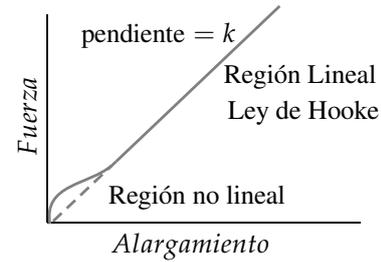


Figura 5.1: Deformación en función del esfuerzo para un resorte real.

Ejemplo 16. Medición constante elástica. Sistema resorte-masa. Caso estático. Una manera de verificar la ley de Hooke es usar como fuerza F aplicada, el peso mg de una masa suspendida del extremo libre de un resorte que cuelga (Figura 5.2); lo que constituye un sistema resorte-masa. Cuando el sistema alcanza el equilibrio, se debe cumplir que $mg = k|x|$, donde el valor absoluto se refiere sólo al alargamiento del resorte. El sistema resorte-masa puede permanecer indefinidamente en estado de equilibrio, mientras ninguna fuerza externa actúe sobre él. Por tanto, es posible determinar la constante k , cuando m , g y x se conocen:

$$k = \frac{mg}{|x|}. \quad (5.2)$$

Para determinar la constante k se utiliza el montaje resorte-masa descrito en la Figura 5.2.

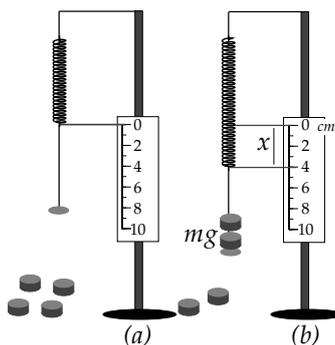


Figura 5.2: resorte deformado por la fuerza externa mg .

La regla adyacente al resorte se usa para medir los desplazamientos. Es recomendable suspender una masa inicial (Fig. 5.2 a) a fin de trabajar en la región donde es válida

la ley de Hooke (ver Figura 5.1). La posición "cero" del alargamiento del resorte se indica con dicha masa suspendida. Así que cuando una masa adicional m , se suspende del resorte es posible medir el alargamiento x , experimentado por el mismo respecto de su estado inicial (Fig. 5.2 b).

Se hizo el experimento con diferentes valores de m : 40.0, 50.0, 60.0, 70.0, 80.0 y 100.0 gramos, se obtuvieron datos para x de 8.9, 11.1, 13.1, 15.4, 17.3 y 21.9 cm, respectivamente. Los errores considerados fueron de 0.5 g y 0.5 cm. A partir de estos datos determine el valor de la constante de elástica k del resorte.

Solución: Con los datos tomados, se realizó un análisis numérico aplicando la ecuación (5.2), donde $g = 978 \text{ cm/s}^2$. De esta manera se determinó el valor de la constante para cada evento. Se registraron los datos en la Tabla 5.1.

$mg (\pm 5) (\times 10^2) (\text{dn})$	391	489	587	685	782	978
$x (\pm 0.5) (\text{cm})$	8.9	11.1	13.1	15.4	17.3	21.9
$k (\times 10) (\text{dn/cm})^*$	439	440	448	445	452	446
$k = 4450 \pm 50 \text{ dn/cm}$						

Tabla 5.1: Datos de la deformación de un resorte usando el montaje resorte-masa.* La constante elástica k del resorte se calculó numéricamente de la ecuación (5.2).

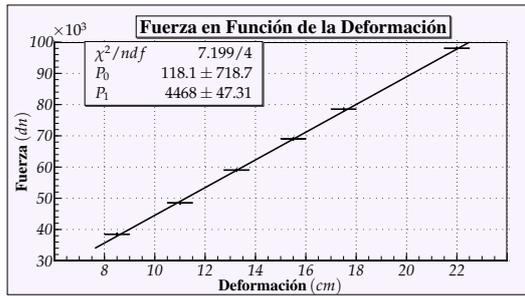


Figura 5.3: Fuerza mg en función de la deformación $|x|$ en un sistema resorte-masa estático. Los datos fueron extraídos de la Tabla 5.1.

También es posible hacer un análisis gráfico, realizando una gráfica de la fuerza ejercida (peso) en función del alargamiento (Fig. 5.3). Haciendo un ajuste lineal de los datos anteriores, la pendiente asociada con la constante elástica k , tiene un valor de:

$$k = 4470 \pm 50 \text{ dn/cm.}$$

Los datos se ajustan correctamente con la ecuación (5.2). ■

5.4 Movimiento Oscilatorio Armónico Simple

En un sistema con **movimiento periódico** todas las magnitudes que lo caracterizan (posición, velocidad, aceleración, etc) toman el mismo valor cada intervalo regular de tiempo, llamado **periodo** (T). Un movimiento periódico es **oscilatorio** si la trayectoria se recorre en ambas direcciones hasta completar la oscilación. Otra magnitud utilizada para describir el movimiento periódico es la **frecuencia** (f), que es el número de oscilaciones que se producen en la unidad de tiempo. Entre el periodo y la frecuencia existe la siguiente relación

$$f = \frac{1}{T}. \tag{5.3}$$

Por ejemplo, si la frecuencia es 4 oscilaciones en cada segundo, cada oscilación tardará un cuarto de segundo ($T = 0.25s$) en producirse. La unidad de frecuencia en el SI es el hertz (Hz) que representa una oscilación o ciclo en cada segundo. Puede representarse como s^{-1} [?, ?].

Las oscilaciones o vibraciones se presentan en la naturaleza con mucha frecuencia. Ejemplos de oscilaciones son el movimiento de una cuerda de guitarra tras pulsarla, la vibración de una molécula, la oscilación rápida de los electrones de una antena emisora, la corriente eléctrica en los circuitos de corriente alterna, incluso la propia rotación de la Tierra es periódica. Todas ellas tienen muchas aplicaciones, por ejemplo, mediante las oscilaciones de un péndulo se puede medir los intervalos de tiempo de una manera fiable y reproducible [?, ?].

En general, un cuerpo que tiene un movimiento oscilatorio se caracteriza por una posición de **equilibrio estable**, es decir, el punto que ocupa el cuerpo cuando no oscila. Si se aleja de esa posición y se suelta, entra en acción la fuerza restauradora hacia el equilibrio. Sin embargo, para cuando llega allí, ya ha adquirido cierta velocidad que le permite continuar su movimiento hasta detenerse del otro lado, de donde será impulsado nuevamente hacia su posición de equilibrio. Imagine una pelota que rueda de un lado a otro dentro de un tazón redondo, o un péndulo que oscila pasando por su posición vertical.

De todos los movimientos oscilatorios, el más importante es el **movimiento armónico simple** (MAS). Además de ser el más sencillo de describir y analizar, constituye una descripción bastante precisa de muchas oscilaciones que se observan en la naturaleza [?, ?]. Reproducamos este movimiento con el siguiente experimento.

5.4.1 Oscilaciones de una Masa en un Resorte Vertical

Suponga que colgamos un resorte de constante elástica k (Fig. 5.4), y suspendemos de él un cuerpo de masa m . En la Figura 5.4b, el cuerpo cuelga en reposo, en equilibrio. En esta posición, el resorte se estira una distancia y_0 apenas suficiente para que la fuerza vertical ky_0 del resorte sobre el cuerpo equilibre su peso mg [?]:

$$ky_0 = mg. \quad (5.4)$$

Ahora, hacemos oscilar verticalmente el sistema de tal manera que un momento dado el cuerpo se encuentra en la posición y negativa, abajo del resorte sin estirar, como se indica en la Figura 5.4c, donde hemos considerado el eje y positivo medido hacia arriba. Sobre el cuerpo actúa la fuerza elástica $-ky$ hacia arriba y su peso mg hacia abajo. De la segunda ley de Newton $m \frac{d^2 y}{dt^2} = -ky - mg$, se puede advertir que para simplificar esta ecuación basta con hacer el cambio de variable, $y = y' - y_0$, donde y' es la nueva variable medida desde el punto de equilibrio del sistema. Con el cambio propuesto, la ecuación diferencial anterior toma la forma: $m(\frac{d^2 y'}{dt^2}) = -k(y' - y_0) - mg$, y usando (5.4), obtenemos una ecuación diferencial

$$\frac{d^2 y'}{dt^2} + \frac{k}{m} y' = 0, \quad (5.5)$$

que describe un MAS para el desplazamiento oscilatorio del cuerpo. Es decir, la solución es una **función armónica** (seno o coseno) en función del tiempo. Así pues, la posición y' del cuerpo, en cualquier instante de tiempo t , está dado por la siguiente expresión:

$$y' = A \sin(\omega t + \phi), \quad (5.6)$$

donde A es la **amplitud del movimiento** (máxima elongación), ϕ es la **fase inicial** en radianes, ω la **frecuencia angular** natural del sistema medida en rad/s , y cuyo valor para este caso es

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (5.7)$$

Por consiguiente el periodo es

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (5.8)$$

así que con m y T es posible determinar k , ¡sin tener que tomar en cuenta la amplitud de oscilación ni la fase inicial!. Adicionalmente, de acuerdo con (5.3), la frecuencia f está dada por

$$f = \frac{\omega}{2\pi}. \quad (5.9)$$

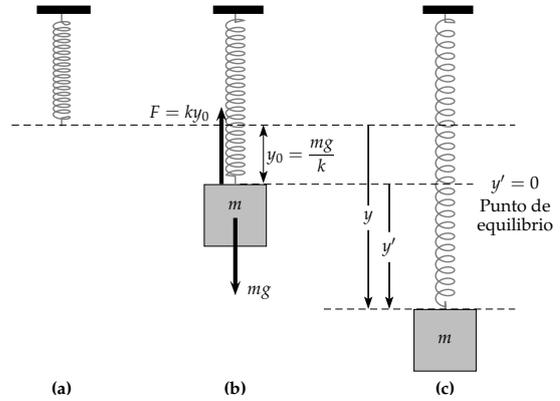


Figura 5.4: Esquema de un MAS en un sistema resorte-masa dispuesto verticalmente.

Ejemplo 17. Cálculo del periodo de oscilación de una masa unida a un resorte: En la medición del periodo, a fin de reducir el error, es recomendable cronometrar el tiempo t que tarda el cuerpo en completar un número, n , determinado de oscilaciones (generalmente $n = 10$) y luego calcular el periodo partir de la relación:

$$T = \frac{t}{n}. \quad (5.10)$$

Por ejemplo, en un sistema resorte-masa se midió tres veces el tiempo que tardó la masa en completar diez oscilaciones: $t_1 = 16.72$ s, $t_2 = 16.74$ s y $t_3 = 16.62$ s. Determine el periodo de oscilación.

La distribución gaussiana permite calcular el tiempo para las diez oscilaciones: $t = 16.69 \pm 0.04$ s. Aplicando (5.10), se obtiene el periodo $T = 1.669 \pm 0.004$ s. ■

Influencia de la masa del resorte

En un sistema real, la cantidad física m debe incluir la masa de la porción del resorte que está oscilando. En condiciones experimentales, la masa del resorte participa en la dinámica del sistema de una manera compleja ya que todas las partículas del resorte no oscilan de la misma manera. Si la masa m_r del resorte no es despreciable (resorte no ideal), pero es pequeña comparada con la masa del cuerpo suspendido, se puede demostrar que la ecuación (5.8) toma ahora la forma [?]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \frac{m_r}{3}}{k}}. \quad (5.11)$$

La demostración de este resultado se encuentra en el Apéndice ??.

Ejemplo 18. Determinación constante elástica de un resorte. Sistema resorte-masa. Método dinámico: La ecuación (5.11) permite calcular la constante elástica de un resorte, si se mide el periodo de oscilación vertical de cierta masa suspendida de un sistema resorte-masa (Figura 5.4). La masa del resorte no es despreciable y vale $m_r = 7.40\text{g}$. Se hace oscilar el sistema desplazando la masa de su posición de equilibrio, procurando de que su desplazamiento sea sólo vertical, y que no se le imprima ningún movimiento torsional alrededor del eje del resorte.

Se hace oscilar el sistema con una masa $m = 40.0 \pm 0.1\text{g}$. Se mide tres veces el tiempo que el sistema tarda en hacer 10 oscilaciones completas. Y siguiendo un proceso similar al realizado en el Ejemplo 17, el resultado del periodo para este caso es $T = 0.612 \pm 0.002\text{ s}$. El experimento se repite para valores de masa de 50.0 ± 0.1 , 60.0 ± 0.1 , 70.0 ± 0.1 , 80.0 ± 0.1 y $100.0 \pm 0.1\text{ g}$, con periodos medidos respectivamente de 0.680 ± 0.001 , 0.743 ± 0.002 , 0.800 ± 0.001 , 0.853 ± 0.001 y $0.951 \pm 0.001\text{ s}$. Determine el valor de m_r y de la constante elástica k del resorte.

Solución: Para el caso dinámico se utiliza la ecuación (5.11), que se puede linealizar de la siguiente manera:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k}m + \frac{4\pi^2}{3k}m_r, \quad (5.12)$$

donde $4\pi^2 = 39.47842$. Aquí no es práctico usar el método numérico, pues desconocemos los valores de m_r y k , que deben ser determinados del experimento. Así que recurrimos al método gráfico. Con los datos anteriores se organiza la Tabla 5.2. Se calcula el periodo al cuadrado (T^2) a fin de ajustar los datos a la ecuación lineal (5.12). Y se grafica T^2 en

función de m (Figura 5.5). Del valor de la pendiente se determina la constante de elasticidad: $k = 4470 \pm 10\text{ dn/cm}$.

Se deja como tarea en el preinforme determinar el valor de la masa del resorte, m_r .

$m (\pm 0.1) (\text{g})$	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	100.0
$T (\text{s})$	0.612	0.680	0.743	0.800	0.853	0.951
$\Delta T (\text{s})$	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
$T^2 (\text{s}^2)^*$	0.374	0.462	0.552	0.640	0.728	0.904
$\Delta(T^2) (\text{s}^2)^*$	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001

Tabla 5.2: Datos periodo, T , de oscilación del sistema resorte-masa.
* Se calculó elevando el periodo al cuadrado.

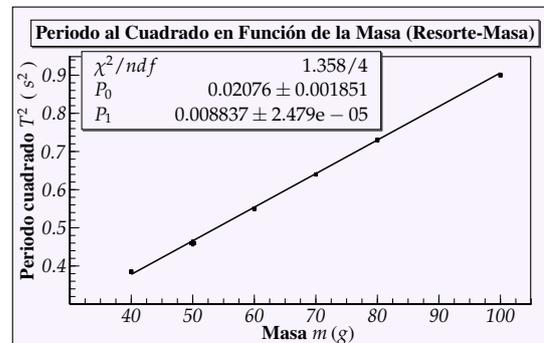


Figura 5.5: Cálculo de la constante elástica, k , de un resorte por el método dinámico. ■

5.5 Instrucciones de la Práctica

Introducción: En este laboratorio se va a diseñar un experimento para determinar la constante de elasticidad de un resorte por el método estático y el método dinámico.

3. Procedimiento: Se diseña un procedimiento experimental para comprobar las siguientes hipótesis:

Hipótesis:

- La fuerza aplicada a un resorte es directamente proporcional a la deformación que experimenta, siendo el factor de proporcionalidad la constante elástica del resorte.
- Un cuerpo atado a un resorte de masa despreciable, que sigue la ley de Hooke, oscila con MAS. Y su periodo al cuadrado es inversamente proporcional a la constante elástica y directamente proporcional a la masa del cuerpo.

La idea para hacer la práctica se ilustra en los montajes descritos en los ejemplos, y aplicarlo

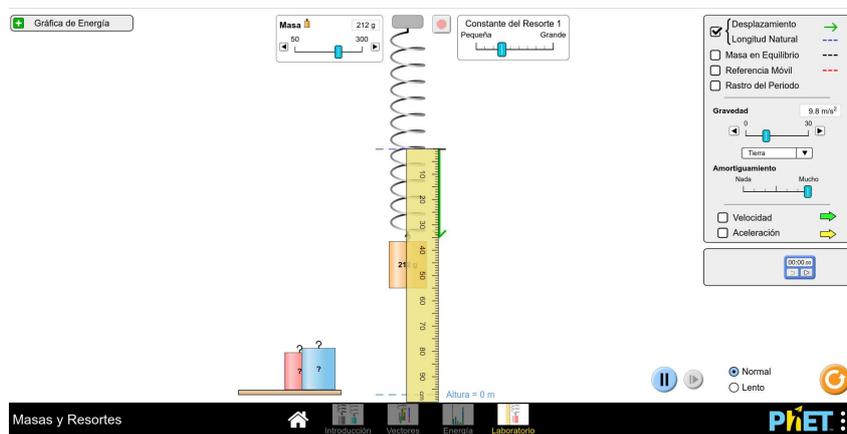
a la siguiente simulación virtual ¹:

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs>

Para realizar sus simulaciones elijan la última pestaña “Lab” (“Laboratorio”).

3.1 Procedimiento para determinar la constante elástica de un resorte - método estático:

Para determinar la constante elástica del resorte por el método estático, es conveniente que elijan un amortiguamiento grande a fin de que el sistema se estabilice rápidamente ². Como pueden observar, la pestaña a la derecha del resorte, para elegir la constante elástica, no indica su valor; que la van a fijar a un valor constante durante todas las prácticas ³. Van a realizar un procedimiento similar al indicado en el Ejemplo 16. Trabajen con la gravedad de la Tierra. Van a colgar masas de diferentes valores, determinen sus pesos y la elongación que sufre el resorte en cada caso. Para determinar la deformación del resorte habiliten la pestaña, que está arriba a la derecha: “Desplazamiento-Longitud Natural”. Y usen la regla que suministra la simulación. A continuación se da un pantallazo de la simulación.



De acuerdo con la ley de Hooke ($F = kx$), hagan un análisis de sus datos experimentales, y determinen la constante elástica del resorte k_e (método estático).

3.2 Método dinámico para determinar la constante elástica del resorte: Usen el mismo resorte de la práctica anterior. Fijen un valor de cero para el amortiguamiento ⁴. Van a suspender masas de diferentes valores en el resorte para determinar el período de oscilación ⁵. Para ello habiliten las pestañas “Masa en Equilibrio”, que indica el punto respecto a cual oscila la masa, y “Rastro del Periodo”, que facilita la medición del periodo. Mídan el periodo

¹Pueden elegir la versión en español ubicada en la pestaña “Translations”

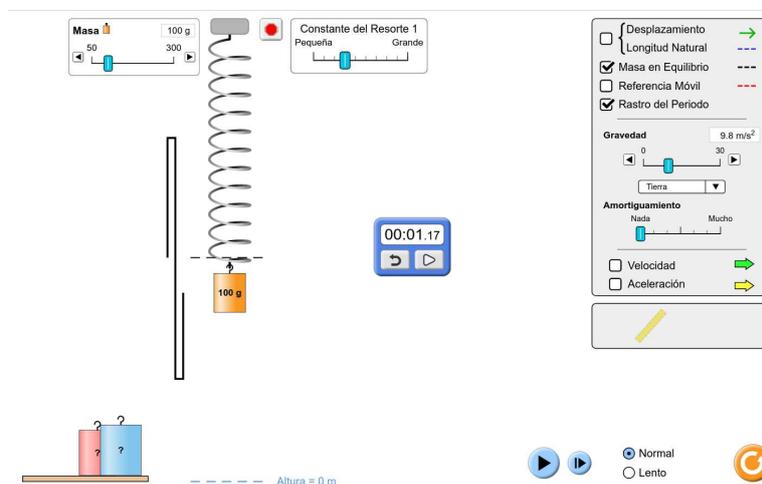
²El amortiguamiento se debe básicamente a la fricción del sistema con el aire, que no actúa cuando la masa alcanza el reposo.

³Esta constante la van a medir por dos métodos diferentes: el método estático (ley de Hooke) y el método dinámico (MAS), que luego comparan.

⁴Se está trabajando el caso ideal de la oscilación de un resorte sin amortiguamiento.

⁵Es importante enfatizar que el periodo no depende de la amplitud de oscilación, así que pueden trabajar con cualquier amplitud en su experimento; preferiblemente grande, que facilite la medición del periodo.

con el cronómetro varias veces para que determinen su valor y error ⁶. A continuación un pantallazo del montaje:



Usen la ecuación (5.11) para analizar sus datos experimentales ⁷. Discutan la calidad de su ajuste y lo que este resultado verifica. Determinen la constante elástica, k_d , por el método dinámico y compáranlo con el valor obtenido por el método estático.

⁶Si el movimiento es demasiado rápido pueden usar el caso "Lento", abajo a la derecha. O también, si lo prefieren, con el botón rojo, arriba junto al resorte, pueden reiniciar el sistema con una amplitud diferente.

⁷Como están trabajando con una simulación virtual, hay cierto grado de idealidad, por lo que el resorte se considera sin masa.

Movimiento Armónico Simple I

Autores(código): _____

Programa: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

1. Procedimiento

1.1. Procedimiento realizado para determinar la constante elástica de un resorte - método estático:

Gravedad: _____ \pm _____. Explique:

Tabla 5.3: (Describa la Tabla y sustente sus datos)

$k_e =$ _____ \pm _____. Explique esta cantidad y sustente cómo lo obtuvo:



1.2. Método dinámico para determinar la constante elástica del resorte:

$m_r =$ _____ . Sustente: 

Tabla 5.4: (Describe la Tabla y sustente sus datos) 

Calidad del ajuste y lo que verifican: 

$k_d =$ _____ \pm _____ . Explique esta cantidad y sustente cómo lo obtuvo: 

Comparen ambas constantes elásticas: 

5. Discusión y conclusiones (Cuente su historia)



6

Movimiento Armónico Simple II: Péndulo Simple - Péndulo Físico

6.1 Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio y responda el preinforme virtual correspondiente, en el COES de la Universidad: <http://coes.udenar.edu.co/>

6.2 Objetivos

- Entender la mecánica del péndulo simple, y medir la aceleración de la gravedad local con este dispositivo.

- Entender la mecánica del péndulo físico, y medir la aceleración de la gravedad local con este dispositivo.

6.3 Fundamento Teórico

6.3.1 Péndulo Simple

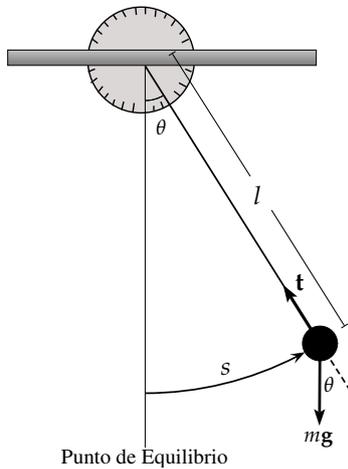


Figura 6.1: Esquema de un péndulo simple. Los vectores unitarios \mathbf{u}_θ y \mathbf{u}_T apuntan en la dirección tangente y normal a la trayectoria respectivamente.

Un **péndulo simple** es un modelo idealizado que consiste en una masa puntual m suspendida de un hilo sin masa e inextensible de longitud l (Figura 6.1) [?]. El objeto permanece invariable si se deja en reposo en posición vertical, o sea en su *posición de equilibrio*, en el punto más bajo de su recorrido. Cuando la masa se retira de su posición de equilibrio y se deja bajo la acción del campo gravitacional terrestre, comienza a oscilar periódicamente en el plano formado por estos puntos alrededor de la posición de equilibrio. Para analizar el modelo simplificado del sistema se supone que las únicas fuerzas que actúan sobre el cuerpo son el peso (mg) y la tensión (t) en la cuerda e ignorando la fricción. Entonces, al comparar datos experimentales con predicciones teóricas, es necesario tener presente que el modelo es simplificado y por lo tanto limitado [?]. En la práctica, se trabaja con masas no puntuales (generalmente pequeñas y esféricas que minimizan las pérdidas de amplitud causadas por la fricción con el aire) e hilos delgados no flexibles.

Ejemplo 19. Longitud de un péndulo simple. Si bien, se ha considerado que la masa del péndulo es puntual (sin tamaño) en la práctica se puede usar un objeto pequeño comparado con la longitud de la cuerda, como masa puntual. Por consiguiente, se denomina longitud del péndulo, l , a la distancia entre el punto de suspensión y el centro de masa (CM) de la masa oscilante. Si la masa suspendida es una esfera, la longitud total debe medirse en la forma:

$$l = \text{longitud de la cuerda} + \text{radio de la esfera.} \quad (6.1)$$

Es recomendable medir el radio de la esfera utilizando un instrumento más preciso, como el calibrador.

Suponga que la cuerda de un péndulo simple tiene una longitud de 52.3 ± 0.1 cm y la esfera suspendida tiene un diámetro de 4.52 ± 0.01 cm. ¿Cuál es la longitud l del péndulo simple?

Solución: Se calcula el radio de la esfera, $r = 2.260 \pm 0.005$ cm. Por lo tanto:

$$l = (52.3 \pm 0.1) + (2.260 \pm 0.005) = 54.6 \pm 0.1 \text{ cm.}$$

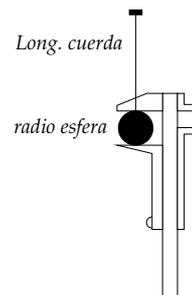


Figura 6.2: Longitud de un Péndulo Simple.

En la Figura 6.1, al aplicar la segunda ley de Newton a la masa oscilante en la dirección tangencial al movimiento, tenemos que: $-mg \sin \theta = m d^2 s / dt^2$, donde s representa el arco recorrido ($s = l\theta$) y θ es el ángulo, en radianes, medido respecto a su posición de equilibrio. Considerando amplitudes de oscilación pequeñas ($\theta \lesssim 0.17 \text{ rad} \approx 10^\circ$), se puede utilizar la

siguiente aproximación¹: $\text{sen } \theta \approx \theta$. De esta manera, la relación anterior, se reduce a:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l}\theta = 0, \tag{6.2}$$

que tiene la misma estructura de la ecuación (5.5) que identifica a un MAS. A partir de esta ecuación, es posible identificar la frecuencia angular $\omega = \sqrt{g/l}$, la frecuencia $f = \omega/2\pi = (1/2\pi)\sqrt{g/l}$ y el periodo de oscilación $T = 1/f$ para el péndulo simple

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (\text{Péndulo simple}) \tag{6.3}$$

En consecuencia, dentro de las hipótesis consideradas, se puede afirmar que el periodo para pequeñas oscilaciones de un péndulo simple, es *independiente* de la masa suspendida. Sólo depende de la longitud de la cuerda y del valor particular de la gravedad asociada con el lugar donde se encuentra el sistema [?].

Ejemplo 20. Periodo y frecuencia de oscilación de un péndulo simple: El periodo de oscilación de un péndulo simple se puede determinar del tiempo que tarda la masa en ir volver desde uno de sus extremos, osea, el tiempo que tarda en hacer una oscilación [?].

Para minimizar el error en la medición del periodo del péndulo simple, se mide el tiempo que emplea la masa en realizar n oscilaciones (es recomendable tomar como mínimo $n = 10$). El periodo será entonces el tiempo medido dividido entre n . Suponga que se midió cinco veces el tiempo que tardó un péndulo simple en hacer diez oscilaciones. De la distribución gaussiana este tiempo fue de: $t = 22.34 \pm 0.01$ s. ¿Cuál es el periodo y frecuencia del péndulo simple?.

Solución: A partir de la relación $T = t/n$, se deduce que el periodo es, $T = (22.34 \pm 0.01)/10 = 2.234 \pm 0.001$ s, y la frecuencia $f = 1/T = 0.4476 \pm 0.0002$ Hz. ■

Ejemplo 21. Determinación de la aceleración de la gravedad utilizando un péndulo simple. Una de las aplicaciones fundamentales del péndulo simple es la posibilidad de poder determinar la aceleración local de la gravedad g .

De la ecuación (6.3) se obtiene que:

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}. \tag{6.4}$$

Teniendo en cuenta que la aceleración de la gravedad varía con la latitud y altitud; resulta que los tiempos de oscilación han de sufrir variaciones según el lugar de la Tierra donde se encuentre el péndulo. En efecto, al experimentar con un péndulo simple con las mismas características en distintos puntos de la Tierra (gravedad distinta) se puede comprobar que la acción de la gravedad modifica el tiempo de oscilación del mismo [?].

l (cm)	Δl (cm)	T (s)	ΔT (s)	g (cm/s ²)*
29.1	0.5	1.081	0.002	983.108
44.8	0.5	1.351	0.004	969.007
60.8	0.5	1.562	0.004	983.787
87.7	0.5	1.879	0.005	980.631
138.6	0.5	2.366	0.006	977.448
$g = 979 \pm 3$ cm/s ²				

Tabla 6.1: Longitud l y periodo T de un péndulo simple medidos directamente del experimento. *La gravedad g se calculó usando la fórmula (6.4).

Un grupo de estudiantes desea determinar el valor de la aceleración de la gravedad local; para ello diseñan un experimento consistente en una pequeña esfera suspendida de un hilo largo, es decir, un péndulo simple. Además, contaban con un flexómetro y cronómetros. Los estudiantes se aseguraron de medir la longitud del péndulo, l , desde el extremo superior del hilo hasta el centro de masa de la esfera. Para cada longitud, los estudiantes midieron cinco veces el tiempo empleado por el péndulo en realizar 10 oscilaciones pequeñas completas. Con estos tiempos y la distribución gaussiana determinaron el periodo T . Los datos obtenidos fueron consignados en la Tabla 6.1.

Con estos datos y utilizando la ecuación (6.4), los estudiantes obtuvieron el valor numérico de la constante de aceleración de la gravedad en ese lugar $g = 979 \pm 3$ cm/s².

El análisis gráfico se deja como tarea en el preinforme. ■

¹Expandiendo en series de Taylor: $\text{sen } \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} \dots \approx \theta$.

6.3.2 Péndulo Físico

Un **péndulo físico** es cualquier péndulo *real* que usa un sólido rígido de forma arbitraria [?]. Éste oscila alrededor de un eje fijo perpendicular a un plano vertical que pasa por su centro de masa (CM). El punto de intersección del eje con dicho plano es el punto de suspensión "O" (Fig. 6.3). La posición de equilibrio es aquella en que el centro de masa (CM) se encuentra en la misma vertical y por debajo del punto de suspensión.

Se producen oscilaciones como consecuencia de desviaciones de la posición de equilibrio, ya que entonces el peso del cuerpo de masa m , aplicado en su centro de masa, produce un torque (o momento de fuerza) $\vec{\tau} = \vec{d} \times m\vec{g}$ respecto del punto de suspensión que tiende a restaurar la posición de equilibrio; siendo \vec{d} la posición de CM respecto de O. La componente de este momento puede escribirse como $\tau = -mgd \sin \theta$, donde el signo negativo indica que se trata de un momento recuperador, es decir, actuando en sentido opuesto a las variaciones angulares. De la ecuación fundamental de la dinámica de rotación, el momento τ y la aceleración angular $\alpha (= d^2\theta/dt^2)$ del péndulo se relacionan de la forma $\tau = I\alpha$, donde el

momento de inercia I se mide respecto al punto de suspensión [?]. Reemplazando, se deduce que

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgd}{I}\theta = 0, \quad (6.5)$$

donde se ha considerado nuevamente oscilaciones pequeñas. De esta ecuación vemos que el sólido rota con MAS, y el periodo T de oscilación del péndulo físico es

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgd}}. \quad (\text{Péndulo físico}) \quad (6.6)$$

Ejemplo 22. Determinación de la distancia y del periodo de oscilación. Para medir directamente el periodo de oscilación de un péndulo físico, específicamente de una barra uniforme como la observada en la Figura 6.4, se recomienda proceder de la siguiente manera:

En primer lugar se debe identificar el centro de masa del cuerpo por balanceo, para ello, se suspende la barra de cada uno de los agujeros y encontrar el punto en el cual el sistema queda en equilibrio horizontal, este punto, que está en la mitad de la barra, corresponde al centro de masa de la misma, respecto al cual se van a medir las distancias d .

Para determinar los diferentes valores de d , se mide la distancia desde el CM hasta el punto en consideración. La medida se realiza de "centro a centro" de los agujeros.

Una vez suspendido el sistema de uno de los orificios, usando como pivote un eje que presente mínima fricción, se desplaza la barra una amplitud pequeña y se deja oscilar libremente teniendo en cuenta que la oscilación se produzca en el plano vertical, es decir, debe evitarse el "bamboleo". Es recomendable, al igual que en el péndulo simple cronometrar el tiempo empleado en realizar varias oscilaciones, asegurándose que el número de oscilaciones escogidas sea

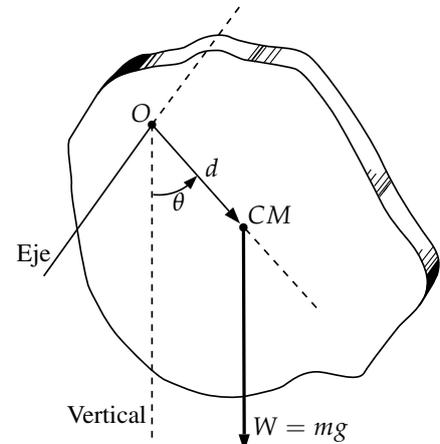


Figura 6.3: Sólido plano empleado como péndulo físico. El punto de suspensión queda en O, su centro de masa es CM, y la distancia entre ambos se representa por d . En la posición indicada, el péndulo físico forma un ángulo θ con la vertical. El peso mg genera respecto a O un momento de fuerza que se opone al aumento del ángulo [?].

tal que la amplitud de oscilación se mantenga aproximadamente constante.

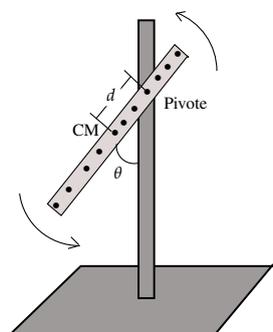


Figura 6.4: Barra como péndulo físico.

Valga decir, que la ecuación (6.6) es la base de un método común para determinar experimentalmente el momento de inercia de un cuerpo de forma compleja. ■

6.3.3 Momentos de inercia

El momento de inercia, I , es una magnitud que da cuenta de cómo es la distribución de la masa de un cuerpo (o sistema de partículas) respecto de un punto. Este concepto, desempeña en el movimiento de rotación un papel análogo al de la masa inercial en el caso del movimiento rectilíneo. El momento de inercia de un cuerpo depende de su forma y de la posición del eje de rotación. Aun para un mismo cuerpo, el momento de inercia puede ser distinto, al escoger ejes de rotación ubicados en distintas partes del mismo.

Ejemplo 23. Momento de inercia de una barra delgada uniforme. Una varilla delgada en forma de paralelepípedo, larga en comparación con su anchura y grosor, puede utilizarse como péndulo físico para realizar medidas de periodos o de momentos de inercia. Considere una varilla homogénea como la mostrada en la Figura 6.5 en la que se han practicado pequeños orificios a lo largo de su eje de simetría a intervalos regulares. Estos orificios sirven como puntos de suspensión. El momento de inercia de dicha barra de masa m , longitud L , ancho b y grosor despreciable (barra delgada), con respecto a un eje que pasa por su centro de masa, está dado por: $I_{cm} = m(L^2 + b^2)/12$. En el caso de que la longitud sea mucho mayor que el ancho queda en la forma:

$$I_{cm} = mL^2/12. \tag{6.7}$$

Determine el momento de inercia respecto al CM, de una barra delgada de longitud $95.3 \pm 0.1\text{cm}$, ancho $1.4 \pm 0.1\text{cm}$ y masa $325.1 \pm 0.1\text{gr}$.

Solución: Dado que el ancho es mucho menor que la longitud de la barra, de la ecuación (6.7), se encuentra que:

$$I_{cm} = (2.460 \pm 0.005) \times 10^5 \text{ gr cm}^2.$$

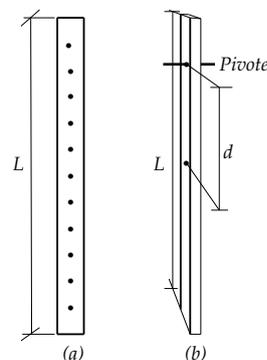


Figura 6.5: Barra delgada de longitud L . (a) Vista frontal. Los agujeros para su suspensión se han practicado a intervalos regulares. (b) Vista lateral. La distancia d entre el punto de suspensión y el centro de masa [?]. ■

Teorema de Steiner (o de los ejes paralelos)

El Teorema de Steiner da la relación existente entre el momento de inercia, I , de un sólido rígido respecto a un eje que pasa por un punto cualquiera del sólido y el momento de inercia del sólido respecto a un eje paralelo, que pasa por el centro de masa del mismo, es decir:

$$I = I_{cm} + md^2, \tag{6.8}$$

donde d es la distancia entre los dos ejes (ver Figura 6.5) y m la masa del sólido. A partir de (6.8), el periodo de oscilación del péndulo físico, ecuación (6.6), se expresa en la forma:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{cm} + md^2}{mgd}}. \tag{6.9}$$

Ejemplo 24. Determinación de la aceleración de la gravedad utilizando un péndulo físico. El péndulo físico puede también ser empleado para determinar la aceleración de la gravedad g . A partir de la ecuación (6.9), se encuentra que: $g = 4\pi^2(I_{cm} + md^2)/m d T^2$. Para el caso de una barra delgada uniforme, de acuerdo a (6.7), se obtiene que

$$g = \frac{4\pi^2}{dT^2} \left(\frac{L^2}{12} + d^2 \right). \tag{6.10}$$

Como se observa no es necesario conocer la masa de la barra.

Un profesor suministró a sus estudiantes un conjunto de datos sobre un experimento con un péndulo físico. El experimento consistió en hacer oscilar una barra larga rígida uniforme de longitud $L = 59.2 \pm 0.2$ cm, alrededor de diferentes puntos de suspensión ubicados a una distancia, d , del centro de masa; y medir varias veces el tiempo empleado en realizar 10 oscilaciones a fin de obtener el periodo T del péndulo. Los resultados se resumen en la siguiente tabla.

$d (\pm 0.3)$ (cm)	T (s)	ΔT (s)	g (cm/s ²)*
27.5	1.248	0.007	966.24
22.6	1.208	0.004	961.02
11.5	1.181	0.003	1044.33
12.6	1.218	0.005	952.12
7.5	1.284	0.004	1112.05
$g = 1010 \pm 30$ cm/s ²			

Tabla 6.2: Distancia d al CM, y periodo T de pequeñas oscilaciones de una barra delgada uniforme. *La gravedad se calculó con la fórmula (6.10).

El profesor solicitó a sus estudiantes que a partir de los datos anteriores determinen la aceleración de la gravedad local g , en ese lugar.

Solución: Para determinar el valor de la gravedad, emplearon la ecuación (6.10), donde la longitud de la barra, L , se

conoce previamente. Calcularon g para cada pareja de datos (d, T). Luego determinaron el mesurando y su error. El resultado obtenido para la gravedad en ese lugar fue $g = 1010 \pm 30$ cm/s².

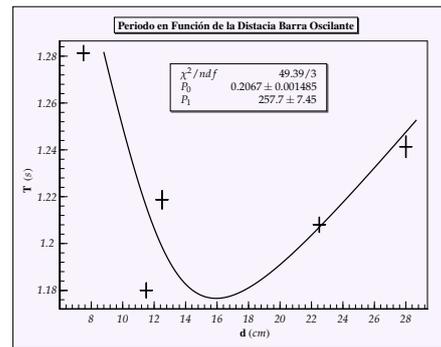


Figura 6.6: Periodo T en función de la distancia de oscilación d . Los datos provienen de la Tabla 6.2. El ajuste se hizo con la ecuación (6.10). g y L son los parámetros a determinar.

El análisis gráfico también se puede aplicar, incluso para determinar también la longitud de la barra, aunque con un poco de dificultad dado la escasez de datos y el grado de complejidad de la ecuación (6.10). Reorganizando la ecuación como $T = (2\pi/\sqrt{g})\sqrt{[L^2/(12d) + d]}$, de variable independiente T y dependiente d , y parámetros g y L , de donde la función a definir en el ROOT para hacer el ajuste es: `[] TF1("fisico", "[0]*sqrt([1]/x+x)");` se obtuvieron los siguientes resultados (Gráfica 6.6): $g = 920 \pm 10$ cm/s², y $L = 55.6 \pm 0.8$ cm. No son exactamente los valores esperados, incluyendo la calidad del ajuste que no es muy buena $\chi^2/ndf \approx 16$; se necesita un número mayor de medidas.

Una ligera inspección de la Gráfica 6.6 nos permite interpolar el valor de la distancia para la cual el periodo de oscilación es mínima, $d_{\min} \approx 16\text{cm}$. De otro lado, la predicción teórica (Fórmula (??)) dice que este mínimo ocurre en $L/\sqrt{12} = 59.2/\sqrt{12} = 17\text{cm}$. ¡Nada mal la predicción! ■

6.4 Instrucciones de la Práctica

Introducción: En este laboratorio se va a diseñar un experimento para determinar la aceleración de la gravedad local usando péndulos simples y físicos.

1. Procedimiento: Se diseña un procedimiento experimental para comprobar las siguientes hipótesis:

Hipótesis:

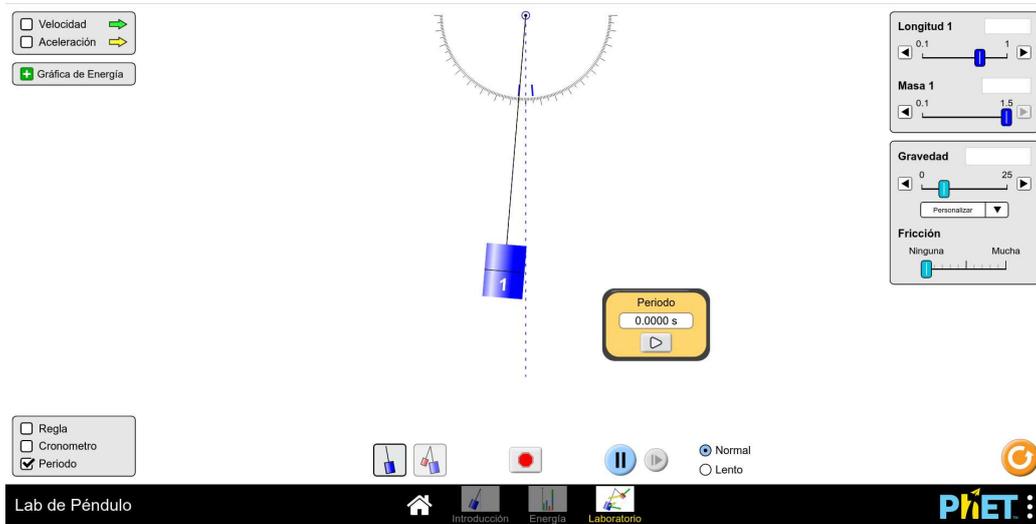
- El periodo de oscilaciones pequeñas de un péndulo simple es independiente de la amplitud y de su masa.
- El periodo al cuadrado de oscilaciones pequeñas de un péndulo simple es directamente proporcional a la longitud del mismo. El factor de proporcionalidad es $4\pi^2/g$, donde g es la gravedad local.

La idea es trabajar con la simulación virtual:

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab>

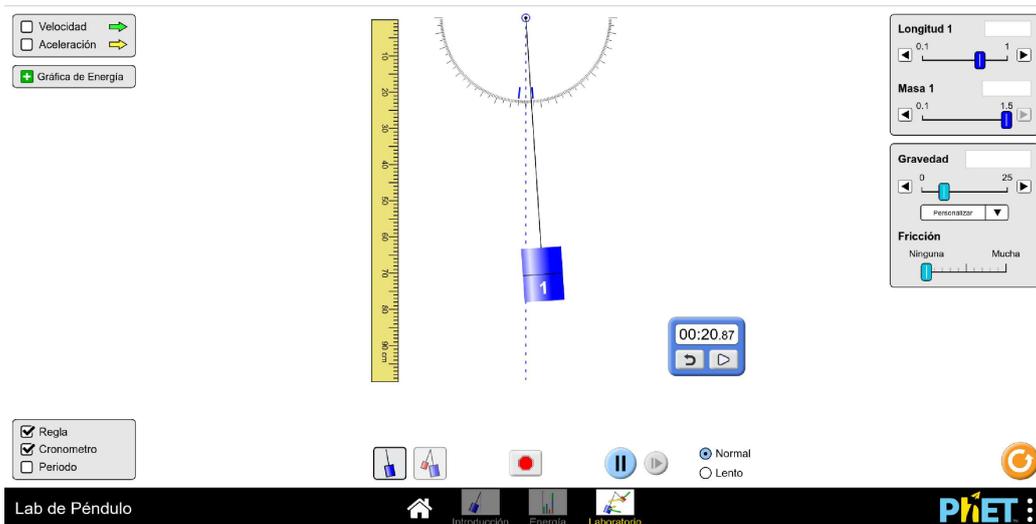
Usen la opción "Laboratorio". (Nota: utilicen la versión en español que se encuentra en la pestaña "translations".)

1.1 Procedimiento para determinar de qué cantidades físicas depende el periodo de oscilación de un péndulo simple: deben trabajar en el régimen de amplitudes de oscilación pequeñas ($\theta < 10^\circ$). En este análisis la fricción no se toma en cuenta. La idea es fijar una longitud de oscilación del péndulo y escoger una aceleración gravitatoria del lugar donde se hace el experimento. Trabajen con varias masas, y diferentes amplitudes pequeñas, y midan el periodo. Si habilitan la última casilla abajo a la izquierda, se les facilita la medición de este período. A continuación un bosquejo del montaje:



¿Qué encontraron de su estudio?.

1.2 Procedimiento para determinar la aceleración de la gravedad con un péndulo simple: utilicen el péndulo simple que ofrece la simulación con la siguiente disposición:



Escojan una aceleración gravitatoria diferente a la terrestre y una masa m . No consideren la fricción. Van a medir longitudes y periodos (recuerden trabajar con amplitudes θ_0 menores a 10°), y consignen los datos en la Tabla 6.3. Para ello utilicen el cronómetro y la regla. Midan cinco veces el tiempo que le toma al sistema realizar 10 oscilaciones completas, y con estos tiempos determine el periodo T . Para medir el periodo pueden usar otras alternativas como el modo “lento” o directamente con la pestaña “periodo”. Determinen la gravedad en ese lugar (por el método numérico y gráfico), y comparen.

Movimiento Armónico Simple II

Autores(código): _____

 Programa: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

1. Procedimiento

1.1 Procedimiento realizado para determinar de qué cantidades físicas depende el periodo de oscilación de un péndulo simple:

¿Cuáles fueron sus hallazgos? y justifique. Cuente su historia: 

1.2. Procedimiento realizado para determinar la aceleración de la gravedad con un péndulo simple:

$g_{\text{teo.}} = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 
 $m = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 
 $\theta_0 = \text{_____} \pm \text{_____}$. Descripción: 

Tabla 6.3: (Describe la Tabla y sustente sus datos) 

Calidad del ajuste. Parámetros. $g_{\text{exp.}}$. Y comparación. 



2. Discusión y Conclusiones (cuente su historia)



7

Oscilaciones Amortiguadas y Forzadas

7.1 Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio y responda el preinforme virtual correspondiente, en el COES de la Universidad: <http://coes.udenar.edu.co/>

7.2 Objetivos

- Comprender los efectos del amortiguamiento en el movimiento oscilatorio.
- Determinar la constante de amortiguamiento.
- Comprender el efecto de una fuerza armónica externa sobre un sistema en movimiento oscilatorio amortiguado.
- Comprender el fenómeno de resonancia en el movimiento oscilatorio.

7.3 Fundamento Teórico

7.3.1 Oscilaciones Amortiguadas

La ecuación (5.5) describe un movimiento idealizado en el cual únicamente intervienen fuerzas recuperadoras conservativas de tal manera que no hay disminución de la energía mecánica y que una vez que el sistema se pone en movimiento, éste continuará oscilando para siempre sin disminución de su amplitud. Lo anterior es verdadero si las fuerzas son conservativas. Sin embargo, la mayoría de los movimientos oscilatorios presentes en la naturaleza no son de este tipo. Es más probable que exista algún tipo de fricción o resistencia que modifique el movimiento causando por ejemplo la pérdida de amplitud. La disminución de la amplitud originada por fuerzas disipativas es llamada **amortiguamiento** y el movimiento resultante corresponde a **oscilaciones amortiguadas** [?, ?].

Entre las diferentes posibilidades para las fuerzas disipativas, el caso más sencillo de analizar es el de una fuerza de amortiguamiento que sea proporcional a la velocidad del cuerpo que oscila. Este tipo de amortiguamiento se presenta por ejemplo en el movimiento de cuerpos dentro de líquidos viscosos en el *régimen de flujo laminar* (ver Sección 4.3.1). En este caso tenemos una fuerza adicional, F_a , sobre el cuerpo, debida a la fricción, de la forma

$$F_a = -bv, \quad (7.1)$$

donde $v = dx/dt$ es la velocidad del cuerpo, y b es una constante física que describe la intensidad de la fuerza amortiguadora. El signo negativo indica que la fuerza se opone a la dirección de la velocidad. Así que para un oscilador armónico de masa m , la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo es $F = -kx - bv$. Y de acuerdo con la segunda ley de Newton la ecuación de movimiento es, $m d^2x/dt^2 = -b dx/dt - kx$, lo cual conduce a la relación

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0, \quad (7.2)$$

donde $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ es la frecuencia natural (sin amortiguamiento) del sistema (ecuación (5.7)) y

$$\gamma = b/2m \quad (7.3)$$

es la **constante (o coeficiente) de amortiguamiento**.

La relación (7.2) es una ecuación diferencial cuya solución ya no es una sinusoidal simple como en el caso armónico (5.6), en realidad la solución depende del valor del coeficiente de amortiguamiento [?, ?, ?].

Si $\gamma > \omega_0$ (*disipación alta*), el sistema está **sobreamortiguado** y la masa no oscilará. La solución será una suma de dos exponenciales decrecientes (Fig. 7.1).

Si $\gamma = \omega_0$ (*disipación media*), el sistema está **críticamente amortiguado** y nuevamente no ocurren oscilaciones. La solución es una exponencial decreciente.

Si $\gamma < \omega_0$ (*disipación baja*), el sistema está **subamortiguado**, en esta situación sí

se presentan oscilaciones y el desplazamiento x del cuerpo está dado por la relación:

$$x = A_0 e^{-\gamma t} \sin(\omega_s t + \phi), \quad (7.4)$$

donde A_0 , ϕ son constantes, y la nueva frecuencia angular ω_s (menor que la natural) está dada por

$$\omega_s = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}. \quad (7.5)$$

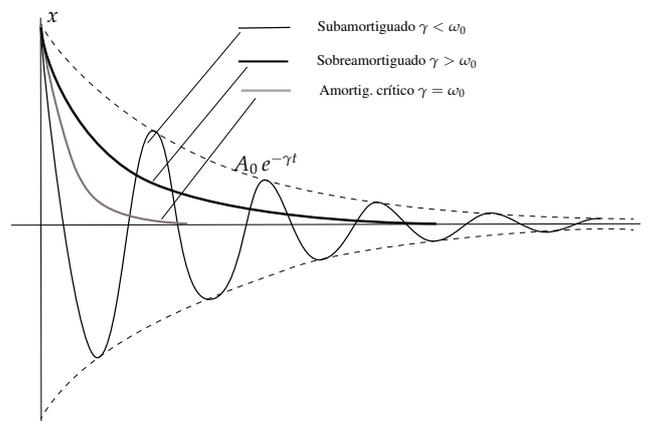


Figura 7.1: Evolución del movimiento para a los tres casos de amortiguamiento. La curva punteada ilustra la amplitud $A_0 e^{-\gamma t}$ correspondiente al caso subamortiguado. En la gráfica se consideró $\phi = \pi/2$.

En la solución (7.4), el factor $A_0 e^{-\gamma t}$ (línea punteada Fig. 7.1) representa el amortiguamiento (disminución) de la amplitud en función del tiempo t ; y el término $\sin(\omega_s t + \phi)$ se encarga de las oscilaciones, por consiguiente, esta amplitud sólo coincide en los *extremos* del movimiento subamortiguado. Así que el tiempo, τ , para el cual la amplitud decae en un factor $1/e$, se denomina **constante de decaimiento** (o constante de tiempo), cuyo valor es [?]

$$\tau \equiv \frac{1}{\gamma}. \tag{7.6}$$

Ley de Stokes

La ley de Stokes establece que para *cuerpos esféricos pequeños*, moviéndose a *velocidades bajas*, el coeficiente de la fuerza de amortiguamiento tiene un valor de

$$b = 6\pi \eta r, \tag{7.7}$$

donde r es el radio de la esfera y η la viscosidad ¹ del fluido.

Y usando (7.3) se tiene que

$$\eta = \frac{m\gamma}{3\pi r}. \tag{7.8}$$

En el Sistema Internacional la viscosidad se mide en $Pa\ s = kg/(m\ s)$. Es importante resaltar que esta propiedad depende de manera importante de la temperatura, que disminuye al aumentar ésta. Algunos valores de la viscosidad del agua a diferentes temperaturas se pueden encontrar en: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/viscoh2o.pdf

Ejemplo 25. El Oscilógrafo. El oscilógrafo del laboratorio es un sistema que permite observar gráficamente el comportamiento de las oscilaciones amortiguadas. Consiste en un motor que hace girar un cilindro a diferentes velocidades en unidades de $\frac{mm}{s}$ ó $\frac{mm}{h}$. El cilindro se rodea con papel, en donde queda registrado la oscilación de un sistema externo sometido a amortiguamiento. Su funcionamiento se asemeja al de un sismógrafo. El sistema consiste en un péndulo simple y se supone que el aire lo amortigua de acuerdo a la fuerza (7.1). El péndulo se conecta a un lapicero que registra sobre el papel las oscilaciones, mientras el cilindro rota. El montaje se describe en la Figura 7.2.

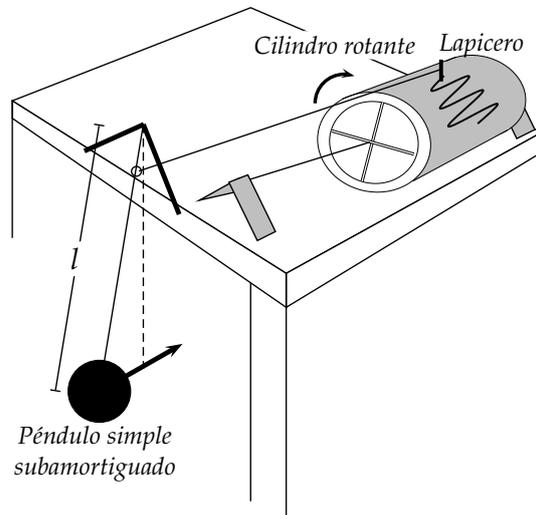


Figura 7.2: Montaje para registrar las oscilaciones de un péndulo simple subamortiguado por el aire.

¹o como *viscosidad dinámica* (o absoluta). Para distinguirla de la *viscosidad cinemática*, la cual se define como la razón de la viscosidad y la densidad del fluido, y su nombre se debe a la similitud de las unidades con la velocidad.

La Figura 7.3 muestra una curva típica, registrada por el oscilógrafo, de la oscilación subamortiguada de un péndulo simple. El cilindro rota a una velocidad de $10 \frac{mm}{s}$. Determine la constante de amortiguamiento γ del péndulo.

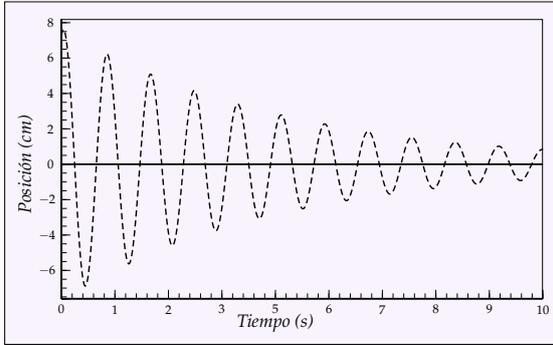


Figura 7.3: Registro de las oscilaciones de un péndulo simple en un oscilógrafo.

Solución: En primer lugar se establece una escala vertical (eje y), para medir la amplitud,

$$A = A_0 e^{-\gamma t}, \quad (7.9)$$

de las oscilaciones en cm; y otra para el eje horizontal (eje x) que indica el tiempo, t, teniendo en cuenta que cada 10 milímetros representa 1 segundo. El tiempo empieza a correr en el primer máximo de amplitud (Figura 7.3), y de ahí se miden los siguientes máximos, Tabla 7.1.

$A (\pm 0.1) (cm)$	7.5	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0
$t (\pm 0.1) (s)$	0.0	1.1	2.0	2.9	4.6	6.5

Tabla 7.1: Datos del decaimiento en la amplitud A en función del tiempo t del oscilógrafo amortiguado en aire.

De acuerdo a la ecuación (7.9), los datos se ajustan a una curva exponencial (Fig. 7.4), con el siguiente resultado: $\gamma = 0.204 \pm 0.007 s^{-1}$.

Por otro lado, de la Figura 7.3, se puede medir el periodo y por consiguiente la frecuencia de las oscilaciones amortiguadas: $\omega_s^2 = 8.952 \pm 0.0142 rad^2/s^2$. Y como se conoce la frecuencia natural de oscilación del péndulo simple, $\omega_0^2 = g/l = 9.05556 \pm 0.8385 rad^2/s^2$, donde la longitud del péndulo se midió directamente del experimento $l = 1.08 \pm 0.01 m$ (Fig. 7.2); se puede determinar de (7.5) el valor de $\gamma = 0.3 \pm 0.1 s^{-1}$. No es tan preciso pero da una buena idea del orden de magnitud.

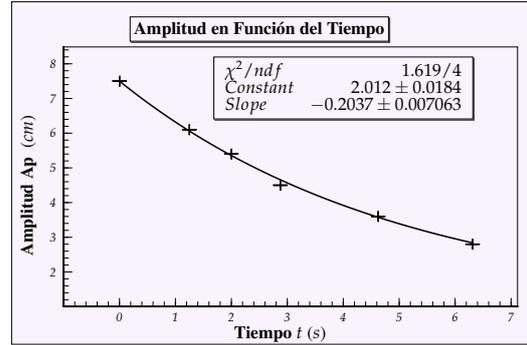


Figura 7.4: Datos de la Tabla 7.1. Determinación gráfica del coeficiente de amortiguamiento. El ajuste se hizo con la ecuación (7.9). ■

Ejemplo 26. Determinación de la constante de amortiguamiento y viscosidad del agua. Cuando un oscilador, por ejemplo un sistema masa-resorte, es puesto a oscilar en aire, la amplitud de las oscilaciones decrece muy lentamente que le toma un largo tiempo detenerse. A diferencia de un fluido, por ejemplo agua, el movimiento es altamente amortiguado, y las oscilaciones decaen rápidamente hasta que el sistema se detiene. Para ello se utiliza un sistema masa-resorte como el ilustrado en la Figura 7.5, fijo a la polea y oscilando libremente tanto en aire como en agua (ojo! no use el impulsor armónico para este experimento).

Se mide cinco veces el tiempo que le toma al sistema realizar cinco oscilaciones completas (primero "sin amortiguamiento" en aire, y luego en agua), y se encuentra el periodo, T, respectivamente (Tabla 7.2). Una vez encontrado el periodo, con ayuda de (5.8), se calcula la frecuencia angular: tanto la natural en aire ω_0 , como en agua ω_s . Con estos valores de frecuencia, mediante la fórmula (7.5), se encuentra la constante de amortiguamiento: $\gamma = \sqrt{\omega_0^2 - \omega_s^2} = 0.106 \pm 0.008 s^{-1}$.

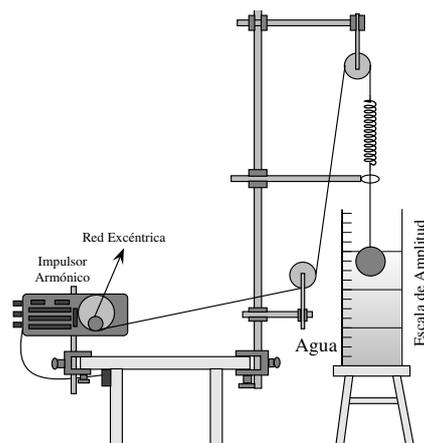


Figura 7.5: Oscilaciones subamortiguadas y forzadas de un sistema masa-resorte, en agua.

	Aire	Agua
Periodo T (s)	1.544 ± 0.006	1.596 ± 0.006
frecuencia angular(rad/s)*	$\omega_0 = 4.07 \pm 0.02$	$\omega_s = 3.93 \pm 0.01$

Tabla 7.2: Datos de oscilación de un sistema masa-resorte en aire y agua.

Una vez determinada la constante de amortiguamiento, la viscosidad del agua se puede determinar de la fórmula (7.8). Para este caso $m = 10 \pm 1g$ y $r = 2.0 \pm 0.1 cm$, entonces $\eta = (5.6 \pm 0.8) \times 10^{-3} Pa s$. Este valor no coincide exactamente con el dado en la literatura, Tabla ??, pero al menos arroja el orden de magnitud. Quizás esto se deba a que no se trabajó en el régimen laminar, donde es válido la ley de Stokes. ■

7.3.2 Oscilaciones Forzadas y Resonancia

Eventualmente un oscilador amortiguado *aislado* alcanzará el estado de reposo y su energía mecánica se habrá disipado. Para mantener las oscilaciones es necesario considerar una **fuerza impulsora** externa la cual se encargue de compensar la pérdida de energía. Por ejemplo, considere un niño en un columpio, que puede mantenerlo oscilando con amplitud constante dándole un empujoncito a la vez en cada ciclo [?]. Bajo estas condiciones las oscilaciones resultantes se denominan **oscilaciones forzadas** [?, ?]. La fuerza impulsora más sencilla es aquella que oscila como un seno o un coseno, es decir, una **fuerza armónica** (o impulsor armónico) de la forma

$$F_{ext} = F_0 \cos \omega_f t, \tag{7.10}$$

donde F_0 y ω_f son la amplitud y frecuencia angular respectivamente de la fuerza impulsora.

La ecuación de movimiento para este caso sería: $m d^2x/dt^2 = -b dx/dt - kx + F_0 \cos \omega_f t$, reorganizando, se obtiene que

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega_f t, \tag{7.11}$$

y difiere de (7.2) por el término de la derecha, que hace que la ecuación sea *no* homogénea.

La solución general de la ecuación (7.11), consiste en la suma de una solución particular de la ecuación *no* homogénea más una solución general de la ecuación homogénea [?]. A la solución particular la llamamos **solución transitoria**, que es la misma solución del oscilador amortiguado para cualquier valor de γ , la cual tiende exponencialmente a cero para tiempos mayores que τ (ecuación (7.6)). Al contrario, la solución general es **estable** (o estacionaria), puesto que es un MAS de la misma frecuencia angular de la fuerza externa. El estado transitorio depende de las condiciones iniciales, y el estacionario, que permanece después de extinguido el transitorio, es independiente de dichas condiciones. La solución del estado estable es la siguiente función armónica

$$x = A \cos(\omega_f t - \delta), \tag{7.12}$$

donde la frecuencia ω_f es la misma de la fuerza impulsora, y la amplitud A está dada por

$$A = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_f^2)^2 + 4\gamma^2 \omega_f^2}}, \tag{7.13}$$

y la constante de fase δ por

$$\tan \delta = \frac{2\gamma\omega_f}{\omega_0^2 - \omega_f^2}. \quad (7.14)$$

Resonancia en la Amplitud

La ecuación (7.13) muestra que la amplitud de las oscilaciones en el estado estacionario es *dependiente* de la frecuencia, ω_f , a la que oscila la fuerza aplicada. Si representamos la amplitud en función de dicha frecuencia, vemos que tiene un máximo para un cierto valor de ω_f (ver Fig. 7.6).

Dicho valor máximo se determina cuando el denominador de la ecuación (7.13) es un mínimo, esto ocurre para la **frecuencia de resonancia**, ω_R , dada por

$$\omega_R = \sqrt{\omega_0^2 - 2\gamma^2}. \quad (7.15)$$

Cuando la frecuencia ω_f de la fuerza aplicada es igual a ω_R , se dice que hay **resonancia en la amplitud**. Cuanto menor es el amortiguamiento más pronunciada es la resonancia, y cuando γ vale cero, la amplitud de resonancia es infinita en $\omega_R = \sqrt{k/m} = \omega_0$, es decir, en la frecuencia natural del resorte.

Ejemplo 27. Resonancia. Regresando al Ejemplo 26 y al montaje de la Figura 7.5, el sistema masa-resorte, sumergido en agua, es ahora impulsado por un agente externo (impulsor) con movimiento armónico simple. Al inicio, el movimiento del objeto es complejo (estado transitorio), pero una vez que el sistema se estabiliza, oscila con la misma frecuencia del impulsor armónico; su amplitud y energía se mantienen constantes. En este estado, la energía suministrada al sistema es igual a la energía disipada por el mismo debido al amortiguamiento.

Utilizando el montaje de la Figura 7.5, un grupo de estudiantes determinó valores de amplitud para diferentes frecuencias angulares del agente externo ω_f . Las medidas de estas frecuencias fueron determinadas midiendo el tiempo que empleaba la excéntrica del impulsor en realizar 5 vueltas, y conociendo que 1 vuelta equivale a 2π radianes. Para medir la amplitud, con mucho cuidado observaron la elongación de la esfera (en su punto mínimo y máximo) y leyeron el valor de la amplitud en la respectiva escala. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.3.

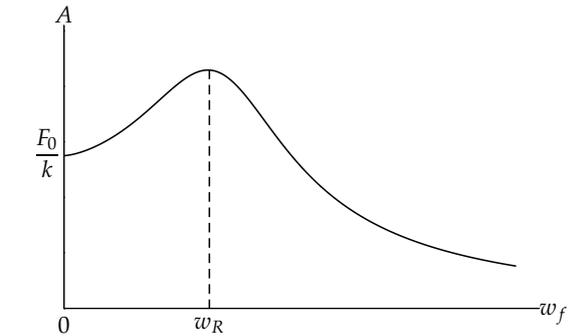


Figura 7.6: Variación de la amplitud (A) con la frecuencia de la fuerza aplicada (ω_f), ecuación 7.13.

Los estudiantes realizaron una gráfica de A en función de ω_f , Figura 7.7, obteniendo una curva similar a la Figura 7.6. Determinaron a partir de la misma, por interpolación gráfica, que la frecuencia de resonancia (punto máximo) corresponde a un valor aproximado de $\omega_R = 0.39 \pm 0.01 \text{ rad/s}$.

Como ya conocían, del Ejemplo 26, la frecuencia natural del resorte, $\omega_0 = 0.407 \pm 0.002 \text{ rad/s}$, entonces de (7.15) determinaron que: $\gamma = 0.08 \pm 0.02 \text{ s}^{-1}$, que coincide con el valor encontrado de γ en el Ejemplo 26.

$\omega_f (10^{-1}) (\text{rad/s})$	$\Delta\omega_f (10^{-1})(\text{rad/s})$	Amplitud $A (\pm 0.5) (\text{cm})$
4.40	0.02	12.2
3.30	0.03	9.2
2.93	0.03	6.8
4.84	0.03	7.0
5.49	0.03	3.5
3.90	0.01	16.0
2.88	0.01	6.5
3.51	0.01	11.8
5.13	0.03	4.8

Tabla 7.3: Medidas de la amplitud A y frecuencia angular forzada ω_f para un oscilador forzado.

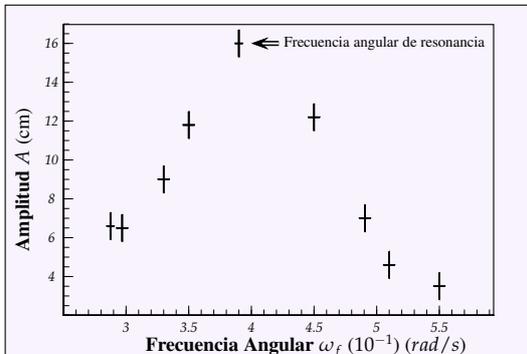


Figura 7.7: Gráfica de la amplitud A en función de la frecuencia angular forzada ω_f para un oscilador forzado, Tabla 7.3. ■

7.4 Instrucciones de la Práctica

Introducción: En este laboratorio se va a diseñar un experimento para determinar la constante de amortiguamiento.

1. Procedimiento: se diseña un procedimiento experimental para comprobar las siguientes hipótesis:

Hipótesis:

- Los movimientos de oscilación de objetos reales bajo fuerzas restauradoras tipo ley de Hooke, cuando se ven sometidos a la intervención de rozamientos, el efecto es disminuir progresivamente la amplitud de las vibraciones, hasta que éstas cesan.
- Sobre estos cuerpos, oscilando dentro de líquidos viscosos en el régimen laminar, actúan fuerzas de amortiguamiento proporcionales a su velocidad. Y dependiendo de la intensidad de este amortiguamiento el decaimiento es exponencial, con o sin oscilaciones senoidales.

Una idea puede ser utilizar los montajes descritos en los ejemplos. Es conveniente registrar lo que se hace y cómo se hace, para que el procedimiento del informe sea preciso y refleje completamente lo que se hizo.

1.1 Procedimiento para analizar las oscilaciones amortiguadas en un sistema masa-resorte: Utilicen el siguiente montaje virtual experimental en su versión en español:

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs>,
y escojan la opción "Laboratorio".

Van a considerar únicamente oscilaciones subamortiguadas, ecuación (7.4). Para ello, esco-

jan valores diferentes a los suministrados por la simulación para la masa (m), constante del resorte, gravedad (g) y amortiguamiento; y que el movimiento oscilatorio se encuentre en el régimen subamortiguado. Anexen un pantallazo de su configuración.

Para el análisis del movimiento trabajen con la amplitud $A = A_0 e^{-\gamma t}$, y la frecuencia angular, ω_s , del sistema amortiguado. La idea es que por ambos caminos se llegue al mismo valor de la constante de amortiguamiento, γ :

En el primer caso, deben hacer un estudio de amplitudes. Deben tomar en cuenta que estas amplitudes sólo coinciden con los valores extremos de la oscilación en el experimento (ver Figura 7.1). Es conveniente que habiliten la pestaña “Masa en Equilibrio”, pues las amplitudes se miden con respecto al punto de equilibrio; y para identificar estos valores extremos pueden usar la pestaña “Referencia Móvil”. Para reproducir el mismo experimento varias veces, fijen la amplitud inicial del movimiento amortiguado en el punto inferior del montaje, con “Altura = 0 m”. Con la regla y el cronómetro suministrados por la simulación pueden determinar las amplitudes y los respectivos tiempos. Pueden usar el modo “Lento” para que se les facilite estas mediciones.

En el segundo caso, deben determinar ω_s . Pueden usar el periodo² del movimiento amortiguado y utilizar la fórmula $\omega = 2\pi/\text{periodo}$. Y con la ecuación (7.5) pueden determinar γ . Pero para ello deben determinar la frecuencia natural $\omega_0 (= \sqrt{k/m})$, con la que oscila el resorte sin amortiguamiento. Es recomendable que la constante elástica del resorte la midan por el método dinámico ($T = 2\pi\sqrt{m/k}$), pues por este camino se logran mejores resultados, debido a los instrumentos de medición disponibles en la simulación. También pueden medir directamente $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$, determinando el período T_0 , sin amortiguamiento.

1.2 Procedimiento para analizar las oscilaciones amortiguadas en un péndulo simple:

Utilicen el siguiente montaje virtual experimental en su versión en español:

https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_es.html,
y escojan la opción “Laboratorio”.

Fijen valores diferentes a los suministrados para la longitud, masa, gravedad y fricción. Tome un pantallazo de su montaje. Lleven a cabo un análisis similar al realizado en el sistema masa-resorte. Procuren trabajar con amplitudes pequeñas ($< 10^\circ$), en el que el modelo amortiguado es válido.

²Para medir el periodo, tiempo que tarda el sistema en completar una oscilación, es conveniente que habiliten las pestañas “Masa en Equilibrio” y “Rastro del Periodo” y trabajen en modo “Lento”.

Oscilaciones Amortiguadas y Forzadas

Autores(código): _____

 Programa: _____ Fecha: _____ Grupo: _____

1. Procedimiento

1.1 Procedimiento para analizar las oscilaciones amortiguadas en un sistema masa-resorte:

$m =$ _____ \pm _____. Descripción: 

$g =$ _____ \pm _____. Descripción: 

Pantallazo de su configuración.

Valor de γ por ambos caminos, compare y explique cómo los obtuvo. 

1.2 Procedimiento para analizar las oscilaciones amortiguadas en un péndulo simple:

$l =$ _____ \pm _____. Descripción: 

$m =$ _____ \pm _____. Descripción:

$g =$ _____ \pm _____. Descripción: 

Pantallazo de su configuración.

Valor de γ por ambos caminos, compare y explique cómo los obtuvo. 

2. Discusión y Conclusiones



Referencias

- [1] Soldovieri C., Terenzio: *Física General*. La Universidad del Zulia, cuarta edición, 2011. www.cmc.org.ve/tsweb.
- [2] Budějovická, Gymnázium: *Presión, mecánica de fluidos*. 1994. http://gybugandofisica.scienceontheweb.net/Materiales/Tema2_Presion_fluidos_alumnos.pdf.
- [3] Úsuga, Yithsbey Giraldo, Germán Enrique Ramos Zambrano y Karla Patricia Reyes Sánchez: *Guía de Laboratorio de Física II: para estudiantes de física*. Editorial Universitaria - Universidad de Nariño, 2015, ISBN ISBN: 978-958-8609-88-1.
- [4] Sztrajman, Jorge: *Cátedra de Física*. <http://fisicacbc.org/Material/hidro03.pdf>, 2009.
- [5] Sears, Francis W., Mark W. Zemansky, Hugh D. Young y Roger A. Freedman: *Física Universitaria*, volumen 1. Pearson Educación, undécima edición, 2004, ISBN 970-26-0511-3.
- [6] Serway, Raymond A.: *Física*, volumen 1. McGRAW-HILL, Ciudad de México, 4ª edición, 1997, ISBN 970-10-1296-8.
- [7] Ventus: *Ley de Hooke*. <http://www.ventusciencia.com/pdfs/10132.pdf>, 2015.
- [8] I.E.S, Universidad Rey Juan Carlos: *Prácticas de Laboratorio de Física*. <http://www.iesreyescatolicos.es/portada/images/stories/departamentos/fyq/pdf/2bach/c3u12008>.
- [9] Campos, Carlos: *Proyecto Newton: Movimiento Armónico Simple*. http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/MAS/aulaMAS.pdf, 2014.
- [10] Vázquez, Augusto Beléndez: *Fundamentos Físicos de la Ingeniería*. http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11434/1/RESUMEN_TEMA_08.pdf, 2015.
- [11] Galloni, E. y M. Kohen: *Influence of the mass of the spring on its static and dynamics effects*. Am. J. Phys., 47:1078, 1979.
- [12] Vivas, Flor Alba: *Laboratorio de Oscilaciones y Ondas*. Universidad de Pamplona-Departamento de Física y Geología, 2009. http://fisica.ru/dfmg/teacher/archivos_lab/Manual.pdf.

- [13] García, Antonio J. Barbero: *Péndulo Simple*. <https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/Practica2014>.
- [14] Sedna, Planeta: *Las Leyes del Péndulo Físico*. <http://www.portalplanetasedna.com.ar/pendulo.htm>, 2013.
- [15] Alonso, Marcelo y Edward J. Finn: *Mecánica*, volumen 1. Fondo Educativo Interamericano, S.A, 1970.
- [16] Wilson, Jerry D. y Cecilia A. Hernandez Hall: *Physics: Laboratory Experiments*. Brooks/Cole, 2010.
- [17] València, Universitat de: *Física General*. http://mural.uv.es/miyallon/fisicageneral2/Tema11_c.pdf 2012.
- [18] García, Angel Franco: *Curso Interactivo de Física en Internet*. http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm, 2010.
- [19] Bourouiba, Lydia: *Damped Harmonic Oscillators*. <https://www.youtube.com/watch?v=2-5oq-igwtU>, 2011.
- [20] Iberoamericana, Universidad: *Notas para el curso de Física Universitaria 1*. <http://www.uia.mx/campus/publicaciones/fisica/pdf/11MOVperiodicos-oscamort.pdf>, 2015.
- [21] Dukes, Craig y Larry Suddarth: *Workshop Physics for Introduction to Physics for Engineers II*. <http://people.virginia.edu/~ecd3m/1429/Spring2011/manual/Lab11.pdf>, 2011.
- [22] García, Angel Franco: *Fundamentos Físicos*. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/ocw-fisica/index.html>, 2008.

Plan de Mejoramiento y Actualización Pedagógica del Laboratorio de Física II del Programa de Física de la Universidad de Nariño

Propuesta proyecto de Investigación
del profesor

YITHSBEY GIRALDO ÚSUGA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Física
Noviembre 2020
Pasto, Colombia

Información general del proyecto

Tabla 1: Presupuesto

Titulo del proyecto	Plan de Mejoramiento y Actualización Pedagógica del Laboratorio de Física II del Programa de Física de la Universidad de Nariño			
Entidad beneficiaria	Universidad de Nariño - Programa de Física			
Duración del proyecto	24 meses			
Costo total del proyecto	Dedicación semanal: 4 horas. Valor hora: \$43750. Papelería: \$ 100 000. Tinta impresora: \$ 50 000. Costo total: \$16.95 millones			
Monto solicitado	\$ 0			
Monto total de la contrapartida				
Contrapartida de la entidad beneficiaria	En efectivo	En Especie		
Lugar de ejecución	Ciudad	Pasto	Departamento	Nariño
Persona responsable del proyecto	Yithsbey Giraldo		Empresa	Cargo
			Universidad de Nariño	Docente

Nota: los laboratoristas por su condición de empleados de la Universidad de Nariño no pueden sacrificar sus horas laborales para dedicarse a este tipo de proyectos. El laboratorista James Perengüez de forma voluntaria me colaborará con los montajes en sus horas no laborales, después de las 6pm y fines de semana.

Programa Nacional de Ciencia y Tecnología a la cual aplica el proyecto	
Electrónica, telecomunicaciones e informática	<input type="radio"/> Ciencia y tecnología
Desarrollo tecnológico, industrial y calidad	<input type="radio"/> agropecuaria
Ciencia del medio ambiente y habitat	<input type="radio"/> Estudios científicos en educación
Investigación en energía y minería	<input type="radio"/> Ciencias sociales y humanas
Ciencia y tecnología de la salud	<input type="radio"/> Ciencia y tecnología del mar
Biotecnología	<input type="radio"/> Ciencias básicas <input checked="" type="radio"/>

1. Resumen

En este proyecto se va a actualizar la guía de laboratorio de Física II para incluir contenidos de termodinámica. La propuesta es seguir con la metodología impartida en los laboratorios de Física I y Física Fundamental I. Pretendemos fortalecer la parte virtual usando la plataforma del COES de la Universidad para realizar los cuestionarios virtuales de los preinformes de laboratorio, y hacer exámenes virtuales individuales a mitad y final de semestre en el aula de laboratorio que permite evaluar los conocimientos aprendidos por los estudiantes.

Voy a contar con el apoyo de laboratorista James Perengüez para la realización de las prácticas de termodinámica.

2. Planteamiento del problema

Los laboratorios de física de la Universidad de Nariño necesitan ser mejorados. Las tres principales falencias de las que adolecen estos laboratorios es:

- **Carencia e implementación inadecuada de los equipos experimentales:** los laboratorios de física no cuentan con los suficientes equipos y se carece de guías adecuadas para impartir las prácticas de laboratorio. Esto ocurre especialmente en el laboratorio básico de física II. Como caso particular en la física II, debido a su reestructuración de contenidos, se necesitan prácticas de termodinámica, para las que no hay guías de laboratorio.
- **Escasez de equipos de cómputo e implementaciones virtuales:** A manera de ejemplo, para demostrar una de las dificultades que tenemos en este aspecto, es que pretendemos aplicar a los estudiantes exámenes virtuales usando la plataforma moodle del COES. Pero un inconveniente es que no se tienen suficientes equipos de cómputo para la aplicación individual de este examen.

Los cuestionarios virtuales de la física II necesitan ser actualizados.

- **Falta de guías de laboratorio:** efectivamente, la guía de laboratorio de física II necesita ser actualizada.

Así que, el planteamiento de este proyecto es avanzar en estos aspectos a fin de impartir cursos que mejoren la calidad de la enseñanza de la física experimental.

3. Estado del Arte

3.1. Fundamentos

El laboratorio de Física II hace parte del plan de estudios de varios programas de la Universidad de Nariño. El laboratorio de Física II presta sus servicios a los estudiantes de Ingeniería Electrónica, Ingeniería Civil, Química, Física, etc.

Este laboratorio es muy importante para la Universidad dada la gran proporción de estudiantes y programas que se benefician de ellos. Por eso, la urgente necesidad de mejorar y actualizar este laboratorio.

3.2. Antecedentes

Ya se ha labrado un camino importante en la mejora de los laboratorios con el desarrollo de los manuales de laboratorio de Física I y Física Fundamental I, por las siguientes razones:

1. El uso de guías de laboratorio completas y estructuradas que siguen tres procesos pedagógicos:
 - **Teoría:** los fundamentos teórico-físicos del experimento.
 - **Preinforme:** cuestionario antes de empezar el laboratorio.
 - **Informe:** reporte de la práctica durante la clase.
2. La propuesta metodológica incluye el uso de software especializado para el análisis de datos experimentales.
3. Se usan herramientas virtuales, como la plataforma virtual “moodle”, para la realización de los cuestionarios de los preinformes por parte de los estudiantes.
4. Se están implementando exámenes virtuales de dos horas de duración y de carácter individual, que los estudiantes deben resolver durante el laboratorio a fin de obtener resultados que permita apreciar el avance de los alumnos en su formación.
5. Se sigue la misma metodología en el laboratorio de física II. Pero la guía de laboratorio de Física II necesita ser actualizada.

Debo mencionar que una solicitud que se hizo al Departamento de Física fechada el 6 de septiembre de 2017, ya habíamos hecho un estudio parcial sobre la situación actual del Laboratorio de Física II, tanto en equipos como en experimentos disponibles, sobre todo en la termodinámica. Contamos actualmente con una guía de laboratorio, con la que se imparte este curso, a la que se le ha hecho ya varias actualizaciones.

En el acuerdo 031 (20 de septiembre de 2018) se hizo una solicitud de equipos de termodinámica gestionado por el laboratorista James Perengüez y el profesor Germán Ramos (los equipos llegaron a finales de 2019):

- Aparato de dilatación lineal de sólidos
- Calibre de Dial
- Generador de vapor
- Termómetro de gas
- Bomba manual de vacío
- Vaso de Dewar
- Calentador de Noak

Con estos equipos se busca realizar las siguientes prácticas de termodinámica:

- Escalas de temperatura
- Dependencia lineal térmica
- Capacidad calorífica
- Equivalencia eléctrica del calor

También, en un acuerdo dirigido al Departamento de Física (6 de septiembre de 2017), se solicitaban equipos de termodinámica. Resumiendo:

- En ella se especifica los experimentos escogidos:
 - Leyes de los Gases ideales: Ley de Boyle-Mariotte, Ley de Gay-Lussac, Ley de Amonton.
 - Dilatación lineal térmica, Determinación del calor Específico, Determinación del Equivalente Eléctrico del Calor, Conducción Térmica, Calor latente de fusión y evaporación, ley de Stefan-Boltzmann, Máquinas Térmicas.
- Los equipos requeridos son los siguientes:
 - Equipos para medir la temperatura (termómetros digitales y termómetros infrarrojos), calorímetros, vasos de precipitado, matraces, tubos de ensayo, pipetas volumétricas y probetas, parrillas eléctricas, nevera y congelador, mangueras, rollos de papel aluminio y metanol.
 - Aparato de Kröncke leybold: Ley de Boyle-Mariotte.
 - Equipo para la Ley de Gay-Lussac.
 - Equipo para la Ley de Amonton.
 - Aparato de Dilatación térmica.
 - Equipo para la determinación del calor específico.
 - Equipo para la determinación del Equivalente Eléctrico del Calor.
 - Cámara de medición térmica
 - Equipo para la medición del calor latente de fusión y evaporación.
 - Equipo de radiación térmica.
 - Motor Stirling.

Respecto al diseño de las prácticas, con los experimentos escogidos y los equipos solicitados, ya se tiene una idea muy general de lo que se pretende hacer.

4. Objetivos

4.1. General

- Mejorar, Actualizar y Hacer las Prácticas de Termodinámica del laboratorio de Física II del Programa de Física de la Universidad de Nariño

4.2. Específico

#	Objetivo Específico	Resultado Esperado
1	Determinar, en cuanto a calidad y cantidad, los equipos de termodinámica disponibles adquiridos por los laboratorios.	Tener una idea clara con qué equipos de termodinámica se cuenta.
2	Elegir concretamente las prácticas de termodinámica que se puedan realizar.	Poder contar con unas prácticas de laboratorio de termodinámica y su viabilidad para poder ser ejecutadas. Planeamos las siguientes prácticas*: <ul style="list-style-type: none">▪ Escalas de temperatura▪ Dependencia lineal térmica▪ Capacidad calorífica▪ Equivalencia eléctrica del calor.
3	Redactar, para incluir en la guía de Laboratorio de Física II, las cuatro (4) prácticas de laboratorio elegidas.	Contar con al menos cuatro (4) prácticas de termodinámica dentro de la Guía de Laboratorio de Física II: Escalas de temperatura, Dependencia lineal térmica, Capacidad calorífica y Equivalencia eléctrica del calor.
4.	Realizar e incluir los preinformes de termodinámica dentro de la metodología impartida en la parte virtual de laboratorio de Física II.	Tener listos los cuestionarios de termodinámica para ser incluidos dentro del plan programático de la asignatura del Laboratorio de Física II, de acuerdo a las prácticas elegidas: Escalas de temperatura, Dependencia lineal térmica, Capacidad calorífica y Equivalencia eléctrica del calor.
5.	Realizar dos exámenes virtuales que incluya los temas de termodinámica previamente mencionados.	Tener listos dos exámenes virtuales para para ser incluidos dentro del plan programático de la asignatura del Laboratorio de Física II.
6.	Hacer una actualización general de la Guía de Laboratorio de Física II y de sus preinformes.	Tener corregido la guía de Laboratorio de Física II, con las prácticas de termodinámica incluidas, y los preinformes corregidos y actualizados.

* Este plan de prácticas puede variar de acuerdo a la disponibilidad de equipos.

5. Justificación

La justificación de realizar este proyecto se debe a lo siguiente:

1. La Guía de Laboratorio de Física II está desactualizada. No incluye prácticas de termodinámica. Surge entonces la necesidad de diseñar y redactar experimentos en esta área.
2. Pretendemos usar las metodologías virtuales como el moodle que facilitan la enseñanza-aprendizaje, la realización individual de evaluaciones rápidas y confiables, que permiten medir la habilidades y conocimientos adquiridos por cada estudiante.
3. Y también lograr que los estudiantes puedan acceder a software especializado y potente como el ROOT para el análisis de datos experimentales, ajuste de curvas, interpretación de parámetros y modelamiento de fenómenos físicos.
4. El laboratorio de Física II cuenta con unos equipos de laboratorio adquiridos para hacer las prácticas. Pero, adicionalmente, con este proyecto se pretende buscar recursos, para diseñar y adaptar equipos para suplir las necesidades y poder realizar los experimentos.

6. Metodología

La metodología que voy a implementar en el laboratorio de Física II va a ser el siguiente:

1. Hacer una revisión del estado del laboratorio en cuanto a equipos y experimentos disponibles, y el estado de los mismos. Mirar los recursos con que se cuenta, equipos dañados, obsoletos, repuestos, para su reutilización. Examinar el espacio disponible, el cableado eléctrico, el estado de las mesas, y en fin, la calidad en el que se encuentra el laboratorio.
2. De acuerdo a los equipos disponibles, escoger experimentos básicos de termodinámica y diseñar las prácticas.
3. Redactar las prácticas de laboratorio de termodinámica escogidas.
4. En caso de que falten prácticas, se buscan recursos económicos para la consecución de equipos, diseñar y redactar los experimentos faltantes.
5. Anexar las prácticas a la Guía de Laboratorio de Física II.

Los recursos económicos pueden provenir de la dirección de laboratorios, del Preuniversitario o de la misma VIPRI a través de proyectos de mayor envergadura; y otras alternativas que se vayan presentando en el camino. Valga decir que este proyecto no tiene acceso directo a los dineros del rubro que le corresponde al Departamento de Física del Preuniversitario. Para acceder a estos dineros, se debe presentar un proyecto independiente justificando su uso.

7. Población beneficiada

La población beneficiada con este proyecto corresponde a los estudiantes de física y de servicios, como los programas de ciencia y de ingeniería. Hay que mencionar que los profesores y demás estamentos académicos también van a resultar beneficiados debido a la disponibilidad de recursos pedagógicos para impartir los laboratorios básicos. Los beneficios recibidos van a ser los siguientes:

1. Disponibilidad de manuales de laboratorio bien estructurados y completos que contienen una teoría para ilustrar el fenómeno experimental a estudiar y los resultados experimentales que se deben obtener; un preinforme para una evaluación corta de conocimientos y habilidades que deben saber los estudiantes antes de abordar el experimento y un informe para ser entregado al final de la práctica.
2. Estimulación para el uso de plataformas virtuales como el moodle que permiten aplicar evaluaciones rápidas y confiables a través de los preinformes, y exámenes que permiten medir los conocimientos y habilidades adquiridas por los estudiantes.
3. Los estudiantes tienen la oportunidad de usar en el laboratorio software libre especializado y potente, como el ROOT, para el análisis de datos experimentales.
4. Se tiene disponible software propio para el cálculo de cantidades físicas con error (propagación de errores).

8. Cronograma de actividades

#	Actividad	Objetivo	Mes de Inicio	Duración en Meses	Horas dedicadas
1	Hacer una revisión del estado de los laboratorios	1	1	2	32
2	De acuerdo a los equipos disponibles, escoger experimentos básicos de termodinámica y diseñar las prácticas	2	3	4	32
3	Redactar las prácticas de los experimentos escogidos	3	5	11	112
4	Hacer los preinformes de termodinámica	4	12	17	96
5	Hacer los dos (2) exámenes virtuales de termodinámica	5	18	22	80
6	Actualizar la Guía de Laboratorio de Física II	6	23	24	32
Total horas dedicadas al proyecto:				384	

9. Presupuesto

Este proyecto de investigación no cuenta con ningún rubro de investigación. Lo único que se ortoga son cuatro horas de descarga académica. Ningún estamento universitario me garantiza apoyo económico en el caso de que el proyecto sea aprobado. Obviamente, los recursos se pueden conseguir a través de la dirección de laboratorios, de los rubros del Preuniversitario para física a través de propuestas, el sistema de investigaciones de la VIPRI a través de proyectos, y la misma Universidad a través de rubros para los laboratorios, etc. Pero ninguno de estos estamentos me garantiza un apoyo económico.

Debo mencionar que los propios laboratorios cuentan con algunos equipos que pueden ser recuperados para su uso.