



Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster En Profesor De Educación Secundaria Obligatoria Y
Bachillerato, Formación Profesional Y Enseñanzas De Idiomas

EXPERIENCIAS DE CÁTEDRA PARA LA DOCENCIA EN FÍSICA

Autor: David González Vegas

Tutora: Ana María Grande

«Largo es el camino de la enseñanza por medio de teorías;
breve y eficaz por medio de ejemplos»,

Séneca

RESUMEN

Los experimentos de cátedra en física son aquellas experiencias que realiza el profesor en clase con el fin de complementar su explicación teórica. En asignaturas con un marcado carácter experimental, como lo son la Física y la Química, es fundamental que los alumnos puedan relacionar la teoría con la experiencia. De este modo, su aprendizaje es mucho mejor, más profundo, además de hacer la clase mucho más amena y motivadora. En este trabajo se presentarán una serie de experiencias de cátedra, centradas principalmente en el curso de Física de 2º de Bachillerato, concretamente en la parte de electromagnetismo.

ABSTRACT

Physics demonstrations are those experiences the teacher performs in class with the goal of complement the theoretical explanations. In subjects with a marked experiment character, like Physics and Chemistry are, it is fundamental than students can relate theory with experience. Therefore, their learning will be better, deeper and the class will be much more motivating and enjoyable. In the present work a series of demonstrations will be presented, focused in Physics of 2nd of Bachelor's degree, specifically in the part of electromagnetism.

Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	DIDÁCTICA DE LOS EXPERIMENTOS DE CÁTEDRA	9
2.1	Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de la Física y Química en Secundaria.....	9
2.2	Experimentos De Cátedra.....	12
3	ÍNDICES PIRA y UCB.....	15
3.1	Índice PIRA.....	15
3.2	Índice UCB.....	17
4	EXPERIMENTOS.....	19
4.1	Introducción.....	19
4.2	Electrostática	21
4.3	Magnetismo.....	41
4.4	Inducción Electromagnética	52
5	CONCLUSIÓN.....	62
6	BIBLIOGRAFÍA.....	63

1 INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo principal elaborar un catálogo de experiencias de cátedra para que sirva como recurso didáctico en la docencia de la Física en 2º de Bachillerato. Es interesante saber qué es una experiencia de cátedra y en qué va a consistir la lista que se va a hacer en el presente trabajo.

Experiencia de cátedra es, por definición, un recurso docente que consiste en la realización de experimentos y demostraciones en el aula durante las clases magistrales. Sirve para que, durante el transcurso de las clases, se puedan ilustrar los principios y conceptos que se estén tratando en clase. Además de procurar de este modo un aprendizaje más significativo para el alumno, se despierta el interés y la motivación, aspectos muchas veces igual o incluso más importantes que el propio estudio.

Esto significa que las experiencias de cátedra son ayudas que utiliza el profesor, principalmente el profesor de ciencias, para apoyar sus explicaciones teóricas en pequeños experimentos que apoyen esa explicación. De este modo, se intenta lograr un mejor aprendizaje por parte de los alumnos.

Por otro lado, dentro de las experiencias de cátedra que voy a presentar, todas van a estar dirigidas al curso de Física de 2º de Bachillerato, concretamente, en la parte de electromagnetismo. ¿Por qué me he encuadrado aquí?

El curso de Segundo de Bachillerato es el primer curso donde la Física y la Química separan sus caminos. Durante toda la ESO y Primero de Bachillerato, la asignatura correspondiente es Física y Química, por lo que en verdad la Física ocupa solo la mitad del curso –muchas veces incluso menos–. Por lo tanto, en Física de Segundo se ve por fin una Física con un nivel bastante avanzado, que permite una mayor profundidad del temario, permitiéndonos tener un mayor abanico de posibilidades en cuanto a las experiencias. Algunas de las experiencias que veremos se podrían presentar perfectamente en cursos anteriores, dado el carácter circular del temario, donde muchas veces se ven una y otra vez los mismos contenidos en los sucesivos cursos.

El motivo de centrarme únicamente en la parte de electromagnetismo es el poder cubrir todo el temario de una parte, puesto que cubrir todo el temario completo es demasiado

amplio –recordemos que, *grosso modo*, el temario de Segundo de Bachillerato presenta cinco grandes bloques: gravitación, electromagnetismo, ondas, óptica y física moderna –.

Así, habría dos maneras de hacer este trabajo: trabajando solo una parte y tratando de cubrir el temario de una forma prácticamente completa o trabajando todo el temario, haciendo experimentos de todos los bloques, pero dejando todas las partes incompletas –siempre teniendo en cuenta que, con completo o incompleto me refiero a que haya experimentos asociados a todo el contenido que establece la ley–. En el presente trabajo hemos optado por elegir la primera opción, buscando asociar cada parte del currículo con una serie de experimentos. Del otro modo parecería que damos más prevalencia a unos contenidos que a otros, dado que no podrían entrar todos.

Entonces, en este trabajo buscaremos completar la parte de electromagnetismo del temario de Segundo de Bachillerato con experimentos de cátedra asociados. Cada experimento se presentará mediante una ficha donde, además del material que se necesita y las instrucciones para realizarlo, se encuadra cada experimento dentro de la parte del temario correspondiente.

2 DIDÁCTICA DE LOS EXPERIMENTOS DE CÁTEDRA

Este capítulo está dedicado por completo a la didáctica, en concreto a la didáctica de la Física y la Química encuadrada en la Secundaria. En primer lugar, presentaré y trataré las mayores dificultades que se presentan cuando se enseñan estas asignaturas, poniendo especial énfasis en el epicentro del problema: la experimentación. Como solución a dicho problema surgirán los experimentos de cátedra. Así, para concluir el capítulo, hablaré sobre los experimentos de cátedra en general como recurso docente.

2.1 Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de la Física y Química en Secundaria

La enseñanza de la física y la química presenta una serie de problemas, algunos de los cuales son comunes a todas las asignaturas y otros son inherentes únicamente a las asignaturas de ámbito científico y tecnológico.

Los problemas que son comunes a todas las asignaturas son la falta de horas para los docentes que deriva en que los profesores no puedan preparar las clases adecuadamente; los inabarcables temarios, que hacen que los temas se tengan que ver más rápido de lo deseable en la mayoría de los casos; los continuos cambios legislativos, que provocan confusión en todos los estratos de la comunidad educativa; clases muy numerosas, que muchas veces tiene como consecuencia que la convivencia en la clase sea más complicada de lo que ya de por sí debería ser... [Pro]

No obstante, más importantes son, a mí parecer, los problemas exclusivos de la enseñanza de la Física y la Química. Estos problemas tienen que ver con el carácter experimental de estas asignaturas. Algunos de estas dificultades en la enseñanza están relacionados con los anteriormente expuestos para todas las asignaturas. Por ejemplo, está el problema del tiempo para dar todo el temario. Este problema es común para todas las asignaturas. Sin embargo, es más problemático en el caso concreto de la Física y la Química, puesto que estas asignaturas deben –o al menos deberían– tener un respaldo en la experiencia y el laboratorio que es intrínseca a las mismas. El aumento de la problemática está en que el temario de Física y Química es igual de extenso que el de otras asignaturas y, por ello, existe un tiempo similar para dar el temario. Pero no se tiene en cuenta que en la Física y la Química se debería tener un tiempo dedicado en exclusiva al laboratorio. Y ahí radica el problema. Si se emplea parte del tiempo en hacer experiencias, puede que haya que dar el temario más rápido para recuperar

ese tiempo; si no se hacen experiencias de laboratorio, los alumnos pierden esa parte imprescindible. Es como escoger el mal menor en una cuestión donde no debería haber nada que escoger, sino tener ambas vías siempre. [Pro]

El resto de problemas específicos de la Física y la Química están relacionados con la problemática del laboratorio y giran en torno a la misma. La falta de recursos en las aulas es más acuciante en la Física y la Química por el simple hecho de que el material de laboratorio es más caro que el material que puedan necesitar asignaturas de ámbito no científico-técnico.

El que las clases sean tan numerosas como son provoca un problema también de cara al laboratorio. Los laboratorios son los que son y, si la clase tiene más alumnos que el laboratorio capacidad, dicha clase no podrá ir al laboratorio. Esto radica también en el hecho de la dificultad que existe en la Secundaria para realizar desdobles, medida que resolvería en cierto modo este asunto.

Hay más dificultades dentro de la Física y la Química, situaciones que el profesorado de estas materias se viene quejando –no solo profesorado de institutos, sino universitario también–. A continuación, se exponen estas situaciones, presentadas en [Velasco]:

- En ciencia –y en materias de ámbito técnico también–, se están produciendo una serie de cambios, cambios que tienen que ver con el replanteamiento de ciertas disciplinas. Por ejemplo, orientando Física o Química a otras carreras como Ingeniería Química o Bioinformática. Esto debería verse reflejado también en los currículos y temarios de Secundaria.
- La no obligatoriedad de Física y Química a partir de tercero de ESO, provocando que muchos alumnos no vean asignaturas de ámbito científico nunca más durante su formación, quedando huérfanos en ese sentido. La formación científica es imprescindible para los futuros ciudadanos, puesto que la Física y la Química son soporte del conocimiento científico que impera en nuestro tiempo: informática, electricidad, electrónica...
- En bachillerato, en primer curso en concreto, la asignatura de Física y Química es única. A pesar de que el temario de este curso es muy extenso, la asignatura sigue siendo una sola, provocando un aglutinamiento exagerado de contenidos

y una imperancia de una parte de la materia sobre la otra en la mayoría de los casos.

- El alumnado llega a la Universidad con un nivel insuficiente. Muchas universidades ofrecen cursos cero a sus alumnos ante esta situación, pero esto es un parche, no una solución.

Sin embargo, dos problemas son los más predominantes al hablar en concreto de la Física y la Química –y que no dejan de estar relacionados con la falta de tiempo en el laboratorio–. Es el temor que tienen los alumnos por estas materias y la desconexión que ven entre la parte teórica y la práctica. Como vemos, una va de la mano de la otra.

Así pues, los alumnos tienen un cierto temor a estas asignaturas, puesto que ven los contenidos de Física y Química como algo muy abstracto –eso sin contar con la dificultad intrínseca que las propias asignaturas tienen–.

Esta dificultad proviene de la desconexión entre la teoría y la práctica, no ven una conexión directa entre ambas partes y muchos menos relacionan ese desarrollo teórico con aplicaciones directas en su vida cotidiana. Lo ideal sería poder realizar prácticas y experimentos relacionados con cada parte del contenido o, como mínimo, de los contenidos más importantes para poder superar esta desconexión. [Alcalde]

Todos estos problemas pueden causar no solo un bajo rendimiento académico del alumno, sino también una desmotivación de cara a estas asignaturas. Otra vez estas consecuencias no son islotes independientes, sino que ambas están relacionadas entre sí y se convierten en un uróboros. De modo general y simplificado, a un menor rendimiento académico, menor motivación y, a una menor motivación, un menor rendimiento académico.

¿Cómo solucionar estas problemáticas? Parece obvio que aumentando la experimentación en el aula, pero, como vemos, no es nada sencillo. Aquí es donde aparecen las experiencias de cátedra o demostraciones realizadas por el profesor. El objetivo principal de este tipo de experiencias es que los alumnos creen esa conexión, fundamental para comprender realmente la Física y Química, entre la teoría y la práctica. No solo eso, sino que la experiencia de cátedra es, además, una forma diferente de dar la clase, motivando a los alumnos y captando su interés por la asignatura. [Alcalde]

2.2 Experimentos De Cátedra

Experiencia de cátedra es, por definición, un recurso docente que consiste en la realización de experimentos y demostraciones en el aula durante las clases magistrales. Sirve para que, durante el transcurso de las clases, se puedan ilustrar los principios y conceptos que se estén tratando. Además de procurar de este modo un aprendizaje más significativo para el alumno, se despierta el interés y la motivación.

Vemos que, por lo tanto, el objetivo de los experimentos de cátedra es proporcionar al alumno un aprendizaje más significativo. Pero, ¿qué es un aprendizaje significativo?

Aprendizaje significativo es un concepto propuesto por David Ausubel que se contrapone al aprendizaje memorístico. Es un aprendizaje que trata de establecer vínculos sustantivos y no arbitrarios entre el conocimiento que ya poseemos y el conocimiento nuevo. En él se establece un compromiso afectivo para relacionar los nuevos conocimientos con el aprendizaje previo. Este tipo de aprendizaje está relacionado con el aprendizaje funcional, que es aquel aprendizaje que quien lo ha realizado puede utilizarlo efectivamente en situaciones determinadas para resolver los problemas que se le planteen. [Pozo]

En la Física y Química de Secundaria, una de las mayores dificultades a las que se enfrentan los alumnos es, como hemos visto en el apartado anterior, la dificultad para comprender los conceptos físicos debido a su nivel de abstracción.

«En la secuenciación de cada una de las unidades didácticas en el aula, es conveniente finalizar la explicación de cada epígrafe con una aplicación práctica de los fenómenos físicos expuestos»

[ANDREA]

Así, buscando completar de una forma efectiva las explicaciones, una de las mejores maneras de hacerlo es mediante experiencias de cátedra. Los experimentos ordinarios que pudiesen llevar a cabo los alumnos en sesiones de laboratorio serían igualmente válidos, e incluso más. Esto tiene que ver con la pirámide del aprendizaje:

Cono de la experiencia de Edgar Dale

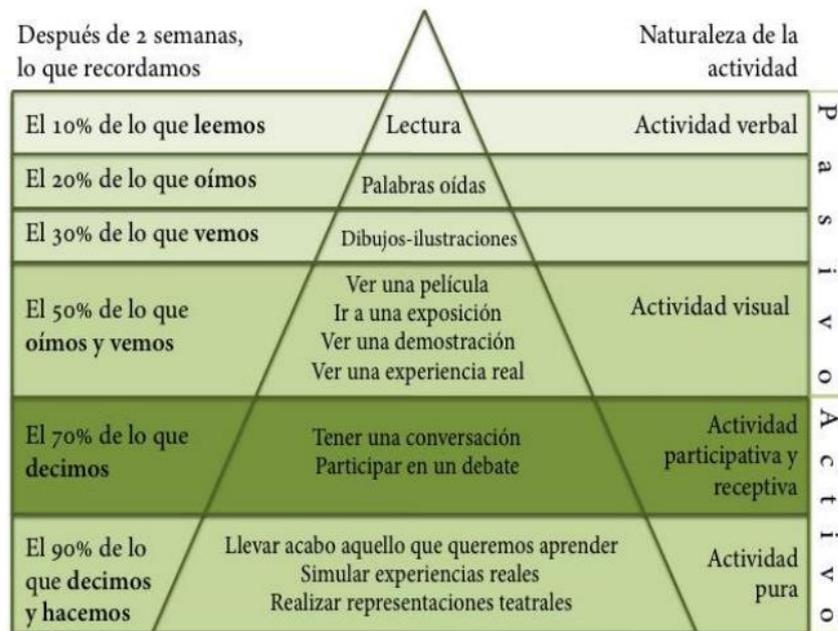


Figura 2-1. Cono de la experiencia de Edgar Dale. Recuperado de <http://vamoscreciendo.com/2014/01/19/diez-actividades-para-desarrollar-el-pensamiento-imaginativo-de-tu-hijo/cono-de-la-experiencia-2/>

La pirámide, como vemos, indica que un aprendizaje se retiene mejor al cabo del tiempo si lo hemos adquirido haciéndolo que si lo hemos visto y oído únicamente. Por lo tanto, la situación ideal para el aprendizaje de los alumnos es aquella donde ellos mismos hacen las cosas para aprender –véase realizar ellos los experimentos–.

Sin embargo, dentro de las actividades pasivas, es decir, donde el que «hace» es el profesor, la actividad que más permite retener dicho aprendizaje es aquella en la que oímos y vemos, es decir, un experimento de cátedra. [Andrea]

Esta pirámide no debemos tomarla como una verdad absoluta en cuanto a la enseñanza-aprendizaje, pero sirve como indicativo en cuanto a la retención de la información por parte de los alumnos.

Así pues, los experimentos de cátedra son una herramienta muy útil para que los alumnos puedan comprender los conceptos teóricos. Mejor sería que los alumnos pudieran hacer los experimentos ellos mismos. Pero en este punto chocamos con la realidad, como vimos en el apartado anterior: en el día a día del aula, no hay tiempo para hacer los experimentos que se deberían hacer; a veces, no hay ni espacio –clases muy concurridas– ni tampoco recursos suficientes. [Alcalde]

Podemos concluir que una solución a ello son las experiencias de cátedra. Son más rápidas y menos costosas. Al fin y al cabo, solo se necesita replicar el experimento una vez, no una por cada grupo de laboratorio. En el caso particular de las experiencias que presentaremos aquí, el objetivo es que los alumnos también puedan replicar estas experiencias en sus casas con material sencillo, logrando así un conocimiento todavía más significativo.

3 ÍNDICES PIRA y UCB

Los experimentos de cátedra es un tema sobre el que se ha trabajado ya mucho y hay mucho material al respecto. En la bibliografía adjunto varios libros que he utilizado para desarrollar el trabajo. Sin embargo, no solo existe bibliografía dedicada al respecto. También existen diferentes clasificaciones de experiencias de cátedra en la docencia de la Física.

En el presente capítulo, presentaré los dos índices más importantes sobre experimentos de cátedra que existen, explicándolos brevemente.

3.1 Índice PIRA

El índice PIRA corresponde a Physics Instructional Resource Association (PIRA), una asociación dedicada a la educación en Física. Se dedican a la Física desde la escuela primaria hasta la Universidad, forman parte de la American Association of Physics Teachers y es una asociación compuesta por profesores y personas relacionadas con el mundo de la física en todos los niveles.

La contribución más importante de PIRA es la clasificación de experiencias de cátedra mediante el índice PIRA, el más utilizado.

Toda la información relacionada se encuentra en: <http://physicslearning2.colorado.edu/pira/>.

¿Cómo funciona el índice PIRA? Los experimentos se clasifican mediante NúmeroLetraNúmero.Número.

El primer número es la rama de la física donde se encuadra el experimento. Las distintas ramas en que divide la física el índice PIRA serían:

- 1 Mecánica
- 2 Fluidos mecánicos
- 3 Ondas y oscilaciones
- 4 Termodinámica
- 5 Electromagnetismo
- 6 Óptica

7 Física moderna

8 Astronomía

9 Equipamiento

Después, la letra y el siguiente número subdividen cada rama en distintas subcategorías. La letra, por ejemplo, dividiría la parte de electromagnetismo en:

- A. Electroestática
- B. Campo eléctrico y potencial
- C. Capacidad
- D. Resistencia
- E. Fuerza Electromotriz y corriente
- F. Circuitos CC
- G. Materiales magnéticos
- H. Campos y fuerzas magnéticas
- I.
- J. Inductancia
- K. Inducción electromagnética
- L. Circuitos CA
- M. Semiconductores
- N. Radiación electromagnética

Y el siguiente número dividiría la parte de electrostática en:

10 Producir carga estática.

20 Ley de Coulomb.

22 Medidores de electrostática.

30 Conductores y aislantes.

40 Carga inducida.

50 Máquinas electrostáticas.

El último número corresponde por fin al experimento en concreto. Así, el experimento 5A10.20 correspondería al electróforo.

3.2 Índice UCB

Toda la información relacionada se encuentra en: <http://berkeleyphysicsdemos.net/>.

El índice UCB es desarrollado por la Universidad de Berkeley, de los Estados Unidos. La estructura para denominar un experimento es como sigue: Letra+Número+Número.

La letra indica qué parte de la física es la que trata el experimento. Las diferentes ramas serían:

A-Mecánica

B-Ondas

C-Propiedades de calor y materia

D-Electromagnetismo

E-Óptica

F-Física moderna y contemporánea

G-Astronomía y percepción

Después, el primer número que aparece divide cada una de estas categorías principales en diferentes subcategorías. La parte que a nosotros nos interesa, la de electromagnetismo iría de la siguiente manera:

0 Capacidad

5 Oscilaciones electromagnetismo

10 Electrostática

15 Ley de Faraday

20 Inductancia

25 LCR Relación de Fase

- 30 Campo Magnético
- 35 Propiedades Magnéticas
- 40 Medidores
- 45 Motores
- 50 Osciloscopios
- 55 Resistencia
- 60 Estado sólido y semiconductores
- 65 Emisión termoiónica
- 70 Termoelectricidad
- 75 Transformadores
- 80 Células voltaicas
- 85 Electrólisis

El último número corresponde al experimento en concreto que sea. Así, por ejemplo, el experimento D+10+8 sería de electromagnetismo (D), concretamente de la parte de electrostática (10). Y el 8 correspondería al experimento en concreto, en este caso sería un electróforo.

4 EXPERIMENTOS

4.1 Introducción

La siguiente colección de experimentos de cátedra tiene como objetivo servir a cualquier profesor de Física de Segundo de bachillerato en su labor docente y completar sus explicaciones. Esta colección intenta cubrir todo el temario de Segundo de Bachillerato en cuanto al bloque de electromagnetismo. Los contenidos del temario de Segundo –de electromagnetismo– es el siguiente:

<p>Campo eléctrico. Líneas de campo eléctrico. Intensidad del campo eléctrico. Flujo del campo eléctrico. Ley de Gauss. Aplicaciones: campo en el interior de un conductor en equilibrio y campo eléctrico creado por un elemento continuo de carga. Trabajo realizado por la fuerza eléctrica. Potencial eléctrico. Energía potencial eléctrica de un sistema formado por varias cargas eléctricas. Superficies equipotenciales. Movimiento de una carga eléctrica en el seno de un campo eléctrico. Analogías y diferencias entre el campo gravitatorio y el campo eléctrico.</p>	<p>El fenómeno del magnetismo y la experiencia de Oersted. Campo magnético. Líneas de campo magnético. El campo magnético terrestre. Efecto de los campos magnéticos sobre cargas en movimiento: Fuerza de Lorentz. Determinación de la relación entre carga y masa del electrón. El espectrómetro de masas y los aceleradores de partículas. El campo magnético como campo no conservativo. Campo creado por distintos elementos de corriente: acción de un campo magnético sobre un conductor de corriente rectilíneo y sobre un circuito.</p>	<p>Ley de Ampère: Campo magnético creado por un conductor indefinido, por una espira circular y por un solenoide. Interacción entre corrientes rectilíneas paralelas. El amperio. Diferencia entre los campos eléctrico y magnético. Inducción electromagnética. Flujo magnético. Leyes de Faraday-Henry y Lenz. Fuerza electromotriz. Síntesis electromagnética de Maxwell. Generación de corriente eléctrica: alternadores y dinamos. La producción de energía eléctrica: el estudio de los transformadores.</p>
---	--	--

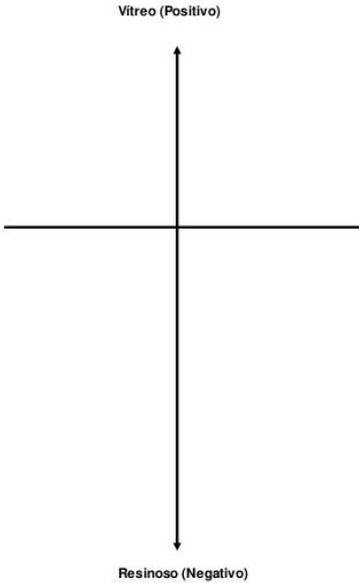
Figura 4-1. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

Algunas de las experiencias pueden utilizarse en otros cursos, tanto anteriores como posteriores, pero la base es esta. Buscando una mayor simplicidad y una mejor visibilidad, los experimentos se presentarán mediante unas fichas en las que se expondrá todo lo necesario para llevar a cabo el experimento. El ejemplo sería el siguiente:

NOMBRE DEL EXPERIMENTO
Nombre del Experimento, así como su referencia en los índices PIRA y UCB. También se incluirá las referencias en las que nos hemos apoyado para elaborar la ficha.
RESUMEN
Breve descripción de en qué consiste el experimento.
PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)
En este apartado encuadramos los contenidos que se trabajan con la experiencia con los contenidos del propio del temario, recogidos en el BOCYL.
FUNDAMENTO TEÓRICO
Pequeña explicación teórica del fundamento físico detrás de la experiencia.

MATERIAL
<ul style="list-style-type: none">• Lista de materiales necesarios para poder hacer la experiencia.
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA
Instrucciones prácticas para la realización del experimento.

4.2 Electrostática

<p>NOMBRE DEL EXPERIMENTO</p>
<p>Carga por frotamiento, contacto e inducción. PIRA – 5A10.1X. UCB – No aparece. [Freier] [Meiners] [Sprott] [Sutton]</p>
<p>RESUMEN</p>
<p>Mostrar las tres diferentes formas de cargar un cuerpo.</p>
<p>PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)</p>
<p>El temario correspondiente a la carga de los cuerpos como tal se encuentra fuera del temario de Segundo de Bachillerato, se vería en cursos previos. Sin embargo, es interesante como una forma de recordar los conceptos previos y comenzar el tema de electrostática hacer estos experimentos tan básicos, pero a la vez tan fundamentales sobre la carga de los cuerpos.</p>
<p>FUNDAMENTO TEÓRICO</p>
<p>Hay tres formas básicas de electrizar un cuerpo: frotamiento, contacto e inducción.</p> <p>Frotamiento (efecto triboeléctrico):</p> <p>Cuando frotamos dos cuerpos, el que tiene una mayor tendencia a captar electrones arranca electrones del cuerpo con menor tendencia a ello, quedando uno cargado con carga negativa (el primero) y otro con carga positiva (el segundo). En la imagen adjunta se muestra la escala de cómo quedarían cargados los cuerpos si los frotásemos, la llamada serie triboeléctrica.</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>Aire seco Amianto Vidrio Mica Cabello humano Nylon Lana Piel Plomo Aluminio Papel Algodón Acero Madera Ámbar Lacre Goma dura Níquel, Cobre Latón, Plata Oro, Platino Azufre Rayón de acetato Poliéster Celuloide Orlón Poliuretano Polietileno PVC Silicio Teflón</p> </div> <div style="flex: 1; text-align: center;">  </div> </div> <p style="text-align: right; margin-top: 10px;"><i>Figura 4-2. Ejemplo serie triboeléctrica. Imagen sacada de [Castillo].</i></p> <p>Contacto: si ponemos en contacto un cuerpo conductor con un cuerpo cuya carga es no nula la carga se transferirá de uno a otro, quedando ambos cargados con carga de igual signo.</p> <p>Inducción: cuando se acerca un cuerpo cargado a otro, sin llegar a hacer contacto, debido a la atracción electrostática de la carga del cuerpo cargado, las cargas del cuerpo neutro se redistribuirán, quedando las del signo opuesto más cercanas al objeto cargado y las de signo</p>

contrario quedando más alejadas. Así, el cuerpo adquiere una distribución de carga inducida. Si quisiéramos hacer que el cuerpo quedase cargado de forma permanente, deberíamos conectar a tierra dicho cuerpo.

MATERIAL

- Electrógrafo.
- Electroscopio.
- Plástico (polipropileno).
- Paño de lana.
- Hilo.
- Bola conductora.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Para la carga por fricción, simplemente tenemos que frotar el paño de lana con el plástico. Como la lana está más arriba en la serie triboeléctrica, ésta quedará cargada positivamente y el plástico negativamente. Si acercamos el electroscopio comprobaremos la existencia de carga.

Utilizando el electrógrafo, tocaremos una bola conductora para cargarla. En el momento en que entran en contacto, la bola se carga con la misma carga que el electrógrafo, repeliéndose ambos. (Vídeo adjunto).

Por último, teniendo el electrógrafo cargado, usamos el electroscopio para comprobar si existe carga sin que haya contacto entre el electroscopio y el electrógrafo. La separación entre las láminas del electroscopio se deberá a la carga inducida en el propio electroscopio por la carga del electrógrafo.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Electróforo. PIRA – 5A10.20. UCB – D+10+18. [Freier] [Hilton] [Meiners] [Sutton]

RESUMEN

Construcción de un electróforo, aparato con el que podemos generar carga por inducción.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

La construcción de un electróforo no se puede encuadrar directamente dentro de los contenidos de la Física de Segundo de Bachillerato. Sin embargo, de cara a futuras experiencias es importante contar con uno, puesto que es necesario para algunas de las referidas a la parte de electrostática, parte que sí está en los contenidos de electrostática.

FUNDAMENTO TEÓRICO

¿Cómo logramos que el electróforo adquiera carga? Para ello necesitamos un par de materiales adicionales además del propio electróforo: un paño de lana y un plástico portafolios. El funcionamiento es muy sencillo. Apoyamos el plástico sobre una superficie y frotamos dicho plástico con el trapo de lana. El plástico, por frotamiento, adquirirá una cierta carga (a).

Después, debemos apoyar el electróforo sobre el plástico. Al apoyarlo, la carga del plástico inducirá una redistribución en la carga de nuestro electróforo (b). Si conectamos a tierra la parte superior del electróforo, por ejemplo, tocando la superficie conductora del mismo, lo que haremos es que la carga que estaba acumulada en ese lado se transfiera a tierra (c).

Una vez quitamos la tierra –dejamos de tocar el electróforo–, y si cogemos el electróforo por el mango aislante, lo que tenemos es un disco cargado, como se muestra en (e).

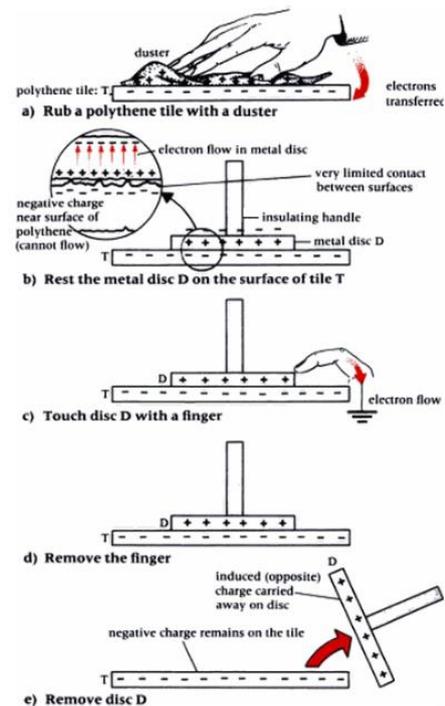


Figura 4-3. Esquema de la carga de un electróforo. [Avison]

MATERIAL

- Papel de aluminio
- Cartón
- Bolígrafo Bic

- Pegamento
- Paño de lana
- Hoja de plástico

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Recortamos un círculo de cartón de unos 20 – 25 cm. Dicho cartón lo recubrimos totalmente de papel de aluminio, tratando de que quede lo más plano posible dicho recubrimiento. El electróforo se hace mejor –más funcional– con un disco de un material conductor completamente.

Se pega en el centro del círculo una varilla de un material aislante, en nuestro caso, la carcasa de un bolígrafo, y el electróforo ya estaría listo.



Figura 4-4. Electr6foro casero construido para la realizaci6n de experimentos.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO
Electroscopio. PIRA – 5A22.XX. UCB – D+10+8. [Bilash] [Hilton] [Sutton]
RESUMEN
Construcción de un electroscopio, instrumento con el cual podemos detectar la presencia de carga eléctrica.
PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)
La construcción de un electroscopio no se puede encuadrar directamente dentro de los contenidos de la Física de Segundo de Bachillerato. Sin embargo, de cara a futuras experiencias es importante contar con uno, puesto que es necesario para algunas de las referidas a la parte de electrostática, parte que sí está en los contenidos de electrostática.
FUNDAMENTO TEÓRICO
<p>El funcionamiento del electroscopio se basa en la Ley de Coulomb, esto es, en que cargas de distinto signo se atraen y cargas de igual signo se repelen. Cuando la varilla de cobre esté cargada eléctricamente, esta carga eléctrica pasa también a la lámina de aluminio y, al tener los dos lados de la lámina igual carga, veremos las láminas separarse.</p> <p>También podemos detectar carga sin que sea necesario tener conectada la parte superior del electroscopio a una carga, es decir, para poder detectar carga a distancia, vamos a utilizar el fenómeno de la inducción. La parte superior del electroscopio en nuestro caso es una esfera de un material conductor. En el momento cuando se acerca una cierta carga al electroscopio, las cargas del interior del electroscopio se reorganizan debido a la carga externa; la carga de distinto signo a la carga externa se situará en la parte más cercana a la carga externa y la carga del electroscopio más alejada de la carga externa –la carga que se va a acumular en las láminas de aluminio del electroscopio– será la de signo igual a la de la carga externa.</p> <p>De esta manera, las láminas del electroscopio tendrán una cierta carga y, por lo tanto, se repelerán. En el momento en que alejemos la carga externa el electroscopio volverá a su posición inicial.</p>
MATERIAL
<ul style="list-style-type: none"> • Hilo conductor (estaño en nuestro caso) • Recipiente cerrado • Lámina de aluminio

- Papel de aluminio

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Hacemos un agujero por donde pasamos el hilo de estaño en la tapa del recipiente cerrado. El hilo de estaño lo doblaremos en forma de gancho por los dos extremos. En el extremo que irá en el interior del recipiente colocamos la lámina de aluminio, de forma que queden los extremos lo más paralelos posibles. En la parte que va por fuera, pondremos el papel de aluminio de forma que quede con una forma lo más esférica posible.

Para comprobar que el electroscopio funciona, basta con acercar un objeto cargado. En el momento en que lo hagamos, las láminas de aluminio del interior deberían alejarse.



Figura 4-5. Electroscopio fabricado para el desarrollo de nuestros experimentos

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Cubo de hielo de Faraday. PIRA – 5B2010. UCB – D+10+10. [Freier] [Hilton] [Sutton]

RESUMEN

Este experimento fue desarrollado por M. Faraday (1843) para demostrar la distribución de carga en un conductor. El experimento prueba por un lado que el exceso de carga de un conductor se localiza en la superficie externa del mismo y, por otro lado, que una carga eléctrica encerrada en la cavidad interna de un conductor induce una carga de igual valor en la superficie externa del mismo.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

Bloque 3. Interacción electromagnética		
Campo eléctrico. Líneas de campo eléctrico. Intensidad del campo eléctrico.	1. Asociar el campo eléctrico a la existencia de carga y caracterizarlo por la intensidad de campo y el potencial.	1.1. Relaciona los conceptos de fuerza y campo, estableciendo la relación entre intensidad del campo eléctrico y carga eléctrica.
Flujo del campo eléctrico. Ley de Gauss. Aplicaciones: campo en el interior de un conductor en equilibrio y campo eléctrico creado por un elemento continuo de carga.	2. Reconocer el carácter conservativo del campo eléctrico por su relación con una fuerza	1.2. Utiliza el principio de superposición para el cálculo de campos y potenciales eléctricos

Figura 4-6. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

Como se puede ver en el BOCYL, en el temario de Segundo de Bachillerato, uno de los contenidos que se debe enseñar es el comportamiento eléctrico de un conductor en equilibrio electrostático. Por su sencillez e importancia histórica este experimento puede ser interesante para los alumnos.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Como hemos visto antes, en este experimento comprobamos dos cosas: cómo se induce la carga en un conductor debido a una carga en su interior (1) y cómo se distribuye el exceso de carga en un conductor (2).

1. Se parte de un recipiente de un material conductor en principio descargado y, al introducir una esfera cargada, el conductor adquiere una cierta carga. ¿Por qué? La causante de todo es la esfera cargada que introducimos en el material. Al introducir la esfera en el interior del material, lo que sucede es que las cargas que hay en el interior del conductor se redistribuyen inducidas por la acción del campo eléctrico asociado a la esfera, quedando la parte interior con una carga de signo contrario de la esfera y la parte exterior del recipiente, como demuestra el electroscopeo, con una carga idéntica a la de la esfera.

Cuando retiramos la esfera, el efecto del campo de la misma se disipa, reorganizándose otra vez las cargas del recipiente conductor y volviendo al estado inicial, mostrando que en ningún caso se ha transferido carga desde la esfera al recipiente.

2. Si ponemos la esfera cargada en contacto con la cara interna del conductor, toda la carga se acumula en el exterior del conductor, quedando la esfera completamente descargada. En el caso de que toquemos con la esfera cargada el exterior del conductor, al quedarse la carga distribuida por el exterior del mismo, también habrá carga la esfera, por ser ésta parte de la superficie exterior.

Esto se puede comprobar fácilmente con el electroscopio, viendo como en un caso la esfera no tiene carga y en el otro caso todavía mantiene algo de carga.

MATERIAL

- Electroscopio (material que compone el electroscopio en la ficha del electroscopio).
- Recipiente metálico.
- Hilo de cobre.
- Electrónimo (material que compone el electrónimo en la ficha del electrónimo).
- Esfera metálica
- Hilo

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Primero de todo, se sitúa el recipiente metálico sobre una superficie aislante y se conecta a tierra, para asegurarnos que no esté cargado eléctricamente. Se conecta el recipiente metálico al electroscopio para comprobar que, efectivamente, está descargado. Una vez está el sistema montado, hay que cargar la esfera metálica, que previamente se ha unido a un hilo. Para cargar la esfera utilizamos el electrónimo.

Con la bola ya cargada, la experiencia consiste en introducir la esfera sin que llegue a haber contacto entre la ésta y el recipiente, y observar que la parte exterior del recipiente –donde está conectado el electroscopio– ha adquirido la misma carga que la esfera, aun no habiendo contacto. Del mismo modo, si retiramos la bola, esta carga desaparece.

En caso de hacer contacto entre la bola y el interior del recipiente, la carga de la esfera pasaría al exterior de nuestro recipiente, descargándose la esfera por completo. En cambio, si tocamos el recipiente por el exterior, la carga se distribuiría por todo el exterior del

recipiente y la esfera, quedando algo de carga en ésta –pudiéndose comprobar fácilmente con el electroscopio–.



Figura 4-7. Montaje del experimento.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Fuerza entre cargas – Ley de Coulomb. PIRA – 5A20.20. UCB – D+10+4. [Ehrlich] [Freier] [Sutton]

RESUMEN

Comprobar usando bolas cargadas la Ley de Coulomb de una forma cualitativa.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

Bloque 3. Interacción electromagnética		
<p>Campo eléctrico. Líneas de campo eléctrico.</p> <p>Intensidad del campo eléctrico.</p> <p>Flujo del campo eléctrico. Ley de Gauss. Aplicaciones: campo en el interior de un conductor en equilibrio y campo eléctrico creado por un elemento continuo de carga.</p> <p>Potencial eléctrico. Energía potencial eléctrica de un sistema formado por varias cargas eléctricas. Superficies equipotenciales.</p> <p>Movimiento de una carga eléctrica en el seno de un campo eléctrico.</p> <p>Analogías y diferencias entre el campo gravitatorio y el campo eléctrico.</p>	<p>1. Asociar el campo eléctrico a la existencia de carga y caracterizarlo por la intensidad de campo y el potencial.</p> <p>2. Reconocer el carácter conservativo del campo eléctrico por su relación con una fuerza</p> <p>3. Caracterizar el potencial eléctrico en diferentes puntos de un campo generado por una distribución de cargas puntuales y describir el movimiento de una carga cuando se deja libre en el campo.</p> <p>4. Interpretar las variaciones de energía potencial de una carga en movimiento en el seno de campos electrostáticos en función del origen</p>	<p>1.1. Relaciona los conceptos de fuerza y campo, estableciendo la relación entre intensidad del campo eléctrico y carga eléctrica.</p> <p>1.2. Utiliza el principio de superposición para el cálculo de campos y potenciales eléctricos</p> <p>2.1. Representa gráficamente el campo creado por una carga puntual, incluyendo las líneas de campo y las superficies de energía equipotencial.</p> <p>2.2. Compara los campos eléctrico y gravitatorio estableciendo analogías y diferencias entre ellos.</p> <p>3.1. Analiza cualitativamente la trayectoria de una carga situada en</p>

Figura 4-8. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

La ley de Coulomb no aparece de forma explícita en los contenidos de 2º de Bachillerato, viéndose en cursos precedentes. Sin embargo, aparece al tratar distintos puntos:

- En la parte del campo eléctrico, puesto que es la ley en que se fundamenta éste.
- En la parte de analogía entre el campo gravitatorio y el eléctrico, puesto una de las principales analogías aparece al comparar la ley de Coulomb y la ley de Gravitación Universal de Newton.

FUNDAMENTO TEÓRICO

La Ley de Coulomb, que nos describe la fuerza existente entre dos cargas en reposo, es la siguiente:

$$\vec{F}_{12} = K \frac{q_1 q_2}{d^2} \hat{u}_{12}$$

Donde \vec{F}_{12} es la fuerza que produce la carga uno sobre la carga 2; K es la constante de Coulomb –que depende del medio–; q_i son las diversas cargas, positivas o negativas; d es la distancia entre las cargas; \hat{u}_{12} es el vector unitario que va de la carga 1 a la carga 2.

En caso de que el medio no fuese el aire, el valor de K variaría de la del vacío ($K_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 * 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$), siendo K en ese caso:

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

Siendo ϵ la permitividad eléctrica del medio.

MATERIAL

- Soporte
- Hilo
- Esferas conductoras
- Electrónimo

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Usando los soportes que tenemos, colgamos las dos bolas conductoras de ellos utilizando hilo. Las dos bolas deben quedar a una cierta distancia, no muy grande. Usando el electrónimo, cargamos las bolas, viendo cómo se atraen o se repelen dependiendo de cómo sean las cargas que hayamos dado a las bolas.



Figura 4-9. Realización práctica del experimento. Ley de Coulomb.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Campanas de Franklin. PIRA – 5A40.2X. UCB – No aparece. [Meiners] [Sutton]

RESUMEN

Vamos a hacer que una esfera conductora oscile entre dos cilindros de material también conductor debido a la repulsión electrostática.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

Bloque 3. Interacción electromagnética		
Campo eléctrico. Líneas de campo eléctrico. Intensidad del campo eléctrico.	1. Asociar el campo eléctrico a la existencia de carga y caracterizarlo por la intensidad de campo y el potencial. 2. Reconocer el carácter conservativo del campo eléctrico por su relación con una fuerza	1.1. Relaciona los conceptos de fuerza y campo, estableciendo la relación entre intensidad del campo eléctrico y carga eléctrica. 1.2. Utiliza el principio de superposición para el cálculo de campos y potenciales eléctricos
Flujo del campo eléctrico. Ley de Gauss. Aplicaciones: campo en el interior de un conductor en equilibrio y campo eléctrico creado por un elemento continuo de carga.		

Figura 4-10. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

El fundamento de las campanas de Franklin reside en la repulsión electrostática y, por lo tanto, en la Ley de Coulomb. Así, los contenidos que se ven en este experimento, aunque no estén explícitamente en el temario, son: carga por contacto y repulsión electrostática, es decir, Ley de Coulomb. Por su vistosidad y sencillez es muy interesante de cara a que los alumnos puedan replicarlo en su casa.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Partimos de dos recipientes metálicos, uno de los cuales cargaremos, distribuyéndose esta carga por su superficie (A). El otro recipiente estará conectado a Tierra (B). Entre ambos recipientes se suspende una esfera metálica. La esfera será atraída por (A), hasta el punto de que haya contacto entre ambos. En ese momento, la esfera adquirirá carga por contacto y la fuerza repulsiva entre la esfera y (A), hará que la esfera se dirija a (B). Al estar (B) conectado a tierra, al entrar en contacto, la esfera transferirá su carga a tierra, repitiéndose el proceso. Al repetirse una y otra vez el proceso, se producirá un campaneó al chocar sucesivamente la esfera con los recipientes metálicos –de ahí el nombre de experimento–.

MATERIAL

- Dos latas de refresco.
- Generador de estática.
- Bola de material conductor (pequeña).
- Barra de material aislante.
- Pegamento.

- Hilo.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Colocamos la barra aislante sobre las dos latas de refresco, estando estas a una distancia no muy grande. En el centro de la barra aislante pegamos el hilo al que sujetamos en su extremo la bolita de material conductor. Para optimizar el proceso, en la zona donde golpeará la bolita en las latas deberíamos quitar lo máximo que podamos la pintura, para que cuando choque la bola con la lata haya contacto entre metales.

Una de las latas la conectamos a tierra y la otra lata la conectamos a un generador de estática. En ese momento, empezarían a sonar las campanas de Franklin.



Figura 4-11. Montaje del experimento.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Mapeado de las líneas de campo eléctrico con sales Epsom. PIRA – 5B10.4X. UCB – D+10+2.
[Sutton]

RESUMEN

Obtención de una representación de las líneas de campo eléctrico rociando el área entre dos cargas eléctricas con sales Epsom.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

Bloque 3. Interacción electromagnética		
Campo eléctrico. Líneas de campo eléctrico. Intensidad del campo eléctrico. Flujo del campo eléctrico. Ley de Gauss. Aplicaciones: campo en el interior de un conductor en equilibrio y campo eléctrico creado por un elemento continuo de carga.	1. Asociar el campo eléctrico a la existencia de carga y caracterizarlo por la intensidad de campo y el potencial. 2. Reconocer el carácter conservativo del campo eléctrico por su relación con una fuerza	1.1. Relaciona los conceptos de fuerza y campo, estableciendo la relación entre intensidad del campo eléctrico y carga eléctrica. 1.2. Utiliza el principio de superposición para el cálculo de campos y potenciales eléctricos

Figura 4-12. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

En esta experiencia vemos la primera parte del bloque de interacción electromagnética, relacionada con el campo eléctrico y las líneas de campo.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Si situamos dos cargas cargadas situadas a una cierta distancia, éstas generaran un cierto campo eléctrico en el espacio alrededor. El campo que se genera sería similar a este, siendo ambas cargas de signo contrario:

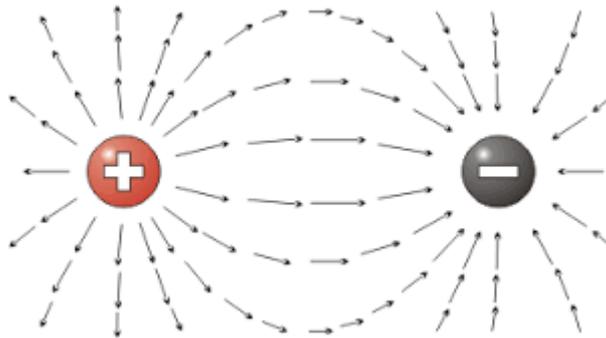


Figura 4-13. Esquema campo creado por un dipolo eléctrico. Recuperado de: <https://lamanobionica.wordpress.com/2012/12/24/la-importancia-de-ser-ferroelectrico/dipolo-electrico-lineas-campo/>

Para visualizar este campo, usamos cristales de sal de Epsom (Sulfato de Magnesio). ¿Por qué este material? Porque las sales de Epsom tienen una gran facilidad para polarizarse. Así, cuando entran dentro de un campo eléctrico, estas sales se polarizan y se orientan en el sentido del campo. El experimento se puede hacer de igual forma usando otro tipo de sustancias, como semillas, con propiedades similares.

MATERIAL

- Papel de aluminio.
- Generador de estática.
- Sal de Epsom (Sulfato de Magnesio, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Pegamos dos tiras circulares de aluminio de aproximadamente 1 cm de diámetro en una superficie plana de vidrio. Estas tiras de aluminio debemos conectarlas a un generador de estática, de modo que estén constantemente cargadas con una cierta carga. Si rociamos con pequeños cristales de epsom, golpeando ligeramente el vidrio para ayudar a la distribución de los cristales, estos harán el campo eléctrico «visible».

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Generador de Van der Graaff. PIRA – 5A50.30. UCB – D+10+20. [Avison] [Bilash] [Freier] [Sprott]

RESUMEN

Aparato electrostático que es capaz de acumular grandes cantidades de carga de una esfera metálica hueca.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

Bloque 3. Interacción electromagnética		
<p>Campo eléctrico. Líneas de campo eléctrico. Intensidad del campo eléctrico. Flujo del campo eléctrico. Ley de Gauss. Aplicaciones: campo en el interior de un conductor en equilibrio y campo eléctrico creado por un elemento continuo de carga. Potencial eléctrico. Energía potencial eléctrica de un sistema formado por varias cargas eléctricas. Superficies equipotenciales. Movimiento de una carga eléctrica en el seno de un campo eléctrico. Analogías y diferencias entre el campo gravitatorio y el campo eléctrico.</p>	<p>1. Asociar el campo eléctrico a la existencia de carga y caracterizarlo por la intensidad de campo y el potencial. 2. Reconocer el carácter conservativo del campo eléctrico por su relación con una fuerza 3. Caracterizar el potencial eléctrico en diferentes puntos de un campo generado por una distribución de cargas puntuales y describir el movimiento de una carga cuando se deja libre en el campo. 4. Interpretar las variaciones de energía potencial de una carga en movimiento en el seno de campos electrostáticos en función del origen</p>	<p>1.1. Relaciona los conceptos de fuerza y campo, estableciendo la relación entre intensidad del campo eléctrico y carga eléctrica. 1.2. Utiliza el principio de superposición para el cálculo de campos y potenciales eléctricos 2.1. Representa gráficamente el campo creado por una carga puntual, incluyendo las líneas de campo y las superficies de energía equipotencial. 2.2. Compara los campos eléctrico y gravitatorio estableciendo analogías y diferencias entre ellos. 3.1. Analiza cualitativamente la trayectoria de una carga situada en</p>

Figura 4-14. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

El funcionamiento de este aparato se puede encuadrar dentro de la parte del temario que habla de campo y potencial eléctricos. Los experimentos que se pueden hacer con el Van der Graaff son muy vistosos, por lo que son una buena forma de motivar a los alumnos.

FUNDAMENTO TEÓRICO

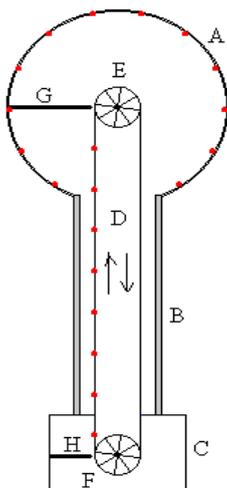


Figura 4-15. Esquema de un Van der Graaff. Recuperado de: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo_electrico/graaf/graaf.htm

En un generador simple, la simple fricción entre la polea y la correa genera una cierta carga en ambos materiales, carga de distinto signo. Suponiendo que la polea ha adquirido carga negativa, el peine metálico (H), conectado a tierra, se carga positivamente por inducción. Esto es porque la polea cargada negativamente repele electrones del peine a tierra, dejando el peine de cobre cargado positivamente. Esta carga positiva se deposita en la correa aislante, quedando la carga ahí debido a que el material no es conductor. Así es como subimos la carga hacia arriba a través de la correa. Una vez la carga positiva ha subido a la parte superior del Van der Graaff, el peine superior se carga positivamente

(G). Así, como el peinge superior se carga positivamente, la esfera del Van der Graaff queda cargada positivamente (estando la acumulación de carga positiva en la parte exterior de la esfera).

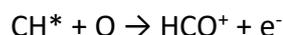
MATERIAL

- Motor.
- Dos poleas.
- Correa de material aislante
- Peines de hilos de cobre
- Esfera hueca de material conductor

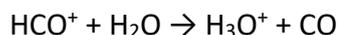
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Hay una serie de experiencias sencillas que se pueden realizar con el generador. Una de ellas (alumno eléctricamente cargado) está una ficha independiente. El resto se exponen brevemente a continuación:

- Arco disruptivo: utilizando el electrodo de descarga del Van der Graaff –esfera metálica con un mango aislante conectada a tierra, es decir, potencial cero–. Si acercamos este electrodo lo suficiente al generador existirá una diferencia de potencial superior a la que el aire es capaz de soportar, produciéndose la ruptura dieléctrica del aire y apareciendo una serie de pequeños rayos.
- Viento eléctrico: al acercar una vela al Van der Graaff, la llama de la vela se curva debido a la carga. ¿Por qué? Es debido a la interacción entre la carga del Van der Graaff y los iones en la llama. La principal reacción que se produce en una llama es



En esa reacción, el ion HCO^+ cede rápidamente un protón a una molécula de agua mediante la reacción



Generándose de esta manera el ion H_3O^+ , el más abundante en la llama, siendo este ion quien sufre la interacción electromagnética del Van der Graaff. [García Molina]

- Molinete eléctrico: colocamos el molinete eléctrico en el Van der Graaff mediante un soporte. Los brazos se cargarán y las puntas de los brazos ionizan el aire alrededor. Debido a que estas partículas son repelidas, se produce la fuerza que hace que gire el molinete.

Cazos voladores: colocamos una serie de cazos metálicos –los moldes utilizados en repostería servirían– apilados en la parte superior del generador. Al encenderlo y adquirir carga, estos se cargarán también y surgirá una fuerza de repulsión, que hará que los cacillos salgan volando uno a uno.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Alumno eléctricamente cargado. PIRA – No aparece. UCB – No aparece. [Sutton]

RESUMEN

Cargar a un estudiante electrostáticamente.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

Bloque 3. Interacción electromagnética	
<p>Campo eléctrico. Líneas de campo eléctrico. Intensidad del campo eléctrico. Flujo del campo eléctrico. Ley de Gauss. Aplicaciones: campo en el interior de un conductor en equilibrio y campo eléctrico creado por un elemento continuo de carga.</p> <p>Potencial eléctrico. Energía potencial eléctrica de un sistema formado por varias cargas eléctricas. Superficies equipotenciales. Movimiento de una carga eléctrica en el seno de un campo eléctrico. Analogías y diferencias entre el campo gravitatorio y el campo eléctrico.</p>	<p>1. Asociar el campo eléctrico a la existencia de carga y caracterizarlo por la intensidad de campo y el potencial. 2. Reconocer el carácter conservativo del campo eléctrico por su relación con una fuerza</p> <p>3. Caracterizar el potencial eléctrico en diferentes puntos de un campo generado por una distribución de cargas puntuales y describir el movimiento de una carga cuando se deja libre en el campo. 4. Interpretar las variaciones de energía potencial de una carga en movimiento en el seno de campos electrostáticos en función del origen</p> <p>1.1. Relaciona los conceptos de fuerza y campo, estableciendo la relación entre intensidad del campo eléctrico y carga eléctrica. 1.2. Utiliza el principio de superposición para el cálculo de campos y potenciales eléctricos</p> <p>2.1. Representa gráficamente el campo creado por una carga puntual, incluyendo las líneas de campo y las superficies de energía equipotencial. 2.2. Compara los campos eléctrico y gravitatorio estableciendo analogías y diferencias entre ellos. 3.1. Analiza cualitativamente la trayectoria de una carga situada en</p>

Figura 4-16. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

Este experimento se puede encuadrar dentro de la parte del temario que habla del campo y el potencial electrostáticos. Este experimento es muy visual y llama poderosamente la atención del alumno, con lo que se puede aumentar la motivación y el interés del alumno por la asignatura.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El fundamento donde se apoya este experimento es en la carga de los cuerpos por contacto. Cuando dos medios conductores están en contacto, la carga eléctrica se distribuye por la superficie de ambos. En este caso, como el generador de Van der Graaff estará cargado, el alumno en contacto con el generador adquirirá la carga del mismo, repartiéndose por la superficie de su cuerpo.

En la zona donde haya pelos, el efecto será mucho más visible. El cabello –sobre todo si es fino–, adquirirá carga. De hecho, se acumulará más carga que en otras zonas del cuerpo, debido al efecto punta. Así, todo el cabello del alumno estará cargado y, además, con carga del mismo signo. Por ello, el pelo se eriza y se pone de punta, debido al efecto de la interacción electrostática de los cabellos entre ellos.

MATERIAL

- Generador de Van der Graaff.

- Superficie aislante.
- Alumno

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Con el generador apagado y descargado, hacemos que el alumno se sitúe sobre una superficie aislante y entre en contacto con el Van der Graaff. Es importante que durante toda la experiencia el alumno no suelte el generador. Una vez están en contacto ambos, se enciende el generador. La carga se distribuirá por el generador y por el alumno, poniendo sus pelos de punta.

- Aguja de acero
- Imán de neodimio
- Raspaduras de hierro (Opcional)

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

La práctica consiste en poner en contacto la aguja de acero –material ferromagnético–, con el imán. Al contacto, la aguja quedará imantada. Se puede comprobar utilizando unas raspaduras de hierros, que se verán atraídas por la aguja cuando antes no lo hacían.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO		
Mostrar el campo magnético mediante pequeñas tiras de hierro. PIRA – 5H10.30. UCB – D+36+6. [Freier] [Sutton]		
RESUMEN		
Vamos a hacer el campo magnético visible mediante limaduras de hierro.		
PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)		
<p>El fenómeno del magnetismo y la experiencia de Oersted.</p> <p>Campo magnético. Líneas de campo magnético. El campo magnético terrestre.</p> <p>Efecto de los campos magnéticos sobre cargas en movimiento: Fuerza de Lorentz. Determinación de la relación entre carga y masa del electrón. El espectrómetro de masas y los aceleradores de partículas.</p> <p>El campo magnético como campo no conservativo.</p> <p>Campo creado por distintos elementos de corriente: acción de un campo magnético sobre un conductor de corriente rectilíneo y sobre un circuito.</p>	<p>de coordenadas energéticas elegido.</p> <p>5. Asociar las líneas de campo eléctrico con el flujo a través de una superficie cerrada y establecer el teorema de Gauss para determinar el campo eléctrico creado por una esfera cargada.</p> <p>6. Valorar el teorema de Gauss como método de cálculo de campos electrostáticos.</p> <p>7. Aplicar el principio de equilibrio electrostático para explicar la ausencia de campo eléctrico en el interior de los conductores y lo asocia a casos concretos de la vida cotidiana.</p> <p>8. Conocer el movimiento de una partícula cargada en el seno de un</p>	<p>el seno de un campo generado por una distribución de cargas, a partir de la fuerza neta que se ejerce sobre ella.</p> <p>4.1. Calcula el trabajo necesario para transportar una carga entre dos puntos de un campo eléctrico creado por una o más cargas puntuales a partir de la diferencia de potencial.</p> <p>4.2. Predice el trabajo que se realizará sobre una carga que se mueve en una superficie de energía equipotencial y lo discute en el contexto de campos conservativos.</p> <p>5.1. Calcula el flujo del campo eléctrico a partir de la carga que lo crea y la superficie que atraviesan las líneas del campo.</p>
<p><i>Figura 4-18. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015</i></p>		
Con esta experiencia vemos la parte del temario correspondiente al campo magnético y las líneas de campo, que es de hecho lo que se ve en el experimento.		
FUNDAMENTO TEÓRICO		
<p>Para ver el campo aprovechamos que las limaduras de hierro son pequeñas y se sienten atraídas por cualquier imán.</p> <p>Aprovechando una placa de material no magnético, debajo de la cual colocaremos nuestro imán, las limaduras de hierro al espolvorearlas encima irán depositándose según el campo magnético del imán.</p>		
MATERIAL		
<ul style="list-style-type: none"> • Placa. • Limaduras de hierro. • Imán. • Soportes. 		
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA		

Colocamos nuestra placa sobre un soporte para poder colocar el imán debajo. Tras esto, esparcimos las limaduras de hierro por toda la placa, de manera que se irán depositando según el campo magnético creado por el imán, como se ve en la figura. Usando más imanes su puede buscar obtener campos magnéticos más complejos.



*Figura 4-19. Realización del experimento.
Campo creado por un imán.*

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Experimento de Oersted. PIRA – 5H10.20. UCB – No aparece. [Freier] [Hilton] [Sutton]

RESUMEN

El experimento de Oersted es uno de los más famosos e importantes de la historia de la Física. En él se demuestra la relación entre una corriente eléctrica y un campo magnético.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

El fenómeno del magnetismo y la experiencia de Oersted.

Campo magnético. Líneas de campo magnético. El campo magnético terrestre.

Efecto de los campos magnéticos sobre cargas en movimiento: Fuerza de Lorentz. Determinación de la relación entre carga y masa del electrón. El espectrómetro de masas y los aceleradores de partículas.

El campo magnético como campo no conservativo.

Campo creado por distintos elementos de corriente: acción de un campo magnético sobre un conductor de corriente rectilíneo y sobre un circuito.

Ley de Ampère: Campo magnético creado por un conductor indefinido, por una espira circular y por un solenoide.

de coordenadas energéticas elegido.

5. Asociar las líneas de campo eléctrico con el flujo a través de una superficie cerrada y establecer el teorema de Gauss para determinar el campo eléctrico creado por una esfera cargada.

6. Valorar el teorema de Gauss como método de cálculo de campos electrostáticos.

7. Aplicar el principio de equilibrio electrostático para explicar la ausencia de campo eléctrico en el interior de los conductores y lo asocia a casos concretos de la vida cotidiana.

8. Conocer el movimiento de una partícula cargada en el seno de un

10. Reconocer la fuerza de Lorentz como la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en una región del espacio donde

el seno de un campo generado por una distribución de cargas, a partir de la fuerza neta que se ejerce sobre ella.

4.1. Calcula el trabajo necesario para transportar una carga entre dos puntos de un campo eléctrico creado por una o más cargas puntuales a partir de la diferencia de potencial.

4.2. Predice el trabajo que se realizará sobre una carga que se mueve en una superficie de energía equipotencial y lo discute en el contexto de campos conservativos.

5.1. Calcula el flujo del campo eléctrico a partir de la carga que lo crea y la superficie que atraviesan las líneas del campo.

7.1. Explica el efecto de la Jaula de Faraday utilizando el principio de equilibrio electrostático y lo reconoce en situaciones cotidianas

Figura 4-20. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

Este experimento es, por sí mismo, parte explícita del temario; por tanto, es imprescindible. Además de la relación entre el campo magnético y el eléctrico, se estudia el propio campo magnético como tal. También se ve, ya que usamos un conductor rectilíneo, la parte correspondiente al campo creado por elementos de corriente y la Ley de Ampère.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Este experimento demuestra la relación entre la corriente eléctrica y el magnetismo.

Según la Ley de Biot-Savart, el campo magnético que genera un hilo conductor en un cierto punto es el siguiente:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

Donde μ_0 es la permeabilidad magnética del medio, I la intensidad de corriente que atraviesa el conductor, $d\vec{l}$ el diferencial de longitud del conductor y \vec{r} el vector con origen en el elemento diferencial $I d\vec{l}$ y su extremo en el punto donde estamos calculando \vec{B} .

Si consideramos nuestro conductor infinito –lo cual, haciendo la parte del hilo donde vamos a observar el fenómeno, suficientemente larga, no es una mala aproximación–, el campo resultante es:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{\phi}$$

Siendo r , la distancia del hilo conductor al punto en cuestión.

Vemos que solo depende de la distancia. Es un campo en dirección azimutal, que tiene una forma como sigue:



Figura 4-21. Campo producido por un conductor rectilíneo a través de brújulas. Recuperado de: <https://www.shutterstock.com/es/video/search/experimento-de-oersted>

MATERIAL

- Fuente de alimentación.
- Cable conductor.
- Soportes.
- Brújula/s.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Utilizando el soporte, montamos el circuito de tal modo que quede una parte del mismo con el cable en dirección vertical. Alrededor del cable en posición vertical, colocamos una o varias brújulas.

Al conectar el generador y empezar a circular la corriente por el cable, esta corriente generará un campo magnético a su alrededor. Por lo tanto, las brújulas cambiarán su posición de la del campo magnético terrestre a la del campo magnético del cable rectilíneo –circular con respecto al cable–.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Fuerza entre láminas paralelas transportando corrientes. PIRA – 5H40.10. UCB – D+30+16.
[Avison] [Bilash] [Hilton]

RESUMEN

Dos láminas conductoras paralelas transportan sendas corrientes eléctricas, de igual intensidad. Si la corriente que circula por ambas tiene la misma dirección, la fuerza entre las corrientes será atractiva, mientras que en el caso en que las corrientes sean de sentidos opuestos, la fuerza entre ambas será repulsiva.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

Ley de Ampère: Campo magnético creado por un conductor indefinido, por una espira circular y por un solenoide.

Interacción entre corrientes rectilíneas paralelas. El amperio.

Diferencia entre los campos eléctrico y magnético.

Inducción electromagnética.

Flujo magnético.

Leyes de Faraday-Henry y Lenz.

Fuerza electromotriz.

Síntesis electromagnética de Maxwell.

Generación de corriente eléctrica: alternadores y dinamos.

10. Reconocer la fuerza de Lorentz como la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en una región del espacio donde actúan un campo eléctrico y un campo magnético.

11. Interpretar el campo magnético como campo no conservativo y la imposibilidad de asociar una energía potencial.

12. Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.

13. Identificar y justificar la fuerza de

7.1. Explica el efecto de la Jaula de Faraday utilizando el principio de equilibrio electrostático y lo reconoce en situaciones cotidianas como el mal funcionamiento de los móviles en ciertos edificios o el efecto de los rayos eléctricos en los aviones.

8.1. Describe el movimiento que realiza una carga cuando penetra en una región donde existe un campo magnético y analiza casos prácticos concretos como los espectrómetros de masas y los aceleradores de partículas.

9.1. Relaciona las cargas en

Figura 4-22. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

Esta experiencia estaría destinada a cubrir la parte del temario correspondiente a la Ley de Ampère y la interacción entre corrientes rectilíneas paralelas.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Por un lado, como vimos en el experimento de Oersted, el campo magnético que genera un conductor rectilíneo supuesto infinito (1) es:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} \vec{\phi}$$

Consideremos ahora otro conductor rectilíneo infinito (2) paralelo a (1). La fuerza que ejercerá el campo B sobre la corriente (2) será:

$$\vec{F} = I_2 \vec{l} \times \vec{B} (*)$$

Que, en nuestro caso, por la disposición geométrica de los conductores, la intensidad de corriente y el campo forman 90°, siendo entonces la fuerza:

$$F = I_2 l B$$

Con dirección perpendicular a ambos conductores. Si metemos el campo que produce el conductor 1 en el 2, la fuerza resultante, por unidad de longitud será:

$$\frac{F_{1 \rightarrow 2}}{l} = I_2 \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$$

Siendo idéntica la fuerza que hace 2 sobre 1.

La dirección de la fuerza es, tal y como hemos dicho antes, perpendicular a ambos conductores en la línea que une ambos, pero, ¿cuál es su sentido? Debemos fijarnos en (*), que es la expresión de un producto vectorial. La dirección de la fuerza se aprecia mejor con un esquema, donde se ve claramente como surge la fuerza a través de la regla de la mano derecha:

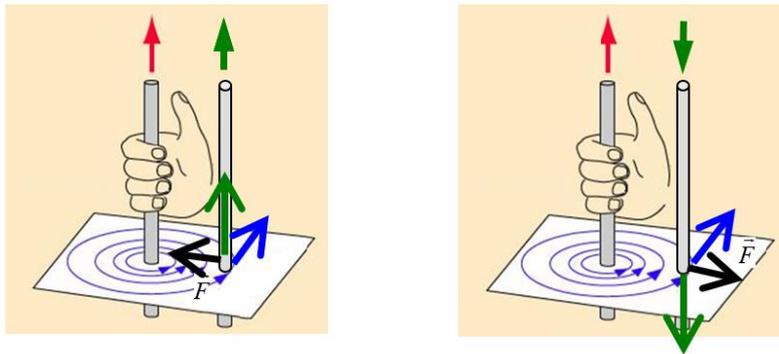


Figura 4-23. Las corrientes de igual sentido se atraen y las de sentidos contrarios se repelen.

Como vemos en la Figura 4-20, cuando la corriente es del mismo sentido en ambos conductores, la fuerza es atractiva y, cuando la corriente circula en sentidos opuestos, la fuerza es repulsiva.

MATERIAL

- Láminas de aluminio –u otro material conductor–.
- Soportes.
- Cable de cobre
- Generador de corriente
- Reóstato

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Construimos el circuito de tal modo que una parte del mismo tenga las dos láminas de aluminio paralelas entre sí. Dependiendo de si hacemos que las láminas se encuentren conectadas en paralelo o en serie en el circuito –siempre estando ambas paralelas entre sí–, la corriente circulará en el mismo sentido en ambas o en sentidos contrarios, pudiendo

apreciar las dos situaciones posibles, aquella en que las fuerzas son atractivas y aquella en que las fuerzas son repulsivas. Los circuitos se muestran en los siguientes esquemas:

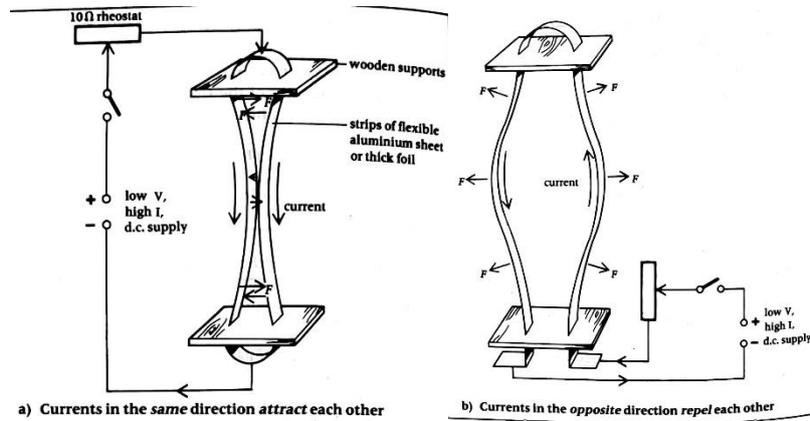


Figura 4-24. Esquema del montaje experiencia fuerza entre láminas. Recuperada de: [Avison], pág 288.

El motivo de introducir un reóstato no es otro que el de poder controlar la intensidad que tenemos circulando por las láminas.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Motor simple usando una pila y un imán de neodimio. PIRA – 5H40.70. UCB – D+45+8.
[Meiners] [Sutton]

RESUMEN

Acoplado un imán a una pila y con uno o varios conductores, vamos a hacer que esos conductores den vueltas alrededor de la pila y el imán, creando un motor simple.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

El fenómeno del magnetismo y la experiencia de Oersted

Campo magnético. Líneas de campo magnético. El campo magnético terrestre.

Efecto de los campos magnéticos sobre cargas en movimiento: Fuerza de Lorentz. Determinación de la relación entre carga y masa del electrón. El espectrómetro de masas y los aceleradores de partículas.

El campo magnético como campo no conservativo.

Campo creado por distintos elementos de corriente: acción de un campo magnético sobre un conductor de corriente rectilíneo y sobre un circuito.

de coordenadas energéticas elegido.

5. Asociar las líneas de campo eléctrico con el flujo a través de una superficie cerrada y establecer el teorema de Gauss para determinar el campo eléctrico creado por una esfera cargada.

6. Valorar el teorema de Gauss como método de cálculo de campos electrostáticos.

7. Aplicar el principio de equilibrio electrostático para explicar la ausencia de campo eléctrico en el interior de los conductores y lo asocia a casos concretos de la vida cotidiana.

8. Conocer el movimiento de una partícula cargada en el seno de un

el seno de un campo generado por una distribución de cargas, a partir de la fuerza neta que se ejerce sobre ella.

4.1. Calcula el trabajo necesario para transportar una carga entre dos puntos de un campo eléctrico creado por una o más cargas puntuales a partir de la diferencia de potencial.

4.2. Predice el trabajo que se realizará sobre una carga que se mueve en una superficie de energía equipotencial y lo discute en el contexto de campos conservativos.

5.1. Calcula el flujo del campo eléctrico a partir de la carga que lo crea y la superficie que atraviesan las líneas del campo.

Figura 4-25. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

Con esta experiencia vemos la parte del temario correspondiente al campo magnético y las líneas de campo, que es de hecho lo que se ve en el experimento.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El fundamento de este pequeño motor reside en la fuerza que experimenta una corriente eléctrica en el un seno de campo magnético. Esta fuerza es:

$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$$

El imán genera un campo magnético como se indica en la figura siguiente:

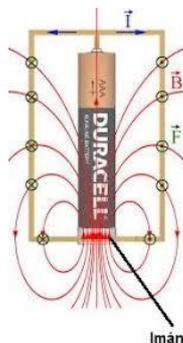


Figura 4-26. Esquema del motor homopolar. Recuperado de: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/motor-homopolar.html>

La corriente circula por el conductor, perpendicular al campo, por lo que surge una fuerza que es la que produce la rotación del sistema.

MATERIAL

- Pila.
- Imanes de neodimio.
- Hilo conductor.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

En la parte inferior de la pila, colocamos los imanes de neodimio. Después, colocamos los conductores de tal modo que el circuito se cierre por el polo positivo de la pila y por los imanes. En el momento en que cerremos el circuito, el sistema empezará a rotar.

4.4 Inducción Electromagnética

NOMBRE DEL EXPERIMENTO		
Corriente inducida por la variación del flujo magnético. PIRA – 5K10.20. UCB – D+15+X. [Sutton]		
RESUMEN		
Dos espiras de cobre, una conectada a un generador (primaria) y otra conectada a un galvanómetro (secundaria). Al variar el flujo que pasa por la espira primaria, generamos una fuerza electromotriz inducida en la secundaria. Comprobamos que, efectivamente, una corriente variable en la espira primaria genera un campo magnético variable, dando lugar a una variación del flujo magnético que atraviesa la espira secundaria. Así, según la Ley de Faraday, se induce una fuerza electromotriz inducida en la segunda espira.		
PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)		
<p>Ley de Ampère: Campo magnético creado por un conductor indefinido, por una espira circular y por un solenoide.</p> <p>Interacción entre corrientes rectilíneas paralelas. El amperio. Diferencia entre los campos eléctrico y magnético.</p> <p>Inducción electromagnética. Flujo magnético. Leyes de Faraday-Henry y Lenz. Fuerza electromotriz.</p> <p>Síntesis electromagnética de Maxwell.</p> <p>Generación de corriente eléctrica: alternadores y dinamos. La producción de energía eléctrica: el estudio de los transformadores.</p>	<p>10. Reconocer la fuerza de Lorentz como la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en una región del espacio donde actúan un campo eléctrico y un campo magnético.</p> <p>11. Interpretar el campo magnético como campo no conservativo y la imposibilidad de asociar una energía potencial.</p> <p>12. Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.</p> <p>13. Identificar y justificar la fuerza de interacción entre dos conductores rectilíneos y paralelos.</p> <p>14. Conocer que el amperio es una unidad fundamental del Sistema</p>	<p>7.1. Explica el efecto de la Jaula de Faraday utilizando el principio de equilibrio electrostático y lo reconoce en situaciones cotidianas como el mal funcionamiento de los móviles en ciertos edificios o el efecto de los rayos eléctricos en los aviones.</p> <p>8.1. Describe el movimiento que realiza una carga cuando penetra en una región donde existe un campo magnético y analiza casos prácticos concretos como los espectrómetros de masas y los aceleradores de partículas.</p> <p>9.1. Relaciona las cargas en movimiento con la creación de campos magnéticos y describe las líneas del campo magnético que crea una corriente eléctrica</p>
<p><i>Figura 4-27. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015</i></p>		
<p>En esta experiencia vamos a tratar la inducción electromagnética. Por lo tanto, también se estudian los conceptos de flujo magnético y la Ley de Faraday. Además, dada la geometría del sistema, vemos también el campo creado por una espira y un solenoide.</p>		
FUNDAMENTO TEÓRICO		
El campo creado por una espira es:		

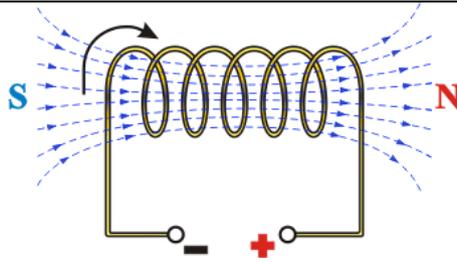


Figura 4-28. Esquema del campo producido por un solenoide. Recuperado de <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/39/html/principis.html>

El sistema que tenemos montado es tal y como se muestra en el siguiente esquema:

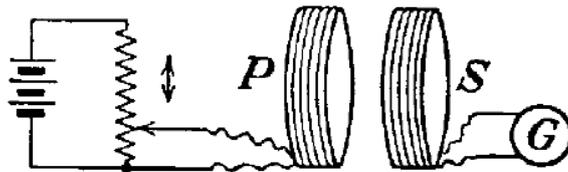


Figura 4-29. Esquema del experimento. [Sutton], Pág 341

La fuerza electromotriz inducida sigue la ley de Faraday-Lenz:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Siendo Φ el flujo total que atraviesa la segunda espira.

Es decir, la fuerza electromotriz surge cuando existe una variación del flujo magnético que pasa por la segunda espira. En el presente caso, esta variación se producirá cuando la intensidad del campo varíe, debido a que la intensidad de corriente que pasa por la espira primaria (P) varíe, subiendo o bajando.

Otra posible situación donde se produciría una variación del flujo sería dejando estable la intensidad que pasa por la espira primaria y producir un movimiento relativo entre las dos espiras.

MATERIAL

- Dos espiras/solenoides.
- Generador de corriente.
- Galvanómetro.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Una de las dos espiras la conectamos al generador de corriente y la otra la conectamos al galvanómetro. Las situamos ambas a una cierta distancia, no muy alejadas. Cuando encendemos el generador, vemos que en los momentos cuando la corriente está variando, el galvanómetro marca una cierta intensidad inducida. Eso es porque cuando está variando la intensidad de corriente, el campo magnético generado por la espira primaria es variable, por lo que varía el flujo que pasa por la segunda espira y, por lo tanto, se genera una fuerza electromotriz inducida.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Ley de Lenz. PIRA – 5K10.20. UCB – D+15+0. [Sutton]

RESUMEN

Acercaremos y alejaremos alternativamente un imán a dos espiras, una con un corte y otra cerrada. Al acercar o alejar el imán a la espira cerrada, esta se moverá también. Sin embargo, en el caso de la espira abierta, no sucederá nada.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

Ley de Ampère: Campo magnético creado por un conductor indefinido, por una espira circular y por un solenoide.

Interacción entre corrientes rectilíneas paralelas. El amperio.

Diferencia entre los campos eléctrico y magnético.

Inducción electromagnética.

Flujo magnético.

Leyes de Faraday-Henry y Lenz.

Fuerza electromotriz.

Síntesis electromagnética de Maxwell.

Generación de corriente eléctrica: alternadores y dinamos.

La producción de energía eléctrica: el estudio de los transformadores.

10. Reconocer la fuerza de Lorentz como la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en una región del espacio donde actúan un campo eléctrico y un campo magnético.

11. Interpretar el campo magnético como campo no conservativo y la imposibilidad de asociar una energía potencial.

12. Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.

13. Identificar y justificar la fuerza de interacción entre dos conductores rectilíneos y paralelos.

14. Conocer que el amperio es una unidad fundamental del Sistema

7.1. Explica el efecto de la Jaula de Faraday utilizando el principio de equilibrio electrostático y lo reconoce en situaciones cotidianas como el mal funcionamiento de los móviles en ciertos edificios o el efecto de los rayos eléctricos en los aviones.

8.1. Describe el movimiento que realiza una carga cuando penetra en una región donde existe un campo magnético y analiza casos prácticos concretos como los espectrómetros de masas y los aceleradores de partículas.

9.1. Relaciona las cargas en movimiento con la creación de campos magnéticos y describe las líneas del campo magnético que crea una corriente eléctrica

Figura 4-30. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

En esta experiencia vamos a tratar la inducción electromagnética, principalmente la Ley de Faraday-Lenz. Además, dada la geometría del sistema, vemos también el campo creado por una espira.

FUNDAMENTO TEÓRICO

La ley de Faraday-Lenz, se expresa mediante:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

En este experimento, vemos dos cosas:

Por un lado, que la fuerza electromotriz se produce por la variación de flujo magnético. El flujo se define como:

$$\Phi = \int \vec{B} d\vec{S}$$

De forma sencilla, el flujo magnético es la cantidad de líneas de campo magnético que atraviesan una superficie. La razón de que la espira abierta no interaccione con el imán es que

al no estar cerrada, estamos interrumpiendo el camino por donde debería circular la corriente inducida.

Por otro lado, en la Ley de Faraday-Lenz, hay un signo menos, que de hecho corresponde a la ley de Lenz, que viene a decir que la fuerza electromotriz inducida tiende a oponerse a la causa que la induce. Así, si nosotros acercamos un polo norte a la espira cerrada, el flujo magnético estará aumentando y, en la espira se inducirá una fuerza electromotriz tal que tenderá a reducir ese aumento del flujo. ¿Cómo? La corriente inducida en la espira creará un campo magnético; en un lado de la espira las líneas de campo saldrán –como en un polo norte de un imán– y en el otro lado, las líneas entrarán –como en un polo sur–. En la parte más cercana al imán se inducirá un «polo norte» y en la parte más alejada del imán se inducirá un «polo sur», de tal modo que entre el imán y la espira se producirá repulsión, produciéndose movimiento en la espira.

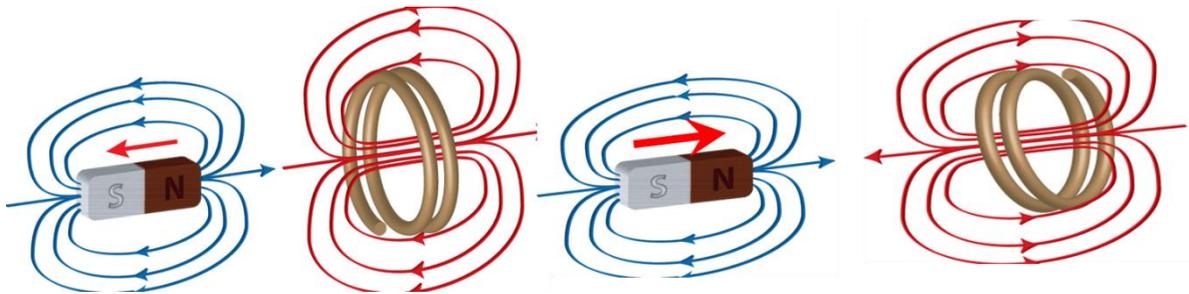


Figura 4-31. Esquema de la corriente inducida en una espira debido al movimiento de un imán. Recogida de: www.freepng.es/png-q7f6vfdownload.html

Si acercamos y alejamos el imán sucesivamente conseguiremos un balanceo en la espira.

MATERIAL

- Espira cerrada.
- Espira abierta.
- Soporte.
- Imanes de neodimio.
- Hilo.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El montaje de la práctica es como se indica en la siguiente figura:



Figura 4-32. Esquema del montaje del experimento. Recuperado de <http://web.physics.ucsb.edu/~lecturedemonstrations/Composer/Pages/72.09.html>

El sistema se construye con las espiras sujetas por dos hilos y no un solo hilo para que cuando haya movimiento, éste no sea de rotación.

En una de las dos espiras, debemos hacer un corte, de modo que la espira no esté completamente cerrada, es decir, que no sea completamente una circunferencia.

Con el sistema cerrado, acercamos y alejamos el imán. Si lo hacemos en la espira que está abierta, no sucederá nada. Sin embargo, si lo hacemos con la espira cerrada, ésta empezará a oscilar, por lo expuesto anteriormente.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Barras de metal bajando por un tubo de cobre. PIRA – 5K20.25. UCB – D+15+26. [Dick]

RESUMEN

Dejamos caer dos pequeñas barras metálicas, una imantada y la otra no, por un tubo de cobre en vertical. La barra no imantada bajará sin ningún tipo de impedimento. Sin embargo, debido a las corrientes inducidas (corrientes de Foucault) la barra imantada será ralentizada y tardará más tiempo en recorrer el tubo.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

Ley de Ampère: Campo magnético creado por un conductor indefinido, por una espira circular y por un solenoide.

Interacción entre corrientes rectilíneas paralelas. El amperio. Diferencia entre los campos eléctrico y magnético.

Inducción electromagnética. Flujo magnético. Leyes de Faraday-Henry y Lenz. Fuerza electromotriz.

Síntesis electromagnética de Maxwell.

Generación de corriente eléctrica: alternadores y dinamos.

La producción de energía eléctrica: el estudio de los transformadores.

10. Reconocer la fuerza de Lorentz como la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en una región del espacio donde actúan un campo eléctrico y un campo magnético.

11. Interpretar el campo magnético como campo no conservativo y la imposibilidad de asociar una energía potencial.

12. Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.

13. Identificar y justificar la fuerza de interacción entre dos conductores rectilíneos y paralelos.

14. Conocer que el amperio es una unidad fundamental del Sistema

7.1. Explica el efecto de la Jaula de Faraday utilizando el principio de equilibrio electrostático y lo reconoce en situaciones cotidianas como el mal funcionamiento de los móviles en ciertos edificios o el efecto de los rayos eléctricos en los aviones.

8.1. Describe el movimiento que realiza una carga cuando penetra en una región donde existe un campo magnético y analiza casos prácticos concretos como los espectrómetros de masas y los aceleradores de partículas.

9.1. Relaciona las cargas en movimiento con la creación de campos magnéticos y describe las líneas del campo magnético que crea una corriente eléctrica.

Figura 4-33. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

En esta experiencia vamos a tratar la inducción electromagnética, principalmente la Ley de Faraday-Lenz. De hecho, veremos especialmente la ley de Lenz, pues es quien explica por qué se frena la barra imantada y no se acelera.

FUNDAMENTO TEÓRICO

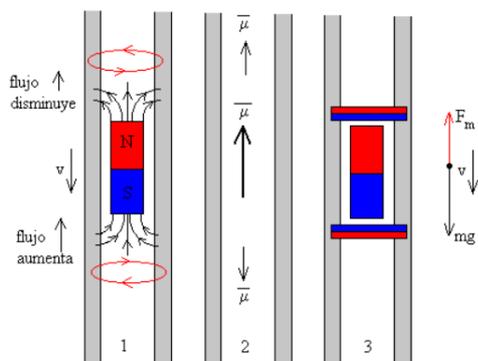


Figura 4-34. Esquema de las causas que frenan el imán por el tubo. Recogida de:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/elecmaq-net/inducion/foucault1/foucault1.htm>

La barra imantada, al recorrer el tubo de cobre, lo que está haciendo es variar el flujo magnético que atraviesa dicho tubo en cada momento. Así, se producen unas corrientes inducidas en el tubo (corrientes de Foucault), corrientes que, según la ley de Lenz se oponen a la causa que las provoca.

En este caso, la causa que las provoca es la bajada de la barra imantada por el tubo. Así, las corrientes

que se forman son de tal modo que tenderán a reducir esa bajada de la barra por el tubo, siendo el campo magnético inducido de tal modo que reduce la velocidad de bajada de la barra. Es por la ley de Lenz que la barra dentro del tubo reduce su velocidad en vez de aumentarla, porque las corrientes inducidas siempre se oponen a la causa que las produce. La barra no imantada no produce ningún tipo de interacción con el tubo.

MATERIAL

- Barra imantada.
- Barra no imantada.
- Tubo de cobre.
- Soportes (opcional).

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Colocamos el tubo de cobre en vertical, ya sea usando unos soportes o sujetándolo nosotros mismos.

Metemos por el extremo superior la barra no imantada. Veremos que, efectivamente, cae en caída libre, sin mayor impedimento.

Pero al introducir la barra imantada, se aprecia claramente que tarda mucho más tiempo en recorrer el tubo de cobre, debidos a las corrientes inducidas.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO

Transformador. PIRA – 5K30.XX. UCB – D+75. [Freier] [Sutton]

RESUMEN

Comprobación del funcionamiento de un transformador eléctrico simple, donde vamos a doblar la intensidad de corriente producida.

PARTE DEL TEMARIO TRATADO (CON RESPECTO AL BOCYL)

Ley de Ampère: Campo magnético creado por un conductor indefinido, por una espira circular y por un solenoide.

Interacción entre corrientes rectilíneas paralelas. El amperio.

Diferencia entre los campos eléctrico y magnético.

Inducción electromagnética.

Flujo magnético.

Leyes de Faraday-Henry y Lenz.

Fuerza electromotriz.

Síntesis electromagnética de Maxwell.

Generación de corriente eléctrica: **alternadores y dinamos.**

La producción de energía eléctrica: el estudio de los transformadores.

10. Reconocer la fuerza de Lorentz como la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en una región del espacio donde actúan un campo eléctrico y un campo magnético.

11. Interpretar el campo magnético como campo no conservativo y la imposibilidad de asociar una energía potencial.

12. Describir el campo magnético originado por una corriente rectilínea, por una espira de corriente o por un solenoide en un punto determinado.

13. Identificar y justificar la fuerza de interacción entre dos conductores rectilíneos y paralelos.

14. Conocer que el amperio es una unidad fundamental del Sistema

7.1. Explica el efecto de la Jaula de Faraday utilizando el principio de equilibrio electrostático y lo reconoce en situaciones cotidianas como el mal funcionamiento de los móviles en ciertos edificios o el efecto de los rayos eléctricos en los aviones.

8.1. Describe el movimiento que realiza una carga cuando penetra en una región donde existe un campo magnético y analiza casos prácticos concretos como los espectrómetros de masas y los aceleradores de partículas.

9.1. Relaciona las cargas en movimiento con la creación de campos magnéticos y describe las líneas del campo magnético que crea una corriente eléctrica

Figura 4-35. Contenidos del temario de 2º de Bachillerato. BOCYL-D-08052015-5. EDU/363/2015

Como su propio nombre indica, esta experiencia trata el contenido del temario referido a los transformadores.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El fundamento de un transformador es muy simple, una vez entendida la inducción electromagnética, siendo una de las aplicaciones más sencillas de ésta.

El esquema de un transformador es el siguiente:

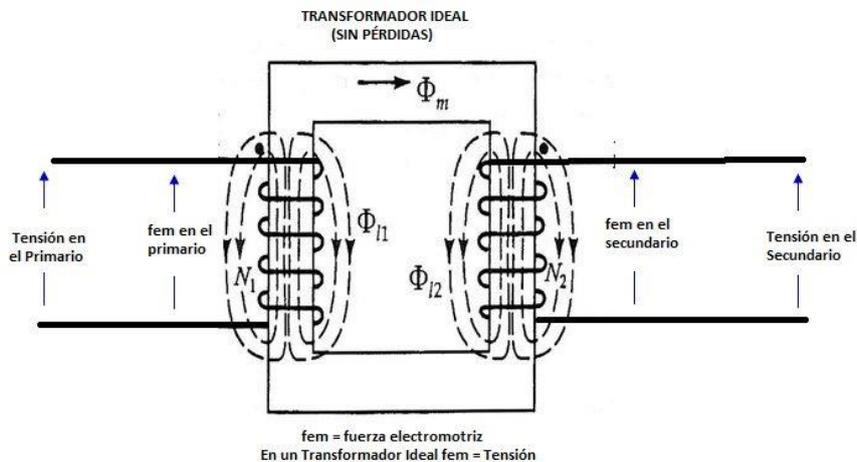


Figura 4-36. Esquema de un transformador. Recuperado de <http://www.tecnologia-industrial.es/Transformador.htm>

En el devanado primario introducimos la corriente alterna que queremos transformar. Esta corriente, producirá un campo magnético con un flujo asociado. Mediante el núcleo de hierro, transportamos este flujo del devanado primario al secundario. En el devanado secundario, este flujo inducirá una corriente por la ley de Faraday. Y el punto importante es que existe una relación entre la fuerza electromotriz del devanado primario y secundario y sus respectivos números de espiras, siendo esta relación:

$$\frac{\varepsilon_P}{\varepsilon_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

Así pues, vemos que un transformador es capaz de aumentar o reducir la fuerza electromotriz de un circuito mediante la inducción electromagnética.

MATERIAL

- Generador de corriente.
- Hilos conductores.
- Voltímetro.
- Núcleo magnético

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Construimos el circuito de tal modo que quede según la figura anterior, conectando el devanado primario al generador de corriente y el secundario al voltímetro.

Debemos hacer que el número de espiras de los devanados sea diferente, siendo conveniente un número «redondo», por ejemplo 200 y 400, para que todo sea más visual.

Así, cuando conectemos el generador, el voltaje que metamos nosotros en el generador debería verse duplicado en el voltímetro, comprobándose, efectivamente, el funcionamiento del transformador.

5 CONCLUSIÓN

En el presente trabajo hemos visto una serie de experimentos, orientados principalmente a la docencia de la física en Segundo de Bachillerato, aunque haya algunos experimentos que sí se pueden hacer en otros cursos, anteriores y posteriores a Segundo.

El objetivo ha sido en todo momento con el temario en la mano, tratar de llenar el contenido de la parte de electromagnetismo de experiencias de cátedra que apoyen las explicaciones teóricas en las clases. Estas experiencias sirven para lograr un mejor aprendizaje de los alumnos, puesto que en una asignatura como la Física –y con la Química pasa exactamente lo mismo–, la experiencia es fundamental. No solo eso, mediante la elaboración de experiencias en el aula, las clases toman una nueva dinámica y favorece la motivación de los alumnos de cara a la asignatura.

¿Se ha logrado el objetivo de completar el temario con experiencias de cátedra? Creo que sí. Podría haber añadido más experimentos, muchos más. Quien rebusque por las páginas web de los índices PIRA y UCB podrá comprobar que existen cientos y cientos de experimentos que se pueden hacer. Dentro de toda esa variedad, los escogidos tratan de ser los fundamentales; además de vistosos y con otro añadido: que sean en la medida de lo posible fáciles de reproducir por el alumno en su casa.

De hecho, elaborar un lista más amplia de experiencias puede tener la ventaja de tener muchos más experimentos y dar un mayor abanico de elección a los profesores de cara a elegir experiencia para realizar en el aula, pero la realidad dicta otra cosa: el tiempo es limitado, no se puede disponer de un tiempo infinito para realizar experiencias en el aula y, por lo tanto, al final, los experimentos llevados a cabo deben ser los que más se ajusten al temario y sean «principales». Eso he tratado de hacer en el trabajo y espero haberlo logrado, siendo este trabajo útil a cualquier profesor que en futuro pueda consultar aquí buscando una pequeña ayuda de cara a la su labor docente.

6 BIBLIOGRAFÍA

6.1 Física

[Avison] Avison, J., (1989). *The world of physics*. OUP Oxford.

[Bilash] Borislav Bilash II and David Maiullo (2009). *A Demo a Day: A Year of Physics Demonstrations*. Flinn Scientific, Inc., Batavia.

[Castillo] Castillo et al. (2013). *Electrización por frotamiento y fuerzas entre cuerpo cargados eléctricamente*.

[Dick] Rae, D., Jr. & Minnix, Carpenter, R. B., (1993). *Dick and Rae Physics Demo Notebook*. 2nd Edition

[Ehrlich] Ehrlich, R., (1997). *Why Toast Lands Jelly-Side Down: Zen and the Art of Physics Demonstrations*. Princeton U. P., Princeton

[Freier] Freier, J. D., Anderson F. J. (1981). *Demonstration Handbook for Physics Spiral-bound*. American Association of Physics Teachers (AAPT).

[García Molina] García Molina, R. (2012). *Llama en un campo eléctrico*. Universidad de Murcia.

[Hilton] Hilton, Wallace, A., (1971). *Physics Demonstration Experiments at William Jewell College*. Revised Edition. William Jewell College.

[Meiners] Meiners, Eppenstein y Moore, (1980). *Experimentos de física*. Ed: Limusa. México.

[Sprott] Sprott, J. C. (2015). *Physics demonstrations. A sourcebook for teachers of physics*. University of Wisconsin Press.

[Sutton] Sutton, R. M., (1938). *Demonstration experiments in physics*. Recuperado de: <https://archive.org/details/demonstrationexp031524mbp/page/n10>.

6.2 Didáctica

[Alcalde] Alcalde Adeva, M. I., de Lucas Alonso, N. (2012). Experimentos caseros y aplicaciones con nuevas tecnologías para alumnos de educación secundaria. En Pinto Cañón G. y Martín Sánchez, M. (Eds.). *Enseñanza y divulgación de la Física y la Química*. Madrid. Editorial IberGarceta.

[Andrea] De Andrea González, A., Gómez Gómez, A. El aprendizaje significativo y funcional: una herramienta metodológica en la física de segundo de bachillerato. Pinto Cañón G. y Martín Sánchez, M. (Eds.). *Enseñanza y divulgación de la Física y la Química*. Madrid. Editorial IberGarceta.

[Pozo] Pozo, J. I., Gómez, M. A., (1998). *Aprender y enseñar ciencias*. Ed. Morata S.L..

[Jiménez] Jiménez, M. P., Caamaño, A., Oñorbe, A., Pedrinaci, E., de Pro., A., (2003). *Enseñar ciencias*. Ed. Graó.

[Pro] de Pro Bueno, A., (2003). *Algunas reflexiones sobre la enseñanza y el aprendizaje de la Física y de la Química*. Dpto. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia

[Velasco] López Velasco, J., Lupión Cobos T., Mirabent Martínez, A. Situación actual de la enseñanza de la física y de la química en la educación secundaria: “estado crítico”. Pinto Cañón G. y Martín Sánchez, M. (Eds.). *Enseñanza y divulgación de la Física y la Química*. Madrid. Editorial IberGarceta.

6.3 Otros

ORDEN EDU/365/2015, de 4 de Mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de bachillerato en la Comunidad de Castilla y León.

BOCYL-D-08052015-5.

6.4 Páginas Web:

- <http://berkeleyphysicsdemos.net/>
- <http://www.pira-online.org>
- <https://sales.physicsdemos.com/>