

Catálogo de experiencias de cátedra para la docencia de Física General

Segunda Edición

Facultad de Ciencias Físicas
Laboratorio de Física General



Universidad
Complutense
Madrid



Prefacio a la segunda edición

Esta segunda edición presenta un catálogo ampliado de experiencias actualmente disponibles en el Laboratorio de Física General de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid. Las novedades de esta segunda edición son las siguientes:

- Hemos completado el catálogo con 6 experiencias adicionales, atendiendo especialmente a las áreas de la física menos cubiertas en la edición original. En concreto son experiencias de Ondas (Placa de Chladni), Mecánica (Cuna de Newton, Momento angular en una rueda de bici), Fluidos (Densidad de sólidos), Termodinámica (Enfriamiento por radiación) y Electromagnetismo (Tubos de Lenz).
- Se han grabado los vídeos correspondientes a las prácticas citadas. Son vídeos de unos 2 o 3 minutos de duración presentados por algún miembro del equipo del proyecto, a diferencia de los anteriores que contaban con una versión larga y otra corta. La principal razón para este cambio ha sido el hecho contrastado a través del canal youtube de que la mayoría de los visionados no superan dicho tiempo. Hemos apostado pues por tratar de transmitir la información relevante sin superar demasiado los dos minutos.
- Se ha añadido una serie de cuestionarios con preguntas sencillas sobre cada experiencia destinados a los estudiantes. El propósito de dichos cuestionarios es doble. Por un lado, favorecen la escucha atenta ya sea de la explicación de la experiencia en el aula o del vídeo. Además, permiten evaluar al alumno, completando este aspecto de la actividad docente que estaba ausente en el anterior catálogo.
- Hemos procedido al subtítulo en inglés de la mayoría de los vídeos *cortos* del canal youtube. Los vídeos cortos no contaban con ninguna explicación pues su finalidad original era de servir de apoyo en el aula de modo que el profesor pudiera realizar sus propios comentarios. Siendo los vídeos cortos más populares en el canal youtube, y con la idea de ampliar el público objetivo, hemos decido incluir una breve explicación de lo que se ve en dichos vídeos en forma de subtítulos en inglés. Algunos vídeos han sido subtítulos también en su versión *larga*, en inglés y en español con la misma finalidad de hacerlos accesibles a un público más amplio.
- El proyecto cuenta con una nueva web institucional en <http://www.ucm.es/theoscarlab>. Hemos aprovechado esta segunda edición para actualizar el enlace web en estas páginas y en las fichas, ya que en breve el sitio antiguo será eliminado.

Agradecimientos

Este catálogo de experiencias de cátedra ha sido realizado gracias a la financiación del Vicerrectorado de Evaluación de la Calidad UCM a través de la concesión del Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente “Ampliación del catálogo OSCAR de experiencias de cátedra para la docencia de Física General” en su convocatoria de 2013.

Agradecemos a **Oscar Rodríguez Pérez**, actualmente técnico del Laboratorio de Física General, su labor de operador de cámara improvisado en la realización de los nuevos vídeos y a **Oscar Rodríguez López** su ayuda en el desarrollo de las nuevas experiencias.

El Equipo del Proyecto

Madrid, octubre de 2013

Prefacio a la primera edición

Las experiencias de cátedra son un recurso docente que consiste en la realización de experimentos y demostraciones en el aula durante las clases magistrales. Estos experimentos sirven para ilustrar fenómenos físicos que se explican de modo teórico en clase. Suelen provocar la sorpresa del estudiante, atrayendo su atención y haciendo que el alumno se interrogue sobre los procesos que están teniendo lugar. Generan así un contexto propicio que facilita una mejor comprensión de los contenidos teóricos y de su aplicación práctica.

En el Laboratorio de Física General de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid se han venido desarrollando desde hace tiempo una serie de experimentos y demostraciones que pueden utilizarse como experiencias de cátedra. Se trata de experimentos de muy diversos tipos que cubren desde el funcionamiento de aparatos de la vida cotidiana, como el temporizador de una escalera, hasta fenómenos que ilustran principios físicos fundamentales de campos como el Electromagnetismo o la Termodinámica. Tienen en común su carácter visual y la posibilidad que se brinda a los estudiantes de interactuar con ellos. En su mayor parte han sido desarrollados por el personal técnico del Laboratorio con el apoyo del personal docente asociado a éste.

El catálogo

Para facilitar el uso de estas experiencias de cátedra se ha elaborado el presente catálogo. Su objetivo principal es fomentar el uso de estas experiencias ya elaboradas para la docencia de asignaturas de Física de los primeros cursos de diversas titulaciones impartidas en la Universidad Complutense de Madrid. Para hacerlo también accesible a un público más general se ha elaborado una página web (<http://www.ucm.es/theoscarlab>) donde se expone la documentación completa asociada al catálogo que sirve para poder recrear las experiencias propuestas y un canal en el sitio web YouTube (<http://www.youtube.com/user/TheOscarlab>).

El catálogo se compone de material didáctico escrito y audiovisual. La parte escrita, que se agrupa en este volumen, consiste en una ficha para cada una de las 30 experiencias de cátedra que componen el catálogo. Esta ficha consiste en una hoja a doble cara que puede ser empleada por el profesor que quiera presentar la experiencia en el aula. Cada ficha contiene:

1. Una lista de los principios físicos que ilustra la experiencia. Resulta útil para localizar rápidamente una experiencia por temática: ondas, ley de Lenz, principio de Bernoulli, etc...
2. Una fotografía (o diseño) de la experiencia.
3. El código PIRA asociado a cada experiencia. Se trata de un código de clasificación internacional desarrollado por la Asociación de Recursos Docentes de Física (del inglés Physics Instructional Resource Association: <http://physicslearning.colorado.edu/PiraHome/index.html>).
4. Una breve descripción de la experiencia.
5. Un enlace a la página oficial del proyecto.
6. Una breve explicación de los fundamentos físicos en los que se basa la experiencia.
7. Una lista del material empleado y una descripción sucinta de cómo se ha fabricado la experiencia.
8. Precauciones especiales que se han de tener con la experiencia, consejos para su buen uso y mantenimiento, indicaciones para aumentar su valor educativo y cuestiones a proponer a los alumnos para discutir en clase.
9. Una imagen con el código QR que enlaza con la página web de la experiencia y donde se encuentra accesible el material audiovisual asociado.

La parte audiovisual consiste en dos vídeos, uno *largo* (aproximadamente cinco minutos de duración), donde un miembro del proyecto explica los fenómenos físicos que tienen lugar y el funcionamiento de la experiencia, y otro *corto* en el que sólo se muestra la experiencia en funcionamiento. El largo está pensado como una explicación auto-contenida orientada al aprendizaje autónomo, accesible a través de la página web oficial del proyecto y del canal de YouTube y que también se puede mostrar en aulas acondicionadas para audio. El corto puede ser empleado por los profesores que prefieran explicar la experiencia ellos mismos mientras muestran el vídeo en clase. Este material audiovisual está disponible en la página web del catálogo (<http://www.ucm.es/theoscarlab>) y en el canal del sitio web YouTube asociado (<http://www.youtube.com/user/TheOscarlab>)

Agradecimientos

Este catálogo de experiencias de cátedra ha sido realizado gracias a la financiación del Vicerrectorado de Evaluación de la Calidad UCM a través de la concesión del Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente “Catálogo de experiencias de cátedra para la docencia de Física General” en su convocatoria 2011/2012.

El proyecto no habría sido posible sin la labor desempeñada durante años por el Técnico del Laboratorio de Física General de la Facultad de Ciencias Físicas **Oscar Rodríguez López**, creador de la mayor parte de las experiencias. Su contribución para la elaboración del catálogo ha sido también fundamental, a través de la explicación del funcionamiento, de las discusiones acerca del fundamento teórico y como apoyo en la grabación de cada una de las experiencias. Por todo ello deseamos expresarle nuestro más sincero agradecimiento.

Por último, la grabación, edición y montaje del material audiovisual han sido realizados por los colaboradores externos **Oscar Villarejo** y **Sara Mohino**, ambos Ingenieros Técnicos de Telecomunicaciones especializados en Imagen y Sonido. Estos colaboradores han aportado no sólo sus horas de trabajo sino también el material necesario para las grabaciones y el montaje. En total han elaborado aproximadamente unas cuatro horas de material audiovisual en formato final. Desde aquí les agradecemos profundamente su gran labor.

El Equipo del proyecto.

Madrid, julio de 2012

Índice de Fichas por Categoría**Mecánica**

La <i>cuna</i> de Newton	1
Momento angular en una rueda de bici.....	4

Fluidos

Tensión superficial: objetos en la superficie del agua	7
Tensión superficial y películas de jabón	10
Densidad de sólidos	13
Pelota de ping-pong levitando	16

Oscilaciones y ondas

Estudiando un minuterero de escalera	19
Figuras de Lissajous	22
Ondas estacionarias en una cuerda	24
Cubeta de ondas	26
Velocidad del sonido	28
Tubo de Rubens	31
Tubo de Kundt	34
Placa de Chladni.....	37

Termodinámica

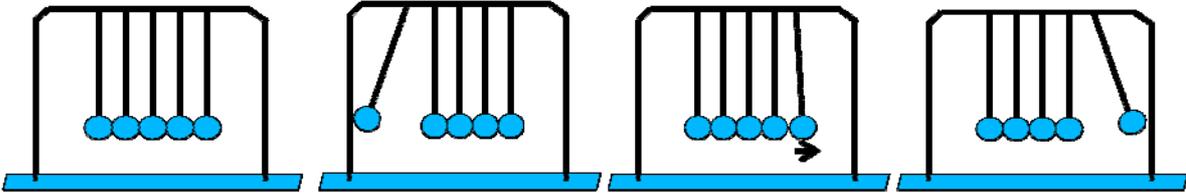
Enfriamiento radiativo	40
Motor de Stirling	42

Electricidad y Magnetismo

El Electroscopio	45
Campana de Franklin	48
Varita mágica	51
Generador de Van der Graaff	53
Motor líquido	56
Pilas cobre zinc	59
Cubo de resistencias y LEDs	61
Cañón de Gauss	63
Levitron	66
Fuerzas de Lorentz	68

Atracción y repulsión entre corrientes	71
Anillo de Thomson	74
El motor eléctrico más sencillo	77
Freno magnético	80
Corrientes inducidas	83
Tubo de Lenz	85
Simulación de un aerogenerador	87
Motor electrostático	90
Bobina de Tesla	93
Óptica	
Difracción a través de una rendija	96

La cuna de Newton.

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	1N30.10
Colisiones elásticas e inelásticas: conservación del momento y de la energía. Energía cinética y potencial. Ondas de choque.		
3. Descripción Un conjunto de bolas de acero idénticas alineadas cuelga de hilos inextensibles. Tras separar la bola de un extremo de la posición de equilibrio la soltamos de nuevo. Cuando la bola, al oscilar, golpea al grupo la bola situada en el extremo opuesto sube hasta casi la misma altura que habíamos levantado la inicial. Existen distintas variantes.		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab		Transportable: Si
<p>5. Fundamento teórico</p> <p>Para explicar de forma sencilla el experimento asumiremos que las bolas no están inicialmente en contacto, por lo que las colisiones se producen siempre entre dos bolas, y que son perfectamente elásticas.</p> <p>En primer lugar levantamos una de las bolas de los extremos hasta una cierta altura, proporcionándole una energía potencial determinada, $E=E_p$. Al soltarla la bola se mueve a lo largo de un arco de círculo hasta volver a su posición de equilibrio, cuando lo alcanza toda su energía potencial se ha convertido en cinética. En cuanto sobrepase dicha posición colisionará con la bola vecina. Al tratarse de bolas de acero que no se deforman permanentemente la colisión se podrá considerar como perfectamente elástica conservándose energía y momento. Esto exige que todo el momento lineal y energía se transfieran a la segunda bola que a su vez chocará con la tercera y esta con la cuarta, etc. De no existir disipación, una buena aproximación en este caso, la última bola habrá adquirido la misma energía cinética que tenía la primera y por tanto alcanzará una altura igual por el otro extremo a la que le habíamos dado a la primera. La situación se resume en la figura.</p> <div style="text-align: center;">  <p>1) $E_p=0 \quad E_c=0$ 2) $E_p=E \quad E_c=0$ 3) $E_p=0 \quad E_c=E$ 4) $E_p=E \quad E_c=0$</p> </div> <p>Se puede comentar que la energía que se transmite a lo largo de la cadena de bolas intermedias que no se mueven, por sencillez se puede explicar cómo un movimiento imperceptible de las bolas, pero también como una onda que se propaga por las bolas.</p> <p>Si levantamos dos bolas en lugar de una en la parte izquierda veremos como en la parte derecha se levantan también dos. Existen muchas otras posibilidades.</p> <p>Finalmente es posible asimismo convertir las colisiones en inelásticas colocando algo de plastilina entre la primera bola y la segunda bolas, en ese caso observamos que las bolas se mueven de forma muy distinta.</p>		

6. Materiales y montaje.

- Experiencia ya montada consistente en 5 bolas de acero colgadas de hilos
- Plastilina

Como hemos dicho se pueden resaltar muchos puntos. Sugerimos actuar de la siguiente forma.

1. Levantar la bola de la izquierda, explicar que gana energía potencial que le proporcionamos nosotros.
2. Soltar la bola y explicar que la energía potencial se convierte en cinética.
3. Observar el choque.
4. Explicar que se conserva el momento y por eso la última bola sale con la misma velocidad y en la misma dirección que llevaba la primera.
5. Explicar que se otra vez por conservación de la energía se alcanza la misma altura.
6. Repetir el experimento con dos bolas, preguntando antes a los espectadores qué esperan que ocurra y explicándolo.
7. Explicar los puntos más sutiles como la transmisión del momento y la energía por la cadena.
8. Comentar qué ocurre con el momento cuando la bola llega al extremo superior. ¿Dónde ha ido a parar? ¿De dónde provino inicialmente? ¡De alguna forma cuando la bola oscila adelante y atrás la Tierra hace lo contrario!
9. Repetir el experimento añadiendo plastilina. ¿Cuáles son las diferencias? ¿Se conserva el momento? ¿Se conserva la energía?
10. Realizar otras experiencias: como separar dos bolas, una de cada extremo y soltarlas a la vez o separar tres de uno de los extremos.
11. Añadir plastilina y repetir los primeros puntos.

7. Observaciones.

La explicación del caso general y más realista en el que las bolas están en contacto puede encontrarse en [1] y referencias incluidas, pero a nuestro entender no ayuda tanto a la comprensión de las leyes fundamentales de la mecánica como la explicación simplificada.

El nombre de “Newton’s cradle” o “cuna de Newton” parece que surgió a partir de un nombre comercial inventado para un modelo específico.

Referencias:

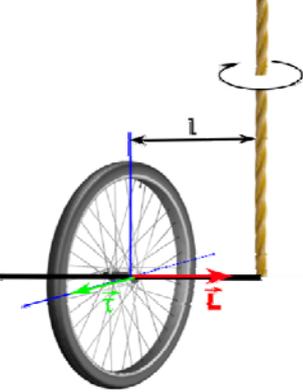
[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_cradle



La cuna de Newton

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Responde a todas las cuestiones breve y razonadamente en el espacio proporcionado. Si es test: Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Cuando quitamos todas las bolas menos una, la levantamos y la soltamos luego; la bola llega prácticamente hasta la misma altura inicial. Esto se debe a que:</p> <p>a) Que se conserva el momento lineal. b) Que las bolas están hechas de acero. c) Que se conserva la energía</p> <p>Explícalo muy brevemente.</p> <p>2. Cuando chocan entre sí dos bolas. Si la bola en movimiento queda quieta la bola inicialmente quieta sale con la misma velocidad y dirección que llevaba la que estaba en movimiento. ¿Por qué ocurre esto?</p> <p>3. ¿Cómo se transmiten el momento y la energía a lo largo de la cadena de bolas?</p> <p>4. ¿Por qué cuando choca una bola con el grupo no salen nunca dos bolas por el otro extremo? a) Porque no se conservaría el momento lineal. b) Porque no se conservaría la energía c) Porque no se conservarían al mismo tiempo el momento lineal y la energía</p> <p>Razona brevemente tu respuesta</p> <p>5. ¿Funcionaría igual la cuna de Newton si las bolas fueran blandas, por ejemplo de plastilina? Explícalo brevemente:</p>	

Momento angular en una rueda de bici

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	1Q40.30
Torques y momento angular Conservación del momento angular		
3. Descripción		
<p>Se muestra la precesión de una rueda de bici colgada de una cuerda. Se logra girar una persona sentada en una silla giratoria al cambiar la orientación de una rueda de bici girando.</p>		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>Con esta experiencia se pueden ilustrar efectos como la precesión o la conservación del momento angular. Para el primero, se suspende la rueda de bici con ayuda de una cuerda atada a un extremo del eje. Mientras se sujeta el otro extremo se hace girar la rueda y después se suelta ese extremo. La rueda no cae, sino que comienza a girar en el plano horizontal. Para explicarlo hay que recordar la relación entre el torque neto ($\vec{\tau}$) que se ejerce sobre un cuerpo que gira con momento angular \vec{L}:</p>		
$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$		
<p>En nuestro caso, el torque se produce por el peso de la rueda a una distancia l del punto de sujeción de la cuerda (ver diagrama). Al tener este torque una dirección perpendicular al momento angular de giro de la rueda, su efecto va a ser el de cambiar la dirección del momento angular (no su módulo), lo que lo hace girar en el plano horizontal. Se puede estimar la velocidad angular de precesión (ω) si se conoce el momento angular inicial de giro de la rueda (\vec{L}), ya que $\theta = \left \frac{d\vec{L}}{ \vec{L} } \right$, con θ ángulo de giro del eje de la rueda en el plano horizontal. Por lo que $\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{ \vec{\tau} }{ \vec{L} } = \frac{Mgl}{ \vec{L} }$, con M masa de la rueda, g aceleración de la gravedad y l distancia del punto de sujeción de la cuerda al centro de masas de la rueda.</p>		
<p>Para mostrar la conservación del momento angular se necesita una silla o plataforma que pueda girar con muy poco rozamiento. Se sujeta la rueda con el eje horizontal y se hace girar. Se levantan los pies del suelo y se mueve el eje de la rueda hasta dejarlo vertical. Se observa que la silla/plataforma gira en sentido contrario al de la rueda. Para explicarlo se acude al principio de conservación del momento angular. En nuestro caso el sistema silla+persona+rueda no tenía inicialmente momento angular vertical. Como no se producen torques externos al sistema con dirección vertical, el momento angular ha de mantenerse constante en esta dirección. De este modo, el momento angular vertical de giro de la rueda se ha de ver compensado por otro equivalente de sentido opuesto, lo que hace girar a la silla en sentido contrario. En la horizontal el momento angular no se conserva.</p>		

6. Materiales y montaje

- Rueda de bici
- Dos tubos
- Cuerda
- Silla o plataforma giratoria con poco rozamiento

Para facilitar el agarre de la rueda, se adosan los dos tubos pequeños al eje de giro de ésta. Para la primera experiencia, se ata un cabo de la cuerda a un extremo de uno de los tubos de manera que se pueda sostener de ese lado sujetando el otro cabo de la cuerda. Para la segunda experiencia, se prescinde de la cuerda y se sujeta la rueda de la bici por los tubos adosados al eje de giro.

7. Observaciones

Se necesita una silla o plataforma giratoria con muy poco rozamiento para poder ver el efecto.

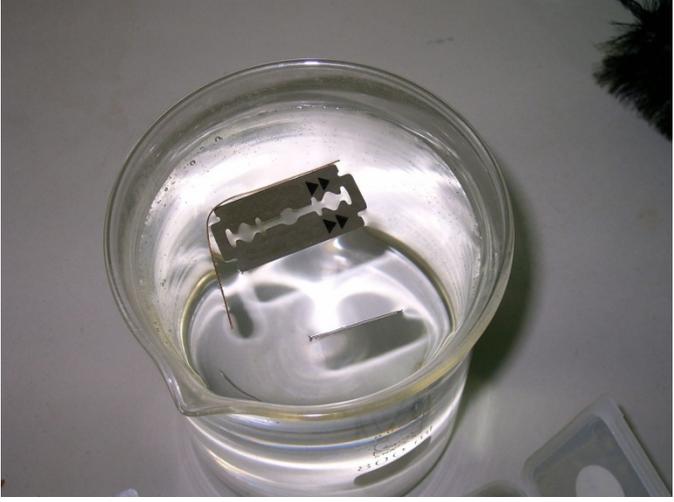
Con esta rueda de bici también se puede mostrar la conservación del momento angular de la siguiente manera: se hace girar la rueda de la bici con el eje vertical y sostenida por la persona que está en la silla con los pies apoyados en el suelo. Se levantan los pies del suelo y se procede a frenar la rueda. Se observará que la silla girará con el mismo sentido que lo hacía la rueda de la bici.

Con ayuda externa se puede conseguir velocidades de giro mayor pasando la rueda de la bici girando varias veces entre el que está sentado en la silla y el ayudante externo.



8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
Instrucciones. <i>Sólo una de las respuestas es correcta.</i>	
<p>1. El momento angular de un sistema de partículas ...</p> <p>a) se conserva si el torque neto aplicado al sistema es nulo. b) se conserva si el torque neto aplicado al sistema en la dirección del momento angular es nulo. c) no se conserva en ningún caso.</p> <p>2. ¿Qué ocurre si se aplica un torque perpendicular al momento angular de un sistema de partículas?</p> <p>a) Se modifica la dirección del momento angular pero no su magnitud. b) Se modifica la magnitud del momento angular pero no su dirección. c) Se modifica tanto la magnitud como la dirección del momento angular.</p> <p>3. ¿Por qué se produce la precesión de la rueda de bici que gira suspendida de una cuerda?</p> <p>a) Porque la cuerda se ata cerca del centro de masas de la rueda. b) Porque el peso de la rueda produce un torque perpendicular al eje de giro de la rueda. c) Porque el momento angular de la rueda se conserva en ausencia de torques externos.</p> <p>4. Si colocados en una silla o plataforma que puede girar con muy poco rozamiento sostenemos una rueda de bici con el eje vertical y la ponemos a girar ...</p> <p>a) comenzaremos a girar en el mismo sentido que la rueda. b) comenzaremos a girar en el sentido opuesto al de la rueda. c) no giraremos.</p> <p>5. En ausencia de rozamiento, la mayor rapidez que empleemos al cambiar el eje de giro de la rueda de la horizontal a la vertical sentados en una silla giratoria ...</p> <p>a) resultará en una mayor velocidad angular de giro de la silla una vez esté el eje de la rueda en vertical. b) resultará en una menor velocidad angular de giro de la silla una vez esté el eje de la rueda en vertical. c) no influirá en la velocidad angular de giro de la silla una vez esté el eje de la rueda en vertical.</p>	

Tensión superficial: objetos en la superficie

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	2A10.20
Tensión superficial. Efecto de un tensoactivo		
3. Descripción		
Distintos objetos de metal, más densos que el agua, flotan en la superficie si se depositan con cuidado. Además, si se pone una gota de jabón en el centro de un triángulo formado por palillos flotando en el agua, estos se desplazarán a gran velocidad sobre la superficie.		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>Según el principio de Arquímedes, el empuje que experimentan los objetos macizos de metal no es suficiente para compensar su peso y mantenerlos a flote en el agua, debido a la mayor densidad del metal. Sin embargo, si son objetos de poco peso y los situamos con cuidado en la superficie pueden llegar a flotar gracias a la pequeña fuerza extra de la tensión superficial.</p>		
<p>La explicación más sencilla la podemos encontrar con la siguiente analogía. La superficie del agua se comporta aproximadamente como una superficie de goma elástica. Es decir, si se deforma, aparece una fuerza dirigida tangencialmente a la superficie y que trata de llevar a la superficie a su forma anterior de reposo, plana en el caso de un poco de agua en un vaso o plato. Esta fuerza, medida por unidad de longitud, es la fuerza de tensión superficial.</p>		
<p>Cuando se coloca un objeto de metal, puesto que el metal no se moja bien, dicho objeto deforma la superficie, provocando una pequeña concavidad. La tensión superficial, que es tangente a la superficie tiene una componente vertical que actúa sobre el objeto, pudiendo llegar a compensar su peso si no es demasiado elevado (ver figura). También es posible observar cómo tras sumergirlo ligeramente con el dedo acaba en el fondo del vaso según predice el principio de Arquímedes.</p>		
<p>Otra manera de revelar la existencia de la fuerza de tensión superficial es con el siguiente experimento de tres palillos. Los colocamos formando una especie de triángulo sobre la superficie. Si ponemos una pequeña gota de jabón en el centro, podemos ver cómo se alejan rápidamente. ¿Por qué sucede esto?</p>		
<p>La tensión superficial tiene además de una componente vertical, una cierta componente horizontal, que tira de los extremos del objeto hacia afuera. Cuando está flotando libremente con agua por ambos lados, estas dos fuerzas están compensadas. El agua tira del objeto con la misma fuerza hacia la derecha como hacia la izquierda.</p>		
<p>El jabón es un potente tensoactivo, que hace decrecer enormemente el valor de la tensión superficial del agua. Al poner la gota en el espacio entre los palillos, el jabón queda más o menos recluso a esa región, haciendo que decrezca mucho la fuerza de tensión superficial que tira hacia dentro del triángulo. Al tener mucha más fuerza tirando hacia fuera que hacia dentro, el triángulo se abre rápidamente.</p>		

6. Materiales y montaje

- Objetos metálicos de bajo peso (cuchilla de afeitarse, clips, aguja, etc)
- Vaso con agua
- Un alambre en forma de U doblada

Para el segundo experimento:

- 3 palillos
- Un plato llano con agua
- Un poco de jabón comercial

Basta con ir depositando los objetos con cuidado en la superficie del agua. Se puede uno ayudar de un alambre que soporte los objetos para depositarlos sin tocar el agua con el dedo y evitar perturbar la superficie demasiado, facilitando así que se sujeten.

7. Observaciones

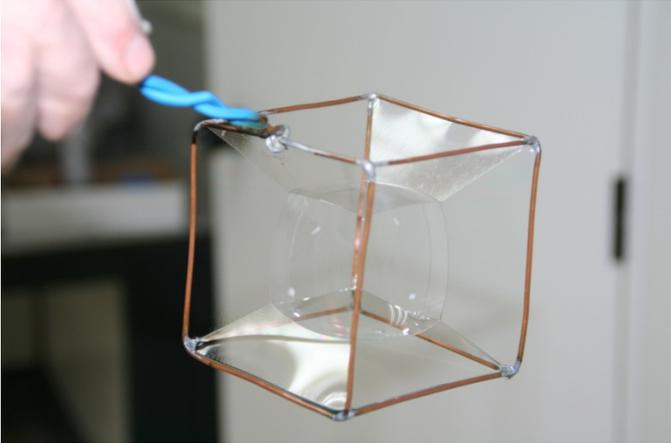
Para facilitar que los objetos no se mojen bien y se sujeten más fácilmente en la superficie, se los puede recubrir de una pequeña capa de grasa.



Tensión superficial: objetos en la superficie

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Los objetos más densos que el agua, como por ejemplo algunos fabricados en metal</p> <p>a) siempre se hundirán en el agua, según se deduce del principio de Arquímedes b) pueden llegar a flotar en agua si son suficientemente ligeros debido a la tensión superficial c) flotan siempre.</p> <p>2. La fuerza de tensión superficial es</p> <p>a) tangente a la superficie del agua b) perpendicular a la superficie del agua c) siempre vertical</p> <p>3. Un objeto colocado en la superficie del agua</p> <p>a) flota siempre que se coloque con cuidado. b) flota si tiene forma de cuchilla de afeitarse debido al principio de Arquímedes. c) en general provoca una deformación en la superficie del agua, apareciendo una fuerza debida a la tensión superficial que tiende a compensar esa deformación.</p> <p>4. El jabón...</p> <p>a) disminuye la tensión superficial del agua b) aumenta la tensión superficial del agua c) no actúa sobre la tensión superficial sino sobre la densidad del agua</p> <p>5. Cuando disponemos los palillos en forma de triángulo flotando en el agua y añadimos una gota de jabón en el centro...</p> <p>a) los palillos se juntan por efecto del jabón b) los palillos se separan ya que al disminuir la tensión superficial del agua en el interior del triángulo, la fuerza de tensión superficial por el lado exterior es mayor. c) los palillos se separan porque la tensión superficial del agua es mayor en el centro del triángulo y repele los palillos.</p>	

Tensión superficial y películas de jabón

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	2A15.20
Tensión Superficial. Superficies mínimas. Curvatura de una superficie.		
3. Descripción		
Permite visualizar diferentes formas que adquiere una película jabonosa en diferentes estructuras hechas de alambre. Las superficies formadas son "superficies mínimas", esto es, de curvatura media nula.	Transportable: SI	
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab		
5. Fundamento teórico		
<p>Una película delgada de jabón está formada por una fina capa de agua atrapada entre dos capas de moléculas de tensioactivo, en este caso jabón. La forma que adquieren las películas delgadas o las pompas de jabón está determinada por la tensión superficial, una propiedad de los líquidos que podemos definir como la cantidad de energía necesaria para aumentar la superficie libre del líquido referida a la unidad de área y que tiene su origen en las fuerzas de cohesión entre las moléculas que forman el líquido.</p>		
<p>Puesto que aumentar la cantidad de superficie necesita un aporte de energía, las películas delgadas de jabón tienden espontáneamente a adquirir una configuración de mínima superficie, y por tanto, de mínima energía. Así, cuando introducimos un marco de alambre, por ejemplo, en el líquido jabonoso y lo retiramos, la película delgada que se forma adquiere espontáneamente la forma de menor superficie compatible con los extremos impuestos por el marco. Por ejemplo, si introducimos un alambre de forma rectangular la película formada tendrá forma plana, ya que cualquier deformación respecto del plano aumentaría la superficie de éste.</p>		
<p>Matemáticamente, las "superficies mínimas" tienen la propiedad de curvatura media igual a cero en todos sus puntos. La curvatura media es una medida de cuánto cambia el vector normal a la superficie cuando nos desplazamos ligeramente a lo largo de la superficie, esto es, de cómo de curvada es la superficie en un punto. Volviendo al ejemplo del alambre de forma rectangular, la curvatura de la superficie plana que se forma es efectivamente cero y si deformamos una superficie plana aumentaremos tanto su superficie como su curvatura, de modo que la energía y superficies mínimas corresponden siempre a la situación de curvatura menor posible, esto es, curvatura cero. Las superficies que se forman por tanto son siempre las más "planas" posibles.</p>		
<p>Aparte del plano, existen otras superficies de curvatura cero en todos sus puntos. Por ejemplo, la superficie de jabón que se forma entre dos anillos concéntricos de igual radio, separados una cierta distancia se denomina catenoide, y se puede obtener como figura de revolución de una catenaria, que es la forma que adquiere una cuerda colgada por sus extremos. Hallar matemáticamente la superficie mínima que se forma entre los extremos de un alambre es en general una tarea extremadamente difícil. Sin embargo, con este sencillo experimento, ¡se pueden encontrar muy fácilmente!</p>		

Otro ejemplo interesante corresponde a la superficie que se forma entre cuatro alambres paralelos que forman las aristas verticales de un paralelepípedo recto. La intersección de dicha superficie con un plano perpendicular a los alambres forma la manera más corta de unir cuatro puntos en los vértices de un rectángulo (ver plano superior o inferior en la figura 1).

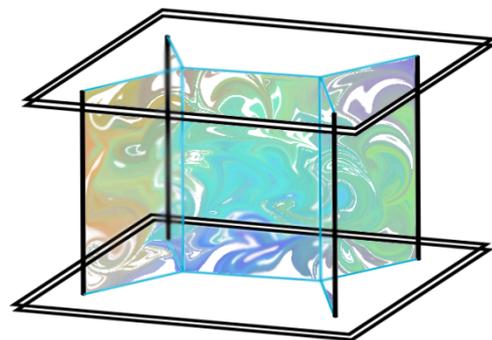


Figura 1. Película de jabón entre 4 alambres verticales y 2 planos paralelos

6. Materiales y montaje

- Agua (5 litros)
- Jabón lavavajillas de tipo comercial (200 ml)
- Glicerina (150 ml)
- Marcos de alambre de distintas formas.

Basta con añadir al agua el jabón y la glicerina y mezclar bien. La glicerina aumenta la viscosidad del agua, haciendo que ésta se desplace más lentamente dentro de la película de jabón y alargando la duración de las pompas o películas, pero no es indispensable. La composición es meramente indicativa.

Para formar las distintas superficies introducir los marcos de alambre en el líquido y retirarlos. Las superficies que se forman son superficies mínimas locales y en ocasiones hay varias posibilidades, de forma que es posible que la forma de la película no sea exactamente la que uno esperaba y haya que repetir el experimento más de una vez.

7. Observaciones

Si la solución se va a guardar durante un tiempo largo, resulta conveniente realizar un filtrado de vez en cuando para eliminar impurezas y añadir agua para compensar la evaporación.



Tensión superficial y películas de jabón

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Las superficies mínimas que se forman entre los alambres son:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Las superficies menos tensas posibles.b) Las películas más delgadas posibles.c) Las superficies con la menor área posible. <p>2. La tensión superficial...</p> <ul style="list-style-type: none">a) es una energía necesaria para aumentar el área de la superficie de un líquido, referida a la unidad de área.b) es la menor energía que puede tener una superficie.c) es una fuerza por unidad de área, es decir, tiene las dimensiones de presión. <p>3. La catenoide es una superficie...</p> <ul style="list-style-type: none">a) de revolución a partir de una catenaria.b) de revolución a partir de dos anillos concéntricos.c) que no es de revolución <p>4. ¿Cuál es la forma de la superficie que engloba un volumen fijo con la menor área posible?</p> <ul style="list-style-type: none">a) El hipercubo.b) La catenoide.c) La esfera. <p>5. Para separar los dos hilos entre los cuales se ha formado una película de jabón es necesario...</p> <ul style="list-style-type: none">a) hacer una fuerza proporcional a la tensión superficial del líquido de la película.b) ejercer una fuerza igual a la tensión superficial.c) romper la película que se forma entre los hilos.	

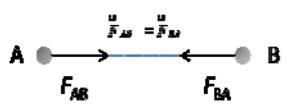
Densidad de sólidos

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	1H10.00 / 2B40.20
Principio de Arquímedes Tercera ley de Newton Densidad de un cuerpo		
3. Descripción		
<p>La aplicación conjunta del principio de Arquímedes y de la tercera ley de Newton, permite determinar la densidad de un cuerpo de forma irregular sumergiéndolo en un líquido de densidad conocida.</p>		

4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab/> Transportable: SI

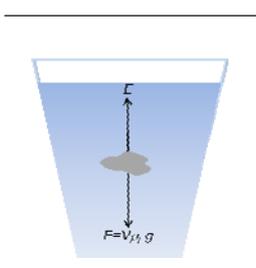
5. Fundamento teórico

La Tercera Ley de Newton, también conocida como principio de acción y reacción establece que: *“cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo, éste realiza una fuerza igual pero de sentido contrario”.*



Cuando A ejerce una acción sobre B, B reacciona ejerciendo sobre A una fuerza igual pero de sentido contrario. Estas fuerzas, sin embargo, no se anulan ya que se aplican sobre cuerpos diferentes.

El Principio de Arquímedes establece que: *“todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta una fuerza igual y de sentido contrario al peso del volumen del líquido desalojado”.*



Basándose en estos dos principios, se puede determinar la densidad ρ_c de un cuerpo de forma irregular, sumergiéndolo en un líquido de densidad conocida ρ_l . Cuando el cuerpo, de masa m_c , se sumerge en una masa m_l de líquido, éste ejerce un empuje E sobre el cuerpo. De acuerdo con la tercera ley de Newton, el cuerpo ejercerá sobre el agua una fuerza igual y de sentido contrario, $-E$. Esta fuerza será igual al peso del líquido desalojado. Si el sistema se sitúa sobre una balanza, esta leerá una masa mayor que cuando el cuerpo no está sumergido.

Teniendo en cuenta el principio de Arquímedes, el volumen de líquido desalojado, V , será igual al volumen del cuerpo sumergido. De acuerdo con la definición de densidad de un cuerpo, expresada como la masa de un cuerpo por unidad de volumen, se tiene:

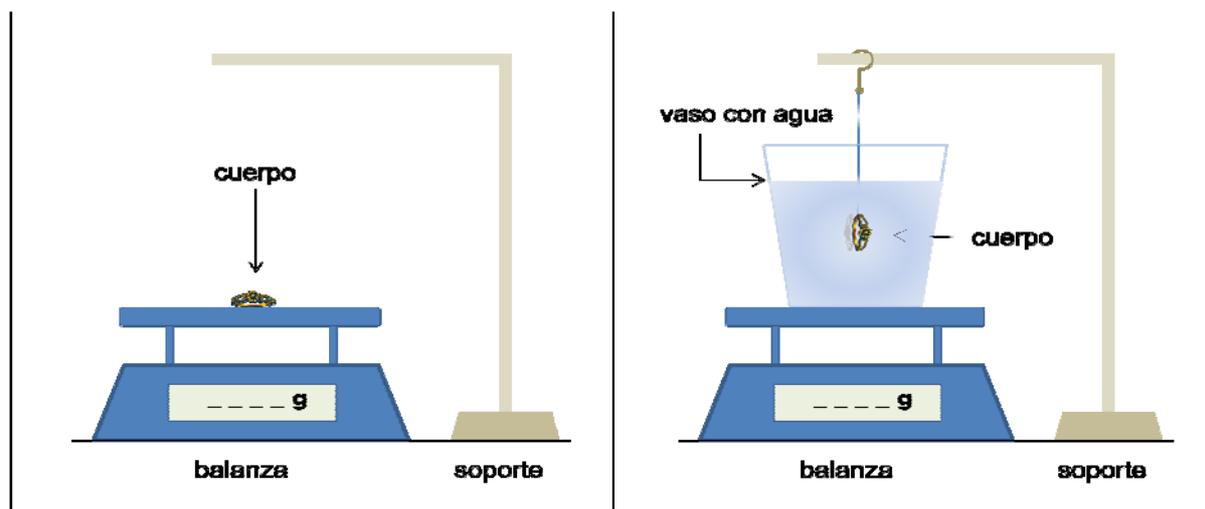
$$V = \frac{m_c}{\rho_c} = \frac{m_l}{\rho_l} \quad (1)$$

y por tanto,

$$\rho_c = \frac{m_c}{m_l} \rho_l \quad (2)$$

6. Materiales y montaje

- Una balanza
- Un vaso con agua destilada
- Un soporte
- Cuerpo de densidad desconocida



En el diseño que se muestra, se dispone de una balanza digital de precisión, de un cuerpo cuya densidad se quiere determinar y de un vaso lleno de líquido, en este caso agua, cuya densidad es conocida.

En primer lugar se coloca el cuerpo sobre la balanza, y se anota la lectura de la masa. Se retira el cuerpo y, a continuación, se coloca sobre la balanza el vaso lleno de agua y se tara la balanza.

Posteriormente se sumerge el cuerpo de densidad desconocida en el vaso de agua teniendo cuidado de que no se derrame nada de agua. Un soporte permitirá mantener sumergido el cuerpo dentro del vaso manteniéndolo suspendido de un hilo, sin que apoye sobre el fondo del vaso y, por tanto, sin apoyar sobre la balanza.

Se anota de nuevo la lectura de la masa.

El valor medido indica la fuerza de empuje ejercida por el agua sobre el cuerpo y permite, a partir de la ecuación (2), determinar la densidad del cuerpo desconocido.

7. Observaciones

- Aunque puede utilizarse agua corriente, es preferible utilizar agua destilada, cuya densidad se encuentra fácilmente en la bibliografía tabulada en función de la temperatura. Puede utilizarse también cualquier otro líquido de densidad conocida.

- Si se quiere una medida más precisa de la densidad del objeto desconocido, se puede medir la temperatura del agua con un termómetro para poder utilizar en los cálculos el valor exacto de su densidad.

-El método puede aplicarse, por ejemplo, para determinar la proporción de oro en una joya.



Densidad de sólidos

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Responda a todas las cuestiones breve y razonadamente en el espacio proporcionado.</i></p>	
<p>1. ¿Qué dos principios físicos están implicados en esta experiencia?</p> <p>2. ¿Qué variaría en la experiencia si se utilizara otro líquido en vez de agua?</p> <p>3. ¿Por qué se tara la balanza antes de introducir en el vaso de agua el cuerpo de densidad desconocida?</p> <p>4. ¿Por qué esta experiencia sirve para determinar si una joya es de oro o no?</p> <p>5. ¿Qué mediría la balanza si, en vez de suspender el cuerpo, éste se dejase caer dentro del vaso de agua?</p>	

Pelota de ping-pong levitando

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	2C20.30
Efecto Venturi Ecuación de Bernoulli Efecto Coanda		
3. Descripción		
Una pelota de ping-pong se sostiene en un chorro de aire vertical. La situación es tan estable que se puede incluso inclinar el chorro de aire un ángulo bastante grande y la pelota sigue atrapada.		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>Cuando el chorro de aire es vertical, la pelota se sustenta básicamente por la transferencia de momento del chorro de aire que compensa su peso. Sin embargo, ¿por qué queda atrapada en el centro del chorro? ¿A qué se debe la estabilidad del equilibrio? La respuesta a esta pregunta no es sencilla.</p>		
<p>El principio de Bernoulli, en el caso en el que podemos despreciar las diferencias de presión debidas a diferencias de altura (efecto Venturi), nos proporciona una primera explicación. Según dicho principio, en el movimiento de un tubo de fluido incompresible, sin viscosidad y en régimen laminar, la combinación siguiente permanece constante a lo largo de la trayectoria del fluido:</p>		
$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = cte.$		
<p>De modo que en las zonas de mayor velocidad, la presión estática es menor. Cuando la pelota se desvía del centro del chorro, la menor presión asociada a la alta velocidad del chorro hace que se vea de nuevo succionada hacia la posición central (ver figura 1), resultando ésta una posición de equilibrio estable frente a desplazamientos laterales.</p>		
<p>Sin embargo, la ecuación de Bernoulli no puede rigurosamente aplicarse a esta situación ya que el flujo probablemente no sea laminar (dependerá de la velocidad del chorro) y es seguro que la viscosidad desempeña un papel. La prueba más fehaciente de esto último es la rotación de la pelota cuando inclinamos el chorro un cierto ángulo. El aire del centro del chorro arrastra la superficie de la pelota, poniéndola en movimiento. Además de este efecto de arrastre, la viscosidad provoca el llamado efecto Coanda, en el que el flujo de aire se ve deflectado hacia fuera de la dirección original del chorro (ver figura 2) debido a la presencia de la superficie esférica de la pelota. Puesto que la pelota está ejerciendo una fuerza sobre el chorro hacia fuera, la pelota siente una fuerza igual y de sentido contrario que le hace permanecer atrapada en el flujo de aire.</p>		



Figura 1. Efecto Venturi.

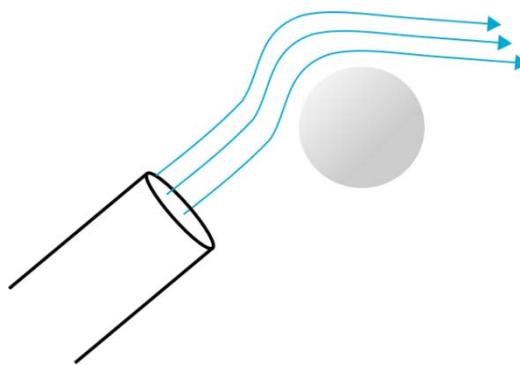


Figura 2. Ilustración del efecto Coanda

6. Materiales y montaje

- Base con agujero estrecho y conexión para tubo
- Tubo de goma
- Compresor
- Pelota de ping-pong

Montaje alternativo

- Secador de pelo potente
- Pelota de ping-pong

Conectar la salida del compresor con la entrada de la base mediante el tubo de goma. Si se dispone de un secador de pelo con ventilador potente es igualmente efectivo y quizá más manejable.

7. Observaciones



Pelota de ping-pong levitando

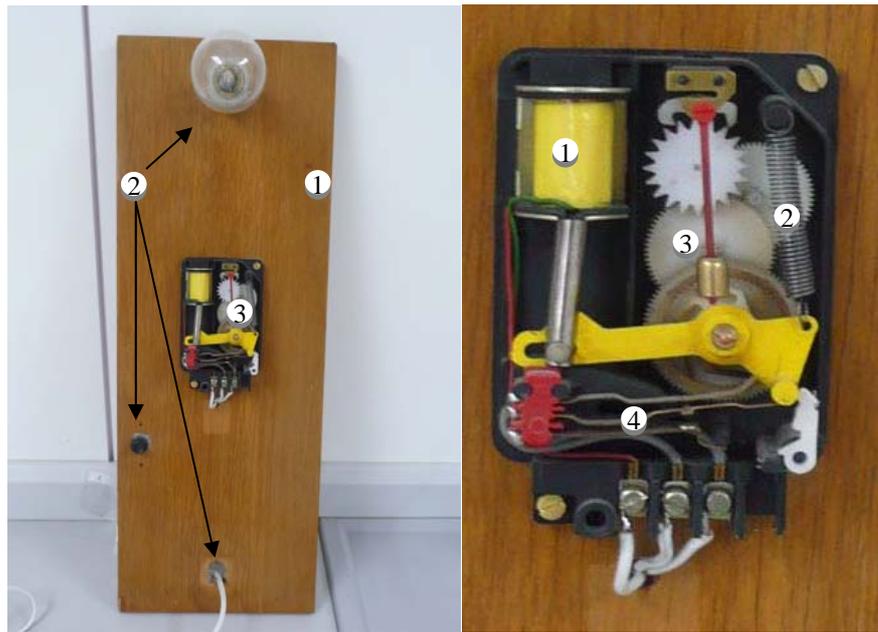
8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. La pelota se sustenta en el chorro de aire</p> <p>a) porque el aire ejerce una fuerza sobre la pelota que compensa su peso. b) porque según el principio de Bernoulli el aire hace menos presión por debajo de la pelota que por encima. c) porque el aire se mueve alrededor de la pelota haciéndola girar.</p> <p>2. ¿Por qué la pelotita se queda atrapada en el chorro de aire?</p> <p>a) porque en el centro del chorro hay más presión. b) porque al desplazarse ligeramente del eje central del chorro aparece una fuerza hacia el centro. c) porque al desplazarse ligeramente del eje central del chorro aparece una fuerza hacia arriba.</p> <p>3. ¿Cómo podemos explicar la aparición de una fuerza que tiende a mantener la pelota dentro del chorro de aire acudiendo al principio de Bernoulli?</p> <p>a) porque en el centro del chorro el aire circula a MAYOR velocidad y por tanto la presión por la zona de la pelota cercana al centro es MAYOR que por la zona situada hacia el exterior del chorro. b) porque en el centro del chorro el aire circula a MENOR velocidad y por tanto la presión por la zona de la pelota cercana al centro es MENOR que por la zona situada hacia el exterior del chorro. c) porque en el centro del chorro el aire circula a MAYOR velocidad y por tanto la presión por la zona de la pelota cercana al centro es MENOR que por la zona situada hacia el exterior del chorro.</p> <p>4. ¿Qué es el efecto Coanda?</p> <p>a) Es lo mismo que el principio de Bernoulli. b) Se refiere al arrastre de pelotas de ping-pong por chorros de aire. c) El efecto Coanda tiene que ver con el arrastre o desvío de un chorro de aire por una superficie pulida cercana.</p> <p>5. Si la pelota ejerce una fuerza sobre el aire que lo desvía...</p> <p>a) el aire se frena. b) el aire ejerce una fuerza de igual magnitud y sentido contrario sobre la pelota. c) la pelota se cae.</p>	

Estudiando un minuterero de escalera

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	3A20.00
Vemos como un mecanismo sencillo de la vida cotidiana, el temporizador de una escalera, se basa en varios sistemas físicos fundamentales: Circuitos eléctricos, la ley de Biot Savart, péndulos, muelles, la ley de Joule.		
3. Descripción Se ha montado un temporizador de una escalera montado sobre una placa de madera, con una bombilla, simulando su uso habitual. Se puede destapar para ver cómo funciona y experimentar variando su duración. En la foto se muestra el aspecto exterior de uno de ellos, modelo <i>Orbis T-11</i> , tal y como lo veríamos en un edificio.		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico Encontramos las leyes básicas de la Física en numerosos fenómenos de la vida diaria. Muchas veces de forma clara y abierta, otras hay que escarbar un poco. En este caso basta con quitar una tapa. Al entrar en un edificio y pulsar el interruptor de la luz es muy habitual que ésta permanezca encendida durante unos minutos. Muchas veces, durante este intervalo, oímos un tic-tac característico. El aparato responsable de ambos efectos se suele llamar un minuterero de escalera. Existen distintos modelos, el que nos interesa es el clásico, más antiguo, que se muestra en la foto, de funcionamiento mecánico. Su principio básico consiste en que al pulsar el interruptor de la luz se cierra un circuito y se ilumina la escalera, normalmente con bombillas clásicas incandescentes (Ley de Joule). Al cabo de un cierto tiempo, regulable, el circuito se vuelve a abrir y la luz se apaga. En el caso que nos ocupa la regulación del tiempo se efectúa contando un número fijo de oscilaciones de un péndulo, el que asoma por el exterior de la caja. Para variar el intervalo se cambia el periodo de dicho péndulo aumentando o disminuyendo su longitud (expresión del periodo de un péndulo). La pesa de latón que asoma al exterior puede desplazarse por la varilla de plástico que la sujeta. Es uno de los ejemplos más sencillos de los famosos relojes de péndulo, y de los pocos que siguen en funcionamiento. Si destapamos el aparato, como se muestra en las figuras de la página siguiente, podemos ver más detalles de su funcionamiento. En primer lugar veremos una bobina (1) que rodea el extremo de un vástago metálico, cuando se cierra el circuito una corriente eléctrica atraviesa la bobina y se crea en su interior un campo magnético (Ley de Biot Savart). Este campo atrae el vástago de acero, cuyo movimiento a su vez interrumpe el flujo de corriente por la bobina. La pieza metálica está unida asimismo a un resorte (2) (Ley de Hooke) que se tensa cuando el imán la atrae, un trinquete evita que al cesar el campo vuelva a su posición original. La energía almacenada en el trinquete sirve para alimentar el oscilador (péndulo). El movimiento se transmite a una serie de engranajes (3) para controlarlo. Con cada oscilación se van separando dos láminas (4) que finalmente interrumpen la corriente del circuito principal.		

6. Materiales y montaje

<u>Izquierda:</u>	<u>Derecha:</u>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Placa de Madera 2. Bombilla, Interruptor general y pequeño circuito eléctrico. 3. Minutero de escalera abierto 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bobina 2. Resorte 3. Engranajes 4. Interruptor.



7. Observaciones

Hay que operar la demostración con cuidado porque funciona con corriente de la red y los contactos están al aire.

Es conveniente colocar la pesa del péndulo en distintas posiciones para que se aprecie como varía el periodo de las oscilaciones.



Estudiando un minuterero de escalera

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Responde a todas las cuestiones breve y razonadamente en el espacio proporcionado. Si es test: Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Podemos ver un minuterero de escalera como un ejemplo en pequeña escala de un reloj de péndulo. Funcionan contando oscilaciones de un péndulo, aprovechando que el tiempo que tardan en completarse varía poco. Cuando movemos la pesa hacia arriba</p> <p>a) Las oscilaciones son más cortas y por tanto la el tiempo que dura la luz es menor. b) Las oscilaciones son más largas y por tanto la el tiempo que dura la luz es mayor. c) Las oscilaciones duran lo mismo.</p> <p>Explícalo muy brevemente.</p> <p>2. ¿De dónde procede la energía que pone en marcha el minuterero? ¿Dónde se almacena mientras está en marcha?</p> <p>3. ¿Cuál de estos efectos no se observa en el minuterero? Ley de Hooke, Ley de Biot-Savart, Ley de Coulomb, Ley de Joule. Justifícalo.</p> <p>4. Cita ejemplos de relojes basados en otros mecanismos que conozcas. En cada caso nombra el reloj y el mecanismo físico en que se basa.</p> <p>5. ¿Por qué un imán como el que usa el minuterero atrae a la barra de hierro?</p>	

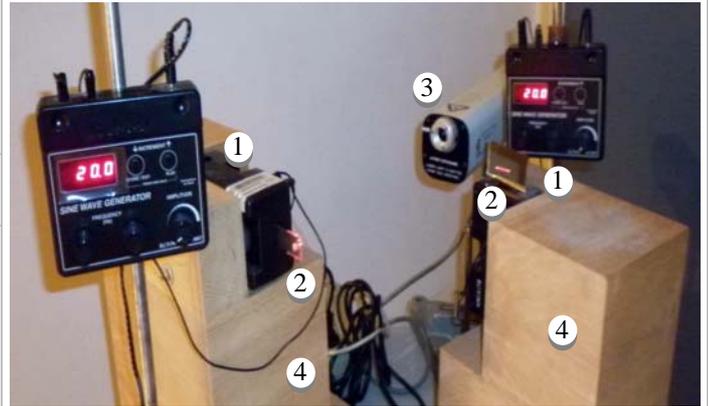
Figuras de Lissajous

1. Principio físico que ilustra

2. Foto o Esquema

3A80.40

**Movimiento Armónico Simple
Osciladores acoplados**



3. Descripción

Esta experiencia trata de la construcción de figuras de *Lissajous* utilizando un haz láser proyectado en una pantalla tras ser reflejado en dos espejos acoplados a sendos osciladores. Mediante dichos osciladores, los espejos realizan Movimientos Armónicos Simples (MAS) perpendiculares entre sí, de forma que la proyección del láser sobre la pantalla conforma las figuras de Lissajous.

4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: NO

5. Fundamento teórico

Las figuras de Lissajous son el resultado de la composición de dos movimientos armónicos simples (MAS) según dos direcciones perpendiculares. Si denominamos a estas direcciones X e Y podemos describir sus trayectorias individuales como:

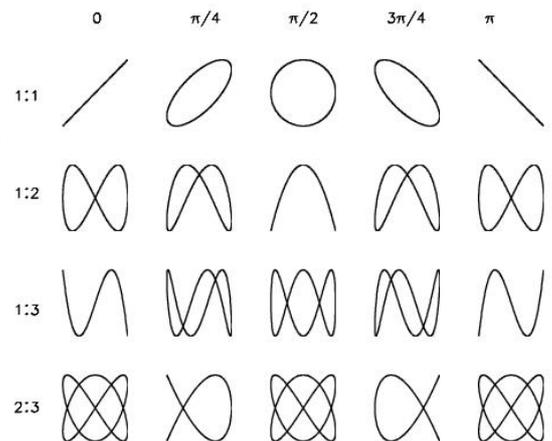
$$X = X_0 \cos(2\pi f_x t); Y = Y_0 (2\pi f_y t + \delta)$$

donde X_0 e Y_0 son las amplitudes de los MAS, f_x y f_y son las frecuencias los MAS y δ es el desfase entre ambas MAS. Eliminando la variable tiempo en las expresiones anteriores se obtiene una ecuación de la trayectoria del tipo:

$$f(X, Y, \delta) = cte$$

que corresponde a las figuras de Lissajous. En la figura se muestran las figuras de correspondientes a relaciones de frecuencias $f_x:f_y$ sencillas (en distintas filas), para algunos desfases (en distintas columnas).

En nuestra experiencia es la proyección del haz láser sobre la pantalla la que realiza esta composición de MAS en direcciones perpendiculares, siendo f_x y f_y las frecuencias con las que vibran los espejos acoplados a los osciladores y δ el desfase entre ambos osciladores.



6. Materiales y montaje

El montaje de esta experiencia, en la implementación que se muestra en la fotografía, es algo elaborado, y requiere del siguiente material:

1. Dos generadores de frecuencia Pasco-WA9867 alimentando sendos osciladores Pasco-WA9857.
2. Dos espejos pequeños.
3. Un láser Griffin He-Ne de 633 nm.
4. Soportes rígidos para los osciladores
5. Soporte ajustable en altura para el láser.
6. Una pantalla móvil.
7. Una regleta para conectar los osciladores y el láser.

Para montar la experiencia, en primer lugar se fijan los espejos a las lengüetas móviles de los osciladores (utilizando por ejemplo cualquier pegamento de contacto), y posteriormente se montan éstos sobre los soportes rígidos (que previenen la vibración). A continuación, se monta el láser sobre otro soporte regulable en altura, y se ajusta en altura como se indica en la fotografía, de forma que el haz láser incida primero en el centro del primer espejo, y el reflejo del haz en éste incida en el centro del segundo espejo. Se coloca entonces la pantalla perpendicular al haz láser tras salir reflejado del segundo, y a una distancia suficiente para que las figuras de aprecien con tamaño suficiente. Alternativamente, el sistema de los osciladores y el espejo se puede montar sobre un banco móvil, observando la proyección del láser sobre una pantalla fija o una pared. Finalmente, se encienden los dos osciladores y se ajustan sus frecuencias para obtener las figuras de Lissajous deseadas.

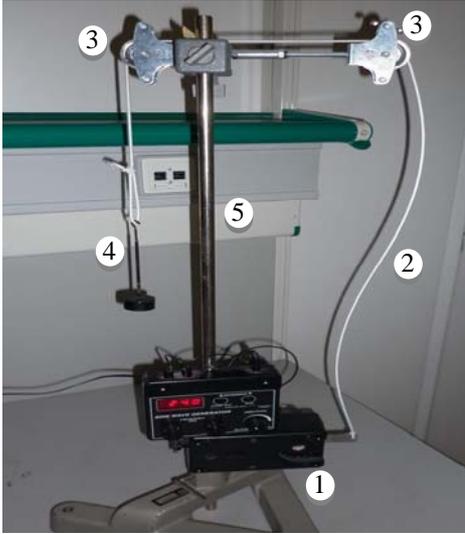
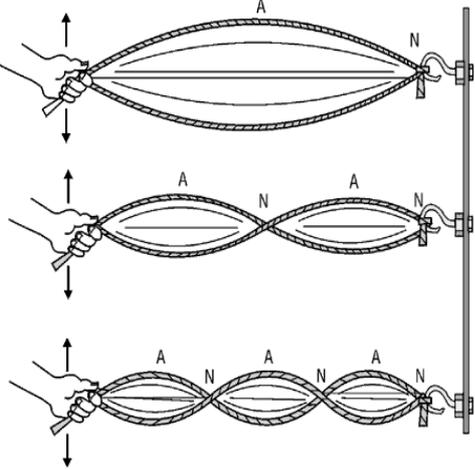
7. Observaciones

Para el montaje y operación de esta experiencia, utilizando en concreto el material antes mencionado, es necesario tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Los osciladores utilizados no están especialmente adaptados a esta experiencia, ya que provienen de la experiencia de las Ondas Estacionarias en una Cuerda. Al fijar los espejos cambia la inercia máxima que tienen que soportar las lengüetas en su MAS. Por lo tanto, durante la operación es necesario ajustar con cuidado la amplitud del MAS de cada oscilador en función de la frecuencia, ya que para algunas frecuencias la lengüeta llega al tope mecánica del oscilador, produciendo movimientos anarmónicos y, por tanto, distorsiones en las figuras de Lissajous.
- Es importante que el haz láser incida en el centro de ambos espejos. De esa forma, cuando el espejo fijado al primer oscilador está vibrando, la imagen del haz laser reflejada en aquel queda completamente contenida en el segundo espejo. De lo contrario, la imagen final puede aparecer cortada en uno de los lados.
- Para ilustrar las distintas figuras como función de los distintos desfases entre osciladores, se puede utilizar el ajuste fino de la frecuencia de los osciladores. Así se pueden introducir desfases entre los osciladores de forma que se cubran de forma continua todos los posibles desfases para una relación de frecuencias dada.
- Es conveniente utilizar pesas (típicamente de 5 kg) para sujetar los soportes de los osciladores, evitando así que aquéllos se muevan debido a la vibración inducida por los osciladores. Alternativamente, se pueden utilizar soportes con regulación en dos direcciones (más caros) y fijos a una mesa especial (también más cara).



Ondas estacionarias en una cuerda

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	3B22.10	
<p>Ondas mecánicas en una dimensión Superposición de ondas Ondas estacionarias</p>			
3. Descripción			
<p>Esta experiencia permite el estudio de ondas estacionarias en una dimensión usando una cuerda. En la experiencia se puede apreciar el fenómeno de la superposición de ondas, y en particular los nodos y antinodos (o valles) de la onda estacionaria.</p>			
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI		
5. Fundamento teórico			
<p>Las ondas estacionarias en una cuerda son el resultado de la superposición de ondas armónicas propagándose por una cuerda en la que ambos extremos están fijos. Si se hace vibrar uno de los extremos siguiendo un Movimiento Armónico Simple (MAS) perpendicular a la cuerda, éste se propaga en forma de onda armónica por la cuerda. Al llegar a los extremos fijos, la onda se refleja de forma que al final en la cuerda tendrá lugar la superposición de las ondas que da lugar a la onda estacionaria. Suponiendo inicialmente una cuerda fija en su extremo izquierdo, que hacemos coincidir con el origen de coordenadas, podemos representar las ondas incidente (que viaja hacia la izquierda) y reflejada (que viaja hacia la derecha) respectivamente como :</p>			
$y_i(x,t) = -y_0 \cos[2\pi(x/\lambda + ft)]; \quad y_r(x,t) = y_0 \cos[2\pi(x/\lambda - ft)]$			
<p>donde y_0 es la amplitud del MAS, f es la frecuencia del MAS y λ es el <i>Longitud de Onda</i>. f y λ se relacionan a través de la velocidad de propagación de la onda $v = \lambda f = \sqrt{TL/m}$, donde T es la tensión a la que está sometida la cuerda, y m y L son su masa y longitud. De la superposición de ambas ondas resulta una onda estacionaria, descrita por la ecuación:</p>			
$y(x,t) = 2y_0 \sin(2\pi x/\lambda) \sin(2\pi ft)$			
<p>la cual explica la aparición de nodos (N), donde la cuerda está siempre en reposo, y antinodos, o valles, (A), donde las oscilaciones de la cuerda alcanzan su máxima amplitud ($2y_0$). La posición de dichos nodos x_N se puede obtener a partir de la ecuación anterior (ver más abajo). Así mismo, al imponer en dicha ecuación que el extremo derecho de la cuerda también sea fijo, se obtiene el conjunto de frecuencias discretas f_n (o <i>armónicos</i>) para las cuales la cuerda soporta ondas estacionarias:</p>			
$x_N = m \frac{\lambda_n}{2}; \quad f_n = \frac{n}{2} \sqrt{\frac{T}{mL}}; \quad n = 1, 2, \dots; \quad 0 \leq m \leq n$			

6. Materiales y montaje

El montaje de esta experiencia es sencillo, requiriendo elementos de fácil adquisición. Para la implementación que se muestra en la fotografía se ha usado el siguiente material:

1. Un generador de frecuencias Pasco-WA9867 alimentando a un oscilador Pasco-WA9857.
2. Una cuerda elástica.
3. Dos poleas.
4. Un soporte para pesas y varias pesas, para ajustar la tensión de la cuerda.
5. Un soporte ajustable en altura para el oscilador y la polea.

Para montar la experiencia, sólo hay que fijar el oscilador a la parte baja del soporte y las poleas a la parte alta. Posteriormente, se ata un extremo de la cuerda a la lengüeta del oscilador y el otro extremo, tras pasarlo por las poleas, se ata al soporte para pesas, en el que se pueden colocar pesas de distinta masa.

7. Observaciones

Para el montaje y operación de esta experiencia, utilizando en concreto el material antes mencionado, es necesario tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Es conveniente utilizar pesas (típicamente de 5 kg) para sujetar los soportes de los osciladores, evitando así que aquéllos se muevan debido a la vibración inducida por los osciladores.

Además de la observación directa del fenómeno de las ondas estacionarias en una dimensión, este montaje permite realizar medidas cuantitativas, entre las que destacan las siguientes:

- Eligiendo distintas pesas, se puede variar la tensión y longitud de la cuerda de forma que, como se deduce de las expresiones de la sección 5, se modifican los valores de las frecuencias para las que la cuerda soporta ondas estacionarias. Así, midiendo los valores de estas frecuencias para distintas masas, así como la masa y longitud de la cuerda, se pueden comparar las tensiones obtenidas experimentalmente con aquellas deducidas de las expresiones teóricas.



Cubeta de ondas

1. Principio físico que ilustra

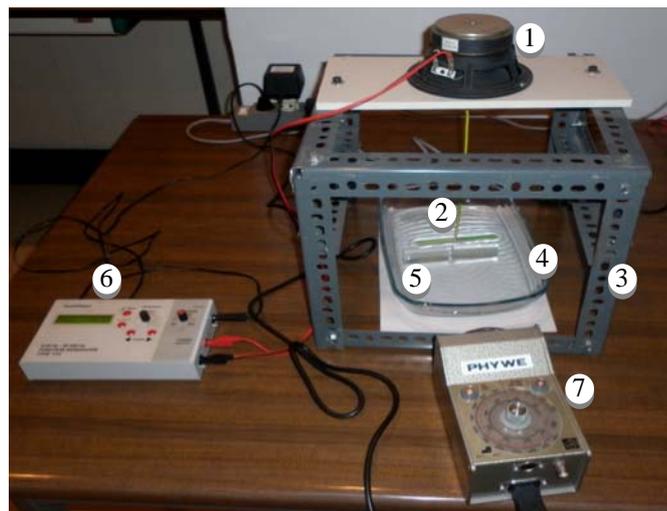
Ondas mecánicas en dos dimensiones
Ondas planas y esféricas en dos dimensiones
Superposición de ondas
Ondas en la superficie del agua

3. Descripción

La cubeta de ondas permite la visualización de la propagación de ondas en 2 dimensiones, así como su interacción con barreras, generando fenómenos de difracción. En ella se pueden observar también los fenómenos de interferencia constructiva y destructiva de ondas.

2. Foto o Esquema

3B50.10

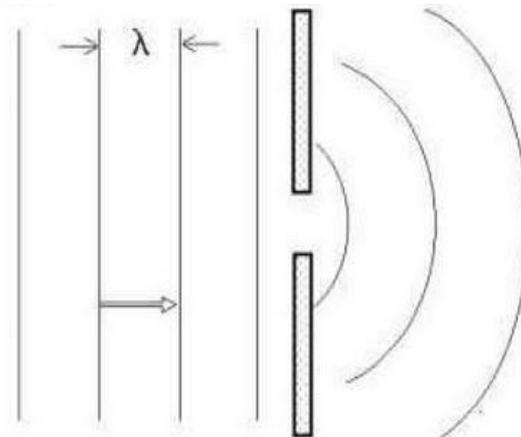


4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: NO

5. Fundamento teórico

Las olas propagándose por la superficie de un fluido constituyen un sistema típico de ondas mecánicas en 2 dimensiones, en el que se pueden apreciar claramente la mayor parte de los fenómenos ondulatorios. Por ejemplo, se pueden observar ondas planas (como en la parte izquierda de la figura) en las que las crestas de las olas forman líneas rectas, siendo la longitud de onda λ la distancia entre dos crestas consecutivas. Así mismo, cuando las olas llegan a una barrera en la que existe una pequeña abertura (menor que λ), éstas se difractan de forma que la abertura se convierte en un foco puntual de ondas esféricas (u olas semicirculares, en la parte derecha de la figura).



Por otra parte, si a un lado de una barrera con dos pequeñas aberturas llegan olas, las aberturas se convierten en fuentes puntuales coherentes de ondas esféricas (olas circulares) hacia el otro lado, de forma que se pueden observar el fenómeno de la superposición de ondas. Éste se manifiesta en forma de interferencias constructivas, en los puntos de la superficie del agua en los que coinciden en el mismo instante crestas (o valles) provenientes de las dos aberturas, o interferencias destructivas, en los puntos en que coinciden la cresta proveniente de una abertura con el valle proveniente de la otra.

6. Materiales y montaje

El montaje de esta experiencia, en la implementación que se muestra en la fotografía, es algo elaborado, y requiere del siguiente material:

1. Un oscilador en la forma de un altavoz con un soporte sujeto a su membrana.
2. Una varilla enganchada al soporte de la membrana del altavoz, a la que se suelda otra varilla perpendicular en el extremo opuesto al altavoz.
3. Un sistema rígido de soporte del altavoz.
4. Un recipiente para agua, rectangular, transparente y con poco fondo.
5. Diversas barreras y obstáculos de plexiglás.
6. Un generador de frecuencias Eurodidact F12 (50 mHz-50 kHz, 12 VAC)
7. Una lámpara estroboscópica BBE-Movistrab 350DZA, con un selector de frecuencias independiente.

Para montar la experiencia, en primer lugar se coloca el altavoz en su soporte, orientado hacia abajo, y se coloca bajo él el recipiente de agua lleno hasta la mitad, colocando previamente una hoja de papel blanco bajo el recipiente (para maximizar el efecto visual). Posteriormente, se engancha en la membrana del altavoz la varilla rígida, de forma que el segmento perpendicular queda paralelo a la superficie del agua, y en contacto con ésta. Por último, se conecta el oscilador al altavoz y se ilumina el recipiente con la lámpara estroboscópica, eligiendo para su frecuencia la misma que la del oscilador, típicamente entre 10 y 30 Hz. De esta forma, al oscilar la varilla verticalmente, lo mismo hace la superficie del agua en contacto con ella, generando en el recipiente olas con geometría de onda plana.

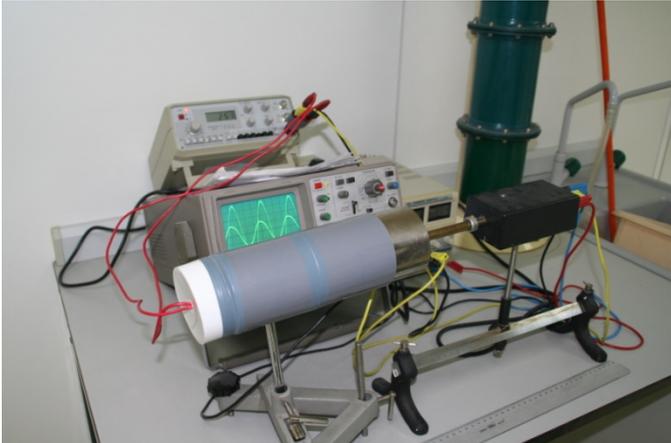
7. Observaciones

Para el montaje y operación de esta experiencia, utilizando en concreto el material antes mencionado, es necesario tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Para poder visualizar de forma más efectiva las ondas en la cubeta, es conveniente utilizar una luz ambiental tenue, o incluso apagarla, así como añadir colorante al agua.
- Se pueden situar cerca de la varilla que genera las olas distintos objetos (barreras, diafragmas, etc), para visualizar los distintos fenómenos que aparecen en la propagación, difracción y superposición de ondas.
- Modificando ligeramente la frecuencia de la lámpara respecto a la del oscilador, se puede simular el efecto de avance y retroceso de las ondas.



Velocidad del sonido

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	3D30.15
Ondas estacionarias en un tubo cerrado Velocidad de fase, longitud de onda, frecuencia Nodos y vientres.		
3. Descripción		
Mediante un altavoz conectado a un generador de ondas se generan ondas estacionarias en un tubo cerrado por sus extremos, que se recogen gracias a un micrófono y se visualizan mediante un osciloscopio. Además el micrófono está montado sobre una base milimetrada lo que permite desplazarlo longitudinalmente a lo largo del tubo, pudiendo registrarse las variaciones de amplitud de la onda estacionaria o medir la longitud de onda.		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: NO	
5. Fundamento teórico		
<p>El sonido es una onda de presión que puede propagarse por el aire. Las compresiones y depresiones producidas por la onda en el aire al propagarse se corresponden con desplazamientos longitudinales (en la dirección de propagación) de las moléculas de aire. Las zonas de mayor amplitud de desplazamiento suceden en las zonas de amplitud nula de la variación de presión y viceversa (ver figura 1).</p>		
<p>El aire dentro de un tubo con un altavoz en un extremo y cerrado por el otro vibra en forma de ondas longitudinales estacionarias. Los modos propios de vibración de un tubo de estas características corresponden a ondas sinusoidales cuya longitud de onda sea tal que exista un punto de amplitud nula o <i>nodo</i> del desplazamiento del aire tanto en el extremo del altavoz como en el extremo cerrado del tubo, ya que el aire no tiene libertad para moverse debido al altavoz y a la tapa del tubo respectivamente. En dichos nodos tenemos una variación máxima de la presión, un <i>antinodo</i> o <i>vientre</i>, de la onda estacionaria.</p>		
<p>El primer modo de vibración o <i>modo fundamental</i> es la onda de frecuencia más baja que tiene dos nodos en los extremos del tubo y corresponde a una longitud de onda doble de la longitud del tubo $\lambda = 2L$, como se puede apreciar en la figura 1a) y 1d) y una frecuencia $f = \frac{c}{2L}$, donde c es la velocidad del sonido en el aire. El siguiente modo, el <i>primer armónico</i>, tiene una longitud de onda mitad del fundamental $\lambda = L$. El primer armónico está representado en la figura 1b) y 1e). Las longitudes de onda de los subsiguientes armónicos se obtienen dividiendo la longitud de onda entre 2 de forma sucesiva. Para que se formen ondas estacionarias dentro del tubo es necesario ajustar la frecuencia del generador de señales a alguna de estas frecuencias, bien a la fundamental o a la de algún armónico.</p>		
<p>En la experiencia se pueden visualizar las ondas estacionarias de la siguiente forma. Introduciendo en uno de los canales del osciloscopio la señal proveniente del micrófono, podemos visualizar la variación temporal de la presión en diferentes puntos a lo largo del eje del tubo. La amplitud de la señal en el osciloscopio es proporcional a la amplitud de la onda estacionaria en ese punto. Si la frecuencia de la onda generada por el altavoz es por ejemplo la frecuencia fundamental, en el punto medio del tubo podremos observar como la amplitud de la señal es prácticamente nula, correspondiendo al nodo que se observa en la figura 1d). Para una frecuencia igual a la del primer armónico, encontraremos la distribución de nodos y los antinodos representada en la figura 1e).</p>		
<p>Por otra parte, es posible medir la velocidad del sonido con este montaje. Para ello es preciso representar</p>		

en el osciloscopio ambas señales al mismo tiempo, tanto la señal enviada al altavoz como la señal recogida en el micrófono. Tras situar ambas en fase, se ha de anotar la posición del micrófono en la regla de la base. Posteriormente se desplaza el micrófono sobre la regla, observándose que ambas señales empezarán a desfasarse. Cuando ambas señales vuelvan a estar en fase, se habrá recorrido exactamente una longitud de onda. Multiplicando ésta por la frecuencia seleccionada en el generador de frecuencias se obtiene la velocidad del sonido en el aire. Para que el desplazamiento necesario sea lo suficientemente corto como para caber en el tamaño de la base, es conveniente fijar una frecuencia alta en el generador, alrededor de los 5000Hz.

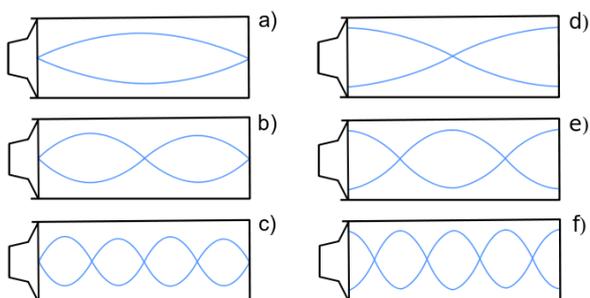


Figura 1. Ondas estacionarias en un tubo cerrado con un altavoz en un extremo. A la izquierda se representa la amplitud de los desplazamientos del aire. A la derecha, la amplitud de las oscilaciones de presión. a) y d) modo fundamental, b) y e) primer armónico, c) y f) segundo armónico

6. Materiales y montaje

- Generador de frecuencias
- Altavoz
- Micrófono y su fuente de alimentación
- Tubo de PVC
- Tubo de metal
- Osciloscopio
- 8 Cables de conexión

Cortar un tubo de PVC a una longitud apropiada. Un trozo de tubo de metal se puede utilizar encajado en el tubo de PVC para conseguir un tubo de longitud variable. El tubo de metal se ha de cerrar con una tapa con un agujero en el centro para pasar el micrófono. En el otro extremo del tubo se fija el altavoz asegurándose de que cubre la mayor parte de la sección del tubo. Las conexiones del altavoz se han de hacer por un lado al generador de frecuencias, y en paralelo, a uno de los canales del osciloscopio. El micrófono ha de conectarse al otro canal del osciloscopio. Para alimentarlo, seguir las indicaciones del fabricante.

7. Observaciones

Si la frecuencia no está bien ajustada a la correspondiente de una onda estacionaria no observarán adecuadamente los nodos y vientres, aunque en general la figura tendrá un aspecto parecido en el osciloscopio.



8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Las ondas estacionarias</p> <p>a) son ondas que se propagan por el aire. b) son ondas que se forman por ejemplo en una cuerda sujeta por sus extremos o en tubo cerrado en alguno de sus extremos. c) son las ondas que genera un micrófono.</p> <p>2. El micrófono registra</p> <p>a) las variaciones de presión del aire. b) la velocidad del sonido. c) el aire propagándose que constituye el sonido.</p> <p>3. El aire dentro del tubo oscila en el modo fundamental</p> <p>a) cuando la longitud de onda de la onda estacionaria es el doble de la longitud del tubo. b) para cualquier frecuencia lo suficientemente alta. c) cuando la longitud de onda de la onda estacionaria es la mitad de la longitud del tubo.</p> <p>4. ¿Qué se registra en el osciloscopio?</p> <p>a) Dos ondas armónicas. b) La señal del micrófono. c) La señal proveniente del micrófono y la enviada al altavoz.</p> <p>5. ¿Qué es un nodo de la onda estacionaria?</p> <p>a) Un punto en el que la amplitud de la onda se anula. b) Un punto en el que la velocidad de la onda se anula. c) Un punto en el que la amplitud de la onda es máxima.</p>	

Tubo de Rubens

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o esquema	3D30.50
Ondas Mecánicas Superposición de ondas Ondas estacionarias Nodos y valles		
3. Descripción		
Esta experiencia permite el estudio de ondas estacionarias usando un tubo metálico en el que se han practicado orificios y se hace circular gas a presión. Se inflama el gas que sale por los agujeros y se comprueba que el gas al arder reproduce el perfil de la onda estacionaria. En la figura se muestra el tubo y la forma de la onda estacionaria reproducida por el gas al arder.		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
El tubo de Rubens es una demostración de la formación de ondas estacionarias. Constituye una variante del tubo de Kundt. Una onda estacionaria se forma por la interferencia de dos ondas de la misma naturaleza, con la misma amplitud y frecuencia, que avanzan en sentido opuesto a través de un medio.		
El sonido cuando viaja a través del aire genera diferencias de presión. El tubo de Rubens nos muestra estas variaciones de presión en forma de onda transversal, visualizándolas a través del gas butano que se hace circular a través de él. El gas tiene zonas en las que la onda es más larga, ya que recibe presión de la onda, y otras zonas donde la onda no presiona y apenas se ve la llama. De este modo el gas reproduce el patrón de la onda estacionaria con sus nodos (puntos de amplitud mínima) y vientres (puntos de amplitud máxima).		
El perfil de las ondas estacionarias puede observarse a las frecuencias a las que se cumple la relación:		
$L = n \frac{\lambda}{2} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{v_{\text{sonido}}}{2L} n \quad n = 0,1,2,3\dots$		
siendo L la longitud del tubo, f la frecuencia y v_{sonido} la velocidad del sonido.		

6. Materiales y montaje

El montaje de esta experiencia es sencillo. Se requieren elementos de fácil adquisición. Para la implementación que se muestra en la fotografía se ha usado el siguiente material:

- Tubo metálico en el que se han practicado orificios
- Gas inflamable
- Generador de frecuencias
- Altavoz

El dispositivo experimental consta de un tubo de cobre de longitud 101 cm y diámetro exterior 1.45 cm. La distancia entre los orificios es de 2.2 cm. Acoplado en su extremo se ha colocado un altavoz circular de potencia 0.5 W. El altavoz es alimentado por un oscilador disponible en el laboratorio. El tubo está conectado por ambos extremos a una bombona de gas butano. Se conecta el oscilador a la frecuencia adecuada y el gas que se hace circular por el tubo, al inflamarse, reproduce el patrón de ondas estacionarias en el que se observan los nodos y vientres.

7. Observaciones

- La experiencia no debe realizarse en lugares cerrados y ni en los que existan corrientes de aire.
- El tubo debe colocarse en posición perfectamente horizontal para que el gas se distribuya uniformemente.
- El dispositivo no debe permanecer encendido demasiado tiempo, pues debido a la alta conductividad del cobre el altavoz podría dañarse.



Tubo de Kundt

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o esquema	3D30.60
Ondas Mecánicas Superposición de ondas Ondas estacionarias Nodos y valles		
3. Descripción		
Esta experiencia permite el estudio de ondas estacionarias usando un tubo transparente cerrado por sus extremos. En la experiencia se puede apreciar el fenómeno de la superposición de ondas, y en particular los nodos y antinodos (o vientres) de la onda estacionaria. En la figura se aprecia el tubo y las acumulaciones de bolitas, mostrando el perfil de la onda estacionaria.		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>El tubo de Kundt es una demostración clásica de la formación de ondas estacionarias. Consiste en un tubo transparente, cerrado por sus extremos. Conectando una fuente de ondas sonoras se consigue que dentro del tubo se formen ondas estacionarias. Dentro del tubo se introducen pequeños cuerpos, tradicionalmente polvo de corcho, de modo que si la frecuencia es la adecuada, dichos cuerpos se acumulan en los nodos de desplazamiento de la onda estacionaria y permiten visualizarla.</p>		
<p>Las ondas acústicas son longitudinales, las moléculas del gas sufren desplazamientos muy pequeños acompañados de incrementos y disminuciones de presión. Para obtener ondas estacionarias en un tubo sonoro los extremos deben ser vientres o nodos de la onda. Si el tubo está cerrado por los dos extremos la condición es que ambos puntos sean nodos de desplazamiento, es decir, puntos de amplitud nula. Esto sólo se produce para determinados valores de la frecuencia.</p>		
<p>Para un tubo de este tipo, de longitud efectiva L, se producen ondas estacionarias si la longitud de onda, λ, y la frecuencia, f, cumplen la siguiente relación:</p>		
$L = n \frac{\lambda}{2} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{v_{\text{sonido}}}{2L} n \quad n = 0,1,2,3\dots$		
donde v_{sonido} es la velocidad del sonido.		

6. Materiales y montaje

El montaje de esta experiencia es sencillo. Se requieren elementos de fácil adquisición. Para la implementación que se muestra en la fotografía se ha usado el siguiente material:

- Tubo de metacrilato
- Bolitas de poliestireno expandido
- Generador de frecuencias
- Altavoz

El dispositivo experimental consta de un tubo de metacrilato de 10 cm de diámetro exterior y unos 66 cm de longitud. Para montar la experiencia se ha acoplado en su extremo un altavoz circular de potencia 0.5 W. El altavoz es alimentado por un generador de frecuencias. Como pequeños cuerpos se han usado perlas de poliestireno expandido, de pequeño diámetro, en torno a 2 milímetros. La pequeña densidad y masa de estos objetos los hace ideales para esta demostración. Se conecta el oscilador a la frecuencia adecuada y las bolas de poliestireno comienzan a moverse de modo que finalmente reproducen el patrón de ondas estacionarias en el que se observan los nodos y vientres.

7. Observaciones

-Es conveniente tener la precaución de no manipular el tubo directamente, las bolitas se pueden distribuir previamente de un modo homogéneo moviendo el trípode que sostiene el tubo.

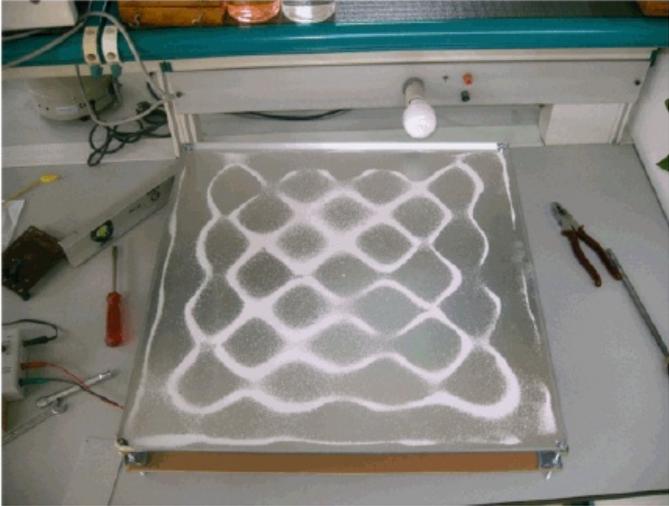
- Las bolitas empiezan a moverse cuando se conecta el generador de frecuencias, sin embargo, se requiere un poco más de tiempo hasta que se alcanza la configuración definitiva.



Tubo de Kundt

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Responde a todas las cuestiones breve y razonadamente en el espacio proporcionado.</i></p>	
<p>1. Explica cómo determinarías la velocidad de propagación del sonido en el aire a partir del experimento.</p> <p>2. Indica a partir de qué frecuencia dejabas de oír el sonido.</p> <p>3. Indica la relación que debe existir entre la longitud del tubo y la longitud de la onda para que se produzca una onda estacionaria.</p> <p>4. Explica el motivo por el que se produce la acumulación de las bolitas en los nodos de la onda.</p> <p>5. Si se modifica la longitud del tubo en un factor 1,2 indica cómo se modificaría la frecuencia del armónico fundamental.</p>	

Placa de Chladni

1. Principio físico que ilustra	2. Foto	3D40.30
Ondas Mecánicas Superposición de ondas Ondas estacionarias Nodos y valles		
3. Descripción		
<p>Esta experiencia permite el estudio de ondas estacionarias en dos dimensiones. El objetivo es la visualización de los modos propios de vibración de una placa cuadrada. Para ello se hace vibrar a diferentes frecuencias una placa metálica cuadrada, y espolvoreando cloruro sódico sobre ella se observan los patrones y líneas nodales que se forman en la misma, correspondiéndose cada patrón con un modo propio de vibración de la placa.</p>		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>La placa de Chladni constituye una demostración clásica de la formación de ondas estacionarias. Su nombre es debido a Ernst Chladni, frecuentemente llamado el padre de la Acústica, que fue el primero en realizar esta experiencia. Consiste en una fina placa metálica cuadrada que a través de un altavoz se hace vibrar a diferentes frecuencias. El altavoz es alimentado por un generador de frecuencias. Sobre la placa espolvoreamos cloruro sódico. Cuando la placa vibra la sal empieza a moverse, hasta que finalmente se observan los patrones y líneas nodales. Estos patrones y líneas nodales se corresponden con las zonas y líneas en las cuales la placa no vibra o vibra menos, es decir, los nodos de las ondas estacionarias que se forman en la placa, y por tanto, en ellos se produce una acumulación de sal, dando lugar a curiosas figuras.</p>		
<p>La ley de Chladni relaciona la frecuencia aproximada de la vibración de un platillo circular, de centro fijo, con el número de líneas nodales radiales (m) y no radiales (n):</p>		
$f = C(m+2n)^2$		
<p>donde el valor de la constante C sólo depende, en principio, de las propiedades del platillo.</p>		
<p>La teoría para el caso de una placa cuadrada, implica la resolución de la ecuación de ondas en dos dimensiones. Las condiciones de contorno obligan a que el borde de la placa sea un antinodo. Si se resuelve la ecuación para esas condiciones de contorno se encuentra la siguiente solución para las frecuencias de resonancia:</p>		
$\omega = \frac{v\pi}{a} (m^2 + n^2)^{1/2}$		
<p>donde a representa la dimensión de la placa cuadrada, v la velocidad del sonido en la placa y (m,n) el número de líneas nodales observadas en horizontal y vertical respectivamente.</p>		
<p>En el experimento se observan figuras muy vistosas pero difíciles de explicar, que no se corresponden totalmente con los patrones predichos teóricamente, los cuales se recogen en el libro "The Physics of Musical Instruments", de Fletcher y Rossing. Dichas discrepancias pueden deberse a que la geometría no es la ideal: la placa no es una membrana ideal, los bordes están doblados, etc.</p>		

6. Materiales y montaje

El montaje de esta experiencia es sencillo. Se requieren elementos de fácil adquisición. Para la implementación que se muestra en la fotografía se ha usado el siguiente material:

- Placa metálica cuadrada
- Cloruro sódico
- Generador de frecuencias
- Altavoz

El dispositivo experimental utiliza una placa metálica cuadrada. Un altavoz, recuperado del equipo de sonido de un automóvil, alimentado por un generador de frecuencias, hace vibrar la placa a diferentes frecuencias. Como pequeños cuerpos se ha usado cloruro sódico en lugar de arena como se hacía originalmente, por dar granos más ligeros. Se espolvorea el cloruro sódico sobre la placa de modo homogéneo. Se conecta el oscilador a la frecuencia adecuada y la sal comienza a moverse cuando la placa vibra, de modo que finalmente se reproduce el patrón de ondas estacionarias, dando lugar a las figuras.

Se usa cloruro sódico en lugar de sal común para evitar que se apelmace con la humedad.

Una variante del experimento consiste en colocar un motor solidario con la placa y conectar dicho motor a un generador de frecuencias, de modo que cuando vibre el motor hará vibrar también la placa.

7. Precauciones especiales

- Es conveniente tener la precaución de colocar la placa de modo completamente horizontal.
- Es necesario distribuir previamente de un modo homogéneo la sal sobre la placa. Para ello es conveniente usar una placa de plástico o madera de borde recto con el fin de no tocar la sal con las manos.
- La sal empieza a moverse cuando se conecta el generador de frecuencias, sin embargo, se requiere más tiempo para alcanzar la configuración definitiva.
- Se puede aprovechar el tamaño del altavoz y el hecho de que es visible para hacer una demostración visual sobre el sonido y la frecuencia para alumnos jóvenes. A bajas frecuencias (1-5 Hz) es incluso posible ver la membrana moverse. Por ejemplo, a 1 Hz "late como un corazón".



Placa de Chladni

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Responde a todas las cuestiones breve y razonadamente en el espacio proporcionado.</i></p>	
<p>1. Explica brevemente el motivo por el que Ernst Chladni es conocido frecuentemente como padre de la Acústica.</p> <p>2. Explica qué son los patrones y líneas nodales que se forman sobre la placa.</p> <p>3. Indica para qué frecuencias podías observar el movimiento de la membrana del altavoz.</p> <p>4. ¿Qué características básicas deben tener los cuerpos que se espolvorean sobre la placa?</p> <p>5. Indica la frecuencia a la cual se obtiene la figura de la foto.</p>	

Enfriamiento por radiación

1. Principio físico que ilustra

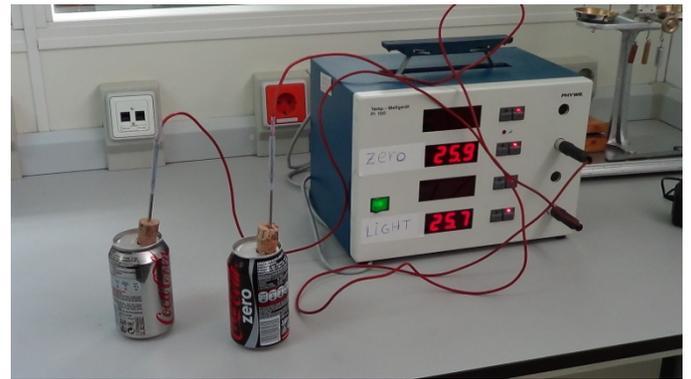
Radiación de cuerpo negro y cuerpo gris
Ley de Stefan-Boltzmann
Emisividad

3. Descripción

Dos latas idénticas excepto por su color se enfrían a ritmos diferentes al rellenarlas con agua hirviendo. La lata negra se enfría más rápido como corresponde a su mayor emisividad.

2. Foto o Esquema

4B40.40



4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: SI

5. Fundamento teórico

Un cuerpo negro absorbería toda la radiación electromagnética incidente y si está en equilibrio a una cierta temperatura también emite radiación. La cantidad de energía emitida en forma de radiación electromagnética se puede expresar según la ley de Stefan-Boltzmann como

$$P = A\sigma T^4$$

Donde

P es la potencia radiada, o energía emitida por unidad de tiempo.

A es el área total del cuerpo

σ es la constante de Stefan-Boltzmann, $5.67 \times 10^{-8} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ en S.I.

T es la temperatura del cuerpo en K

Sin embargo, un cuerpo real en general no absorberá toda la radiación incidente y emitirá menos radiación que el cuerpo negro a su misma temperatura. La emisión de un cuerpo real se asemeja más en general a la expresión para un cuerpo gris, que se caracteriza por una emisividad $\varepsilon < 1$:

$$P = \varepsilon A \sigma T^4$$

La emisividad depende en general de las propiedades de la superficie del cuerpo y en particular suele variar según el color del objeto, siendo cercana a 1 para objetos de color oscuro y cercana a 0 para objetos de color claro o reflectantes.

Las latas de la experiencia son idénticas en tamaño y material de fabricación, salvo por el color de la superficie exterior, lo que les dará emisividades diferentes, siendo mayor la correspondiente a la lata negra. Tras llenar ambas latas, estas empiezan a ceder calor al ambiente exterior más frío y su temperatura disminuye. Por supuesto, las latas ceden calor al exterior por conducción a través del metal y el aire y por convección del aire circundante, además de por radiación. Sin embargo, siendo las latas...

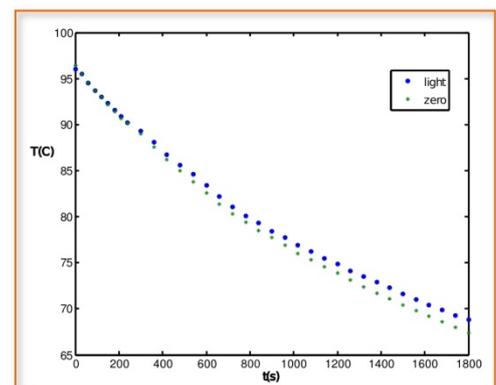


Figura 1. Temperatura de las latas en función del tiempo

...idénticas, situadas en posiciones similares, esperamos que la cantidad de energía cedida por conducción y convección sea muy aproximadamente igual en ambas latas. De modo que cuando observamos una diferencia de temperatura apreciable durante el enfriamiento esta se deberá principalmente a la diferencia en la energía radiada. De hecho, la lata de color negro se enfría más rápidamente, como se puede observar en el gráfico que representa los valores obtenidos durante la realización de la experiencia.

6. Materiales y montaje

- Dos latas de refresco de 33cl, una negra y otra blanca o reflectante (también se pueden pintar)
- Dos sondas de temperatura o dos termómetros con precisión de décima de grado
- Dos corchos para tapar las latas
- Agua hirviendo

A fin de que la temperatura se mida en iguales condiciones en ambas latas, es conveniente fijar los termómetros en una posición central en la lata. Para ello puede resultar útil colocar un tapón de corcho con una perforación en la que fijar el termómetro.

Se puede utilizar pintura para dar color a las latas. Para maximizar el efecto píntese una de blanco y la otra de negro.

Para poner en marcha la experiencia, simplemente caliéntese el agua hasta ebullición y rellénesse las dos latas lo más rápido posible. Es importante llenar las dos latas por igual para asegurarse que el efecto se debe tan sólo al color de la superficie. Lo más sencillo es llenar las latas al ras. Después basta con fijar los corchos con los termómetros y observar el enfriamiento.

Para las latas de 33cl el efecto es pequeño, alcanzándose una diferencia de temperaturas entre las latas del orden de 2°C en media hora, como se puede observar en la figura 1.

Para transportar la experiencia es recomendable utilizar termómetros en vez de las sondas de temperatura cuyo aparato resulta pesado y voluminoso.

7. Observaciones

Ha de observarse precaución al rellenar las latas para evitar quemarse con el agua hirviendo. ¡No sujetar las latas con la mano desnuda!



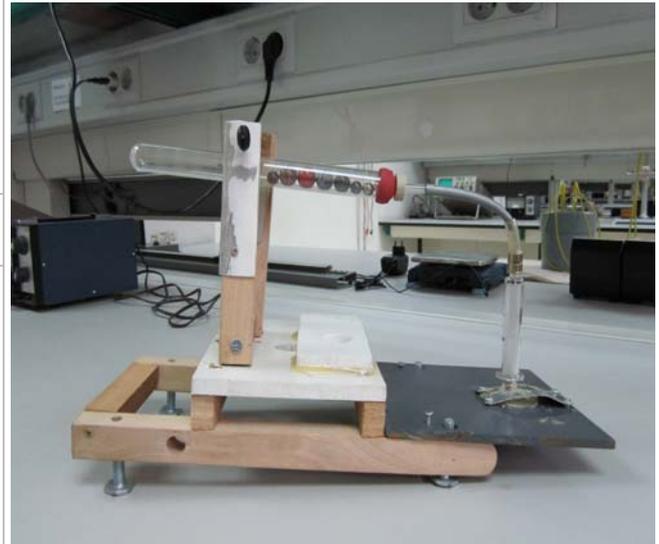
Motor de Stirling

1. Principio físico que ilustra

Primer Principio de la Termodinámica
Ciclo termodinámico
Máquina térmica

2. Foto o Esquema

4F30.10



3. Descripción

El sucesivo calentamiento y enfriamiento del aire contenido en un tubo de ensayo cerrado origina un movimiento periódico de subida y bajada del tubo en torno a un punto de apoyo, transformando la energía calorífica en mecánica.

4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

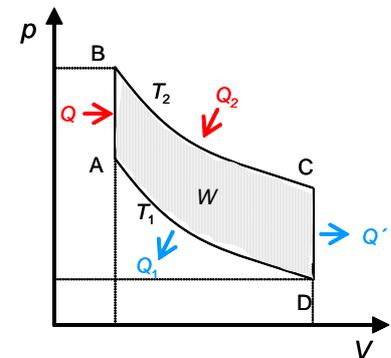
Transportable: SI

5. Fundamento teórico

El motor de Stirling es un dispositivo que transforma calor en trabajo mediante una serie de procesos termodinámicos que se realizan de forma continuada sobre un fluido de trabajo. En conjunto, estos procesos forman un ciclo termodinámico regenerativo con compresión y expansión cíclicas del fluido de trabajo, operando dicho fluido entre dos temperaturas, la del foco caliente, T_2 y la del foco frío, T_1 . El motor de Stirling es un motor exotérmico, donde el calor es aportado desde el exterior, y el fluido, que se encuentra en un compartimento cerrado, experimenta el ciclo mostrado en la figura (diagrama pV).

Un ciclo de Stirling ideal se compone de cuatro procesos reversibles:

- Calentamiento a volumen constante $A \rightarrow B$
- Expansión isoterma (T_2) $B \rightarrow C$
- Enfriamiento a volumen constante $C \rightarrow D$
- Compresión isoterma (T_1) $D \rightarrow A$



De acuerdo con el Primer Principio de la Termodinámica, el cambio en la energía interna del aire, ΔU , vendrá dado por el balance entre la energía transferida en forma de calor y de trabajo:

$$\Delta U = (Q + Q' + Q_1 + Q_2) + W$$

Dado que la energía interna, U , es una función de estado, y su cambio en un ciclo debe ser nulo, se tiene que:

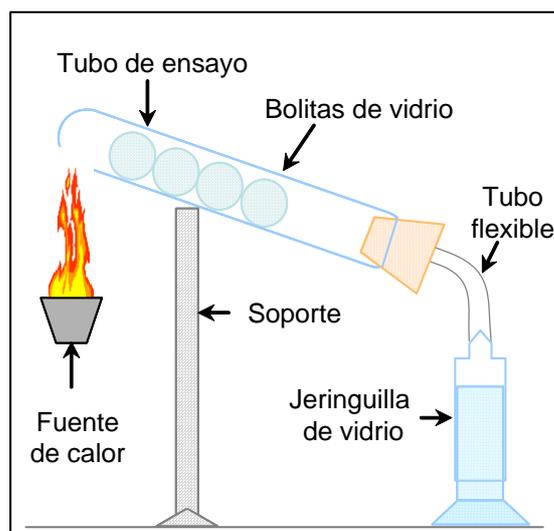
$$|Q + Q' + Q_1 + Q_2| = |W|$$

Durante la realización del ciclo, el sistema absorbe energía en forma de calor y realiza un trabajo, W , que se utiliza para producir movimiento. Si se considera el ciclo reversible, el trabajo realizado puede determinarse a partir del área encerrada en el diagrama pV :

$$W = -\oint p dV$$

6. Materiales y montaje

- Tubo de ensayo
- Bolitas de vidrio
- Jeringuilla de vidrio
- Tapón
- Tubo de conexión flexible
- Soporte
- Calefactor



En el diseño que se muestra, se aplica calor mediante un calefactor externo a un tubo de ensayo que contiene en su interior aire. Dentro del tubo se colocan varias bolitas de vidrio. El gas, inicialmente a temperatura inferior T_1 , se calienta a volumen constante, produciéndose un aumento de presión que empuja las bolitas hacia el extremo opuesto del tubo. El aire, a temperatura superior T_2 , se expande, aumentando su volumen, lo que produce un ascenso de la parte superior de la jeringuilla conectada al extremo del tubo de ensayo mediante un tubo flexible. Ello origina a su vez una elevación del extremo frío del tubo y obliga a las bolitas a volver a su posición inicial, enfriando el aire hasta la temperatura T_1 a volumen constante. Este enfriamiento hace que disminuya el volumen del gas y la presión del medio de trabajo, por lo que el sistema vuelve a su estado inicial, completando el ciclo.

7. Observaciones

-La jeringuilla tiene que estar bien limpia para permitir el desplazamiento correcto de la parte superior de la misma.

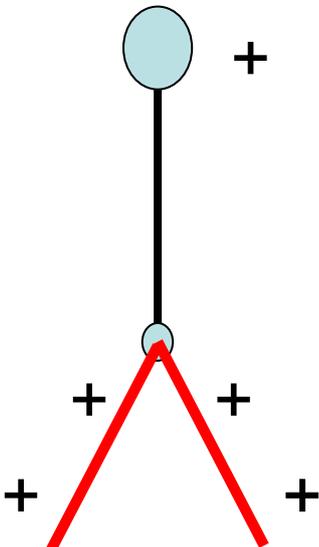
-El nivel de inclinación del tubo de vidrio, así como el contenido de aire en el mismo, han de optimizarse para conseguir un correcto funcionamiento.



Motor de Stirling

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Para cada pregunta, elija una de las opciones.</i></p>	
<p>1. El motor de Stirling transforma:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Energía calorífica en trabajo.b) Movimiento en energía.c) Trabajo en calor. <p>2. El ciclo de Stirling:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Está formado por tres etapas, un calentamiento, un enfriamiento y una expansión.b) Está formado por cuatro etapas, un calentamiento, una expansión, un enfriamiento y una compresión.c) Está formado por dos etapas, una etapa de expansión y una de compresión. <p>3. El sistema termodinámico que realiza el ciclo es:</p> <ul style="list-style-type: none">a) El aire contenido en un tubo de ensayo.b) Las siete canicas desplazándose a lo largo del tubo.c) El tubo de ensayo situado en el soporte fijo. <p>4. En un ciclo termodinámico:</p> <ul style="list-style-type: none">a) El sistema, tras realizar las etapas del ciclo, vuelve al estado termodinámico inicial.b) El sistema, tras realizar las etapas del ciclo, cambia de estado termodinámico.c) El sistema, tras realizar las etapas del ciclo, se transforma en otro sistema. <p>5. La transformación de la energía calorífica en trabajo se realiza:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Durante las etapas de expansión y compresión del aire.b) Durante el proceso de calentamiento del aire.c) Durante el proceso de enfriamiento del aire.	

El Electroscopio

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	5A22.25
Fuerzas electrostáticas. Carga por inducción. Conducción eléctrica.		
3. Descripción		
Dos láminas conductoras delgadas pueden girar y abrirse, como las hojas de una puerta colgadas de un gancho. Ambas están en contacto mediante un conductor que puede ser el propio eje de giro. Al cargarlas ambas se separan por efecto de la repulsión electrostática. Acercando distintos cuerpos al conductor podemos ver si están cargados y comparar su carga con la ya depositada en el electroscopio.		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>El electroscopio es un aparato sencillo, fácil de construir, que permite demostrar la presencia de cargas eléctricas y comparar sus signos. Existen diferentes versiones, la más popular usa dos láminas metálicas delgadas unidas a un cuerpo conductor, muchas veces una esfera. Se suele insertar el conjunto en un bote de vidrio o un matraz para aislarlo del exterior.</p>		
<p>La demostración más sencilla consiste en cargar la esfera externa tocándola con un cuerpo cargado, como una varilla de vidrio que se ha frotado con un tejido o un trozo de papel. La varilla se carga electrostáticamente y al tocar la esfera parte de la carga pasa a ésta. A su vez parte de la carga pasa a las láminas, que al tener cargas de igual signo se separan por repulsión electrostática. El ángulo de separación depende de la carga acumulada. Si a continuación tocamos la esfera con otro cuerpo cargado de forma apreciable podemos ver si las láminas se juntan o no, lo que dependerá de si la carga del cuerpo es del mismo signo o distinto que la que almacenaba el electroscopio.</p>		
<p>Podemos también usar el electroscopio para observar el efecto de la separación de cargas y la carga por inducción. Si acercamos un cuerpo cargado a la esfera conductora esta, en particular la zona más cercana al cuerpo acumulará una carga neta de signo opuesto al del cuerpo. Si el conjunto de los conductores del electroscopio era inicialmente eléctricamente neutro las láminas adquirirán una carga neta de signo opuesto al de la esfera y se separarán.</p>		
		

6. Materiales y montaje

1. Dos laminas de papel de aluminio
2. Alambre conductor.
3. Matraz o bote de cristal.
4. Tapón de corcho o “corcho blanco”.
5. Esfera conductora (opcional).
6. Varilla de vidrio.
7. Trozo de tejido o papel.

Es fácil de construir un electroscopio casero, que permite demostrar la presencia de cargas eléctricas y comparar sus signos. Los dos trozos de papel de aluminio se cuelgan un gancho hecho doblando el alambre conductor. A su vez el alambre se conecta a un cuerpo conductor, muchas veces una esfera o sencillamente se dobla un trozo de alambre. Se inserta el conjunto en un bote de vidrio o un matraz para aislarlo del exterior. A su vez se aísla el conductor de la botella usando un dieléctrico como “corcho blanco”. En nuestro caso en lugar de un bote de cristal hemos usado un matriz donde es más fácil fijar un tapón de poliestireno expandido, *corcho blanco*. El resultado es el que se muestra en la foto.

Para hacer la demostración cargamos la varilla y la frotamos con el alambre o la esfera. Vemos que si añadimos más carga las láminas se separan más, muestra que la fuerza electrostática es proporcional a las cargas de los cuerpos. Si lo tocamos con el dedo o algún cuerpo conductor se descarga y las láminas se juntan.

7. Observaciones

Podemos también medir el grado de ionización del aire usando un electroscopio. En este método se basan algunos dosímetros y se basó históricamente el descubrimiento de los rayos cósmicos. [1].

Referencias:

- [1] Midiendo la radioactividad con un electroscopio casero.
V. Pazyi, O, Rodriguez, J.L. Contreras.
XXXII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física. Santander 2011.



El electroscopio

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Responde a todas las cuestiones breve y razonadamente en el espacio proporcionado. Si es test: Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. En el vídeo aparecen cuerpos conductores y otros aislantes. Di de qué tipo es cada uno de los que se nombran a continuación.</p> <ul style="list-style-type: none">a) Varilla de vidriob) Láminas de aluminiob) Papel.c) Matrazd) Varilla de cobree) Tapón. <p>Explica muy brevemente por qué se construye así.</p> <p>2. ¿Por qué se separan las láminas de aluminio del electroscopio? ¿Sería posible que se llegaran a poner horizontales?</p> <p>3. ¿Cómo se carga un cuerpo por inducción? ¿Es posible cargarlo con cualquier signo de carga?</p> <p>4. ¿Qué ocurriría si acercáramos una varilla conductora al electroscopio estando este cargado?</p> <p>5. ¿Por qué se pone una esfera recubierta de papel de aluminio en la parte superior del electroscopio?</p>	

Campana de Franklin

1. Principio físico que ilustra

2. Foto o Esquema

5A40.20

Interacción electrostática
Carga inducida
Péndulo simple



3. Descripción

Cuando se conecta el circuito, los procesos de carga y descarga electrostáticas de una bolita metálica originan un movimiento oscilatorio de la bolita entre las dos latas.

4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

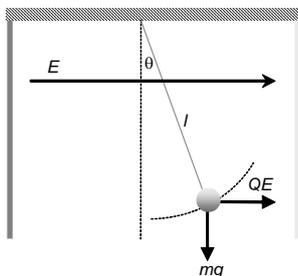
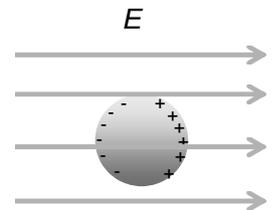
Transportable: SI

5. Fundamento teórico

Cuando un conductor esférico se sitúa en un campo eléctrico uniforme, E , se origina una distribución de carga en su superficie que viene dada por:

$$\sigma = 3\epsilon_0 E \cos \theta$$

donde ϵ_0 es la permitividad del vacío, siendo la carga inducida neta cero. El potencial sobre la esfera conductora es nulo. La esfera se comporta como un dipolo eléctrico, con distribuciones de carga de signo opuesto en los lados de la esfera.



Si el campo eléctrico es creado por un condensador y la esfera se coloca suspendida del extremo inferior de un hilo, perpendicular al campo eléctrico, fijo por su extremo superior, la esfera siente una fuerza de atracción hacia la placa positiva, más cercana de la carga negativa inducida en la esfera. Mientras el lado opuesto de la esfera con carga positiva será atraída por la placa negativa. Se produce entonces un movimiento de la esfera debido a la fuerza de atracción eléctrica entre cargas de signo contrario (ley de Coulomb). Al alcanzar la placa positiva, la esfera queda cargada con carga positiva, Q . Cuando la esfera se ha cargado se mueve repelida, debido a la fuerza de repulsión eléctrica entre cargas de igual signo,

$$\vec{F} = Q\vec{E}$$

hacia la placa del lado opuesto, cargada negativamente. Cuando alcanza dicha placa, choca con ella, cargándose negativamente, y moviéndose entonces de nuevo hacia el lado opuesto, repelida por la fuerza de repulsión eléctrica.

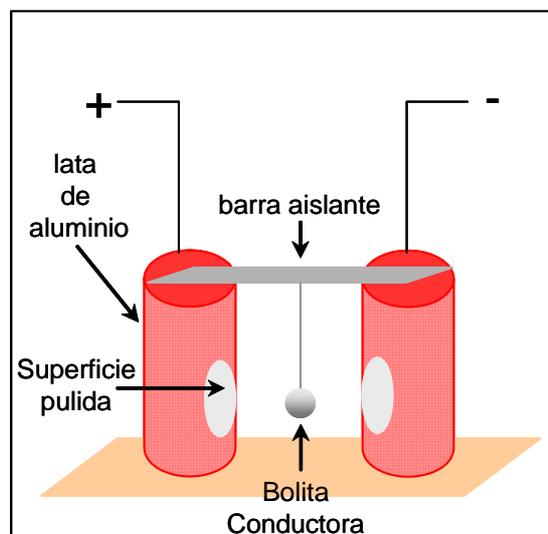
Debido a su energía cinética, la esfera rebasa la posición de equilibrio acercándose de nuevo a la placa positiva, volviéndose a cargar y comenzando de nuevo el proceso. Se origina entonces un movimiento oscilatorio que puede describirse de forma aproximada, suponiendo que la esfera se comporta como un péndulo simple, por la ecuación:

$$ml \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -mg \sin \theta + QE \cos \theta$$

donde m es la masa de la esfera y l la longitud del hilo.

6. Materiales y montaje

- Dos latas de refresco
- Bolita de papel de aluminio
- Hilo
- Barra aislante
- Fuente de alimentación eléctrica
- Cables para la conexión eléctrica



En el diseño que se muestra, se han utilizado dos latas de refresco, de aluminio, a las que se ha pulido parte de la superficie para desprender la capa de pintura en los lugares donde se produce el choque de la bolita que hace de péndulo. Sobre la parte superior de ambas latas, se fija una barra de un material aislante. La bolita se ha hecho plegando con los dedos papel de aluminio y se cuelga suspendida de un hilo a la barra que separa las dos latas. Cuando las dos latas se conectan a una fuente de alimentación, de manera que una de ellas queda conectada al borne positivo y la otra al negativo, se observa que la bolita empieza a moverse rápidamente entre las dos latas como si fuera un péndulo. El movimiento se detiene cuando se desconecta la fuente.

7. Observaciones

-La longitud del hilo debe ser suficiente para permitir que la bolita pueda tocar ambas latas en su movimiento oscilatorio.

-El campo eléctrico creado entre las latas debe ser de suficientemente grande para originar la fuerza necesaria para producir una amplitud de oscilación que permita el contacto entre la bolita y las latas.



Campana de Franklin

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Responda a todas las cuestiones breve y razonadamente en el espacio proporcionado.</i></p>	
<p>1. ¿Por qué se crea el campo eléctrico cuando se conecta la fuente de alimentación?</p> <p>2. ¿Se observaría el mismo fenómeno si la bolita se hubiera hecho con un material eléctricamente aislante?</p> <p>3. ¿Qué procesos ocurren cuando la bolita choca con las latas?</p> <p>4. ¿Se observaría el movimiento de la bolita para cualquier valor del campo eléctrico aplicado?</p> <p>5. ¿Qué tipo de movimiento experimental la bolita metálica?</p>	

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	5A40.35
Repulsión electrostática entre cargas del mismo signo		
3. Descripción		
Levitación de cuerpos ligeros debido a la repulsión electrostática creadas por un generador electrostático (generador de Van der Graaff).		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab		Transportable: SI
5. Fundamento teórico		
La fuerza de interacción electrostática o fuerza de Coulomb es:		
$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$		
Siendo K la constante de Coulomb, q_1 y q_2 dos cargas puntuales (positivas o negativas dependiendo del tipo de carga) y r la distancia que las separa.		
La fuerza entre las dos cargas será atractiva si es positiva y repulsiva si es negativa.		
El procedimiento consiste en tocar con un generador electrostático de Van der Graaff (la susodicha varita mágica) cualquier parte de las cintas de aluminio que acompañan a la varita mágica. Inicialmente estas cintas estarán descargadas (es decir con carga neutra). Al tocarlas se transmite la carga de la varita a las cintas. Como las figuras están formadas por hilos metálicos ligeros, y en cada hilo hay cargas del mismo signo, se repelerán entre sí y la cinta se “hinchará” adquiriendo una forma concreta. Después del primer toque, al retirar la varita, ésta se volverá a cargar con la carga inicial, que es del mismo signo que la que ha sido transferida a la cinta, por lo que ahora al acercar la varita a la cinta la repelerá, dando la sensación de que se controla a distancia por la varita.		
Debido a que las cintas de aluminio son muy ligeras, tardan bastante en caer al suelo por su propio peso, lo que deja tiempo a ser controladas por la varita.		

6. Materiales y montaje

- Figuras hechas con cintas de aluminio muy ligeras
- Un generador de carga electrostática (varita mágica)

1-Se coge cada una de las figuras con delicadeza, usando el pulgar y el índice y con las manos limpias.

2-Se carga la varita mágica y se toca la figura para que se cargue.

3- Una vez cargada la figura se puede mover en el aire siendo atraída o repelida por objetos cargados con cargas del distinto signo o el mismo signo respectivamente.

7. Observaciones

Si se ensucian las cintas de aluminio o se rompen, las cargas no se distribuirán por ella de la forma deseada impidiendo un funcionamiento adecuado.



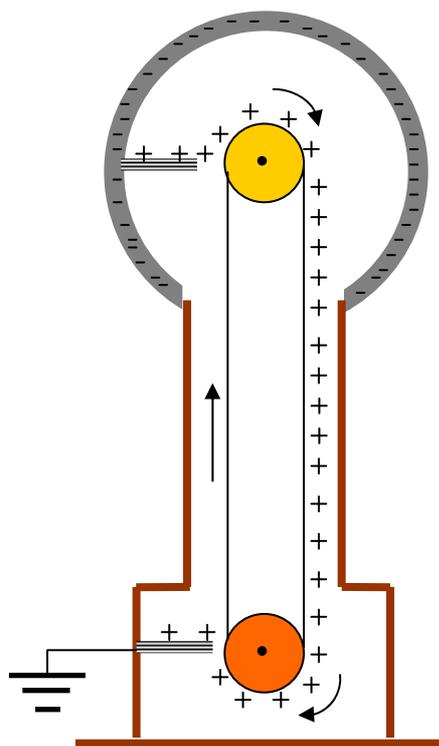
Generador de Van de Graaff

1. Principio físico que ilustra Carga de un conductor. Generación de grandes diferencias de potencial.	2. Foto o Esquema	5A50.30
3. Descripción Esta experiencia trata de explicar cómo se puede construir un generador de Van de Graaff, un dispositivo que permite el almacenamiento de carga en una superficie conductora, creando campos eléctricos muy intensos y, por tanto, diferencias de potencial muy altas que pueden llegar a ser del orden de megavoltios		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: NO	
5. Fundamento teórico En 1931, R. J. Van de Graaff ideó este generador de corriente constante, que lleva su nombre, con el propósito de crear diferencias de potencial muy altas y poder acelerar partículas cargadas. En la actualidad se emplea tanto para este fin como para demostraciones de física. De una manera muy simple y genérica, se puede decir que funciona haciendo llegar cargas o extrayéndolas de a la superficie interior de un conductor mediante una correa transportadora. El generador admite varias construcciones posibles, el que nosotros vamos a fabricar se denomina auto-excitado porque para funcionar no necesita de un aporte de cargas desde el exterior (Aparece descrito en la figura). En él, la polea superior y la correa, por fricción, adquieren cargas iguales pero de diferente signo, cómo se carguen cada uno de ellos depende del material del que están hechos (de acuerdo con la escala triboeléctrica). En nuestro caso, la polea se carga negativamente, por ser de teflón, en tanto que la correa lo hace positivamente. Las cargas de la correa y la polea son iguales y de signo contrario pero el campo es más intenso en el caso de la polea puesto que la superficie por la que se reparte la carga es mucho más pequeña. Por este motivo, si se coloca un peine metálico muy próximo a la superficie de la correa, a la altura del eje, se establece un fuerte campo entre los hilos del peine y la superficie de la polea, de modo que el aire entre ellos se ioniza, volviéndose conductor y permitiendo el paso de cargas positivas desde el peine hacia la polea. Lo que sucede es que en el camino se encuentran con la correa donde se depositan, esto cancelaría el campo momentáneamente, pero como la correa se mueve, las cargas son llevadas hacia abajo y el proceso se inicia nuevamente. Dado que el peine está unido a la cara interior del conductor, se están extrayendo cargas positivas de él, de modo que su superficie queda cargada negativamente. Las cargas positivas son transportadas, como ya hemos dicho, por la correa hacia abajo. Allí, se encuentran con otro peine metálico, colocado muy próximo a la correa y conectado a tierra. Como entre la correa y el peine se establece una diferencia de potencia, las cargas positivas van saltando al peine y de este modo no se produce una acumulación de carga en la correa. La polea inferior, en nuestro caso al ser de aluminio recubierta de PVC, no se carga por fricción y no juega un papel más que puramente mecánico. Cuanto mayor es la carga almacenada en la superficie del conductor hueco mayor será el campo creado y, por lo tanto, la diferencia de potencial. En teoría, el conductor hueco se podría cargar de manera		

indefinida, pero en realidad la carga que se puede almacenar en la superficie del conductor está limitada, pues conforme se va acumulando la carga en la superficie del conductor, el aire que lo rodea se va ionizando, hasta que se produce la ruptura del dieléctrico y el aire se convierte en conductor, haciendo que las cargas se pierdan a su través. Como el campo eléctrico de ruptura del aire es de unos $3 \cdot 10^6$ V/m, en una esfera de 1 m de radio se puede elevar el potencial hasta $3 \cdot 10^6$ V. Esta diferencia de potencial podría ser mayor si aumentásemos las dimensiones del conductor o si introdujésemos el sistema en un recinto con un gas a presión elevada para que el campo de ruptura sea mayor.

6. Materiales y montaje

- Un motor
- Una polea de teflón o un material que por fricción se cargue negativamente.
- Una polea de aluminio recubierta de PVC o un material que no se cargue por fricción.
- Una correa de goma o un material que por fricción se cargue positivamente.
- Un peine de hilos de cobre muy próximos a la polea inferior, y a la altura del eje, conectado a tierra.
- Un peine de hilos de cobre muy próximo a la polea superior, y a la altura de sus ejes, conectada al conductor.
- Un conductor hueco.
- Una columna de un material aislante que soporta el montaje



7. Observaciones

Este montaje es solo uno de los posibles para construir un generador de Van de Graaff auto-excitado, hay diferentes montajes que cambian la polaridad de las cargas utilizando diferentes materiales para la correa y las poleas.



8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>En cada pregunta, sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Un generador de Van de Graaf es:</p> <ul style="list-style-type: none">a) es un dispositivo que crea diferencias de potencial muy altas.b) es un generador de corriente alterna.c) es generador de corriente rectificada. <p>2. La toma de tierra en la parte inferior de la bobina está allí para:</p> <ul style="list-style-type: none">a) que el dispositivo no sea peligroso.b) que las cargas no se acumulen en la correa del generador.c) Que se cargue el generador. <p>3. La diferencia de potencial que se consigue con el generador está limitada:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Por la tensión suministrada por la fuente.b) Por la velocidad a la cual se mueve la polea del generador.c) Por las propiedades dieléctricas del aire. <p>4. Si la correa y la polea de la parte superior fuesen del mismo material:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Ambas adquirirían cargas de distinto signo.b) Ambas se cargarán con cargas del mismo signo.c) Ninguna de las dos se cargaría. <p>5. La diferencia de potencial que se obtiene con este generador se puede aumentar si:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Se aumenta el tamaño del conductor situado en la parte superior.b) Se cambia la longitud de las poleas.c) Se cambia el conductor situado en la parte superior por un dieléctrico (aislante).	

Motor líquido

1. Principio físico que ilustra

Proceso electrolítico
Ley de Lorentz

3. Descripción

Cuando se conecta el circuito, se origina un movimiento giratorio del líquido contenido en el vaso alrededor de la tubería de cobre.

2. Foto o Esquema

5E40.20

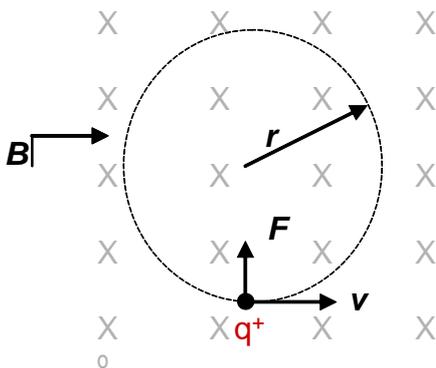
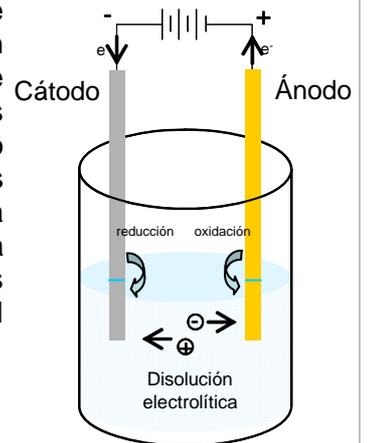


4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: SI

5. Fundamento teórico

Un electrolito es una sustancia que al disolverse en un disolvente, normalmente agua, da lugar a la formación de iones en una reacción de disolución prácticamente irreversible. Cuando en el seno de una disolución electrolítica se sumergen dos electrodos y se hace circular una corriente continua, los electrodos atraen a los iones de la disolución hacia ellos. El electrodo positivo (ánodo) atrae los iones negativos, y el electrodo negativo (cátodo) atrae los iones positivos, de manera que la disolución cierra el circuito y se establece una corriente eléctrica con el movimiento de los iones. Este dispositivo se denomina celda electrolítica. En los electrodos también tienen lugar procesos electroquímicos. En el ánodo se produce una reacción de oxidación y en el cátodo una reacción de reducción.



De acuerdo con la "Ley de Lorentz", toda carga eléctrica en movimiento en el seno de un campo magnético experimenta una fuerza, \vec{F} , de dirección perpendicular al vector velocidad, \vec{v} , y al vector campo magnético, \vec{B} , dada por:

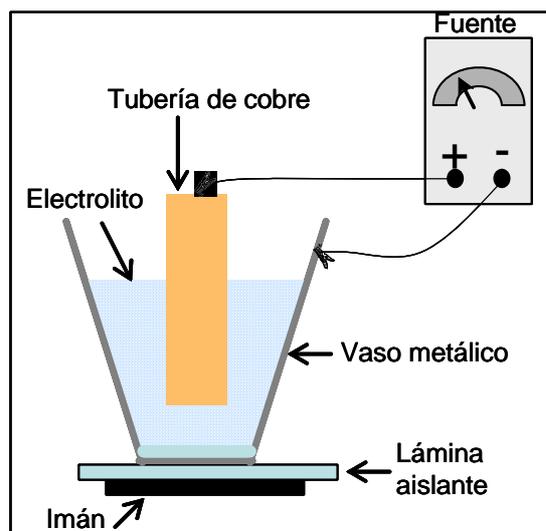
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Esta fuerza es siempre perpendicular a la velocidad, lo que hace que se curve la trayectoria de las cargas, que se desplazan siguiendo un movimiento circular uniforme alrededor de un punto.

El movimiento de las cargas no es en principio visible, pero si las cargas se mueven en el seno de un líquido, como es una disolución, puede tener lugar un efecto convectivo y el líquido se mueve de forma visible siguiendo también un movimiento circular en torno al mismo punto que las cargas.

6. Materiales y montaje

- Imán potente y grande
- Trozo de tubería de cobre
- Vaso metálico
- Láminas de corcho
- Disolución electrolítica
- Fuente de alimentación eléctrica
- Cables para la conexión eléctrica



En el diseño que se muestra, un vaso metálico (zinc) conteniendo ácido acético se sitúa sobre un imán potente, que crea el campo magnético. En este caso se ha utilizado el imán de un altavoz. El vaso se apoya sobre el imán, pero separado de él mediante una lámina aislante de corcho para evitar que la corriente derive hacia el imán. En el vaso se inserta un trozo de tubería de cobre. En el fondo del vaso se coloca otra lámina aislante de corcho para evitar el contacto entre la tubería y el vaso metálico. La pared del vaso, que actúa de cátodo, se conecta al polo negativo de una fuente de alimentación eléctrica, y el trozo de tubería de cobre, que actúa de ánodo, se conecta al polo positivo de la misma. De esta forma, la pared del vaso y el trozo de tubería actúan de electrodos formando una celda electrolítica.

7. Observaciones

-La fuente de alimentación puede sustituirse por una pila.

-Aunque el experimento funciona independientemente de la polaridad con que se efectúen las conexiones, es conveniente que el vaso vaya unido al polo negativo y la tubería de cobre al polo positivo para evitar la posible perforación del vaso.



Motor líquido

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Responda a todas las cuestiones breve y razonadamente en el espacio proporcionado.</i></p>	
<p>1. ¿En qué consiste una celda electrolítica?</p> <p>2. ¿Qué dos tipos de procesos están implicados en esta experiencia?</p> <p>3. ¿De dónde proceden las cargas que transportan la corriente eléctrica en el interior del vaso de zinc?</p> <p>4. ¿Cómo sería el movimiento de los iones en el seno de la disolución si no existiese el campo magnético?</p> <p>5. ¿De qué depende el sentido de giro del líquido contenido en el vaso?</p>	

Pilas Zinc-Cobre

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	5E40.25
Electroquímica Pila galvánica Energía eléctrica producida en una reacción redox		
3. Descripción		
En esta práctica se muestra cómo la energía electroquímica producida en una reacción espontánea redox puede encender un LED.		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>El fundamento de una célula electroquímica, como la pila galvánica, es siempre una reacción redox que se puede desglosar en dos semirreacciones:</p>		
<ul style="list-style-type: none">- La oxidación (pérdida de electrones) tiene lugar en el ánodo, que es el electrodo negativo, y- La reducción (ganancia de electrones) transcurre en el cátodo, que es el electrodo positivo.		
<p>La electricidad se genera debido a la diferencia de potencial eléctrico entre estos dos electrodos. Esta diferencia de potencial se crea como resultado de la diferencia entre los potenciales individuales de los dos electrodos en relación con el electrólito o disolución en la que están sumergidos. Por lo tanto la diferencia de potencial de una pila será:</p>		
$E_{pila} = E_+ - E_- = E_{cátodo} - E_{ánodo}$		
<p>Buscando en la Tabla de potenciales normales de reducción 'E^0 (V)' podemos calcular el potencial que vamos a tener en nuestra pila.</p>		
<p>El ion Zinc (Zn^{2+}), cuyo $E^0 = -0,76$ V es oxidado por un electrodo con un mayor potencial de reducción, el Hidrógeno (H^+) cuyo $E^0 = 0$ V por lo que $E_{pila} = (0 - (-0,76)) = 0,76V$</p>		
<p>Notar que no se produce la reducción de Cu^{2+} a Cu en la placa de Cu debido a que no hay iones Cu^{2+} en la disolución lo que daría una diferencia de potencial de $E_{pila} = (0,34 - (-0,76)) = 1,1V$. No obstante si se mide experimentalmente la diferencia de potencial sale ~ 1 V. Esto es así porque los potenciales normales de reducción están medidos para condiciones estándar ($pH = 0$ para una concentración de iones H^+ de 1M), pero ni la concentración de iones Zn^{2+}, ni el pH de la disolución de ácido acético corresponden a estas condiciones.</p>		
<p>Al introducir Zn sólido en una disolución ácida, la reacción en la superficie del Zn es la siguiente:</p>		
<p>$Zn + 2H^+ \rightarrow Zn^{2+} + H_2$; esto provoca un burbujeo de gas hidrógeno apreciable en la superficie del metal mientras el Zn se va disolviendo. Al conectar la placa de Zn a una de Cu se produce una corriente eléctrica debida al aumento de la velocidad de disolución del Zn en iones Zn^{2+} que ahora es mayor que la velocidad de producción de H_2 en la placa de Zn. Estas cargas pasan a través del cable (corriente eléctrica) a la placa de cobre donde se producirá la reacción de reducción siguiente: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$. Hay que tener en cuenta que esta producción de hidrógeno en el cátodo de Cu es mucho menor que la que se está produciendo en la superficie del Zn.</p>		
<p>La espontaneidad de los procesos se mide con la función de Gibbs en condiciones estándar, que para pilas es directamente proporcional a E^0:</p>		
<p>Si $E^0 > 0$, el proceso es espontáneo (célula galvánica o pila)</p>		
<p>Si $E^0 < 0$, el proceso NO es espontáneo (celda electrolítica)</p>		

6. Materiales y montaje

- Tres vasos de precipitados
- Tres placas de Zn y tres de Cu
- Ácido acético
- Cables para unir las pilas
- Un LED

1-Se llenan los vasos de precipitados hasta la mitad con el ácido acético.

2-Se introduce en cada vaso una placa de Zn y otra de Cu unidas por un cable.

3-Se conecta el cátodo de una pila con el ánodo de la siguiente y así con las 3 pilas para obtener pilas en serie.

4- Se conecta el LED con la polaridad adecuada y se iluminará automáticamente, descendiendo la luminosidad conforme se vaya ennegreciendo la placa de Zn.

7. Observaciones

Es importante tener cuidado al manipular el ácido acético (vinagre) evitando el contacto con partes sensibles, como los ojos.



Cubo de resistencias y LEDs

1. Principio físico que ilustra

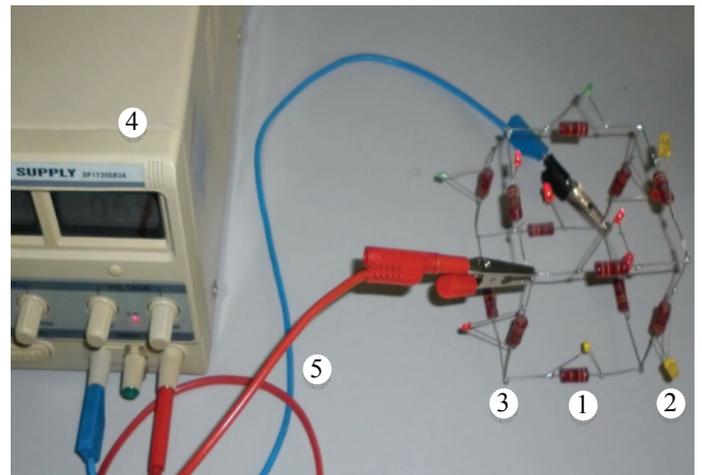
Conducción eléctrica
Leyes de Kirchhoff

3. Descripción

Esta experiencia permite el estudio del fenómeno de la conducción eléctrica a través de resistencias y LEDs. Dicha conducción se puede caracterizar a partir de las leyes de Kirchhoff, que permiten calcular la corriente eléctrica que circula por cada resistencia y la diferencia de potencial entre los extremos de cada una de ellas.

2. Foto o Esquema

5F20.10

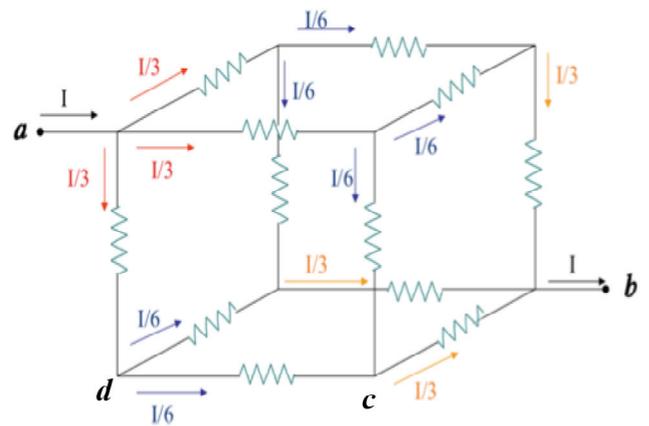


4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: SI

5. Fundamento teórico

Las características de la conducción eléctrica pueden ejemplificarse mediante un cubo de resistencias, como el que se muestra en el esquema adjunto, en el que en cada arista de un cubo se intercala una resistencia, todas ellas con el mismo valor R . Si se aplica una diferencia de potencial entre los puntos a y b (V_{ab}) la corriente fluye a través de las distintas resistencias. El valor de la corriente a través de cada resistencia, así como la diferencia de potencial entre los extremos de cada una de ellas, puede calcularse utilizando las leyes de Kirchhoff, que se pueden enunciar como sigue: $\sum_i I_i = 0$; $\sum_i \Delta V_i = 0$;



La primera ecuación, o *ley de los nudos*, se aplica a los *nudos* de un circuito, lugares donde la corriente eléctrica tiene posibilidad de bifurcarse (como los vértices del cubo), y establece que la suma total de las corrientes, con signo, que llegan a un nudo es nula, donde el signo de las corrientes que llegan al nudo es opuesto al signo de las corrientes que salen del nudo. La segunda ecuación, o *ley de las mallas*, se aplica a las *mallas*, o trayectorias cerradas en un circuito y establece que la suma de las variaciones de potencial a lo largo de cualquier malla del circuito también es nula. Aplicando ambas leyes a los nudos y mallas que aparecen en el cubo de resistencias, y conocido el valor de R y V_{ab} , se obtiene un sistema de ecuaciones lineales que permite calcular la corriente que circula por cada una de las resistencias, y que se muestran en la figura.

Para ilustrar la circulación de la corriente a través del cubo, se ha soldado un LED en paralelo con cada resistencia (como se ve en la fotografía), que se ilumina cuando la tensión entre sus extremos supera la *tensión umbral* del LED. De esta manera se aprecia de forma visual como en algunas aristas la tensión entre las resistencias es mayor (LEDs encendidos) que en otras (LEDs apagados). Sin embargo, al ser los LEDs dispositivos no óhmicos, el análisis del cubo se complica, ya que cuando aquellos conducen, la resistencia equivalente del sistema LED-resistencia se reduce respecto al valor de la resistencia.

6. Materiales y montaje

Los elementos requeridos para la fabricación de este cubo de resistencias y LEDs son de fácil obtención:

1. 12 resistencias de 43 Ohmios.
2. 12 LEDs.
3. Hilo conductor rígido.
4. Fuente de alimentación NZD Electronics - DF1730SB3A (0-3 A, 0-30 V regulables).
5. Cables de conexión flexibles.
6. Soldador de estaño.

Para construir el cubo, en primer lugar se construyen sus aristas, soldando conductores rígidos a ambos extremos de cada una de las resistencias de igual valor. Posteriormente se sueldan las distintas aristas para formar el cubo. Finalmente se suelda en paralelo a cada resistencia un LED, de forma que el sentido de conducción directa del LED sea el definido por las flechas corriente de la figura.

Para poner en funcionamiento el cubo, basta con conectar sus vértices opuestos, etiquetados por a y b en la figura, a los polos positivo y negativo de una fuente de alimentación, respectivamente. Aumentando poco a poco la tensión de la fuente desde 0 V, se observará como se encienden primero los LEDs contiguos a los vértices a y b , encendiéndose posteriormente el resto de los LEDs. No es conveniente superar en la fuente tensiones de 7.5 - 8 V, para no dañar los LEDs, ya que por simplicidad del montaje, éstos no llevan ninguna resistencia de protección en serie.

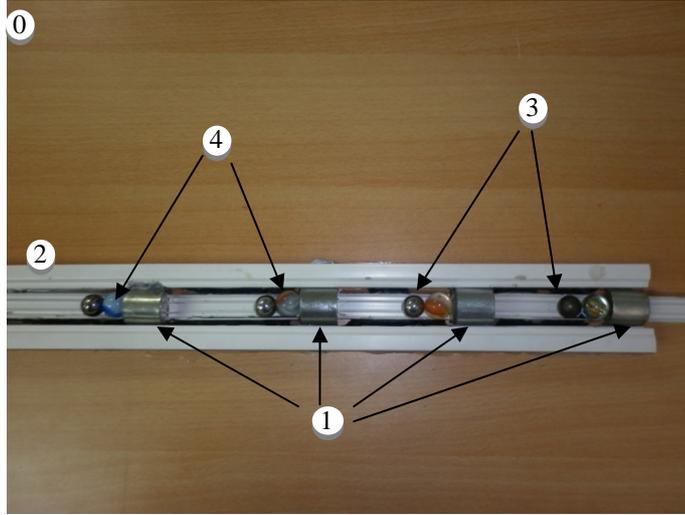
7. Observaciones

Para el montaje y operación de esta experiencia, utilizando en concreto el material antes mencionado, es necesario tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Hay que tener especial cuidado con la polaridad de la fuente, con el polo positivo en el vértice a del cubo, y el polo negativo en el vértice b , para que los LEDs luzcan correctamente.
- Para proteger los LEDs es conveniente operar la fuente de alimentación limitando previamente la corriente máxima de salida hasta unos 200 mA aproximadamente.
- Es posible obtener una práctica más portable sustituyendo la fuente de alimentación por dos pilas de 9 V conectadas en paralelo, en serie con un potenciómetro (para obtener una tensión variable entre los extremos del cubo).
- Para estudiar distintos tipos de circuitos con el mismo cubo, es posible conectar la fuente de alimentación no sólo a los vértices opuestos del cubo, sino también a los vértices en la diagonal de una de las caras del cubo (V_{ac} , en la figura), o incluso a los dos extremos de una resistencia (V_{ad} , en la figura). El patrón de iluminación de los LEDs será desde luego distinto, y de nuevo hay que prevenir el posible daño de los LEDs limitando en corriente la fuente.



Cañón de Gauss

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	5G10.55 5G10.18
Fuerza magnética Conservación de la energía y el momento. Barrera de potencial. Reacción en cadena.		
3. Descripción Unas bolas de acero son lanzadas a gran velocidad por un juego de imanes montado dentro de unas guías.		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico Esta experiencia es una práctica bastante espectacular, una versión simplificada del aparato llamado “Cañón de Gauss”. Sobre un tablero de madera (0), se monta un conjunto de imanes (1) dentro de unas guías de plástico (2), con una separación constante entre ellos. Unas bolas de acero (3) se colocan entre cada par de imanes siendo atraídas por ambos. Cada una se mantiene a una cierta distancia del imán más cercano por una canica de cristal (4). Las bolas se encuentran en equilibrio inestable. Para disparar el cañón liberamos otra bola de acero dentro de las guías cerca del primer imán. Al ser atraída por éste va ganando velocidad hasta chocar con él. El momento y energía transferidos en el choque liberan la bola de acero que estaba al otro lado del imán, sujeta por él. Esta energía le permite a la bola “saltar” la barrera de potencial que la sujetaba y es atraída hacia el imán siguiente, sumando a su velocidad inicial la que gana por la atracción magnética. El proceso se repite varias veces, hasta que la última bola sale por las guías que limitan el cañón a gran velocidad. Cada uno de los choques es prácticamente elástico, lo que ilustra las leyes de conservación de la mecánica. En cada recorrido entre dos imanes las bolas de acero ganan energía cinética perdiendo la potencial que tenía por su distancia al imán, esto ilustra la conservación de la energía total y un ejemplo de la energía potencial gráfico y no gravitatorio. Por último para liberar las bolas de la atracción del imán más cercano hace falta una cierta energía, que proporciona en cada caso el choque de la bola anterior, una analogía que se puede usar para explicar casos similares como las reacciones químicas. Hay que recordar que de manera estricta no existe una energía potencial magnética, sin embargo si existe una energía potencial entre dos imanes que interactúan, que podríamos ver como la energía de un dipolo magnético en el campo creado por otro imán. Se puede preguntar para motivar la discusión ¿De dónde procede la energía cinética que ganan las bolas?		

6. Materiales y montaje

- Tablero base (0)
- Imanes de Neodimio (1)
- Guías de plástico (2)
- Bolas de acero (3)
- Canicas de cristal (4)

Se colocan las canicas de cristal pegadas a la parte delantera de los imanes. Luego, con cuidado, se colocan las bolas de acero tocando a las de cristal. Finalmente se coge otra bola de acero y se hace rodar lentamente desde detrás del primer imán.

7. Observaciones

Hay que tener cuidado al colocar las bolas para que ninguna se escape disparando prematuramente el cañón.

Cuando la experiencia acaba todas las bolas de acero, menos la última, quedan pegadas a los imanes. Dado su alto campo es muy difícil despegarlas. Es útil disponer de un destornillador o herramienta similar para poder hacerlo.

El “verdadero” cañón de gauss es un aparato mucho más potente. No usa imanes fijos, sino electroimanes creados por solenoides por cuyo interior puede circular la bola de acero. Los imanes se montan también en línea recta y dentro de unas guías. La bola se coloca cerca del primero de ellos y es atraída por el campo magnético hasta su interior. Cuando se encuentra en el centro se corta la corriente de forma que sea capaz de salir de él sin frenarse. Su movimiento le acerca al siguiente electroiman donde se repite el proceso y sufre otra aceleración. Se ha propuesto con fines militares.

Bibliografía:

“Gauss rifle”: <http://faraday.physics.uiowa.edu/em/5G10.18.htm>.

"Energy and Momentum in the Gauss Accelerator", David Kagan, TPT, Vol. 42, # 1, Jan. 2004, p. 24.

"The Gauss Rifle and Magnetic Energy", James A. Rabchuk, TPT, Vol. 41, # 3, Mar. 2003, p. 158.

“Acelerador magnético”, A. Cañamero en “El rincón de la ciencia”. Revista Electrónica editada por el IES Victoria Kent. <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Practica/pr-36/PR-36f.htm>



Cañón de gauss

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Responde a todas las cuestiones breve y razonadamente en el espacio proporcionado. Si es test: Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Cuando una bola de hierro se encuentra en las cercanías de un imán es atraída por éste y por tanto acumula una energía potencial. ¿Dónde se almacena esta energía? ¿Qué sucede con esta energía al soltarla?</p> <p>2. ¿Por qué la mayoría de los materiales no son atraídos por los imanes y el hierro sí?</p> <p>3. ¿Para qué se colocan las canicas de vidrio entre el imán las de hierro?</p> <p>4. ¿Qué ocurre con la energía cinética de una bola de hierro cuando choca con un imán? ¿Y con su momento lineal? ¿Se conservan?</p> <p>5. Imagina una serie de bolas alineadas, sujetas por pequeñas piedras en una pendiente. Si soltamos la que se encuentre más arriba. ¿En qué sentido se parecería el problema al experimento del cañón de gauss? ¿Y una avalancha de nieve?</p>	

1. Principio físico que ilustra

Repulsión magnetostática entre dos imanes permanentes con los polos del mismo signo enfrentados

3. Descripción

Esta práctica muestra el fenómeno de levitación magnética entre una peonza con un imán acoplado y una base imantada, cuando la peonza gira con una velocidad angular adecuada evita salirse del eje de imanación de la placa y caer, lo que la mantiene suspendida en el aire.

2. Foto o Esquema

5H20.22



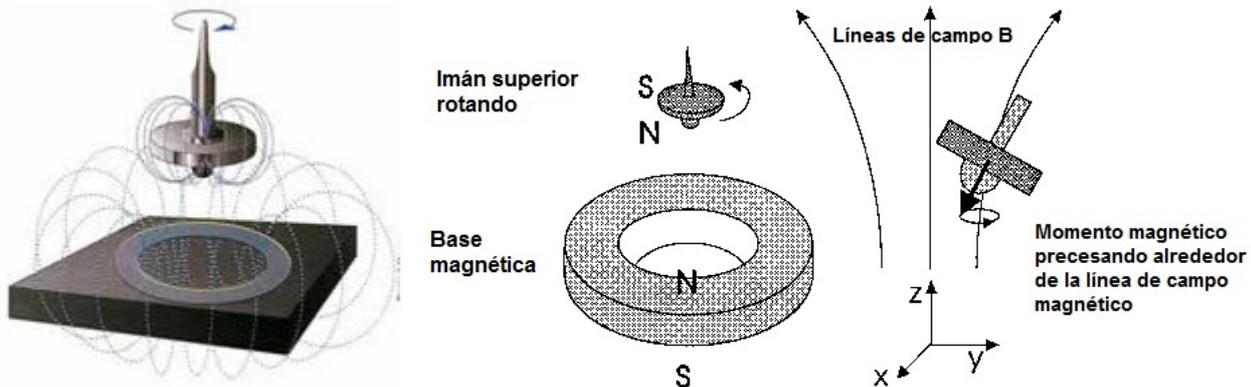
4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: SI

5. Fundamento teórico

Esta práctica se basa en el hecho sencillo de que la peonza levitará cuando la fuerza de repulsión entre los dos imanes se iguale con la fuerza de atracción gravitatoria de la peonza. Sin embargo, la ejecución de la práctica es complicada ya que la peonza ha de estar girando a una velocidad determinada (en este caso entre 20 y 35 revoluciones por segundo) y el eje de la repulsión entre los dos imanes ha de ser el mismo eje que la atracción gravitatoria, lo cual representa un punto muy crítico en el espacio (entre 32 y 44 milímetros por encima de la placa).

La conservación del momento angular debido a la rotación de la peonza evita que el punto de levitación sea aún más crítico precesando entorno al eje magnético del imán, evitando que la peonza se voltee al ser su polo Sur atraído por el polo Norte de la base imantada.



6. Materiales y montaje

- Una peonza con un imán acoplado
- Una base imantada con una imanación adecuada.
- Un lanzador que haga rotar la peonza en un punto preciso del espacio.

Se lanza la peonza con la frecuencia adecuada sobre una placa móvil, y se mueve la placa hasta la posición de equilibrio. Si se ha hecho correctamente, ésta levitará hasta que debido al rozamiento con el aire pierda velocidad y baje por debajo de 18 rpm, no siendo suficiente el momento angular para que permanezca en la dirección adecuada.

7. Observaciones

Si se lanza mal, la peonza sale disparada en una dirección arbitraria. Así mismo, es esencial el uso del lanzador de la peonza, ya que con el lanzamiento manual es muy difícil colocar la peonza en la posición correcta.

Para más información, se pueden consultar artículos de levitrón

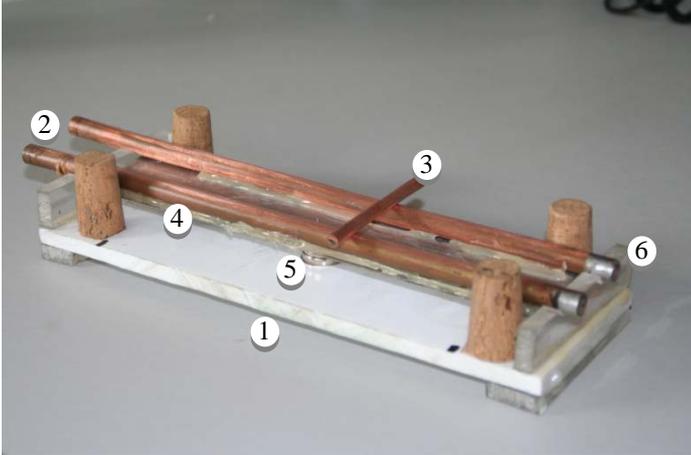
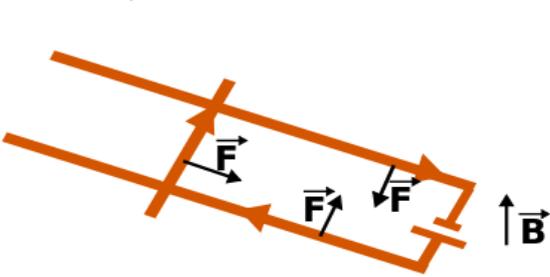
<http://www.jugetronica.com/tienda/detalles/1675/4/juquetes-magicos/levitron-omega.html>

y el vídeo de juguetrónica “super levitador”

<http://www.jugetronica.com/tienda/detalles/1672/superlevitador.html>



Fuerzas de Lorentz

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	5H40.10
Fuerza de Lorentz		
3. Descripción		
<p>Se forma un circuito eléctrico con dos rieles metálicos y un tubo de cobre que puede moverse sobre estos. Se cierra el circuito conectándolo a una fuente de corriente continua y se observa cómo el tubo se desplaza al encontrarse el circuito en presencia de un campo magnético generado por imanes de neodimio.</p>		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>Este dispositivo ejemplifica las fuerzas que se producen sobre corrientes en presencia de un campo magnético (fuerzas de Lorentz). La fuerza ($d\vec{F}$) que se ejerce sobre un segmento de conductor de longitud $d\vec{l}$ por el que circula una corriente I por estar en presencia de un campo magnético \vec{B} viene dada por la expresión:</p>		
$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$		
<p>Para simplificar, supongamos que el campo magnético producido por los imanes es uniforme y con dirección vertical (hacia arriba) y que la corriente que se genera en el circuito tiene el sentido de las agujas del reloj. En este caso, el dispositivo de la figura puede representarse con el siguiente esquema:</p>		
		
<p>Como muestra el diagrama, en cada rama del circuito se ejerce una fuerza que viene dada por</p>		
$ \vec{F}_i = IL \vec{B} $		
<p>donde L es la longitud de la rama del circuito. El sentido de la fuerza se indica en el diagrama. Dado que el tubo de cobre se puede desplazar sobre los rieles, la fuerza que se ejerce sobre él lo empuja a moverse hacia la derecha (ver diagrama). Si cambiamos el sentido de la corriente (intercambiando los cables), la fuerza sobre el tubo de cobre cambia de sentido y por tanto también el movimiento del tubo.</p>		

6. Materiales y montaje

- Generador de corriente continua
- Soporte de horizontal (1)
- Railes de metal (cobre en el dispositivo del laboratorio) (2)
- Tubo de cobre (3)
- Placa metálica (4)
- Imanes de neodimio (5)
- Soportes aislantes (6)
- Cables

Sobre el soporte horizontal se disponen los soportes aislantes como se muestra en la figura para sostener la placa metálica. Se colocan los rieles metálicos por encima de la placa metálica pero evitando el contacto entre ambos. En el dispositivo del laboratorio están aislados mediante silicona termofusible. Se colocan los imanes de neodimio debajo de la placa metálica, todos con la misma orientación. En el laboratorio empleamos cinco imanes, tres en el centro y uno en cada extremo. Se coloca el tubo de cobre en uno de los extremos y se conectan los extremos de los rieles próximos al tubo de cobre a una fuente de corriente continua con los cables.

7. Observaciones

La placa metálica tiene por objetivo repartir mejor el campo magnético creado por los imanes de neodimio.

El sentido de la corriente que se necesita para alejar el tubo de los extremos conectados de los rieles dependerá de la orientación de los imanes. Se prueba primero conectando un cable a cada riel y si el movimiento es hacia ese extremo se cambia los cables de riel.

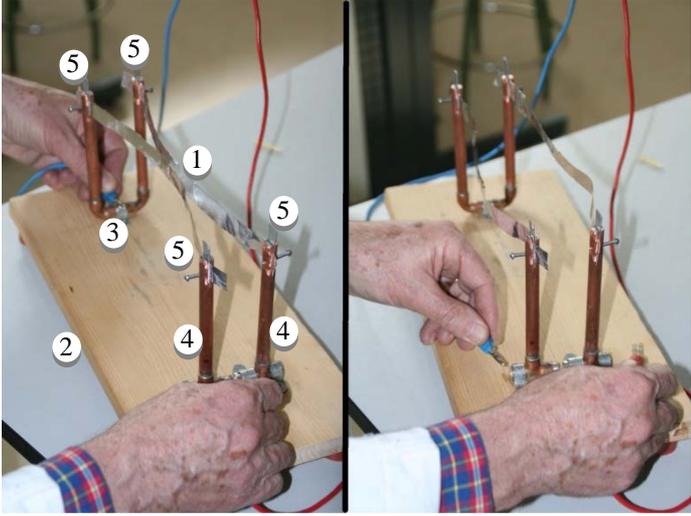
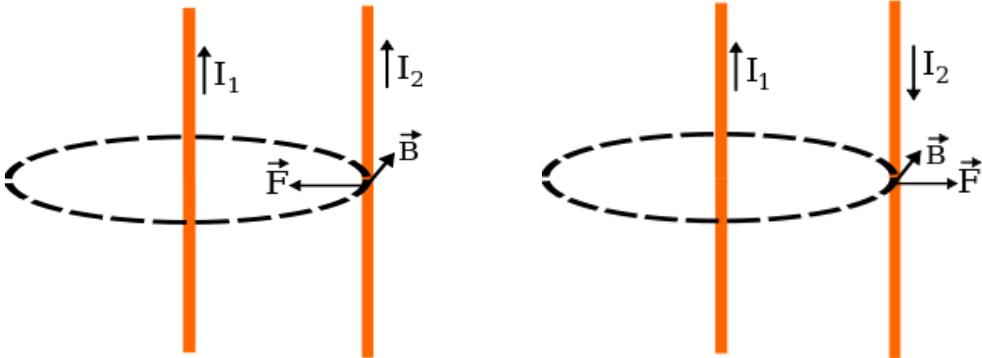
La intensidad de la corriente que pasa por el circuito es muy alta, por lo que en las zonas de contacto entre el tubo de cobre y los rieles metálicos se producen pequeñas termosoldaduras que hacen que el metal se pique. Al finalizar cada demostración, hay que limar los rieles y el tubo de cobre para eliminar estas impurezas. Se puede emplear para ello un papel de lija fino.



Fuerzas de Lorentz

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. ¿Qué se conoce como fuerzas de Lorentz?</p> <p>a) Las fuerzas que se ejercen sobre conductores por los que circula una corriente eléctrica. b) Las fuerzas que se ejercen sobre conductores por los que circula una corriente eléctrica en el seno de un campo magnético. c) Las fuerzas que se ejercen sobre conductores en el seno de un campo magnético.</p> <p>2. Las fuerzas de Lorentz ...</p> <p>a) son inversamente proporcionales a la intensidad de corriente que circula por el conductor. b) son proporcionales al campo magnético. c) son inversamente proporcionales al campo magnético.</p> <p>3. La dirección de las fuerzas de Lorentz es ...</p> <p>a) paralela al campo magnético. b) paralela al segmento de conductor. c) perpendicular al campo magnético.</p> <p>4. ¿Por qué se producen termosoldaduras en el conductor cuando se desplaza el vástago por efecto de las fuerzas de Lorentz?</p> <p>a) Porque las fuerzas son muy intensas. b) Porque la corriente que circula es muy intensa. c) Porque el campo magnético es muy intenso.</p> <p>5. Al cambiar el sentido de la corriente que recorre el conductor de cobre ...</p> <p>a) cambia el sentido del campo magnético. b) cambia el sentido del desplazamiento del vástago. c) las fuerzas de Lorentz no cambian de sentido.</p>	

Atracción y repulsión entre corrientes

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	5H40.15
<p>Ley de Biot y Savart Fuerza de Lorentz Atracción y repulsión entre corrientes</p>		
3. Descripción		
<p>Se observa que dos láminas de papel aluminio paralelas se atraen cuando se hace pasar por ellas una corriente en el mismo sentido (figura de la izquierda) y se repelen cuando el sentido es el opuesto (figura de la derecha).</p>		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>Esta experiencia ilustra el fenómeno de atracción y repulsión entre conductores paralelos por los que pasa una corriente. En primera aproximación podemos considerar las láminas de papel de aluminio como conductores rectilíneos. Si se hace circular una corriente por una de ellas, ésta genera un campo magnético proporcional a la corriente que circula por el conductor (I_1) e inversamente proporcional a la distancia al conductor (R) (ley de Biot y Savart aplicada a conductores rectilíneos):</p>		
$B_1 \propto \frac{I_1}{R}$		
<p>La dirección y sentido puede obtenerse a partir de la regla de la mano derecha. Este campo magnético ejerce una fuerza (fuerza de Lorentz) sobre el otro conductor por el que pasa la otra corriente (I_2). La fuerza por unidad de longitud que se ejerce sobre el segundo conductor es proporcional al campo magnético generado por la corriente en el primero y a la intensidad de corriente que circula por el segundo:</p>		
$\frac{dF_{12}}{dl} \propto B_1 \cdot I_2 \propto I_1 I_2$		
<p>Si las corrientes son en el mismo sentido, las fuerzas son atractivas y si son en sentido contrario las fuerzas son repulsivas (ver diseño).</p>		
		

6. Materiales y montaje

- Generador de corriente continua
- Láminas alargadas de papel aluminio (1)
- Soporte de madera (2)
- Tubo de cobre en forma de U (3)
- Dos tubos de cobre en forma de T invertida (4)
- Cuatro láminas pequeñas de metal y cuatro tornillos (5)
- Cables

Se disponen los tubos de cobre como indica la figura: el tubo en forma de U a un extremo del soporte y los dos tubos con forma de T invertida al otro, colocados muy próximos pero sin tocarse. Se coloca las dos lámina de papel de aluminio entre los extremos como indica la figura. Se emplean las láminas pequeñas de metal empujadas por los tornillos para procurar que las láminas de papel de aluminio presenten el mayor área posible en contacto con el metal conductor. Se conecta el generador de corriente continua con los cables colocados a ambos lados del soporte (en el lado de los tubos con forma de T invertida el cable ha de tocar los dos tubos a la vez como en la figura de la izquierda) para obtener dos corrientes con el mismo sentido en las dos láminas de aluminio. Para obtener corrientes en sentido opuesto, se conectan los cables a los dos tubos con forma de T invertida (figura de la derecha).

7. Observaciones

Hay que tener cuidado con la diferencia de potencial que se aplica al circuito porque una intensidad demasiado elevada quema las láminas de papel de aluminio.

Las fuerzas de atracción y repulsión son muy pequeñas, hay que procurar montar las láminas sin demasiada tensión o el efecto no se podrá apreciar.

Los tubos huecos de cobre son más fáciles de manipular para hacer las soldaduras y obtener la forma de U y de T invertida. Para mejorar la conductividad se han colocado núcleos de metal de cobre en su interior en las partes verticales.

Con una brújula se puede mostrar que la corriente genera un campo magnético.

Esta experiencia también se puede usar para introducir la definición de amperio.



Atracción y repulsión entre corrientes

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Dos conductores paralelos por los que pasa una corriente eléctrica en el mismo sentido ...</p> <p>a) Se atraen. b) Se repelen. c) No sufren ninguna fuerza.</p> <p>2. Una corriente eléctrica ...</p> <p>a) genera un campo magnético a su alrededor. b) no se ve afectada por campos magnéticos externos. c) tiende a seguir las líneas del campo magnético.</p> <p>3. Las láminas paralelas de aluminio se atraen porque ...</p> <p>a) generan un campo eléctrico paralelo a la corriente que interacciona con la otra corriente. b) generan un campo magnético perpendicular a la corriente que interacciona con la otra corriente. c) generan un campo magnético paralelo a la corriente que interacciona con la otra corriente.</p> <p>4. ¿Qué unidad se define a partir de la atracción entre dos corrientes?</p> <p>a) El Tesla. b) El Amperio. c) El metro.</p> <p>5. La orientación de la aguja de la brújula se puede alterar ...</p> <p>a) en presencia de una corriente eléctrica o un imán. b) en presencia de un imán pero no de una corriente eléctrica. c) en presencia de una corriente eléctrica pero no de un imán.</p>	

Anillo de Thomson

1. Principio físico que ilustra

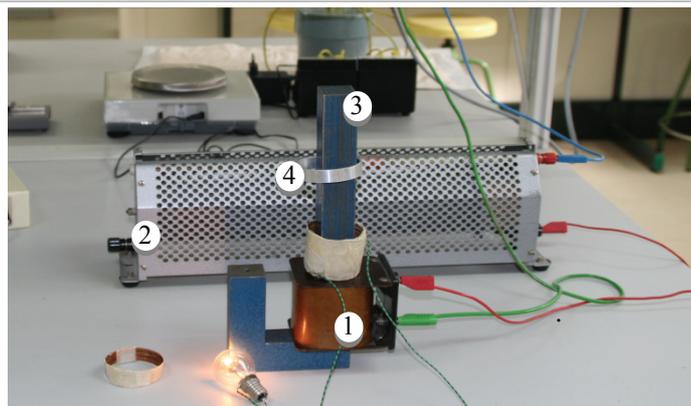
Ley Biot y Savart
Ley de Faraday
Ley de Lenz
Fuerza de Lorentz
Atracción y repulsión entre corrientes

3. Descripción

Se hace levitar un anillo conductor empleando una bobina provista de un núcleo de hierro y conectada a una fuente de alimentación alterna.

2. Foto o Esquema

5H40.30



4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: SI

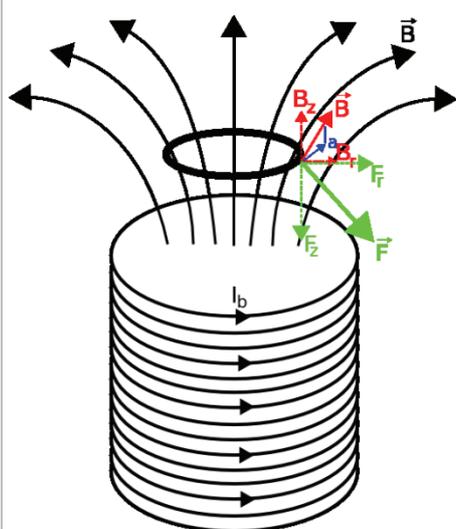
5. Fundamento teórico

En la bobina se genera un campo magnético (B) proporcional a la intensidad de la corriente que circula por ella (I_b) (ley de Biot y Savart). En el interior de la bobina el campo magnético generado es principalmente paralelo al eje (B_z), mientras que en el exterior tiene también una componente radial (B_r). Este campo magnético atraviesa el anillo, por lo que el flujo magnético a través del anillo será proporcional a la intensidad que circula por la bobina, esto es

$$\Phi = B_z \pi r^2 \Rightarrow \Phi \propto I_b$$

donde hemos supuesto el eje del anillo coincidente con el eje de la bobina y hemos tomado r como el radio del anillo). Dado que esta corriente es alterna ($I_b = I_0 \sin \omega t$), el flujo magnético que atraviesa el anillo varía con el tiempo ($\Phi = \Phi_0 \sin \omega t$). La variación en el tiempo del flujo magnético induce una fuerza electromotriz en el anillo igual en magnitud a la variación por unidad de tiempo del flujo que atraviesa el anillo (ley de Faraday). Dicha fuerza electromotriz tiende a oponerse a esta variación según la Ley de

Lenz, por lo que $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\omega\Phi_0 \cos \omega t$



Se induce así una corriente en el anillo (I_a) que circula bajo la acción del campo magnético de la bobina, por lo que éste ejerce una fuerza sobre el anillo (fuerza de Lorentz $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$). Por la simetría del problema, la fuerza neta ejercida sobre el anillo por la componente del campo paralela al eje (B_z) es nula y es sólo la componente radial del campo (B_r) la que ejerce una fuerza sobre el anillo en dirección vertical. El signo de la fuerza depende de la relación entre la dirección de I_a y de B_r y la de éste último de la dirección de I_b :

$$F_z = -2\pi r_a I_b B_r \propto I_a I_b$$

donde r_a es el radio del anillo (ver diagrama).

Supongamos que en la bobina la corriente circula en sentido contrario a las agujas del reloj (visto desde arriba), por lo que el campo magnético generado tendría una componente radial positiva. Si la corriente del anillo circulara con la misma dirección que la corriente en

la bobina, la fuerza de Lorentz sobre el anillo sería hacia abajo, esto es, si las corrientes tienen el mismo sentido, se atraen y el anillo bajaría. Si las corrientes tienen sentido opuesto, se repelen.

Si sólo tenemos en cuenta la resistencia del anillo (R), la fuerza electromotriz induciría una corriente en él directamente proporcional a $-\cos \omega t$, por lo que la mitad del periodo tendría sentido opuesto a la que circula por la bobina (se repelen) y la otra mitad el mismo sentido (se atraen) con lo que la fuerza promedio sería nula y no se podría explicar el fenómeno de sustentación. Para explicarlo hay que tener en cuenta la autoinducción del anillo (L) que provoca un desfase (φ) entre la fuerza electromotriz y la corriente inducidas en el anillo, por lo que la corriente en el anillo sería $I_a \propto -\cos(\omega t - \varphi)$

Este desfase ($0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$) posibilita que las corrientes en el anillo y en la bobina sean opuestas la mayor parte del periodo, por lo que se produce una fuerza neta de repulsión entre ambos que contrarresta el peso del anillo y lo hace levitar.

El núcleo de hierro que atraviesa la bobina tiene la doble función de canalizar el campo magnético en el exterior de la bobina (dado su mayor permeabilidad magnética que la del aire circundante) y servir de guía al anillo que levita.

6. Materiales y montaje

- Bobina (1)
- Fuente alterna (la red: 50Hz, 220V)
- Reostato (2)
- Núcleo de hierro (3)
- Anillo conductor (4)
- Cables

Se dispone el núcleo de hierro dentro de la bobina y se conecta ésta a un circuito en serie formado por la fuente alterna (se puede emplear directamente la red) y el reóstato. Este último sirve para ajustar la intensidad de corriente que circula por el circuito. Una vez encendido se coloca el anillo conductor sobre el núcleo de hierro y se observa cómo levita. Si se sitúa el anillo antes de conectar la fuente, se puede mostrar cómo el anillo sale despedido al encenderla.

7. Observaciones

Es importante revisar que el amperaje que se va a hacer pasar por la bobina no sea demasiado alto (el máximo para el dispositivo del laboratorio es 1.5 A). Se emplea el reóstato para ajustar la intensidad y así evitar quemar la bobina.

Hay que evitar hacerlo funcionar demasiado tiempo porque la intensidad que circula por el anillo es muy intensa (unos 100A en el punto de equilibrio para el montaje experimental del laboratorio) y se calienta (lo que también se puede usar para ejemplificar el efecto Joule).

Se pueden emplear varios tipos de anillos (de aluminio o cobre), una espira conectada a una bombilla (se ilumina con la corriente inducida en la espira), dos anillos juntos (se verá que se atraen porque el sentido de la corriente inducida por la bobina en cada uno es el mismo) o incluso un anillo no cerrado (que no levitará porque no se induce corriente en él).

Bibliografía consultada:

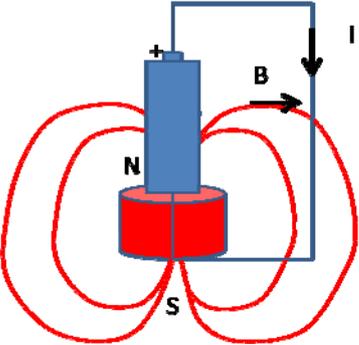
- Churchil EJ, Noble JD (1971) A demonstration of Lenz's Law? Am. J. Phys. 39, 285-287.
- Feynman RP, Leighton RB, Sands M (1998) FÍSICA Volumen II: Electromagnetismo y materia, Addison-Wesley Longman de Mexico, cop. pp. 16-8, 16-9
- Tanner P, Loebach J, Cook J, Hallen HD (2001) A pulsed jumping ring apparatus for demonstration of Lenz's law. Am. J. Phys. 69, 911-916.



Anillo de Thomson

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Para que se produzca levitación en el anillo de Thomson, ¿qué tipo de corriente ha de circular circular por la bobina?</p> <p>a) Alterna, para que el signo del campo magnético que atraviesa el anillo sea alterno. b) Continua, para que el signo del campo magnético que atraviesa el anillo sea constante. c) El anillo levitará tanto con corriente alterna como continua.</p> <p>2. ¿Para qué se emplea el núcleo de hierro que atraviesa la bobina en el anillo de Thomson?</p> <p>a) Para canalizar el campo magnético debido a la menor permeabilidad magnética del hierro con respecto al aire. b) Para canalizar el campo magnético debido a la mayor permeabilidad magnética del hierro con respecto al aire. c) Para que atraiga hacia sí el anillo y éste levite.</p> <p>3. ¿Por qué se calienta el anillo después de levitar un rato?</p> <p>a) Por el efecto Joule al inducirse una corriente eléctrica en el anillo. b) Por el efecto Joule al inducirse un campo magnético en el anillo. c) Por el efecto Joule al inducirse una fuerza de sustentación en el anillo.</p> <p>4. ¿Por qué se emplea una bobina en la experiencia del anillo de Thomson?</p> <p>a) Porque genera una corriente eléctrica alterna que afecta al anillo. b) Porque genera una corriente eléctrica continua que afecta al anillo. c) Porque genera un campo magnético que afecta al anillo.</p> <p>5. Al emplear dos anillos conductores en lugar de uno en el montaje del anillo de Thomson ...</p> <p>a) éstos se repelen porque circulan corrientes en el mismo sentido. b) éstos se atraen porque circulan corrientes en el mismo sentido. c) éstos se repelen porque circulan corrientes opuestas.</p>	

El motor eléctrico más sencillo

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	5H40.53
Corriente eléctrica y fuerza sobre una corriente.		
3. Descripción		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
Cuando un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra sumergido en un campo magnético, experimenta una fuerza que viene dada por		
$\vec{F} = I \int d\vec{l} \times \vec{B}$		
En esta demostración se aprovecha esta fuerza para mover un pequeño circuito. Utilizamos imanes de neodimio que crean un campo magnético intenso, en torno a 0,5 T en la superficie del imán. La forma de las líneas de campo es semejante a las que crea un solenoide, son simétricas en torno al eje del imán. Sobre el imán cilíndrico, (en rojo en la figura) se coloca una pila, cuyos polos se unen con un conductor grueso. Debido a su pequeña resistencia por él circula una corriente apreciable. El campo magnético creado por el imán ejerce una fuerza sobre el conductor que lo hace girar en torno al eje de la pila. La fuerza es perpendicular en cada momento al plano de la figura y por ello hace que el circuito gire.		
		
En el montaje práctico en lugar de un solo circuito plano se han unido varios, creando un circuito total algo más complejo, para que la fuerza sea mayor.		
Es probablemente el motor más sencillo que podemos montar y uno de los de construcción más fácil. Se le suele denominar <i>Motor Homopolar</i> debido a que el campo magnético no cambia de dirección. Su fundamento es el mismo que el de uno de los primeros ejemplos de motores eléctricos que se diseñaron: la <i>Rueda de Barlow</i> .		

6. Materiales y montaje.

- Imanes de Neodimio cilíndricos
- Pila AA de 1,5 V.
- Conductor de cobre

Para realizar esta versión del motor la mayor dificultad técnica reside en soldar los cables de cobre para construir la espira. Existe otra versión simplificada que se puede construir con un tornillo de acero y un hilo de cobre normal. Se coloca el tornillo de forma que su punta toque el polo positivo de la pila. Se sujeta la cabeza del tornillo de forma que la pila, con los imanes adosados cuelgue de él, la fuerte magnetización que adquieren ambos permite que se mantengan en equilibrio. Finalmente se cierra el circuito uniendo con un cable la cabeza del tornillo y la carcasa del imán. En ese momento el conjunto empieza a girar.

7. Observaciones.

El funcionamiento del motor depende del buen contacto entre la base de la pila y el conductor, para lo que conviene inclinarlo un poco respecto a la vertical.

Debido a que el conductor ofrece muy poca resistencia eléctrica el circuito es casi un corto-circuito, por lo que la pila tiende a descargarse en poco tiempo y es necesario reemplazarla o, mejor, usar pilas recargables.

El diseño de este motor lo hemos encontrado en sitios públicos en Internet, entre ellas la referencia más fiable, aunque referida a un modo algo más sencillo es [1]. El diseño que presentamos parece debido a Per Olof Nilsson [2].

Referencias:

[1] Physik in Unserer Zeit 35 (2004) 272-273.

[2] [http:// http://fy.chalmers.se/~perolof/homepage/Physics_Toys.html](http://fy.chalmers.se/~perolof/homepage/Physics_Toys.html)



El motor eléctrico más sencillo

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Responde a todas las cuestiones breve y razonadamente en el espacio proporcionado. Si es test: Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Cita 5 ejemplos de motores eléctricos que se utilicen en la vida diaria</p> <p>a) b) c) d) e)</p> <p>2. ¿De dónde procede la energía que mueve el motor del experimento? ¿En qué se convierte?</p> <p>3. Dibuja la fuerza que actúan sobre cada tramo de la espira.</p> <p>4. ¿Cómo giraría el motor si pusiéramos la pila al revés?</p> <p>5. ¿Cómo esperarías que cambiara la velocidad del motor si pusiéramos una pila que proporcionara una diferencia de potencial 3 V en lugar de 1.5 V como la utilizada?</p>	

Freno magnético

1. Principio físico que ilustra

Aparición de corrientes de Foucault debido a la variación del flujo del campo magnético.

Fuerza sobre las cargas en movimiento por la presencia de un campo magnético

3. Descripción

Se pretende recrear el funcionamiento de un freno magnético como los que se utilizan en camiones de gran tonelaje o trenes de alta velocidad.

2. Foto o Esquema

5K10.30



4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: NO

5. Fundamento teórico

El freno magnético está basado en la ley de Faraday. Ésta nos dice que cuando el flujo del campo magnético a través de una superficie cambia con el tiempo, bien porque el campo magnético cambia, porque lo hace la superficie o la posición relativa de ambos, surge una fuerza electromotriz inducida.

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt} = - \frac{d(\vec{B} \cdot \vec{S})}{dt}$$

Dicha Fuerza electromotriz hace que aparezca una corriente que se denomina corriente inducida.

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Cuando esta corriente inducida, no está obligada a circular por un conductor bien definido, sino que lo hace por una masa de metal de volumen no despreciable, estas corrientes reciben el nombre de corrientes parásitas o de Foucault.

Por otro lado, también es conocido que, cuando una carga o un conjunto de cargas, que dan lugar a una corriente, atraviesan una zona del espacio en la que existe un campo magnético, sobre las cargas que se están moviendo aparece una fuerza magnética que comienza a actuar sobre dichas cargas.

$$\vec{F} = \int I (d\vec{l} \times \vec{B})$$

En el caso del freno magnético de nuestra experiencia, la masa conductora es un disco de aluminio que gira de modo que en cada instante hay una porción del disco atravesando una zona donde existe un campo magnético perpendicular al plano del disco, que en nuestro caso es generado por dos bobinas por las que circula una corriente continua que actúan como electroimanes. Como la superficie del disco que atraviesa la zona del espacio donde está actuado el campo magnético está cambiando con el tiempo, se produce la aparición de unas corrientes parásitas en el disco de aluminio. Las corrientes que aparecen se encuentran con la presencia del campo magnético generado por los electroimanes, de modo que aparece una fuerza de carácter magnético que, en esta ocasión, lo que hace es oponerse a la rotación del disco, frenándolo. Este es el principio físico en el que se basan todos los frenos electromagnéticos existentes en el mercado.

6. Materiales y montaje

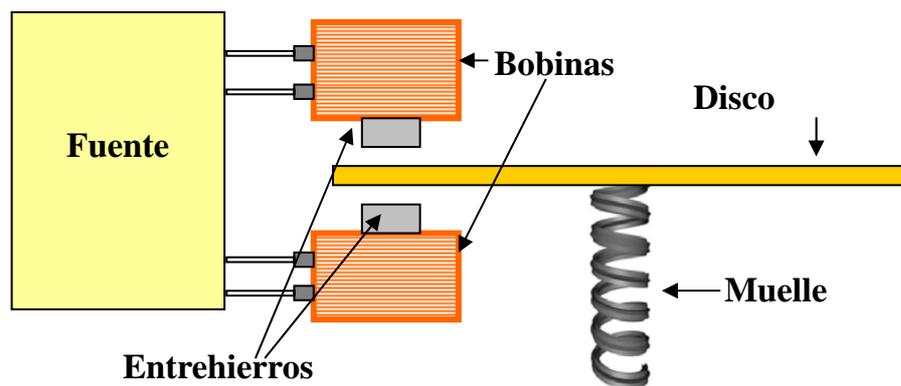
- Generador de corriente continua
- Dos bobinas de cobre
- Dos entrehierros para concentrar el campo
- Disco metálico
- Muelle

1-Se conecta el generador de corriente continua con las dos bobinas en cuyo interior se introducen unos entrehierros para concentrar el campo.

2-Se hace pasar una parte del disco metálico, al que previamente se ha unido por su parte inferior a un muelle, por el espacio que ha quedado libre ente las dos bobinas.

3-Se da vueltas al disco unido al muelle y se suelta para que pueda girar libremente.

4- Se enciende el generador de corriente siempre que se desee detener el disco.



7. Observaciones

Se puede hacer un freno magnético con un dispositivo más sencillo. Simplemente con un disco unido a un pé que se hace girar con un impulso dado con la mano y al que se acerca un imán permanente que cree un campo magnético de suficiente intensidad (el más conveniente sería de neodimio). El disco se frena en menor medida que con el dispositivo anteriormente descrito pero lo suficiente como para que el fenómeno sea apreciable.



Freno magnético

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>En cada pregunta, sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. El freno magnético está basado en:</p> <ul style="list-style-type: none">a) La ley de Lenz.b) La ley de Faraday.c) Ley de Coulomb. <p>2. Las corrientes de Foucault aparecen :</p> <ul style="list-style-type: none">a) Cuando en una lámina conductora aparece una corriente inducida.b) Cuando en un hilo conductor aparece una corriente inducida.c) Cuando en una lámina aislante aparece una corriente inducida. <p>3. Una corriente inducida puede aparece si:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Se aplica un campo magnético independiente del tiempo.b) Se aplica un campo eléctrico independiente del tiempo.c) Se aplica un campo magnético dependiente del tiempo. <p>4. Si una carga en movimiento pasa por una zona en la que hay un campo magnético:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Experimenta una fuerza.b) Aparece una fuerza electromotriz inducida.c) Aparece una corriente inducida. <p>5. El freno magnético funciona:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Porque aparece una fuerza, de carácter eléctrico, que se opone a la rotación del disco.b) Porque aparece una fuerza, de carácter gravitatorio, que se opone a la rotación del disco.c) Porque aparece una fuerza, de carácter magnético, que se opone a la rotación del disco.	

Corrientes inducidas

1. Principio físico que ilustra

2. Foto o Esquema

5K20.10

Ley de Faraday
Corrientes de Foucault inducidas en metales



3. Descripción

Demostración de cómo se frena un imán al caer por una barra de aluminio acanalada debido a corrientes inducidas en la barra de aluminio acanalada.

4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

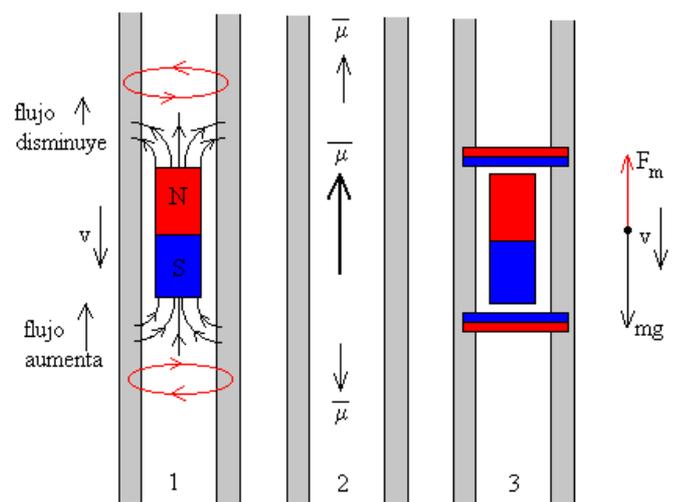
Transportable: SI

5. Fundamento teórico

Según la ecuación de Faraday-Lenz $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$ la

variación de flujo magnético que se produce a través de una región de la superficie de la barra acanalada, debido al movimiento del imán, inducirá unas corrientes de Foucault (corrientes eléctricas inducidas) en la superficie del metal. A su vez, estas corrientes eléctricas (cargas en movimiento) generan campos magnéticos a su alrededor, cuyo efecto neto sobre el imán es el de una fuerza \vec{F}_m en sentido contrario al desplazamiento del imán, es decir, una fuerza de frenado, que aumentará su intensidad cuanto mayor sea la velocidad del propio imán (cuanto mayor sea la variación de flujo por unidad de tiempo en la superficie metálica de la barra acanalada).

La imagen del diagrama corresponde a un tubo cilíndrico vertical por el que cae un imán. No es el mismo caso que el de esta experiencia pero es muy similar. El diagrama 1 corresponde a la variación de los flujos, el 2 al campo magnético creado por las corrientes inducidas y el 3 a las fuerzas que actúan sobre el imán.



6. Materiales y montaje

- Una barra de aluminio con acanaladura rectangular
- Un imán cilíndrico intenso (0,4 T) con distancia entre las bases del cilindro (polos del imán) aproximadamente la del canal de la barra de aluminio

1-Se coloca la barra de aluminio formando un plano inclinado.

2-Se lanza el imán de la mejor forma para que roce mecánicamente lo menos posible con las paredes de la barra de aluminio y el efecto sea lo más visual posible.

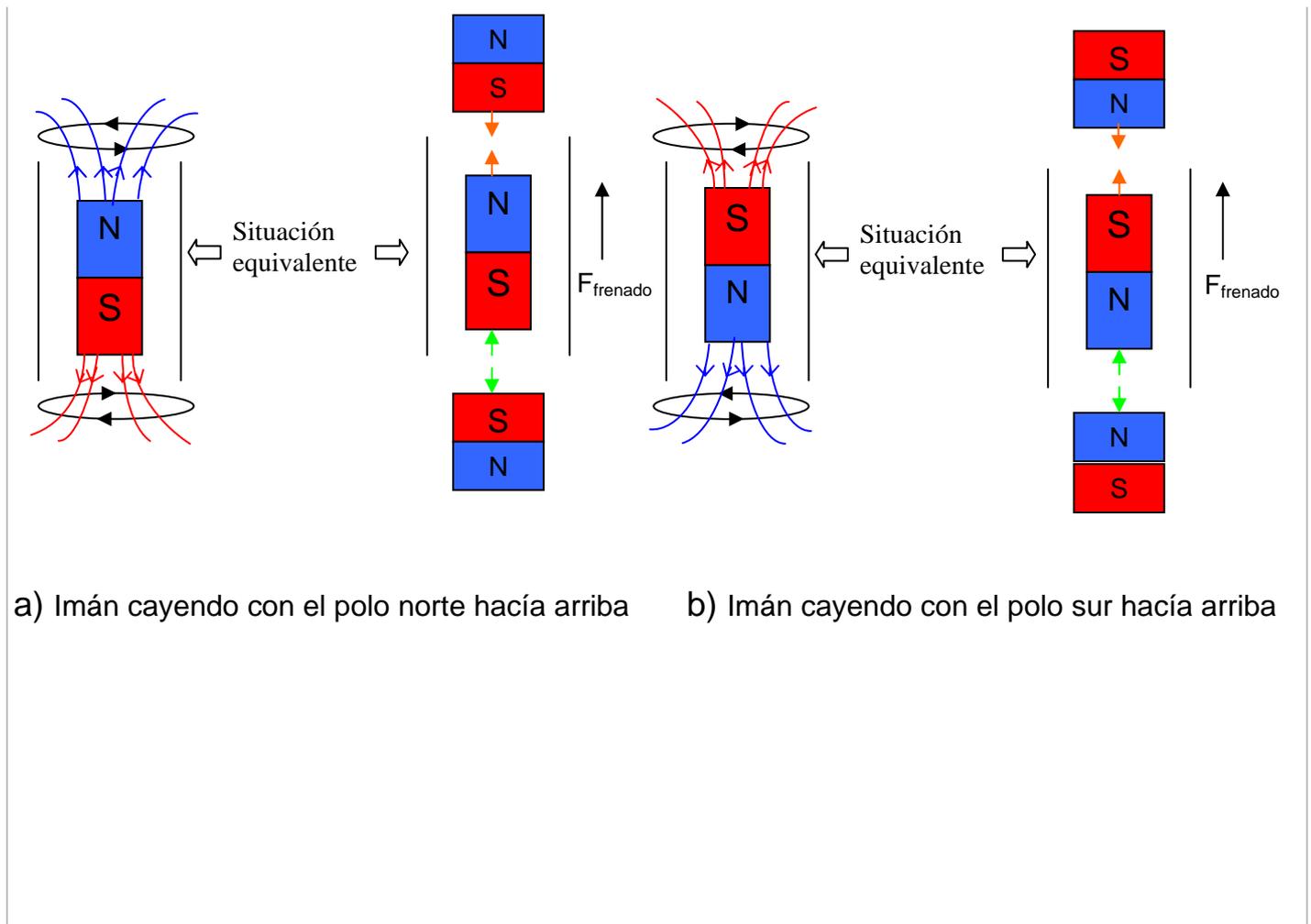
7. Observaciones

Es importante manejar con cuidado con los imanes potentes porque son muy frágiles y con un golpe fuerte se rompen. Así mismo, dada la intensidad del imán, hay que manejarlo con precaución en las cercanías de objetos de hierro.



Tubo de Lenz

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	5K20.25
<ul style="list-style-type: none">- Ley de Faraday- Ley de Lenz		
3. Descripción <p>Se pretende realizar una demostración práctica de la Ley de Lenz, dejando caer por un tubo metálico un imán.</p>		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab		Transportable: Si
5. Fundamento teórico <p>La ley de Faraday nos dice que cuando el flujo del campo magnético a través de una superficie cambia con el tiempo, aparece una fuerza electromotriz inducida. Dicha Fuerza electromotriz hace que aparezca una corriente que se denomina corriente inducida. Tanto la fuerza electromotriz, como la corriente inducidas, se oponen a la causa que las produce, la ley que nos explica esta oposición es la ley de Lenz.</p> <p>Para ilustrar la ley de Lenz, tenemos un tubo metálico por el cual dejamos caer un imán. Si suponemos que el polo norte está en la parte superior y el sur en el inferior, en la parte superior del tubo metálico cada vez el campo es menos intenso por lo que éste intenta crear una corriente que se oponga a la disminución del campo, lo que equivale a crear un imán con el polo norte en la parte superior y uno sur en la inferior, de tal modo que entre los polos norte del imán y el sur del inducido aparece una fuerza de atracción.</p> <p>En este caso en la parte inferior del imán tenemos el polo sur, por lo que en la zona del tubo que queda por debajo del imán, el campo es cada vez más intenso, de tal modo que se induce en dicho tubo una corriente que se opone a este aumento, lo que equivale a crear un imán con el polo sur en la parte superior y uno norte en la inferior, de modo que entre los polos sur del imán y el norte del inducido aparece una fuerza repulsiva. La fuerza atractiva en la parte superior del imán y la repulsiva en la inferior hace que el imán sea frenado y descienda mucho más lentamente que lo haría en caída libre.</p> <p>Si el imán cae con su polo sur hacia arriba y el norte hacia abajo, también se frena al imán, pues las corrientes que se inducen tienen sentido contrario. En este caso, en la parte superior se enfrentan un polo norte inducido y sur del imán, lo que hace que aparezca una fuerza atractiva, y en la parte inferior se enfrentan dos polos norte, el del imán y el inducido, lo que hace que aparezca una fuerza repulsiva.</p>		



a) Imán cayendo con el polo norte hacia arriba

b) Imán cayendo con el polo sur hacia arriba

6. Materiales y montaje

- Dos imanes
- Un tubo de cobre
- Un tobo de PVC de la misma longitud y diámetro que el de cobre.

1-Se colocan los dos tubos a la misma altura.

2-Se introduce un imán dentro de cada tubo y se deja caer.

7. Observaciones

Cuando el imán es lanzado dentro del tubo de PVC, este cae en caída libre. Por esta razón lo utilizamos, para poder compara con el imán que está cayendo por el tubo de cobre, que como hemos explicado, está sometido a una fuerza que lo frena en su caída.



Simulación de un aerogenerador

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	5K40.00
<p>Ley de Faraday Ley de Lenz Generadores de corriente alterna</p>		
3. Descripción		
<p>Al hacer girar las palas del aerogenerador se observa que se puede iluminar un dispositivo led.</p>		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>Este experimento ejemplifica el funcionamiento de un aerogenerador. Solidario al eje de las palas (4) se han colocado unos imanes de neodimio (3) que generan un campo magnético \vec{B}. El flujo magnético a través de la bobina (2) viene dado por:</p>		
$\Phi = N \int \vec{B} \cdot \vec{n} dA = N \int B_n dA$		
<p>donde N es el número de vueltas de la bobina, \vec{n} el vector unitario normal a su superficie, dA el diferencial de área de la sección de la bobina y B_n la componente del campo magnético normal a la sección de la bobina.</p>		
<p>Cuando el aire del ventilador (7) empuja las palas del aerogenerador y las hace girar también hace girar los imanes de neodimio que están colocados en su eje. Este movimiento provoca que el flujo magnético que atraviesa la bobina varíe con el tiempo.</p>		
<p>El eje del aerogenerador no está colocado en línea con el eje de la bobina sino desplazado hacia arriba. De este modo, cuando el eje de los imanes de neodimio está vertical el sentido del campo magnético que atraviesa la sección de la bobina es aproximadamente uniforme. Al dar un giro de 180° al eje de las palas, el campo magnético que atraviesa la sección de la bobina cambia de sentido.</p>		
<p>En primera aproximación, si las palas giran con una velocidad angular ω, el flujo magnético que atraviesa la bobina sería $\Phi = \Phi_0 \sin \omega t$. Esto genera una fuerza electromotriz en la bobina igual en magnitud a la variación por unidad de tiempo del flujo que la atraviesa (ley de Faraday) y de sentido tal que tiende a oponerse a esta variación (Ley de Lenz), por lo que</p>		
$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\omega\Phi_0 \cos \omega t$		
<p>Al conectar los bornes de la bobina a un led (6), éste se ilumina.</p>		

6. Materiales y montaje

- Tubo de PVC para hacer de torre de soporte vertical (1)
- Bobina (2)
- Imanes de neodimio (se han usado 2 en el montaje experimental) (3)
- Palas metálicas (4)
- Soporte para permitir el giro de las palas y de los imanes de neodimio (5)
- Dispositivo Led (6)
- Ventilador (7)

Para construir las palas metálicas se ha empleado una chapa de zinc que se ha recortado para formar tres palas unidas a un centro circular. Las palas se han orientado ligeramente para que se produzca momento de torsión cuando la corriente de aire incide perpendicularmente a ellas.

Se efectúa un orificio en el tubo de PVC para colocar la bobina con su eje perpendicular al eje del tubo. Se realiza otro pequeño orificio unos 5 centímetros por encima de la bobina donde se coloca un vástago metálico paralelo al eje de la bobina y saliendo de la superficie del tubo unos 10 centímetros. Al final del vástago, se coloca solidario a él otro vástago paralelo al eje del tubo hacia abajo. Al final de este último se coloca un sistema (en el montaje del laboratorio se han empleado dos rodamientos) que pueda rotar con su eje paralelo a la bobina. En él se colocan las palas de metal (como muestra la figura) y unos imanes de neodimio con su eje perpendicular al eje de la rotación. Por último, se conecta un dispositivo led a la salida de la bobina.

7. Observaciones

Se necesita emplear una bobina con un gran número de espiras (la que se emplea en el montaje del laboratorio contiene 12000 espiras) para generar un potencial suficiente con un campo magnético tan pequeño (dado sólo por dos imanes de neodimio).

Si la rotación no es muy rápida, se puede apreciar que el led parpadea ya que sólo se ilumina cuando tiene tensión en sentido directo (la mitad del ciclo)

Podemos conectar los bornes de la bobina a una tarjeta capturadora para medir con el ordenador las características del voltaje e intensidad de corriente (valores máximos, frecuencia) que estamos generando con el movimiento de las palas.

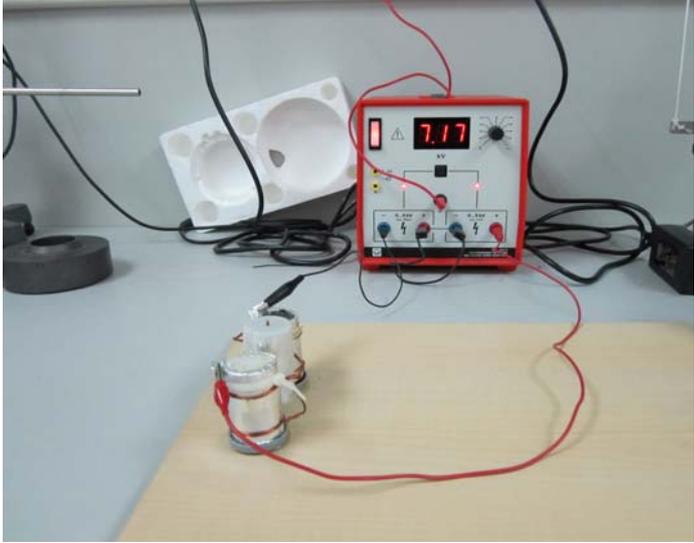
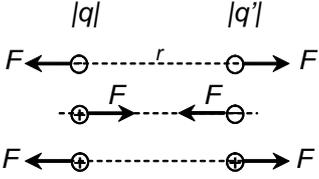
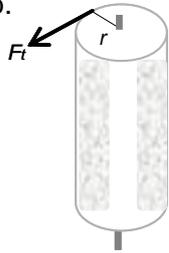
Es recomendable que el eje de rotación de los imanes esté desplazado verticalmente con respecto al eje de la bobina para que el campo magnético que se introduce en la sección de la bobina cambie de signo con cada media rotación.



Simulación de un aerogenerador

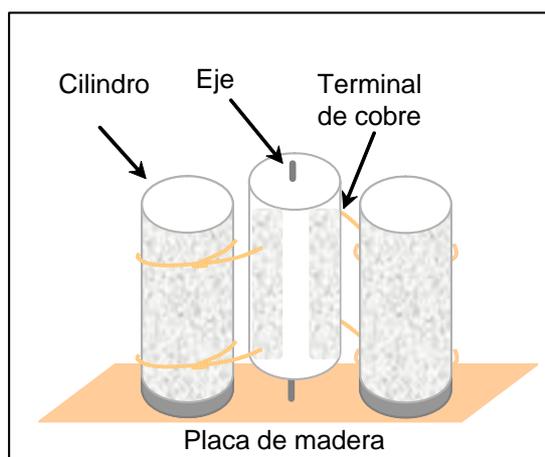
8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. Un aerogenerador ...</p> <p>a) transforma la energía eléctrica en cinética de movimiento de las aspas. b) transforma la energía cinética del movimiento del aire en energía eléctrica. c) no transforma energía, sólo genera una corriente eléctrica.</p> <p>2. Las palas del aerogenerador ...</p> <p>a) producen más movimiento de torsión cuando el aire incide perpendicularmente a su eje de giro si son totalmente planas. b) producen más movimiento de torsión cuando el aire incide paralelamente a su eje de giro si se curvan ligeramente. a) producen más movimiento de torsión cuando el aire incide paralelamente a su eje de giro si son totalmente planas.</p> <p>3. ¿Por qué parpadea el dispositivo LED que está conectado a los dos extremos de la bobina?</p> <p>a) Porque la corriente eléctrica inducida en la bobina va cambiando de sentido con el movimiento de las aspas. b) Porque los imanes sólo inducen corriente eléctrica en la bobina durante la mitad del ciclo. c) Porque el campo magnético de los imanes sólo es perpendicular al eje de la bobina durante la mitad del ciclo.</p> <p>4. Si aumentara la velocidad del giro de las aspas ...</p> <p>a) la corriente inducida sería más intensa pero la frecuencia de parpadeo del LED permanecería igual. b) la frecuencia de parpadeo del LED sería mayor pero la corriente inducida permanecería igual. c) aumentarían tanto la corriente inducida como la frecuencia de parpadeo del LED.</p> <p>5. ¿Por qué se induce corriente eléctrica en la bobina?</p> <p>a) Porque el flujo de campo magnético que atraviesa la sección de la bobina cambia con el tiempo. b) Porque los imanes crean un campo magnético constante en el interior de la bobina. c) Porque los imanes crean un campo magnético constante en el interior de la bobina y paralelo a la sección de ésta.</p>	

Motor electrostático

1. Principio físico que ilustra	2. Foto o Esquema	5K40.40
Ley de Coulomb Carga inducida Momento de una fuerza		
3. Descripción		
<p>Cuando se conecta el circuito, se origina un movimiento giratorio de un cilindro alrededor de su eje acompañado de saltos de chispas eléctricas en los terminales del hilo de cobre.</p>		
4. Web del catálogo: http://www.ucm.es/theoscarlab	Transportable: SI	
5. Fundamento teórico		
<p>Los motores electrostáticos se basan en las fuerzas de atracción entre cargas eléctricas de distinto signo y las de repulsión entre cargas de igual signo. Tal interacción, entre cargas en reposo, se denomina electrostática y viene dada por la ley de Coulomb:</p> $F = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ <p>donde ϵ_0 es la permitividad del vacío.</p>		
<p>Supongamos que se dispone de dos conductores metálicos, dotados de unos terminales en forma de punta, y separados una cierta distancia. Uno de los conductores se carga con carga positiva y el otro con carga negativa, estableciéndose entre ambos un campo eléctrico. Si en medio de ambos conductores se dispone otro conductor cilíndrico, aislado de tierra, y la fuerza del campo eléctrico supera la fuerza dieléctrica del aire, el aire se convierte en un conductor eléctrico, la carga de cada conductor se transmite por la superficie conductora hacia los terminales y salta en éstos una chispa hacia el conductor central cercano, transmitiéndole una carga de la misma polaridad que la del terminal. Se produce entonces una fuerza de repulsión entre cargas eléctricas del mismo signo, dada por la ley de Coulomb.</p>		
<p>Si el cilindro central está apoyado en un eje central fijo sobre el que puede girar, la fuerza de repulsión entre cargas del mismo signo contribuye a proporcionar momento al cilindro central, que rota en torno a su eje central. Como el cilindro central está obligado a moverse en torno a su eje fijo, la fuerza de repulsión eléctrica produce un momento que viene dado por :</p> $M = F_t r$		
<p>donde F_t es la componente tangencial de la fuerza y r la distancia radial al eje.</p>		
<p>Antes de cambiar su polaridad, el cilindro central es atraído por el terminal con carga opuesta. El momento será la suma de los momentos correspondientes a las fuerzas atractivas y repulsivas.</p>		

6. Materiales y montaje

- Tres cilindros de plástico del mismo tamaño
- Papel de aluminio y tiras de papel
- Hilo de cobre
- Base aislante
- Fuente de alimentación eléctrica
- Cables para la conexión eléctrica



En el diseño que se muestra, se han utilizado como cilindros de plástico tres contenedores huecos de antiguos carretes fotográficos. La superficie lateral de los cilindros exteriores se recubre totalmente de papel de aluminio. Sobre la superficie del cilindro central se disponen láminas alternadas de papel. Los tres cilindros se sitúan sobre una tabla de madera (aislante). Los dos cilindros de los extremos se fijan, cerrados con sus correspondientes tapas, sobre la tabla de madera, y el cilindro central, sin tapar, se apoya sobre un eje central sobre el que puede girar. Alrededor de los dos cilindros exteriores se disponen un par de arrollamientos de hilo de cobre, uno en cada extremo del cilindro, de manera que los terminales de dichos arrollamientos se sitúan muy cerca del cilindro central, pero sin llegar a tocarlo. Cuando los cilindros exteriores se conectan a una fuente de alimentación eléctrica, de manera que uno de ellos queda cargado con polaridad positiva y el otro con polaridad negativa, se observa que, de forma alternada, saltan chispas en los terminales de los arrollamientos de cobre de los dos cilindros exteriores, y que el cilindro central gira en torno a su eje.

7. Observaciones

-La distancia entre los cilindros debe ser pequeña.



Motor electrostático

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>Para cada pregunta, elija una de las opciones.</i></p>	
<p>1. El motor electrostático:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Transforma la energía calorífica en mecánica.b) Transforma la energía electrostática en movimiento.c) Transforma la energía mecánica en movimiento. <p>2. Al conectar la fuente de alimentación, los dos cilindros exteriores:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Se cargan positivamente.b) Se cargan negativamente.c) Se cargan con polaridad opuesta. <p>3. Las chispas que se observan durante la experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Se transmiten entre los terminales y el cilindro central a través del aire.b) Se transmiten entre los terminales y el cilindro central por contacto directo entre ambos.c) Se transmiten entre los terminales y el cilindro central a través de la placa de madera. <p>4. Los arrollamientos de los cilindros exteriores son de cobre:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Porque el cobre es un buen aislante eléctrico.b) Porque el cobre es un buen aislante térmico.c) Porque el cobre es un buen conductor eléctrico. <p>5. El cilindro central experimenta un movimiento de rotación en torno a su eje debido:</p> <ul style="list-style-type: none">a) A que las chispas eléctricas empujan al cilindro.b) Al momento suministrado por la fuerzas eléctricas de atracción y repulsión.c) Al empuje del aire que rodea el cilindro.	

Bobina de Tesla

1. Principio físico que ilustra

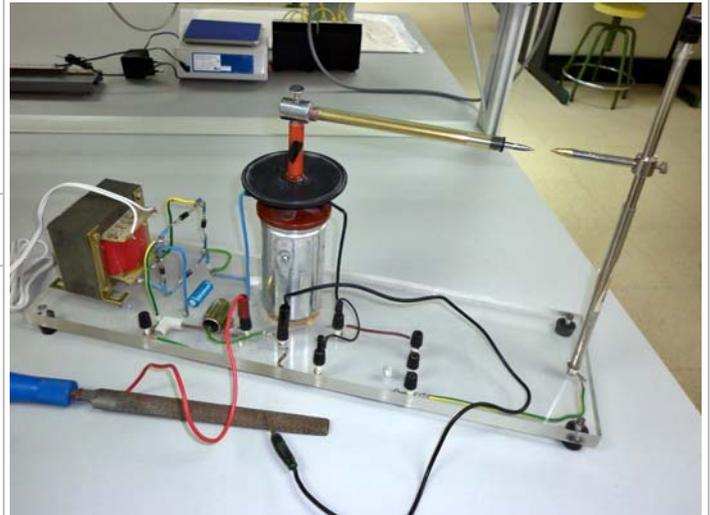
**Generación de ondas electromagnéticas.
Grandes diferencias de potencial.
Inducción mutua.**

3. Descripción

Esta experiencia trata de explicar cómo funciona una bobina de Tesla, que es un transformador constituido por dos circuitos eléctricos, capaz de conseguir altísimas diferencias de potencial.

2. Foto o Esquema

5N20.40



4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: NO

5. Fundamento teórico

Nikola Tesla diseñó este generador de alta tensión a finales del siglo XIX. El propio Tesla ya ideó muchas variaciones de este diseño y posteriormente se han hecho otras nuevas, pero todos tienen en común que han de estar constituidas por dos circuitos acoplados que forman un transformador.

El esquema del diseño que nosotros hemos escogido se muestra en el apartado siguiente. En nuestro caso, a la entrada tenemos una fuente de corriente alterna, seguida de un transformador que aumenta la tensión. Esta corriente es convertida en continua mediante un circuito rectificador, formado por un puente de diodos y un condensador para eliminar, en la medida de lo posible, el rizado. La misión del rectificador es aumentar la tensión, de ahí que se le denomine circuito amplificador. En cuanto al circuito de la bobina de Tesla propiamente dicho, está formada por el circuito primario, constituido por el condensador, de capacidad C_1 , el disrruptor y la bobina primaria de autoinducción L_1 y un circuito secundario, constituido por una bobina de autoinducción L_2 , que aunque no tiene unida ningún condensador, posee una capacidad parásita distribuida en ella misma C_2 .

Al introducir el disrruptor en el circuito primario, lo que estamos haciendo es abrir y cerrar constantemente el circuito primario, impidiendo y permitiendo, de este modo, el paso de corriente a través de dicho circuito. Cuando la corriente circula, en el condensador se produce un proceso de carga y descarga que hace que la intensidad de la corriente que está circulando por la bobina cambie con el tiempo. El hecho de que la corriente que pasa por la bobina dependa del tiempo provoca que el campo magnético, que dicha corriente genera en el interior de la bobina, también varíe con el tiempo.

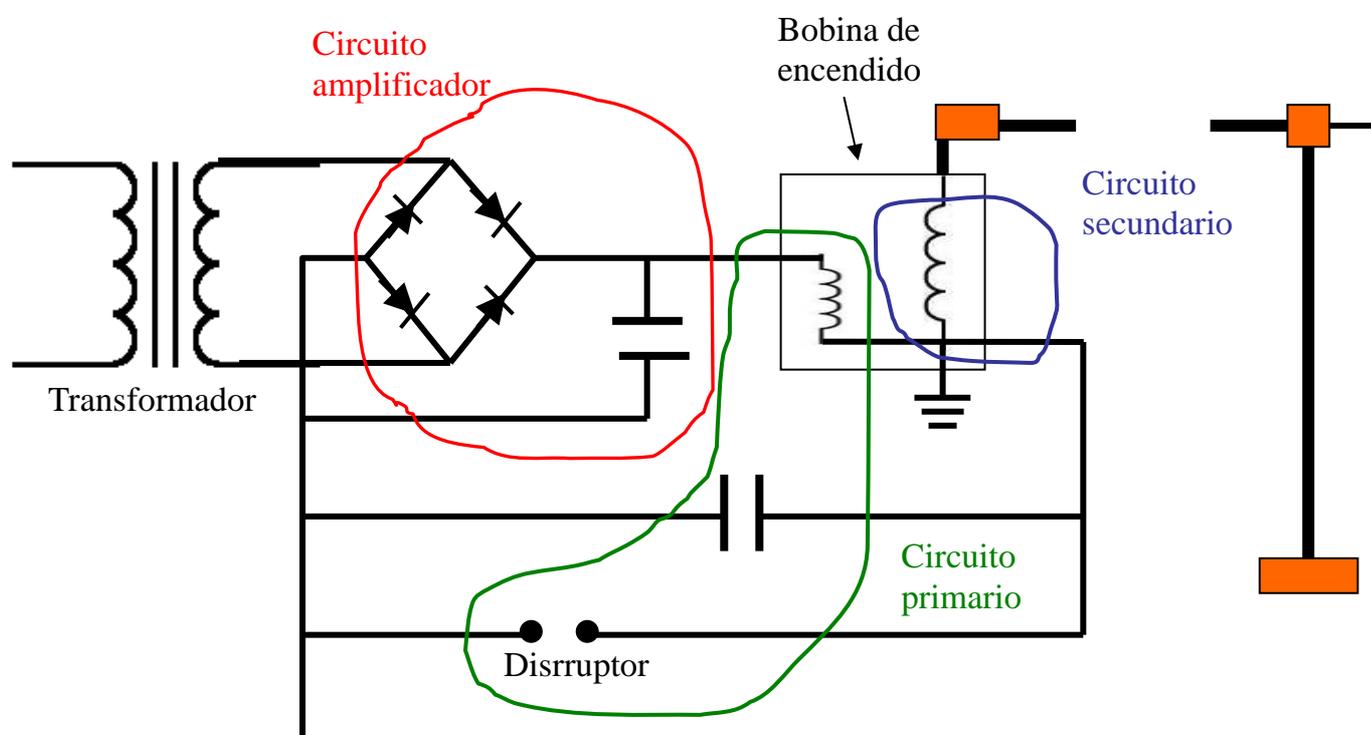
Puesto que las bobinas están devanadas de tal modo que la bobina del primario se arrolla sobre la del secundario, las líneas del campo magnético generado en la bobina del circuito primario, pasan por la bobina del secundario. Como ya hemos dicho, el campo magnético generado en la bobina del primario es un campo dependiente del tiempo, de modo que, en la bobina del circuito secundario se produce una variación del flujo que, de acuerdo con la ley de Faraday, hace que aparezca una fuerza electromotriz que a su vez provoca que aparezca una corriente inducida en el circuito secundario.

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt} \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R}$$

Como el número de espiras es mucho mayor en el secundario que en el primario, se consigue una tensión, de la misma frecuencia, pero mucho más alta lo que provoca que el aire se ionice y se produzcan las espectaculares descargas que son características de la bobina de Tesla

6. Materiales y montaje

- Fuente de corriente alterna.
- Transformador.
- Puente de diodos más un condensador (para minimizar el rizado) que rectifican la corriente y consiguen aumentar la tensión.
- Bobina de encendido de un automóvil (que contiene tanto la bobina del primario, L_1 , como la del secundario L_2)
- Un condensador C_1
- Un disrruptor, que en nuestro caso es simplemente una escofina sobre la que hacemos pasar una pieza metálica unida mediante un cable al circuito.



7. Observaciones

- Normalmente al construir una bobina de Tesla uno ha de hacerse sus propios devanados, en nuestro caso para que el dispositivo experimental sea lo más sencillo posible hemos utilizado una bobina de encendido de un automóvil antiguo lo que nos permite tener tanto la bobina del primario como la del secundario.
- Además de por su sencillez experimental, este montaje está pensado para construir una bobina de Tesla que produce tensiones moderadas para limitar, en la medida de lo posible, el peligro que éstas pueden entrañar. En cualquier caso, hay que tener mucha precaución al emplearla. También hay que tener cuidado de no hacerla funcionar cerca de ningún sistemas digital pues puede dañarlo.



8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>En cada pregunta, sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?:</p> <p>a) Si la corriente que pasa por la bobina depende del tiempo, el campo magnético que genera también depende de él. b) Si la corriente que pasa por la bobina depende del tiempo, el campo magnético que genera no lo hace. c) Una corriente que depende del tiempo no genera un campo magnético.</p> <p>2. Una bobina de Tesla</p> <p>a) es una fuente de corriente alterna. b) es un generador de alta tensión. c) es generador de corriente continua.</p> <p>3. Si el número de espiras de la bobina del circuito secundario es menor que la del primario:</p> <p>a) Se consigue una tensión más alta que en el primario. b) Se consigue una tensión más baja que en el primario. c) La tensión no se modifica con respecto del primario.</p> <p>4. El circuito secundario de la bobina de Tesla está constituido por:</p> <p>a) Un condensador y una bobina. b) Solamente por una bobina. c) Un condensador, un disrruptor y una bobina.</p> <p>5. En la bobina, se introduce el circuito rectificador para:</p> <p>a) Obtener corriente alterna. b) Aumentar la tensión. c) Obtener corriente continua.</p>	

Difracción a través de una rendija

1. Principio físico que ilustra

Difracción de la luz visible al atravesar una rendija

3. Descripción

Se pretende mostrar el patrón de difracción que se forma cuando un haz de luz monocromática producida por un láser, atraviesa una abertura rectangular y cuando lo hace a través de una abertura circular

2. Foto o Esquema

6C10.10



4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: SI

5. Fundamento teórico

La difracción es un fenómeno característico de las ondas, que se produce cuando dichas ondas se encuentra en su camino con un obstáculo, como puede ser una rendija estrecha o un hilo.

De acuerdo con la óptica geométrica, el haz transmitido después de atravesar un orificio, debería tener las mismas dimensiones que éste, pero cuando tenemos un orificio pequeño, lo que se observa no es eso, sino el denominado *patrón de difracción*. Es posible analizar este fenómeno basándose en el principio de Huygens, que nos dice que cada punto del orificio por el que ha de pasar la luz se puede considerar como una fuente de ondas secundarias. Por lo tanto, el patrón de difracción no sería otra cosa que el resultado de la superposición de la luz que proviene de estos emisores secundarios, que al poderse considerar emisores puntuales, actúan como fuente de ondas coherentes, dando lugar a un fenómeno de interferencia. Este hecho hace que no haya una diferencia fundamental entre difracción e interferencia.

Existen dos tipos de difracción, la denominada de campo cercano o de Fresnel, cuando el obstáculo y la pantalla sobre la que se forma el patrón están relativamente cerca y la denominada de campo lejano o de Fraunhofer, cuando la pantalla y el obstáculo se encuentran suficientemente alejados. El análisis de ésta última es más sencillo por lo que es la que se estudia normalmente.

Para el caso de difracción de Fraunhofer, cuando el orificio es una rendija rectangular, el patrón de difracción consiste en una zona central brillante, bordeada de bandas oscuras y brillantes alternas cuya intensidad va decreciendo rápidamente. Si la rendija es circular, lo que se observa es un disco central brillante, denominado disco de Airy, rodeado de discos concéntricos, alternativamente oscuros y brillantes, cuya intensidad, como en el caso anterior, también decae rápidamente.



(Patrón de difracción obtenido para una rendija rectangular)

6. Materiales y montaje

A) Para el caso de la rendija rectangular:

- Láser.
- Diapositiva opaca con una rendija rectangular muy fina
- Pantalla de proyecciones.

1-Se coloca un láser detrás del cual se pone la diapositiva con la rendija rectangular y por último la pantalla a una distancia suficientemente grande para que pueda considerarse difracción de Fraunhofer.

2-Se alinean todos los elementos, enfocando a la pantalla.

3-Se conecta el láser.

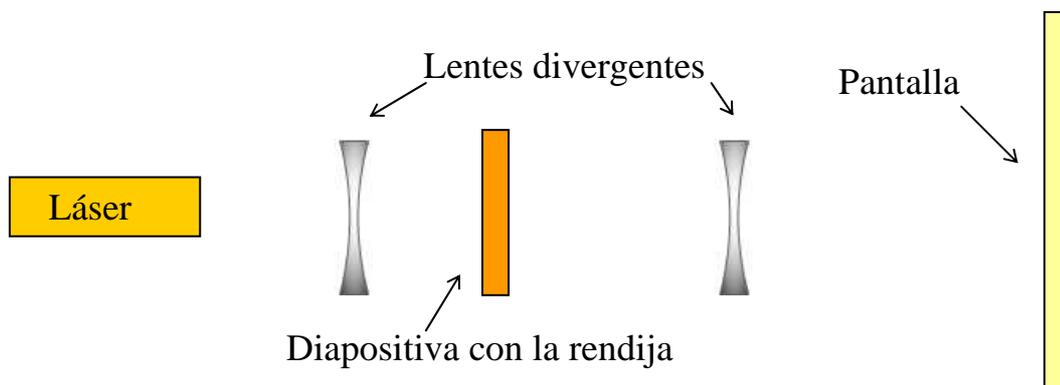
B) Para el caso de la rendija circular.

- Láser.
- Dos lentes divergentes.
- Diapositiva opaca con una rendija circular de diámetro muy pequeño.
- Pantalla de proyección.

1-Se coloca un láser seguidamente una lente divergente detrás de la cual se pone la diapositiva con el orificio, la segunda lente divergente y por último la pantalla a una distancia suficientemente grande para que se pueda considerar difracción de Fraunhofer.

2-Se alinean todos los elementos, enfocando a la pantalla.

3-Se conecta el láser.



(Montaje experimental para el caso de una rendija circular)

7. Observaciones

Las lentes divergentes no son necesarias para que se forme el patrón de difracción sobre la pantalla, se utilizan porque al dispersar la luz hacen que el patrón de difracción tenga un mayor tamaño.

En el caso de la rendija rectangular, esto no es necesario porque se obtiene un patrón de difracción suficientemente grande.



Difracción a través de una rendija

8. Cuestionario sobre el video o la experiencia	Nota
Nombre y Apellidos: <hr/>	
<p>Instrucciones.</p> <p><i>En cada pregunta, sólo una de las respuestas es correcta.</i></p>	
<p>1. La difracción se produce ya que:</p> <ul style="list-style-type: none">a) La luz cumple las leyes de la óptica geométrica.b) La luz, en ocasiones, se comporta como una onda.c) La luz es una partícula. <p>2. ¿Cuál de las siguientes cuestiones es cierta?:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Hay un único tipo de difracción.b) Hay dos tipos de difracción.c) Hay tres tipos de difracción. <p>3. Se llama patrón de difracción:</p> <ul style="list-style-type: none">a) A la imagen sobre una pantalla de un objeto puntual.b) A la superposición de la luz que proviene de un único emisor.c) A la superposición de la luz que proviene de varios emisores. <p>4. Si se dispone de una fuente de luz no coherente:</p> <ul style="list-style-type: none">a) No se puede producir difracción.b) Se produce difracción de Fresnel.c) Se produce difracción de Fraunhofer. <p>5. El disco de Airy es:</p> <ul style="list-style-type: none">a) La franja central brillante del patrón de difracción producida por una rendija rectangular.b) El disco central brillante producido por una rendija circular.c) El disco central oscuro producido por una rendija circular.	

Equipo de los proyectos:

María Barragán García^{1,2}
Juan Abel Barrio Uña¹
José Luis Contreras González^{1,2}
Luis Dinis Vizcaíno^{1,2}
Paz Godino Gómez^{1,2}
Amparo Izquierdo Gil^{1,2}
Elsa Mohino Harris^{1,2}
Alejandro Lorca Extremera¹
Isidoro Martínez Ramírez¹
Oscar Rodríguez López^{1,2}

Colaboradores:

Oscar Villarejo Villanueva¹
Sara Mohino Harris¹

Catálogo de experiencias de cátedra para la docencia de Física General: 1

Ampliación del catálogo "OSCAR" de experiencias de Física General: 2

Proyectos financiados por:

"Proyectos de Innovación y Mejora de la Calidad Docente"

Vicerrectorado de Evaluación de la Calidad

Universidad Complutense de Madrid



<http://www.ucm.es/theoscarlab>