



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

Departament de Física, Enginyeria de Sistemes i Teoria del Senyal  
Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal

# EXPERIENCIAS DE FÍSICA EN VÍDEO

Augusto Beléndez Vázquez (director del proyecto)

ISBN: 978-84-692-7478-1



## PRESENTACIÓN

La realización de experiencias de laboratorio es un elemento fundamental en el proceso enseñanza/aprendizaje de la Física. Entre los objetivos de estas clases prácticas está: (1) proporcionar una formación experimental amplia y general, iniciando a los estudiantes en el trabajo del laboratorio, y (2) servir de “visualización” de lo estudiado en las “clases de teoría”. Dentro de estas actividades experimentales, la utilización de películas de corta duración sobre experimentos de Física presenta un importante potencial didáctico, ya que permite a los estudiantes visualizar -cuantas veces lo deseen- fenómenos físicos que han estudiado previamente o que ellos mismos han realizado en el laboratorio.

En este sentido, el uso de estas películas breves puede hacer el proceso educativo más productivo, incrementando la velocidad del aprendizaje y aumentando la motivación de los estudiantes. Además, las tecnologías actuales permiten visualizar estas películas no sólo en una televisión provista de un reproductor de DVD convencional, sino también en un ordenador personal y hasta incluso en otros tipos de reproductores como los iPod, las PDAs, etc. Todo depende del formato del archivo al que se haya exportado la película.

Por otra parte, estas películas tienen en sí mismas un gran potencial para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, de modo que:

- El aprendizaje sea más interesante.
- El aprendizaje sea activo, no pasivo como ocurre frecuentemente en nuestras aulas.
- Los estudiantes estén más motivados.
- El aprendizaje sea al ritmo de cada estudiante individual.
- La educación sea permanente.

En este DVD presentamos los resultados correspondientes a dos proyectos de innovación educativa financiados por la Universidad de Alicante. Estos proyectos se plantearon tomando como punto de partida las posibilidades del video digital y los dos objetivos fundamentales de las experiencias de laboratorio antes mencionados. Su fin último es



disponer de un conjunto de películas breves sobre experiencias prácticas de Física no sólo para las asignaturas de “Fundamentos Físicos” de primer curso universitario de las titulaciones de ciencias e ingeniería, sino también para el bachillerato. Estos proyectos tienen la intención de aprovechar una de las características más sobresalientes de las nuevas tecnologías audiovisuales: las grabaciones de experiencias reales realizadas en el laboratorio son los elementos centrales de las películas, pero también vienen acompañadas de audio y texto explicativos, fotografías, fórmulas, figuras, esquemas, etc.

El objetivo general del trabajo ha sido generar material docente complementario a la enseñanza presencial y con ello ampliar las posibilidades de los estudiantes a la hora de afrontar con éxito el estudio de la física, de acuerdo con un modelo amplio en el que se combinen las posibilidades de las tecnologías de la información y las comunicaciones con las actividades tradicionales de formación. Este conjunto de películas sobre experiencias de Física no trata de sustituir ni a los libros de texto ni al profesor y mucho menos a la realización de experiencias prácticas por parte de los estudiantes en un laboratorio, sino complementarlos. Las películas realizadas son de dos tipos:

1. Demostraciones o experiencias de cátedra, consideradas tradicionalmente como prácticas de laboratorio realizadas por el profesor durante el desarrollo de las clases de teoría, por lo que son demostraciones en las que no se toman datos, sino que únicamente pretenden dar a conocer un fenómeno físico. Estas películas permiten que el alumno pueda visualizar la demostración cuantas veces lo desee, parar la reproducción, volver hacia atrás, consultar algún libro a mitad de la misma, etc., por lo que presentan muchas ventajas pedagógicas frente a la única realización de la experiencia por parte del profesor un determinado día en el aula.
2. Prácticas de laboratorio siguiendo una estructura similar a la que realizan los estudiantes en el laboratorio, es decir, al igual que se hace con una “práctica real” se pide al estudiante que realice un conjunto de actividades que van desde la adquisición y tratamiento de datos, el cálculo de errores y la determinación de alguna magnitud física relacionada con la experiencia.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

Departament de Física, Enginyeria de Sistemes i Teoria del Senyal  
Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal

El material desarrollado está basado en experiencias reales (no simulaciones) grabadas con una cámara digital de vídeo, transferidas a un ordenador y posteriormente editadas con ayuda de un programa de edición de vídeo. Se han incluido también fotografías, figuras, ecuaciones y archivos de audio (explicaciones y música), así como algunas animaciones.

Esperamos que este trabajo sea útil a profesores y estudiantes en el proceso enseñanza/aprendizaje de la Física.

**AUGUSTO BELÉNDEZ VÁZQUEZ**  
*Director del Proyecto*

#### Proyecto

Elaboración de material didáctico interactivo para la enseñanza de materias de Fundamentos Físicos de titulaciones técnicas - 2004.

#### Director

Augusto Beléndez Vázquez.

#### Participantes

Mariela Álvarez, Tarsicio Beléndez, Sergio Bleda, Adriano Campo, Antonio Durá, Sergi Gallego, Antonio Hernández, Amparo Marco, Andrés Márquez, Agapito Martín, David Méndez, Juan Carlos Moreno, Ignacio Negueruela, Cristian Neipp, Manuel Ortuño, José Joaquín Rodes, Julio Rosa, José Miguel Torrejón, Jenaro Vera, María Soledad Yebrá.

#### Proyecto

Realización de películas de experiencias de cátedra y prácticas de laboratorio en soporte CD y DVD para la enseñanza de asignaturas de Fundamentos Físicos - 2005

#### Director

Augusto Beléndez Vázquez.

#### Participantes

Mariela Álvarez, Tarsicio Beléndez, Guillermo Bernabeu, Sergio Bleda, Eva M<sup>a</sup> Calzado, Adriano Campo Bagatín, Roberto Dale, Antonio Durá, Elena Fernández, Sergi Gallego, Antonio Hernández, Amparo Marco, Andrés Márquez, Agapito Martín, David Méndez, Juan Carlos Moreno, Ignacio Negueruela, Cristian Neipp, Francisco Ortiz, Manuel Ortuño, Basilio Pueo, José Joaquín Rodes, Julio Rosa, José Miguel Torrejón, Jenaro Vera, María Soledad Yebrá.

*Proyectos subvencionados por el Vicerrectorado de Convergencia Europea y Calidad (2004) y por el Vicerrectorado de Tecnología e Innovación Educativa (2005) de la Universidad de Alicante.*



## Medida de longitudes con el pie de rey

---

El objetivo de esta práctica es aprender a medir longitudes utilizando el pie de rey o calibre, instrumento de medida basado en el *nonius*. En primer lugar se describe el funcionamiento del nonius para continuar con algunos ejemplos de medidas realizadas con el pie de rey.

En muchas ocasiones la determinación de una magnitud física requiere de la medida de una longitud. Por ejemplo, la medida del volumen de un paralelepípedo suele hacerse de forma indirecta midiendo previamente las longitudes de su base, altura y profundidad. Para medir una longitud se compara ésta con otra que se toma como unidad, de manera que el número que resulta de la medida (entero o fraccionario) indica cuantas veces la unidad adoptada está contenida en aquélla. Con una regla graduada en milímetros es posible tener una sensibilidad de un milímetro, pero en muchas ocasiones se necesita tener mayor sensibilidad y para ello se puede recurrir a instrumentos especiales como el pie de rey que, como se ha señalado, está basado en el nonius.

El nonius es un instrumento de medida que consta de dos escalas, una fija y otra deslizable, denominadas regla y reglilla, respectivamente. Ambas escalas están graduadas de modo que  $n$  divisiones de la reglilla se corresponden con  $n - 1$  divisiones de la regla. Si  $D$  es el tamaño de las divisiones de la regla y  $d$  el tamaño de las divisiones de la reglilla se verifica la relación  $nd = (n - 1)D$  y la sensibilidad  $p$  del nonius es  $p = D/n$ . Por ejemplo, si las divisiones de la regla son milímetros ( $D = 1$  mm) y la reglilla tiene  $n = 10$  divisiones, la sensibilidad del nonius es  $p = 1/10 = 0.1$  mm.

El pie de rey se fabrica generalmente de acero y está construido de modo que permite medir espesores de piezas, dimensiones interiores de una cavidad y profundidades. El pie de rey que se utiliza en esta experiencia dispone de un nonius con divisiones de la regla de tamaño  $D = 1$  mm y con una reglilla con  $n = 50$  divisiones, por lo que su sensibilidad es  $p = 1/50 = 0.02$  mm, sensibilidad que aparece señalada en el propio pie de rey.

En esta experiencia se realizan las medidas de dos objetos: un cilindro y un anillo. Para el cilindro se muestran las lecturas de las medidas de su diámetro y su generatriz y se pide calcular su volumen con su error. Para el anillo también se pide el cálculo de su volumen, pero no se da la lectura de sus diámetros interior y exterior y de su espesor, sino que hay que tomarlas de las imágenes. Si es necesario puede pararse la reproducción para tomar nota de los valores que se piden simplemente pulsando el botón “pause” del reproductor.

## Medida de longitudes con el palmer

---

El objetivo de esta experiencia es aprender a medir longitudes utilizando el palmer que es un aparato que se utiliza para medir el espesor de un objeto, como una lámina delgada, y que está basado en el tornillo micrométrico. El palmer dispone de un tornillo micrométrico que avanza por una tuerca fija en forma de herradura. La tuerca dispone de una escala para apreciar el número de vueltas completas que da el tornillo, mientras que el tornillo dispone de un tambor circular o limbo graduado que permite apreciar fracciones de vuelta. El paso de rosca  $h$  del palmer es rigurosamente constante de modo que si se le da una vuelta completa al tornillo, éste avanza con respecto a la tuerca fija una distancia igual a su paso de rosca. El paso de rosca del palmer que se utiliza en esta experiencia es  $h = 0.5$  mm, de modo que cuando el limbo graduado da una vuelta completa el tornillo avanza 0.5 mm.

El limbo graduado está dividido en  $n$  partes iguales de manera que es posible apreciar hasta  $1/n$  partes de vuelta. La sensibilidad  $p$  del palmer es el cociente entre el paso de rosca  $h$  y el número de partes  $n$  que tiene el limbo graduado, es decir,  $p = h/n$ . Para el palmer que se utiliza en esta experiencia el limbo graduado está dividido en  $n = 50$  partes iguales y su sensibilidad será el cociente de  $h = 0.5$  mm entre  $n = 50$  divisiones, es decir,  $p = 0.01$  mm, sensibilidad que viene indicada en el propio aparato.

Un aspecto importante a tener en cuenta cuando se lleva a cabo una medida con el palmer es lo que se conoce como *error de cero*, que es la medida que marca el palmer cuando en ausencia de objeto a medir se gira el tornillo hasta que su extremo presiona suavemente sobre el tope. En teoría en este caso la medida del palmer debería ser cero, sin embargo en la práctica esto no suele suceder. Por ejemplo, si en vez de marcar cero señala una división por debajo de cero, es decir, 0.01 mm por debajo de cero, entonces el error de cero es + 0.01 mm por lo que a las medidas efectuadas con este palmer habría que sumarles 0.01 mm para que sean correctas.

Una vez que se sabe como se realiza una medida con el palmer se va a medir el espesor de un disco. En este caso hay que tomar la medida de lo que se observa en el palmer junto con su error absoluto, ya que no se incluye el valor numérico de la misma. Si es necesario puede pararse la reproducción cuando se desee pulsando el botón “pause”.

## Determinación de la constante elástica de un resorte

---

El objetivo de esta experiencia es la determinación de la constante elástica de un resorte, o muelle, mediante el procedimiento estático. Si sobre un resorte, colocado verticalmente, y atado del extremo superior, se colocan diferentes cantidades de masa de su extremo libre, se irán produciendo distintos alargamientos que serán proporcionales a los pesos de dichas masas. La relación entre los alargamientos producidos en el resorte y las fuerzas aplicadas, viene dada por la ley de Hooke, a través de la constante de elástica del resorte ( $k$ ).

Para esta experiencia disponemos de un resorte metálico helicoidal, de constante elástica desconocida, un juego de masas con forma de disco, de 10 gramos cada una y un soporte, también de 10 gramos, en el que se colocan las distintas masas. Este soporte se cuelga del extremo libre del resorte. También disponemos de un soporte vertical con base para poder fijar el resorte, y así mismo, una regla graduada con dos marcadores para poder medir los diferentes alargamientos. Al colocar el soporte en el resorte se produce el primer alargamiento, y se coloca en dicha altura el marcador superior de la regla, tomándolo como posición inicial. Las masas se irán incrementando en 10 g y se irán produciendo distintos alargamientos que pueden medirse con el marcador inferior de la regla graduada.

El incremento en el peso de las masas es igual al peso de cada masa menos el peso de la masa inicial. El incremento de alargamiento es igual al alargamiento producido por cada peso de masas menos el alargamiento inicial. Se representan las fuerzas aplicadas  $\Delta F$  en función de los alargamientos producidos  $\Delta x$ , y éstos se pueden ajustar una recta por el método de los mínimos cuadrados. A partir de la pendiente de la recta de ajuste se obtiene la constante elástica del resorte,  $k$ , con su error ( $\Delta F = k\Delta x$ ).

Si es necesario puede pararse la reproducción cuando se desee pulsando el botón “pause”.



## Determinación de la constante elástica de un resorte: Procedimiento dinámico

---

El objetivo de esta práctica es la determinación de la constante elástica de un resorte o muelle helicoidal mediante el procedimiento dinámico, es decir, a partir de la medida del periodo de las oscilaciones que ejecuta una masa colgada de dicho resorte.

Para ello disponemos de un resorte metálico helicoidal, un conjunto de masas en forma de disco, cada una de ellas de 10 g, y un soporte, también de 10 g, en el que se colocan las masas. El muelle se coloca en posición vertical y se fija por su parte superior colgando una masa en su extremo inferior. Por acción del peso de la masa el resorte se estira hasta que alcanza la posición de equilibrio en la que se iguala el peso y la fuerza recuperadora elástica. Siempre que no se supere el límite de elasticidad del resorte los alargamientos producidos en el resorte son proporcionales a las fuerzas aplicadas (ley de Hooke).

Mediante la aplicación de una fuerza adicional se separa la masa de su posición de equilibrio y se produce un nuevo alargamiento. Si a continuación se suelta la masa, aparece una fuerza recuperadora elástica que hace que la masa empiece a oscilar con movimiento armónico simple, siendo el periodo  $T$  de las oscilaciones función de la masa colgada  $m$  y de la constante elástica del resorte  $k$  y su valor se puede calcular mediante la ecuación que relaciona el periodo  $T$  con  $m$  y  $k$ , y que no depende de la amplitud  $A$  de las oscilaciones.

En el desarrollo de la práctica primeramente se debe medir el tiempo  $t$  que tarda la masa en realizar  $n$  oscilaciones completas, para la masa  $m$  señalada en cada caso. El valor del periodo  $T$  para cada masa se calcula a partir de este tiempo  $t$  mediante la relación  $T = t/n$  y se representa gráficamente el cuadrado de los periodos como función de las masas colgadas del resorte y mediante el método de los mínimos cuadrados se ajusta una recta y se obtiene la pendiente de la misma. A partir de la pendiente se calcula el valor de la constante elástica del resorte con su error absoluto. Si es necesario puede pararse la reproducción cuando se desee pulsando el botón “pause”.

## **Péndulo simple: Determinación de la aceleración de la gravedad**

---

El objetivo de esta experiencia es la determinación de la aceleración de la gravedad a partir del periodo de un péndulo simple. Para ello se mide el tiempo que tarda el péndulo simple en realizar un número de oscilaciones. El valor del periodo se calcula a partir del valor medio de las medidas de los tiempos para longitudes distintas de un hilo del que cuelga una masa. Con estas medidas se estudia la relación entre el periodo del péndulo y la longitud del hilo.

El péndulo simple es un ente matemático sin representación física posible. No obstante, una aproximación aceptable consiste en una masa suspendida de un hilo inextensible y sin peso. Cuando la masa se deja en libertad desde cierto ángulo inicial con la vertical, comienza a oscilar a un lado y otro periódicamente. Cuando el ángulo de desviación máximo respecto de la vertical es pequeño (en la práctica menor que  $10^\circ$ ) el péndulo oscila con movimiento armónico simple alrededor del punto de equilibrio. En esta situación el periodo resulta ser independiente del ángulo inicial, es decir, el ángulo donde se libera el péndulo, y depende únicamente de la longitud del péndulo y de la aceleración de la gravedad. Debido a la relación entre el periodo  $T$  y la aceleración de la gravedad  $g$ , el péndulo simple es un dispositivo preciso y adecuado para medir la aceleración de la gravedad, puesto que la longitud y el periodo pueden medirse fácilmente.

En el desarrollo de la práctica primeramente se debe medir el tiempo  $t$  en que el péndulo realiza  $n = 30$  oscilaciones completas, para la longitud  $l$  señalada en cada caso. El valor del periodo  $T$  para cada longitud se calcula a partir de este tiempo y se representa gráficamente el cuadrado de los periodos como función de la longitud del hilo y mediante el método de los mínimos cuadrados se obtiene la pendiente de la recta. A partir de la pendiente se calcula el valor de la aceleración de la gravedad. Ésta debe expresarse correctamente con su error. Durante el desarrollo de la experiencia, y para tomar nota de las medidas, puede detenerse la reproducción cuando se desee pulsando el botón “pause”.

## Presión de viga en voladizo de material elástico lineal

---

En esta experiencia se va a analizar el problema clásico de la flexión de una viga en voladizo de material elástico lineal, bajo la acción de una fuerza concentrada vertical aplicada en su extremo libre. Se trata de una viga con un extremo empotrado y con el otro libre y debido a la acción de la fuerza aplicada la viga se curva. El objetivo de la experiencia es el estudio de la flexión de una viga en voladizo para pequeños desplazamientos o pequeñas pendientes de la elástica, así como la determinación del módulo de Young del material de la viga.

Para realizar esta experiencia se va a utilizar como viga una regla de acero de 30 cm de longitud y que dispone de divisiones cada medio milímetro. Del extremo libre de la viga se irán colgando pesas, cada una de ellas de 10 g de masa.

Cuando se aplica una fuerza  $F$  en el extremo libre, la viga se deforma respecto a su posición original, es decir, respecto a la posición que tenía cuando la viga estaba deformada debido solo a su peso propio. En esta situación el extremo libre de la viga se desplaza una distancia  $s_F$  respecto a esa posición y que se conoce como “flecha de flexión”.

Para pequeños desplazamientos de la viga, es decir, para pequeñas pendientes de la curva elástica, la flecha de flexión  $s_F$  debida a la fuerza aplicada  $F$  es proporcional a dicha fuerza y la constante de proporcionalidad recibe el nombre de “constante de flexibilidad”.

La constante de flexibilidad es función de la longitud  $L$  de la viga, del módulo de Young  $E$  del material y del momento de inercia  $I$  de la sección transversal de la viga respecto al eje neutro.

Es posible determinar el módulo de Young del material estudiando el desplazamiento vertical  $s_F$  del extremo libre de la viga cuando se aplican distintas fuerzas puntuales  $F$  en dicho extremo libre. Para ello basta con representar gráficamente  $s_F$  en función de  $F$  y para pequeños desplazamientos de la viga se obtiene una recta que se puede ajustar por el método de los mínimos cuadrados. La pendiente de la recta es la constante de flexibilidad.

Para determinar los valores de la flecha de flexión se utiliza una regla vertical con dos marcadores. El marcador superior se coloca en la posición del extremo libre de la viga cuando la fuerza  $F$  aplicada es nula, es decir, cuando solo actúa el peso propio de la viga. Esta posición será el origen de desplazamientos y por tanto el origen de los valores de la flecha de flexión  $s_F$ .

Para cada una de las masas que se van a indicar a continuación toma nota del desplazamiento vertical del extremo libre de la viga con su error absoluto.

Si es necesario se puede detener la reproducción pulsando el botón PAUSE del reproductor.

No olvides que  $s_F$  es el valor debido sólo a la fuerza exterior aplicada  $F$  y que se mide respecto a la posición del extremo libre de la viga cuando solo actúa su propio peso.

Para medir los desplazamientos  $s_F$  se desliza el marcador inferior de la regla vertical hasta la nueva posición del extremo libre de la viga.

## Principio de Arquímedes: Determinación de densidades de sólidos y líquidos

---

El objetivo de esta experiencia es la determinación de la densidad de un sólido (cilindro) y de un líquido problema (etanol) haciendo uso del principio de Arquímedes y utilizando agua destilada como líquido de referencia de densidad conocida. El enunciado del principio de Arquímedes nos dice que todo cuerpo sumergido en un fluido, experimenta un empuje (fuerza) vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado.

Arquímedes nació en Siracusa en el año 287 a.C. Allí trabajó como científico y técnico en la corte del rey Herón II. La solución que dio al problema planteado por el rey se ha hecho famosa. Su tarea consistía en determinar si una corona recién acabada era de oro puro o no. Arquímedes determinó el peso específico de la corona gracias al empuje que ésta experimentaba en el seno del agua, resolviendo así la cuestión. Se cuenta que impulsado por la alegría salió corriendo desnudo por las calles de Siracusa hacia su casa gritando “¡Eureka!, ¡Eureka!”, es decir, “¡lo encontré!, ¡lo encontré!”.

Basándonos en dicho principio podemos calcular la densidad de un sólido sumergiéndolo totalmente en un líquido de densidad conocida, con la ayuda de una balanza y teniendo en cuenta que en este caso el volumen del cuerpo y el del líquido desalojado son elementalmente iguales. A continuación podemos calcular la densidad de un líquido problema conocida la del cuerpo que sumergimos. Tendremos en cuenta la temperatura a que realizamos la experiencia, pues la densidad de los líquidos es función de ésta.

En la primera experiencia haremos tres pesadas: (1) Nos da la masa del sólido. (2) Masa del recipiente más la del líquido de densidad conocida. (3) Engloba la anterior más la masa del líquido desalojado. Operando con estas tres relaciones despejamos la densidad del sólido fácilmente.

En la segunda experiencia como conocemos la masa del sólido y su densidad sólo es necesario hacer dos pesadas: (1) Masa del recipiente más la del líquido de densidad desconocida. (2) Engloba la anterior más la masa del líquido desalojado. Operando con estas relaciones y las conocidas de la experiencia anterior despejamos fácilmente la densidad del líquido problema.

Durante el desarrollo de la práctica y siempre que sea necesario puede pararse la reproducción pulsando el botón “pause”.



## Ley de Torricelli: Vaciado de un depósito

---

El objetivo de esta práctica es verificar experimentalmente que se cumplen las condiciones para la aplicación de la *ley de Torricelli* y estudiar la relación entre el tiempo transcurrido y la altura de líquido en un depósito. Entre las contribuciones científicas de Torricelli se halla la comprobación de que el flujo de un líquido por un orificio es proporcional a la raíz cuadrada de la altura del líquido medida respecto a la posición del orificio de salida.

En esta práctica se comprobará la veracidad de la *ley de Torricelli* para el caso de un depósito cilíndrico al que se le ha practicado un pequeño orificio en su parte inferior. Para ello se vierte agua en el depósito, se realizan unas marcas en el depósito que indican la altura de agua, y se utiliza un cronómetro para medir el tiempo que transcurre en alcanzar el líquido cada una de las marcas. En primer lugar se abre el orificio para que empiece a salir el líquido y, cuando la altura es de 35 cm, se empieza a contar el tiempo. Se puede observar que, a medida que disminuye la altura de agua en el depósito, la distancia horizontal que alcanza el agua fuera del depósito -conocida como *vena líquida*- también decrece, es decir, varía la velocidad de salida por el orificio. Si medimos los tiempos transcurridos entre dos marcas consecutivas, se puede ver que no son iguales y, por tanto, se comprueba que la velocidad cambia con la altura.

Durante el proceso de vaciado se construye una tabla con los valores del tiempo transcurrido y la altura de líquido en el depósito. No obstante, la representación gráfica que se debe realizar es tiempo (s), en el eje de abscisas, y la raíz cuadrada de la altura del líquido en el depósito (altura en m), en el eje de ordenadas. Se realiza un ajuste por el método de los mínimos cuadrados de éstos valores y se comprueba que hay una correlación lineal entre ellos. De esta forma se pueden obtener la ordenada en el origen y la pendiente de la recta. Por último, se deduce el significado físico de la ordenada en el origen y de la pendiente de la recta.

Si es necesario puede pararse la reproducción cuando se desee pulsando el botón “pause” para tomar nota de los tiempos.

## Presión atmosférica sobre los líquidos. Frasco de Mariotte

---

El objetivo de esta práctica es ilustrar el efecto de la presión atmosférica sobre los líquidos. Para ello, se utiliza el frasco de Mariotte, un recipiente atravesado por un tubo abierto por ambos extremos. El frasco está lleno de líquido hasta una altura  $h$  y cerrado mediante un tapón. El tubo atraviesa la pared superior del frasco y tiene su extremo inferior  $A$  sumergido en el líquido contenido. El líquido sale del frasco por un orificio  $B$  practicado en la pared lateral del recipiente, de modo que la altura entre el extremo inferior del tubo  $A$  y el orificio de salida  $B$  es  $H$ .

La práctica muestra el comportamiento del líquido en varias situaciones. Primero, se abre el orificio  $B$  y comienza a salir el líquido. El volumen de aire contenido en la parte superior del frasco aumenta, disminuyendo, por tanto, su presión. La diferencia entre la presión atmosférica y la presión en la parte superior del tubo hace que el líquido descienda más rápidamente por el interior del tubo hasta que el aire que baja por el tubo penetra en el líquido y asciende en forma de burbujas.

Se comprueba que, de acuerdo con la ecuación de Bernoulli, la velocidad de salida del líquido por el orificio  $B$  es constante, siempre que el nivel del líquido en el frasco esté por encima del extremo inferior del tubo  $A$ , ya que la velocidad depende de la distancia entre  $A$  y  $B$ , es decir, de la altura  $H$ , que es constante.

Cuando el nivel del líquido esté por debajo del extremo inferior del tubo, la velocidad de salida dejará de ser constante. De acuerdo con la ley de Torricelli, ahora, la velocidad de salida es función de la distancia entre la altura de la superficie libre del líquido y la posición del orificio de salida, distancia que va disminuyendo,.

Finalmente, se muestra el comportamiento del líquido en un recipiente que no está atravesado por un tubo. En este caso, la ley de Torricelli también implica que la velocidad de salida disminuya conforme baja la superficie libre del líquido en el frasco.

## Movimiento de convección

---

En esta experiencia se reproduce el movimiento de convección en un líquido, el agua, provocando un desequilibrio térmico en su interior. Para ello disponemos de un vaso grande con agua a temperatura ambiente, un matraz, un calentador y un termómetro digital, así como suficiente cantidad de agua teñida para llenar el matraz. El tapón del matraz está atravesado por dos tubos estrechos de vidrio de longitudes distintas para facilitar el paso del agua.

Llenamos el matraz con agua teñida y lo ponemos a calentar. El termómetro nos irá indicando la temperatura del agua. Al cabo de unos minutos la temperatura del agua ha alcanzado casi los 90° C. Entonces tapamos el matraz con el tapón perforado y se sumerge aquél en el vaso grande lleno de agua a temperatura ambiente.

Inmediatamente la diferencia entre las temperaturas del agua del vaso y del matraz produce el movimiento de convección. Mientras que el agua caliente (teñida) de la parte alta del matraz sale por el tubo de vidrio más corto, el agua fría del vaso entra hasta el fondo del matraz por el tubo más largo. El ciclo de convección es completo comprobándose que no disminuye el nivel de agua en el interior del matraz.

Existen tres formas diferentes de transmisión de la energía térmica de un lugar a otro: conducción, convección y radiación. La convección es el transporte de energía térmica que tiene lugar simultáneamente con el transporte del propio medio. Las transferencias de calor por convección son muy importantes en la naturaleza. La mayor parte de las corrientes marítimas y vientos atmosféricos son notables ejemplos de corrientes convectivas. En el caso más simple la convección surge cuando en las distintas partes de un fluido hay temperaturas diferentes, de modo que el fluido caliente se eleva y el fluido frío se hunde. Como se ha señalado, se produce una corriente ascendente de agua caliente (teñida) que se debe a que el líquido al calentarse se expande y se hace menos denso, ascendiendo por lo tanto, mientras que el líquido frío desciende para cerrar así la circulación convectiva. Esta corriente tiende a igualar las temperaturas en toda la masa de agua.

## Ondas estacionarias en una cuerda

---

En esta experiencia se estudia la aparición de ondas estacionarias en una cuerda tensa sujeta por sus dos extremos en función de la tensión aplicada a la misma. Se analizan los diversos parámetros que intervienen en la aparición de ondas estacionarias en la cuerda como son la frecuencia de excitación  $f$ , la densidad lineal de masa  $\mu$  de la cuerda, la tensión aplicada  $T$  y la longitud  $L$  de la cuerda. Todos estos parámetros tendrán un valor fijo en la experiencia, dejando como único parámetro variable la tensión o fuerza aplicada  $T$ .

Para la realización de la experiencia se dispone de una cuerda de longitud  $L$ , uno de cuyos extremos está sujeto a un dinamómetro que nos indica la tensión  $T$  aplicada a la cuerda. El otro extremo se halla sujeto a un motor que produce un movimiento de vibración de pequeña amplitud (de modo que se puede considerar un extremo fijo) y de frecuencia  $f$ . Esta vibración se propaga a lo largo de la cuerda hasta el otro extremo donde resulta reflejada. La onda reflejada se propaga ahora en sentido opuesto, con lo cual en cada punto de la cuerda se produce la superposición o interferencia de la onda incidente y de la onda reflejada. Bajo ciertas condiciones esta superposición genera un estado de vibración especial de la cuerda, que recibe el nombre de onda estacionaria.

A pesar de lo que su nombre pudiera indicar, las ondas estacionarias no son ondas de propagación sino modos de vibración de la cuerda. En el estado de onda estacionaria tenemos que cada punto de la cuerda se encuentra vibrando a la misma frecuencia  $f$  pero con distinta amplitud, encontrándose una serie de puntos, los nodos, cuya amplitud de vibración es nula, y otra serie de puntos, los vientres, cuya amplitud de oscilación es máxima. Se tiene que la distancia entre dos nodos consecutivos es igual a media longitud de onda  $\lambda/2$  de la onda estacionaria. En el vídeo se muestra como la longitud de onda  $\lambda$  de cada uno de los modos de vibración de la cuerda es siempre múltiplo entero de la longitud de onda del modo fundamental, cuyos únicos nodos son los extremos fijos de la cuerda. Disminuyendo la tensión aplicada se muestra como podemos pasar del modo fundamental a los siguientes modos de vibración, cada uno de ellos caracterizado por la aparición de un nuevo nodo en la cuerda.

Por último mencionar que las ondas estacionarias están muy presentes en nuestra vida diaria. Así por ejemplo al tocar música se generan ondas estacionarias en el instrumento musical: en las cuerdas de un instrumento de cuerda, en el aire de la cavidad de un instrumento de viento, o en la membrana de un instrumento de percusión.

## Ondas estacionarias en una placa cuadrada: Figuras de Chladni

---

El objetivo de esta experiencia es la visualización de los modos propios de vibración de una placa cuadrada. Para ello se hará vibrar a diferentes frecuencias una placa metálica cuadrada sujeta por su centro y, espolvoreando arena fina sobre ella se observarán los patrones y líneas nodales que se forman en la misma, correspondiéndose cada patrón con un modo propio o frecuencia propia de vibración de la placa.

El primero en realizar esta experiencia fue Chladni, frecuentemente llamado el padre de la Acústica y que también fue el primero en dar una explicación consecuente de los meteoritos. Para observar los modos de resonancia (modos propios de vibración) de una placa circular o cuadrada, sujeta por su centro, Chladni la hacía vibrar frotándola con el arco de un violín, después de haber espolvoreado arena fina sobre ella. Posteriormente dibujaba las líneas y patrones que formaba la arena sobre la placa. “El sonido puede verse”, fueron las palabras de Napoleón cuando, en 1808, Chladni realizó esta experiencia en la Academia de Ciencias de París.

En esta práctica se llevará a cabo la misma experiencia que realizó Chladni. Para ello se utiliza un generador de frecuencias que se conecta a un motor al cual está sujeta por su centro una fina placa metálica. Si se hace vibrar el motor a diferentes frecuencias, como la placa está solidaria con él también vibrará a dichas frecuencias y, espolvoreando sobre ella arena fina, se observarán los patrones y líneas nodales que se forman sobre la placa. Estos patrones y líneas nodales se corresponden con las zonas y líneas en las cuales la placa no vibra, es decir, los nodos de las ondas estacionarias que se forman en la placa, y por tanto en ellos se producirá una acumulación de arena, dando lugar a curiosas figuras. En distintos momentos de la reproducción se indica la frecuencia a la que está vibrando la placa y, por tanto, a la que se forman la ondas estacionarias en ese momento.



## Interferencia en la superposición de ondas sonoras

---

El objetivo de esta práctica es la demostración del efecto de interferencia que se produce al superponerse varias ondas sonoras. Para ello se emplearán dos diapasones con sus cajas de resonancia, un martillo, un micrófono y un ordenador.

Los diapasones nos servirán para crear dos señales sonoras de dos únicas frecuencias. El martillo se empleará para golpear los diapasones y así hacerlos vibrar. El micrófono lo emplearemos para captar el sonido generado por los diapasones e introducirlo en el ordenador y con éste último mediremos la frecuencia del sonido captado y compararemos las medidas.

En primer lugar se montan los diapasones en las cajas de resonancia con el fin de amplificar el sonido que generan. Primero golpearemos un diapasón con el martillo, registraremos con el micrófono la variación de presión en el aire producida y la introduciremos en el ordenador, el cual nos indicará la frecuencia de la onda sonora generada. Seguidamente realizaremos la misma tarea con el segundo diapasón, éste será cargado con un lastre para variar ligeramente la frecuencia de la onda producida y así tener dos ondas sonoras parecidas.

Una vez conocemos las dos ondas que generan los diapasones estudiaremos la interferencia que se produce al combinar las dos ondas. Para ello emplearemos los dos diapasones, primero golpearemos uno y seguidamente el otro. De nuevo con el micrófono registraremos el sonido y lo introduciremos en el ordenador el cual nos mostrará la interferencia que se produce.

La frecuencia de la onda resultante será la media de las frecuencias producidas por los dos diapasones, y la frecuencia de la pulsación resultante será la diferencia entre ellas.



## Interacción magnética: Acciones entre imanes

---

El objetivo de esta demostración es ilustrar la interacción magnética que se produce de forma natural en ciertos minerales de hierro y también entre cuerpos que han sido sometidos previamente a la acción de un campo magnético externo (proceso de imantación).

El origen del conocimiento de la interacción magnética o magnetismo se remonta a varios siglos antes de Cristo, cuando el hombre observó que existen ciertos minerales de hierro que tienen la propiedad de atraer pequeños trozos de hierro. Uno de estos minerales, la magnetita, es una roca negra de origen volcánico formada fundamentalmente por óxidos de hierro y cuyo nombre proviene de la ciudad de Magnesia, en Asia Menor, donde se encontraban los principales yacimientos. A pesar de que la magnetita es el único material donde se puede observar de forma natural el magnetismo, existen también otros cuerpos, que después de someterse a la acción de un campo magnético externo, lo que se conoce como proceso de imantación, son capaces de atraer trozos de hierro. Estos cuerpos se llaman *imanes*.

Se observa que el magnetismo se concentra en los extremos de un *imán*, que se designan *polo norte* y *polo sur*. Entre los *polos* de dos imanes se ejercen fuerzas a distancia. Estas fuerzas son atractivas cuando la interacción se produce entre *polos* de distinto nombre y son repulsivas si la interacción se produce entre polos de igual nombre. También es posible observar la existencia de la fuerza magnética cuando se colocan dos *imanes*, uno a continuación del otro, en un eje vertical. La fuerza entre los *polos* opuestos es tan grande que el segundo *imán* queda flotando en el aire, en reposo en el punto donde la fuerza de repulsión entre los dos *imanes* es igual al peso del *imán* superior. Si acercamos más los dos *imanes*, la fuerza de repulsión aumenta y se hace mayor que el peso, por lo que el *imán* asciende y se para en el punto de equilibrio.

Otro de los fenómenos conocidos desde la antigüedad es que si una aguja magnética se deja girar libremente siempre señala la dirección Norte-Sur. La primera explicación de este hecho fue dada hacia 1600 por Gilbert, médico de la Reina Isabel I de Inglaterra, que publicó el libro “De Magnete”, primer estudio científico sobre el magnetismo terrestre y el magnetismo en general. Gilbert consideró a la Tierra como un gran imán natural cuyos *polos* magnéticos son próximos a los *polos* norte y sur geográficos. El *polo* sur de este gran *imán* que es la Tierra es el que está cerca del polo norte geográfico y, por tanto, es el que señala el *polo* norte de la aguja imantada. El conocimiento de este fenómeno dio lugar al desarrollo de la brújula, un dispositivo que señala siempre el norte.

Cuando se acerca un *imán* potente a la brújula podemos observar que el *polo* norte de la aguja de la brújula es atraído por el *polo* sur del *imán*. Si se cambia la orientación del *imán* respecto a la brújula se puede observar que ahora el *polo* norte del *imán* repele al *polo* norte de la aguja y atrae a su *polo* sur. Esto se debe a que la atracción del *imán* es más fuerte que la que ejerce la Tierra sobre la brújula.



## **El experimento de Oersted: Acción de una corriente sobre un imán**

---

El objetivo de esta experiencia es recrear el famoso experimento de Oersted sobre la desviación que sufre una aguja magnética situada en las proximidades de un conductor eléctrico, publicado en Copenhague el 21 de julio de 1820.

Para llevar a cabo el experimento vamos disponer de una aguja imantada que puede girar en torno a un eje que pasa por su centro. Inicialmente, sobre la aguja sólo actúa el campo magnético terrestre de forma que ésta se orienta en la dirección Norte-Sur.

Con la aguja en equilibrio, colocamos un tramo de conductor recto paralelo a la aguja. Un amperímetro conectado en serie con el conductor nos indicará cuando circula corriente por el mismo. En esta situación, si hacemos circular una corriente elevada por el conductor, del orden de 6 amperios, observamos que la aguja se desvía de su posición de equilibrio, oscilando en torno a las direcciones paralela y perpendicular al conductor. Al eliminar la corriente, la aguja vuelve a oscilar en torno a la dirección paralela al conductor (Norte-Sur) hasta que se detiene. Seguidamente se invierte el sentido de la corriente, observándose que ahora la aguja se desvía en sentido contrario.

Podemos concluir que cuando circula corriente por el conductor sobre la aguja magnética actúan dos fuerzas, la fuerza debida al campo magnético terrestre y la fuerza originada por el campo magnético que el conductor crea en su entorno.

A continuación se realiza un montaje en el que mediante imanes se contrarresta el campo magnético terrestre en la zona donde se encuentra situada la aguja magnética. Haciendo pasar nuevamente corriente por el conductor se observa que la aguja, afectada casi exclusivamente por la fuerza magnética que origina la corriente, oscila en torno a la dirección perpendicular al conductor.

El experimento de Oersted puso por primera vez de manifiesto que existía una conexión entre los fenómenos eléctricos y magnéticos. La publicación de este trabajo causó inmediatamente sensación, dando lugar a muchas interrogantes y estimulando un gran número de investigaciones. A partir de esta experiencia pudo revelarse la verdadera naturaleza del magnetismo, cuyo origen debe situarse en el movimiento de cargas eléctricas. Tomando como punto de partida el experimento de Oersted, a fines de 1820 se conocían las primeras leyes cuantitativas de la electrodinámica y hacia 1826 Ampère ultimaba una teoría que permaneció durante casi 50 años, hasta la formulación de la teoría electromagnética por Maxwell.

## Acciones entre corrientes

---

El objetivo de esta experiencia es comprobar las fuerzas que se originan entre dos conductores paralelos y próximos entre sí, por los que circulan corrientes en el mismo sentido y en sentido contrario.

A partir del 18 de septiembre de 1820, una semana después de presenciar la experiencia de Oersted, Ampère presentó semanalmente en la Academia de Ciencias de París una serie de trabajos que contribuyeron de forma notable a desarrollar las bases del electromagnetismo moderno. Entre otras cuestiones, Ampère demostró que las corrientes eléctricas se atraen o repelen según unas leyes concretas, construyendo una brillante teoría matemática sobre la atracción de las corrientes.

Para comprobar experimentalmente la acción entre corrientes disponemos de dos tramos de conductor rígido suspendidos por conductores flexibles. Si por los conductores no circula corriente, la única fuerza que actúa sobre ellos es su peso. Desplazando cualquiera de ellos de su posición de equilibrio, el conductor oscila en torno a dicha posición debido a la acción gravitatoria.

Partimos desde una posición inicial en la que los conductores rígidos están en equilibrio, paralelos entre sí y separados por una pequeña distancia. Para que el efecto sea apreciable hemos de utilizar una corriente elevada, sirviéndonos de una batería de coche conectada directamente a los conductores flexibles. El tiempo que puede estar circulando la corriente debe de ser pequeño para evitar el calentamiento excesivo de los conductores.

Cuando hacemos circular corrientes en el mismo sentido por ambos conductores aparece sobre ellos una fuerza magnética atractiva que tiende a juntarlos. Al cortar la corriente, los conductores quedan sometidos únicamente a la acción gravitatoria oscilando en torno a su anterior posición de equilibrio.

Seguidamente se muestra otra secuencia donde se han utilizado conductores con menor peso. Aunque se pierde rigidez y cierto paralelismo, se aprecia mejor el efecto atractivo de las corrientes por disminuir la intensidad de la acción gravitatoria. A continuación hacemos circular por los conductores corrientes con sentido contrario. Ahora la fuerza magnética entre ambos es repulsiva y tienden a separarse. En este caso los conductores quedan oscilando en torno a una posición donde se equilibran las fuerzas magnética y gravitatoria que actúan sobre ellos.

## Ley de Biot-Savart: Campo magnético de un solenoide

---

El objetivo de esta experiencia es comprobar la validez de la *ley de Biot-Savart*. Para ello se mide el campo magnético a lo largo del eje de un solenoide con un teslámetro (sonda Hall) y se estudia la relación entre el valor del campo magnético en el centro del solenoide y la intensidad de corriente eléctrica que circula por el mismo.

A principios del otoño de 1820, los científicos franceses Biot y Savart miden la dirección de las oscilaciones de una aguja imantada según la distancia a una corriente eléctrica rectilínea, comprobando empíricamente que la fuerza producida por dicha corriente eléctrica es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia y directamente proporcional a la intensidad de la misma. Basándose en estos resultados, Laplace dedujo matemáticamente la *ley de Biot-Savart*, que por lo tanto es conocida también como *ley de Laplace*, y que permite calcular el campo magnético creado por un elemento de corriente de un conductor por el que circula una corriente de una determinada intensidad, en un punto a una cierta distancia del conductor.

En esta práctica, se comprobará la veracidad de la *ley de Biot-Savart* para el caso especial de un solenoide uniformemente arrollado de una determinada longitud, radio y número de vueltas. Para ello se utiliza una fuente de alimentación que nos permite seleccionar (con ayuda de un polímetro empleado como amperímetro) una corriente eléctrica que hacemos pasar a través de dicho solenoide.

Con la fuente de alimentación apagada, se alinean la sonda y el solenoide, de forma que la sonda pueda desplazarse por el interior del solenoide siguiendo una regla-guía. Posteriormente, desplazando la sonda a lo largo de la regla de forma que el extremo de dicha sonda recorra el solenoide de un lado a otro podemos ir viendo en el teslámetro como cambia el valor del campo magnético.

A continuación se sitúa el extremo de la sonda Hall en el centro geométrico del solenoide. Posteriormente, utilizando el potenciómetro de la fuente de alimentación vamos variando la intensidad de corriente eléctrica  $I$  que circula por el mismo (el valor exacto de la intensidad que circula por el solenoide se mide con el amperímetro) y comprobamos como el valor del campo magnético  $B$ , medido en el teslámetro, va cambiando de forma directamente proporcional al valor de dicha intensidad de corriente. Se toma nota en una tabla los valores de intensidad de corriente eléctrica y campo magnético. Se representan gráficamente estos valores y se realiza un ajuste por el método de los mínimos cuadrados obteniendo la pendiente de la recta con su error.

Por último comprobamos que al invertir la polaridad de la fuente de alimentación, intercambiando el cable rojo por el azul a la salida de la fuente (es decir de una intensidad de corriente  $I$  pasamos a una intensidad de corriente  $-I$ ) el signo del campo magnético registrado con el teslámetro digital pasa de ser positivo a negativo.

Durante el desarrollo de la experiencia puede pararse la reproducción pulsando el botón “pause”.

## Ley de Faraday-Henry: corriente eléctrica en una espira

---

En esta experiencia se demuestra la aparición de una corriente eléctrica en una espira, cuando el campo magnético que atraviesa la superficie limitada por la misma varía con el tiempo. A este proceso se le denomina inducción electromagnética y es el principio fundamental del generador eléctrico, del transformador y de otros muchos dispositivos de uso cotidiano. Fueron Michael Faraday, en Inglaterra, y Joseph Henry, en los Estados Unidos, los que a principios de la década de 1830, descubrieron, independientemente, este fenómeno físico.

Para realizar la experiencia de inducción electromagnética, se utilizará una bobina con un gran número de espiras, conectada, mediante dos cables, a un amperímetro, así como un imán.

En primer lugar, se ajusta el amperímetro, de modo que el cero quede en el centro de su escala. Se observa, que cuando la corriente va en un determinado sentido, la aguja del amperímetro se desplaza, por ejemplo, hacia la izquierda del cero, mientras que, si la corriente cambia de sentido, la aguja se desplaza hacia la derecha.

Para generar una fuerza electromotriz inducida, y por tanto, una corriente inducida, se aleja o se acerca el imán introduciéndolo y sacándolo de la bobina. Al acercar el imán, la aguja del amperímetro se desplaza hacia la izquierda, mientras que al alejarlo lo hace hacia la derecha. Sin embargo, no existe corriente inducida si el imán está en reposo respecto de la bobina. Puede verse en este caso, que la aguja del amperímetro no se mueve. Si se cambia la orientación del imán, y por tanto, la de su campo magnético, se produce el mismo fenómeno, pero ahora, el sentido de la corriente inducida es distinto que en el caso anterior. También se observa cómo si el imán se acerca, o se aleja, más rápidamente, la corriente inducida es mayor.

Se puede también generar una corriente en la bobina, manteniendo el imán en reposo y moviendo únicamente la bobina respecto al imán, alejándola o acercándola. Al igual que en los casos anteriores, cuando no hay movimiento relativo entre la bobina y el imán, no existe corriente inducida, y por lo tanto, la aguja del amperímetro no se mueve.

El principio que explica la existencia de corrientes inducidas en la bobina cuando el flujo electromagnético está variando se denomina ley de Faraday-Henry. Dicha ley establece que la fuerza electromotriz,  $\varepsilon$ , depende de la rapidez con la que varíe el flujo magnético,  $\phi$ .



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante