

# EXPERIMENTOS SIMPLES PARA ENTENDER UNA TIERRA COMPLICADA



## 8. ¡A LA CARGA!

EXPERIMENTOS SOBRE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

Texto: Francisco Fernández Escobar y Susana A. Alaniz-Álvarez

Ilustración: Luis D. Morán Torres

# Universidad Nacional Autónoma de México

**Dr. José Narro Robles**

Rector

**Dr. Eduardo Bárvana García**

Secretario General

**Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez**

Secretario Administrativo

**Dra. María Teresa Uriarte Castañeda**

Coordinadora de Difusión Cultural

**Dr. Carlos Arámburo de la Hoz**

Coordinador de la Investigación Científica

**Dr. Gerardo Carrasco Núñez**

Director del Centro de Geociencias

**Lic. Javier Martínez Ramírez**

Director General de Publicaciones y Fomento Editorial

**Dra. Susana A. Alaniz Álvarez**

**Dr. Ángel F. Nieto Samaniego**

**Dr. Manuel Lozano Leyva**

Coordinadores de la Serie

**Psic. Aurora Marina Asprón Ramírez**

**Ing. J. Jesús Silva Corona**

Diseño y Formación

Primera edición, Noviembre 2015

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F.

Centro de Geociencias

Universidad Nacional Autónoma de México  
Boulevard Juriquilla núm. 3001, Juriquilla, Querétaro  
C.P. 76230, México

ISBN (Obra General) 978-970-32-4388-4

ISBN 978-607-02-7242-4

*Impreso y hecho en México*



Este libro no puede ser reproducido, total ni parcialmente, por ningún medio electrónico o de otro tipo, sin autorización escrita de los editores.

# ÍNDICE

Introducción .....	3
Robert Andrews Millikan.....	4
EXPERIMENTO 1. Cargas eléctricas.....	5
EXPERIMENTO 2. ¿Cómo se genera la electricidad? ....	9
EXPERIMENTO 3. Conductores y aislantes eléctricos .	14
EXPERIMENTO 4. Conexiones eléctricas básicas .....	19
EXPERIMENTO 5. Magnetismo natural .....	25
EXPERIMENTO 6. Descubrimiento de Oersted .....	31
EXPERIMENTO 7. El Electroimán .....	34
EXPERIMENTO 8. Desviación con cargas eléctricas ....	36
EXPERIMENTO DE MILLIKAN. La carga del electrón .	37
Agradecimientos .....	40
Acerca de los autores .....	40



## **8. ¡A la carga!**

**Experimentos sobre  
electricidad y magnetismo**

# Introducción

Imagina que estás haciendo tu tarea la noche de un domingo, estás solo con tu hermana mayor, tus papás se fueron a tomar un café al edificio de al lado, la televisión está prendida y utilizas la calculadora para hacer las divisiones. De repente se escuchan truenos y comentas: “se acerca una tormenta eléctrica”. A los diez minutos se va la luz en tu colonia y todo se queda a oscuras. Quieren llamar a tu mamá pero como el teléfono es inalámbrico no funciona sin electricidad; deciden llamarle por el celular pero se le acabó la pila; piensan ir a buscar a tu mamá pero temen que el timbre no suene. En la oscuridad deciden acostarse a dormir y tú te levantarás temprano para terminar la tarea. Despiertas a tu hermana porque no puedes dormir y ella te aconseja contar borregos; regresas con ella y te recomienda contar aparatos eléctricos. Empiezas: licuadora, aspiradora, computadora, radio, carro, lámpara, tostador, molino, ventilador, elevador, cafetera, horno de microondas, refrigerador, secadora de pelo, plancha de ropa, máquina de coser, calculadora, batería del carro, taladro, despertador, juguetes, calentador, estufa, reloj, plancha para tortas, batidora, cañón, sacapuntas eléctrico... el sueño te empieza a vencer hasta que te preguntas: “¿pero por qué todo funciona con electricidad?” Despiertas nuevamente a tu hermana, porque se te fue el sueño otra vez.

Esta octava contribución de la serie “Experimentos simples para entender una Tierra complicada” tiene como propósito explicarte a través de experimentos qué es y cómo funciona la electricidad, cómo está relacionada con el magnetismo y por qué se utiliza mucho para mover cosas, de alguna manera las cosas funcionan moviendo algo. Presentamos al final el experimento que demostró que las cargas de los electrones son todas iguales, y con el que se midió la carga de un solo electrón, una cifra tan pequeñisisisisisisísima que tiene 18 ceros a la derecha del punto decimal. Éste se conoce como “el experimento de las gotas de aceite de Millikan” en honor a su autor.



## **Robert Andrews Millikan**

Nació en 1868 en Illinois, Estados Unidos y murió en California en 1953. Siendo profesor en la Universidad de Chicago publicó varios libros de texto de física elemental que fueron bien aceptados. A principios del siglo XX había un avance impresionante en la física: ya se había empezado a hablar de la mecánica cuántica, se había descubierto el electrón en 1897, se había demostrado que la luz se comportaba como partícula (efecto fotoeléctrico) y como onda, y ya Einstein había publicado su teoría de la relatividad. Cuando Millikan cumplió 40 años de edad era solamente un profesor, pero era ambicioso y quiso hacer una contribución científica realmente muy importante, así que empezó a hacer experimentos para medir la carga del electrón. Posteriormente quiso demostrar experimentalmente que Einstein no tenía razón al proponer que la luz se comportaba como partícula (además de como onda). Después de diez años de intentos Millikan sólo pudo demostrar que Einstein tenía razón. Millikan recibió el Premio Nobel en 1923 por sus experimentos para medir la carga del electrón y sobre el efecto fotoeléctrico. Estos logros los obtuvo gracias a su habilidad para detectar aspectos importantes de la física, y porque sus experimentos tuvieron precisión impresionante.

# EXPERIMENTO 1.

## CON LA CARGA A CUESTAS

### Cargas eléctricas

#### ¿Puedo mover algo sin tocarlo?

Para mover o detener un cuerpo es necesario aplicar una fuerza, aquí te mostramos cómo mover un objeto sin tocarlo.

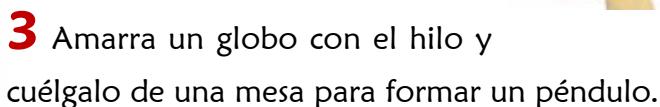
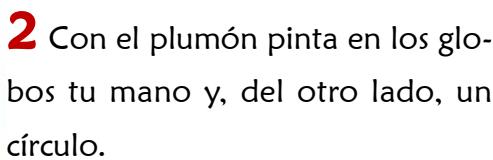
### MATERIALES

- Dos globos.
- Un plumón.
- Hilo delgado.
- Una camiseta de algodón.
- Una hoja de papel.



### PROCEDIMIENTO

- 1 Infla y anuda dos globos.
- 2 Con el plumón pinta en los globos tu mano y, del otro lado, un círculo.
- 3 Amarra un globo con el hilo y cuélgalo de una mesa para formar un péndulo.
- 4 Sujeta el globo por donde marcaste tu mano y frota la región del círculo con la camiseta por diez segundos. Con esta acción cargarás eléctricamente el globo únicamente en la zona del círculo.



**5** Deja nuevamente el globo colgado, en forma suave, tratando de que quede en su posición de equilibrio. Espera a que estabilice completamente.



**6** Muy despacio acerca al globo primero tu mano y después la hoja de papel.



**7** Acerca el segundo globo cargado eléctricamente.



## OBSERVA

Notarás que al colgar de un hilo el globo se mueve con facilidad. Puedes ver que el globo gira y se acerca a la mano y al papel, pero se aleja del segundo globo frotado.

Si el acercamiento entre los globos es rápido pero sin llegar al contacto, verás que el globo del péndulo es desplazado y gira hasta que su zona frotada queda lo más alejada del globo que tienes en la mano. También se puede observar que con el segundo globo los efectos de repulsión son relativamente más fuertes que los de atracción en el caso anterior.

## ¿QUÉ PUEDE FALLAR?

Si la zona del globo cargada eléctricamente estuvo en contacto con otro objeto (como tu mano o la hoja de papel) perderá la carga. Si el clima es muy húmedo es más difícil cargar eléctricamente el globo y otros objetos aislantes. Si hay corrientes de aire se puede mover el globo aunque no tenga carga eléctrica.

## EXPLÍCALO

Lo que observaste se debe a la fuerza que surge entre cargas eléctricas. Tal fuerza es de atracción si las cargas son de signos opuestos y es de repulsión si las cargas son del mismo signo.

En la naturaleza existen dos tipos de cargas eléctricas, llamadas positiva (+) y negativa (-). Generalmente se encuentran en equilibrio, sólo cuando se altera este equilibrio se pueden notar los efectos eléctricos.

Toda la materia está constituida por átomos y éstos a su vez están formados por partículas más diminutas llamadas electrones, protones y neutrones. Los electrones poseen la mínima cantidad de carga eléctrica negativa conocida ( $1.6 \times 10^{-19}$  coulombs) y giran alrededor de un núcleo en el que se encuentran los protones, que tienen la misma cantidad de carga que los electrones pero es positiva. Los neutrones también están en el núcleo y no tienen carga eléctrica.

Cuando se hace el frotamiento, la fricción desprende muchos electrones superficiales del algodón, que pasan a la superficie del globo y permanecen ahí porque el globo no permite que los electrones se muevan libremente en él; es decir, no es conductor de cargas eléctricas; también se dice que es un buen aislante eléctrico. Así, tanto el globo del péndulo como el otro, después de ser frotados contra la tela, quedaron con un exceso de electrones, es decir, cargados negativamente en sus zonas de frotamiento.

## APLÍCALO A TU VIDA

Ya podrás explicar por qué a veces sentimos toques cuando intentamos agarrar algún objeto metálico, como la perilla de una puerta. La ropa hecha con fibras sintéticas es buen aislante eléctrico, como el globo, por lo que al traerla puesta es muy probable que acumulemos cargas eléctricas por el roce con otras personas u objetos, e inclusive con el viento, ya que sus moléculas friccionan nuestra ropa provocando acumulación paulatina de carga aislada en la misma. Si usas ropa de poliéster o de nylon, trata de tocar frecuentemente objetos metálicos para que no acumules demasiada carga. Es mejor usar ropa de algodón ya que, aunque puede ceder fácilmente electrones por fricción, se neutraliza muy rápidamente por el simple contacto con otros objetos.



## ENCUÉNTRALO EN LA NATURALEZA

Los rayos se forman por la fricción que hay entre los cristales de hielo y el granizo que están en las nubes. Al estar en continuo choque, los electrones del hielo se desprenden y los captura el granizo, cargándose negativamente. Generalmente cuando hay mucha carga del mismo signo acumulada en la parte baja de la nube, la descarga eléctrica viaja hacia el suelo, aunque también hay rayos entre nubes y entre las partes alta y baja de la nube. Los rayos también se forman durante las erupciones volcánicas en las nubes de ceniza arrojadas por los volcanes.



## EXPERIMENTO 2.

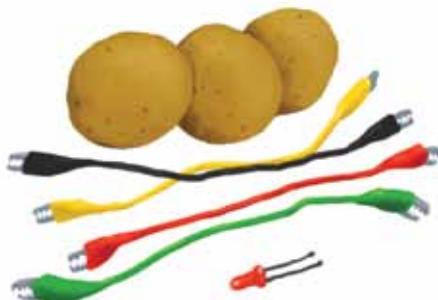
# HÁGASE LA LUZ

### ¿Cómo se genera la electricidad?

La pila es una fuente de energía eléctrica, en ella se transforman reacciones químicas en energía eléctrica. Funciona cuando ciertos metales distintos entran en contacto con una solución ácida o salina. Puedes construir una pila con papas y otros materiales que se pueden conseguir en la tlapalería.

### MATERIALES

Tres papas.

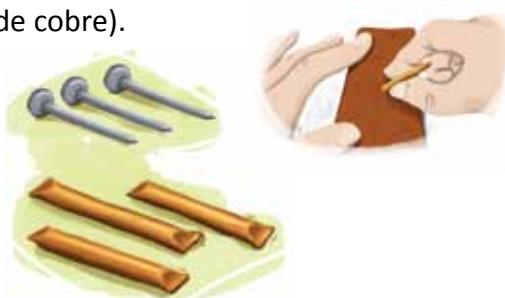


Un diodo emisor de luz (led).

Tres tubos delgados (o alambres gruesos) de cobre.

Un trozo de lija (para el tubo de cobre).

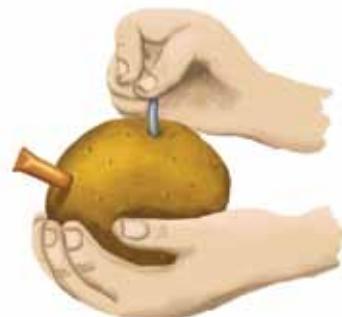
Tres clavos medianos  
(o clips grandes) de fierro galvanizado.



Cuatro cables con caimanes.

### PROCEDIMIENTO

- 1 Introduce un clavo y un tubito de cobre en una papa para formar una pila, las terminales eléctricas son el clavo galvanizado (-) y el tubito de cobre (+).



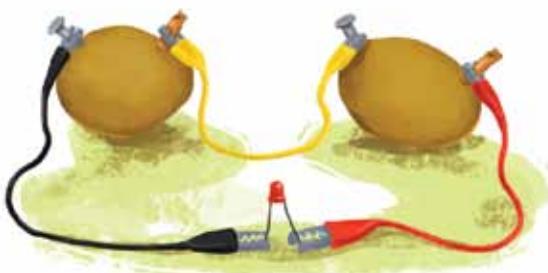
**2** Conecta el led a las terminales de tu papa usando los cables con caimanes, cuidando que la patita "+" del led vaya al tubito de cobre y la patita "-" al clavo. Nota que, aunque la conexión sea correcta, el led no encenderá porque se requieren al menos 1.5 volts y sólo obtienes aproximadamente 0.9 volts con una papa.

El led lo utilizarás como detector y medidor relativo del voltaje y de la potencia eléctrica de tu pila de papas, ya que es una especie de foquito que prende con muy poca energía eléctrica, pero sólo si se conecta adecuadamente.

Debes identificar sus patitas como positiva (+) y negativa (-), observando al led con sus patitas hacia ti. La negativa es la más cercana a un lado plano en la base del led, mientras la positiva queda más cerca de la parte circular de dicha base. También debes tener en cuenta que el led enciende normalmente con 2 volts y 0.015 amperes de corriente, aunque puede encender tenuemente con 1.5 volts y menor corriente.

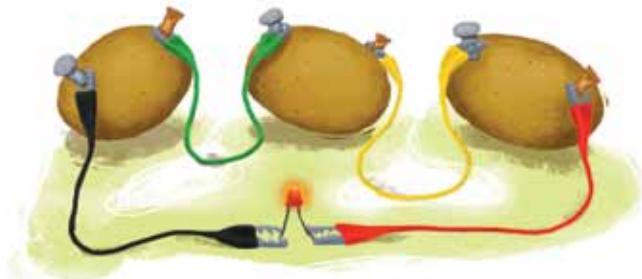


**3** Para lograr encender el led necesitas al menos dos papas conectadas en serie, para que se sumen sus voltajes y obtengas el equivalente a una pila de  $0.9 + 0.9 = 1.8$  volts. Para la conexión en serie utiliza un cable con caimanes y une un tubito de cobre con el



clavo de la otra papa (uniste “+” con “-“). Así, el clavo y tubito restantes en cada una de las papas corresponden a las terminales “-“ y “+“ de tu pila de 1.8 voltos. Si ahora vuelves a conectar adecuadamente el led a tu pila de dos papas, notarás que éste enciende débilmente porque apenas has alcanzado el voltaje requerido.

**4** Prueba encender el led conectándolo a tres papas en serie. Así tendrás una pila de 2.7 voltos. Notarás que ahora el led enciende con más intensidad, pero no es la máxima, por lo que es recomendable oscurecer su entorno con tu mano o con un poco de cinta de aislar.



## OBSERVA

La intensidad con que prende el led no sólo depende del voltaje aplicado (más papas en serie = más voltaje), sino que también depende de la corriente que hay en el circuito, la cual es suministrada por las papas según el área de contacto con los metales que introdujiste.

Con el led encendido por tu pila de tres papas, sumerge más los seis electrodos y después jala alguno(s) de ellos hasta que quede a punto de salir de la papa. Observa los cambios en la intensidad del led.

## **¿QUÉ PUEDE FALLAR?**

Los tubitos de cobre pueden traer impurezas que afecten el funcionamiento de tu pila. Lija los tubos de cobre pero NO lijes los clavos, pues les quitarías el galvanizado que está hecho a base de zinc, el cual es el otro metal necesario para tu pila. Otra cosa que puede fallar es que la conexión esté al revés, es decir, que el positivo del led no coincida con el positivo (tubo de cobre) de tu pila de papas.

## **EXPLÍCALO**

Cada papa es una pequeña pila eléctrica donde los metales son los electrodos y el ácido natural de su interior es el electrólito. El tubito de cobre desprende electrones, por lo que se le conoce como electrodo positivo, mientras que el clavo galvanizado atrapa electrones, por lo que se carga negativamente.

Para que prenda un led, un foco, o un aparato eléctrico, debe de haber un circuito cerrado de corriente eléctrica. El voltaje que se genera en la papa se debe a la reacción de los metales con el electrólito (ácido fosfórico); la disponibilidad de corriente depende tanto del área de las reacciones químicas (se nota al sumergir más los electrodos en las papas) como de qué tan fuertes sean dichas reacciones. En las pilas comerciales se usan ácidos agresivos que son peligrosos y contaminantes.

## APLÍCALO A TU VIDA

Hay pilas pequeñitas como las llamadas “de botón” que se usan en algunos relojes, calculadoras y linternas con leds. Otras son de tamaño AAA, AA, C, o D que se usan en linternas con focos incandescentes o en aparatos o juguetes que tienen motorcitos eléctricos. Todas estas pilas proporcionan 1.5 volts, pero su tamaño refleja la cantidad de corriente que pueden suministrar y el tiempo o duración que pueden mantener dicha corriente.

En toda fuente de energía eléctrica no sólo es importante el voltaje que proporciona sino también la potencia de la misma. La potencia eléctrica se calcula multiplicando el voltaje por la corriente.



# **EXPERIMENTO 3.**

## **¿TODOS LOS MATERIALES CONDUCEN LA ELECTRICIDAD?**

### **Conductores y aislantes eléctricos**

Con este experimento podrás distinguir los materiales que conducen electricidad de aquellos que no lo hacen porque son aislantes eléctricos. También podrás notar que hay materiales intermedios, es decir, que conducen la electricidad con cierto grado de dificultad, sin llegar a ser completamente aislantes.

### **MATERIALES**

Dos pilas de 1.5 volts, tamaño D.



Un seguro, tamaño mediano.

Un foquito para linterna de dos pilas AA. No debe ser un led sino un foquito de rosca, de tipo incandescente (2.2 volts, 0.25 amperes).

Tres cables con caimanes.

Dos lápices, del número 2 o dureza HB.

Una hoja de cartoncillo. Puede ser la mitad de un folder de papel manila.



Un trozo de papel aluminio, de aproximadamente 12 cm x 12 cm.

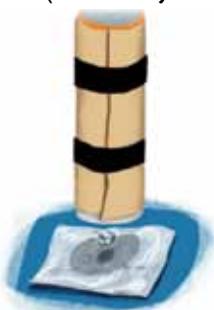
Tijeras y cinta de aislar.

## PROCEDIMIENTO



**1** Corta una tira del cartoncillo y haz un cilindro para que puedas mantener juntas las dos pilas, una atrás de la otra (en serie).

**2** Haz una bolita en el centro del papel aluminio y cubre con éste el extremo del cilindro de las pilas, de forma tal que la bolita haga buen contacto con el lado plano o polo negativo de una de ellas.

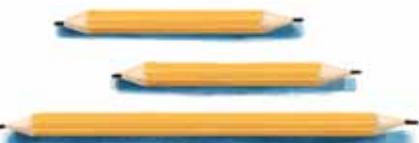


**3** Mete la rosca del foquito en el seguro cerrado, a fin de que se tenga buen contacto entre ellos; usa la cinta de aislar para asegurar tu soporte de pilas y su contacto con el papel aluminio, pero deja a la vista un poco de este último para que pueda conectarse el caimán de uno de los cables. Conecta el otro caimán del cable al seguro.

**4** Prácticamente construiste una linterna de dos pilas en serie, y para probarla sólo tienes que cerrar el circuito tocando la terminal positiva de tus pilas con el otro polo del foquito que está abajo de la rosca. Cuida que el contacto no sea con la rosca del foquito o con el seguro, pues harías un corto circuito. Puedes cubrir la mayor parte del seguro y la rosca



con la cinta de aislar, para asegurarte de no hacer un corto. Si no dejaste falsos contactos, notarás que el foquito prende a su máxima intensidad.



**5** Quita las gomas de borrar de tus lápices. Corta uno de los lápices por la mitad y saca punta en todos sus extremos, para que tengas un lápiz grande y dos pequeños, todos ellos con doble punta.



**6** Usa un cable con caimanes para intercalar uno de los lápices pequeños en el circuito de tu linterna, pero a propósito no dejes que los caimanes muerdan las puntas del lápiz sino sólo la madera. Cierra nuevamente el circuito tocando la terminal positiva de las pilas con el polo libre del foquito y notarás que éste no prende.



**7** Si pones los caimanes en las puntas del lápiz, el foco prenderá pero su intensidad será menor que cuando no estaba el lápiz intercalado. Trata de prender nuevamente el foquito, pero reemplazando el lápiz pequeño por el grande y asegúrate de que los caimanes muerdan bien las puntas. Verás que el foquito prende casi de manera imperceptible o no prende. Lo mismo ocurre si en lugar del lápiz grande colocas los dos pequeños, en serie (uno tras del otro), utilizando el tercer cable con caimanes.

**8** Junta los dos lápices pequeños uno al lado del otro y usa pedacitos de papel aluminio para que sus puntas cercanas tengan buen contacto. Usa la cinta de aislar para asegurar esto último, pero deja libre algo de aluminio en cada extremo para el contacto con los caimanes.

Este nuevo arreglo puede llamarse “lápices en paralelo” y si lo intercalas en tu circuito como si fuera un solo lápiz pequeño, pero más grueso, notarás que al cerrar el circuito el foquito prende con más intensidad que con un solo lápiz pequeño.



## EXPLÍCALO

Cuando sólo hay cables en tu circuito cerrado, prácticamente no hay impedimento para que fluya toda la corriente que el foquito requiere (0.25 amperes), ya que los cables y caimanes metálicos son buenos conductores de la electricidad. Por ello el foquito prende a su máxima intensidad.

La madera del lápiz impide o se resiste al paso de corriente por ser un buen aislante eléctrico, aun cuando sea un pedazo pequeño. Cuando intercalaste la madera del lápiz, es como si el circuito siempre estuviera abierto en esa parte, por eso el foquito no prende. La madera del lápiz sólo es un soporte o contenedor de una barra de grafito, que es lo que queda en el papel cuando escribes. El grafito es un material no completamente aislante de

la electricidad y tampoco buen conductor de la misma. Presenta una oposición al paso de la corriente, llamada “resistividad eléctrica”, la cual es una propiedad de todos los materiales. Así, se puede decir que los materiales aislantes tienen una resistividad muy grande (prácticamente infinita), mientras que en los conductores la resistividad es muy pequeña (casi nula).

Al usar algún trozo de material (como el grafito del lápiz), además de su resistividad se involucra su largo y su espesor, formándose una “resistencia eléctrica” que aumenta con la longitud y disminuye con el espesor. Por ello el lápiz pequeño presentó menor resistencia que el lápiz grande, lo cual permitió más corriente a través del lápiz pequeño. Al comparar los efectos de sólo un lápiz pequeño con dos de la misma longitud pero conectados en paralelo, se aumenta el espesor (disminuye la resistencia) y pasa más corriente.



# **EXPERIMENTO 4.**

## **CONÉCTATE**

### **Conexiones eléctricas básicas**

Hay dos formas básicas de conectar aparatos a una misma fuente de energía eléctrica: en serie y en paralelo.

#### **MATERIALES**

Una pila de 9 volts.

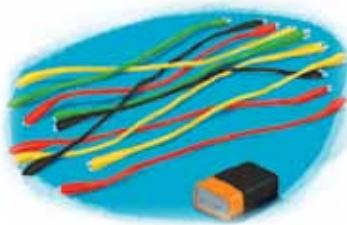
Diez cables con caimanes.

Cuatro leds de 5 mm de diámetro,  
de color rojo.

Una resistencia de 470 ohms (a 1 watt y 5  
% de tolerancia).

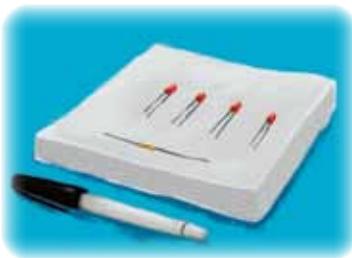
Un trozo de unicel.

Un plumón.



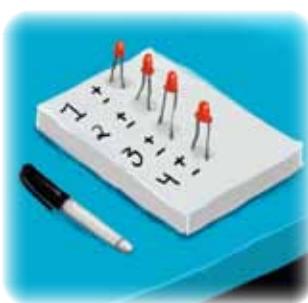
#### **PROCEDIMIENTO**

##### **Conexión de leds en serie**



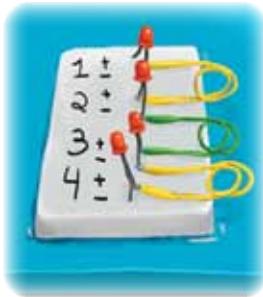
**1** Marca con el plumón en el

unicel cuatro posiciones para los leds, numeradas del 1 al 4 y distribuidas a lo largo, con los símbolos “+” y “-“ que deberán ir alternándose al pasar de una posición a otra.

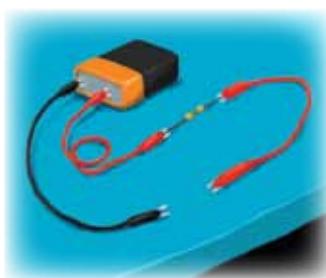


**2** Inserta en el uni-

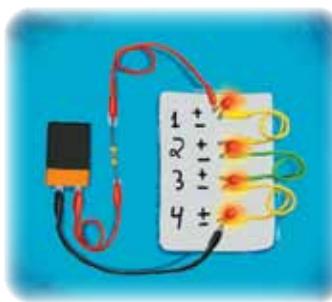
cel cada uno de los leds  
en cada una de las posiciones marcadas y  
con la polaridad especificada (identifica en  
el led el “+” y el “-“ como en el experi-  
mento 2). Toma tres cables con caimanes



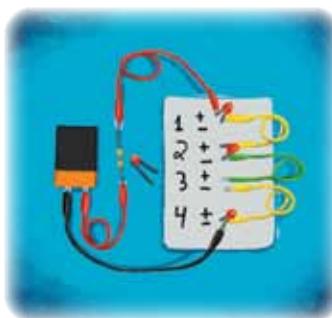
para conectar el “-“ del led 1 con el “+” del led 2, luego el “-“ del led 2 con el “+” del led 3 y finalmente el “-“ del led 3 con el “+” del led 4.



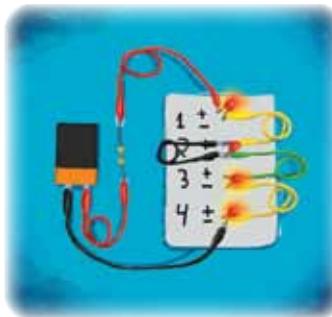
**3** Conecta la resistencia de 470 ohms a la pila. Usa cables rojos para la conexión al “+” de la pila y negro para identificar el “-“ de la misma. No conectes la pila directamente a los leds sin usar la resistencia de por medio, pues los dañarías a todos al instante.



**4** Conecta la pila y resistencia a los extremos que quedaron libres en el unicel: “+” de la pila al “+” del led 1 y el “-“ de la pila al “-“ del led 4. Nota que todos los leds prenden.

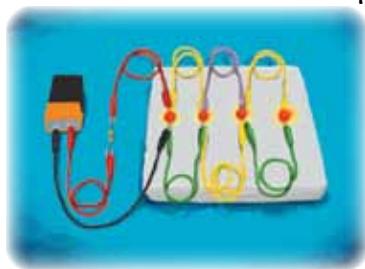


**5** Si retiras uno de los leds, simulando que se rompieran una o dos de sus patitas, verás que todos los leds se apagan.



**6** Vuelve a conectarlo y ahora simula que uno de los leds quedó en cortocircuito, uniendo sus patitas con un cable con caimanes. Notarás que este led se apaga, pero los demás quedan encendidos.

El cortocircuito lo puedes extender a dos y tres leds para ver que los que no están en corto se mantienen encendidos pero con mayor intensidad.



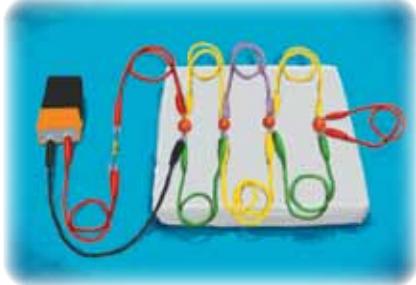
## Conexión de leds en paralelo

**7** Usa el otro lado del unicel para marcar posiciones, números y polaridades de los leds, que ahora deberás distribuir uno al lado del otro, a lo ancho del unicel.

**8** Con tres cables con caimanes conecta sus terminales negativas entre sí y haz lo mismo con las positivas para tener finalmente los cuatro leds conectados en paralelo.

**9** Conecta la pila con todo y resistencia a las respectivas terminales “+” y “-“ de los leds como se muestra en la imagen, verás que los cuatro encienden.

**10** Si retiras uno de los leds (pero manteniendo las conexiones entre caimanes), notarás que se apaga éste pero los demás permanecen encendidos. Puedes retirar un led más y hasta un tercero, para ver que los restantes siguen encendidos y también con mayor intensidad que cuando prenden normalmente los cuatro leds en paralelo.



**11** Finalmente, vuelve a conectar tus leds en paralelo y observa que encienden los cuatro. Prueba qué pasa al hacer un cortocircuito en cualquiera de ellos. Escoge el que gustes y une sus patitas con un cable con caimanes. Notarás que se apagan todos (independientemente del que escogiste para el cortocircuito) y cuando retiras dicho cable, todos los leds vuelven a encender normalmente.

## OBSERVA

Al retirar un led del circuito en serie, todos se apagan; al retirarlo del circuito en paralelo, los leds restantes quedan prendidos. Un cortocircuito en la serie de leds permite que los demás sigan encendidos, pero si el corto ocurre en cualquiera de los leds en paralelo, todos se apagan.

## EXPLÍCALO

En el circuito en serie sólo hay un camino para la corriente a través de la resistencia y por cada uno de los leds, ya que todos ellos están conectados uno en seguida del otro. Así, al retirar cualquier led la corriente se interrumpe y todos se apagan.

Mientras se mantiene cerrado el circuito, el voltaje de la pila (9 volts) se reparte tanto en los leds encendidos como en la resistencia. Cada led consume 2 volts, por lo que si los cuatro están encendidos entonces consumen un total de 8 volts, dejando 1 volt para la resistencia. Al poner en cortocircuito uno de los leds, no se interrumpe la corriente pero sólo quedan tres

leds prendidos que consumen 6 volts y quedan 3 volts en la resistencia. Si el corto está en dos leds, quedan dos encendidos que consumen 4 volts y hay 5 volts en la resistencia. El caso extremo es para el corto en tres leds, dejando sólo uno encendido con 2 volts, y los 7 volts restantes quedan en la resistencia.

La resistencia se recomendó con un valor de 470 ohms ya que en el caso extremo (sólo un led encendido) la corriente ( $I$ ) en la resistencia es, por la ley de Ohm:  $I = \text{Voltaje (V)}/\text{Resistencia (R)}$  = 7 volts/470 ohms = 0.0149 amperes, la cual es la estipulada para el encendido normal del led (0.0150 A). A mayor cantidad de leds encendidos, queda menor voltaje a través de la resistencia y consecuentemente menor corriente en el circuito, haciendo que los leds brillen menos, pero no los daña. Un ejercicio más: con los cuatro leds encendidos la corriente en la resistencia y en el circuito resulta ser:  $I = 1 \text{ volt}/470 \text{ ohms} = 0.0021 \text{ amperes}$ . Recuerda que cada led consume 2 volts, por cuatro leds son 8 volts y por eso sólo queda 1 volt en la resistencia.

En el circuito en paralelo, el voltaje es el mismo en todos y cada uno de los leds (2 volts) ya que se encuentran conectados uno al lado del otro. Así, la corriente a través de la resistencia es de 0.0150 amperes, pero ahora ésta se reparte entre los leds encendidos en forma similar a la corriente de un río que divide su agua en los cauces que encuentra. Con cuatro leds encendidos, la corriente en cada uno es de 0.0037 amperes, con tres es de 0.0050 A, con dos es de 0.0075 A y con sólo uno es de 0.0150 A.

Al poner un cable de cortocircuito en cualquier led, todos los restantes también sufren el corto, pues la corriente prefiere ir por el conductor de resistencia casi cero, como si no estuvieran los leds restantes, por eso en la resistencia aparece todo el voltaje de la pila. Con el corto tenemos de nuevo una corriente de 9 volts / 470 ohms = 0.019 amperes, que se gasta en calentar un poco a la resistencia.

## APLÍCALO A TU VIDA

Uno de los ejemplos más comunes de conexión en serie son las antiguas series navideñas. Cuando se fundía uno de los foquitos se abría el circuito y se apagaba toda una sección, hasta que se probaran todos y se reemplazara el dañado.

La conexión en paralelo es la más utilizada. La energía eléctrica que tenemos en casa se distribuye en sockets (para conectar focos) y contactos (para conectar aparatos), todos ellos en paralelo. Se pueden tener todos, algunos, o ningún foco o aparato conectado, sin que ello afecte el funcionamiento de los demás; excepto cuando se excede el consumo de corriente, ya sea por demasiados focos encendidos o aparatos en funcionamiento, o peor aun por occasionar un cortocircuito. Por eso las instalaciones

eléctricas tienen fusibles que abren el circuito eléctrico cuando hay demasiada carga.



No intentes hacer experimentos con la energía eléctrica de casa, pues el voltaje es muy alto (127 volts) y puedes poner en peligro tu vida.

# **EXPERIMENTO 5.**

## **¿CUÁL ES EL NORTE DE UN IMÁN?**

### **MAGNETISMO NATURAL**

Los primeros conocimientos del magnetismo se atribuyen a los griegos antiguos, ya que por el año 600 a. C. se encontraron por primera vez, en la región de Magnesia, ciertas piedras que tenían la propiedad de atraer pequeños pedazos de hierro. Tales piedras contenían un mineral que se llamó magnetita, que en lenguaje común es la piedra imán, o imán natural.

Entre las primeras aplicaciones del magnetismo, aparte de rituales mágicos, está la invención de la brújula alrededor del siglo IX de nuestra era. En las brújulas recientes se usa una flechita o disco imantado que gira. También se incluye la rosa de los vientos, que sirve de guía para identificar direcciones. Puedes construir una brújula utilizando materiales simples, con la cual podrás orientarte y experimentar con otros imanes.

### **MATERIALES**

Un imán.

Una pelotita de unicel (3 a 5 cm de diámetro).

Una aguja delgada para coser.

Un palillo redondeado y con puntas.

Dos clavos para madera, de 1 y 2 pulgadas de largo respectivamente. Cuida que el grosor del clavo pequeño sea ligeramente menor que el del palillo y el grosor del clavo grande un poco mayor al del palillo.



Una tapa de plástico de garrafón (de 20 litros) o equivalente.

Un vaso con agua.

Cinta de tela adhesiva, pluma y tijeras.



## CONSTRUCCIÓN DE LA BRÚJULA

**1** Pide a un adulto que corte poco menos de la mitad de la pelotita de unicel, a fin de tener un casquete de 8 a 10 mm de espesor. Con el clavo grande haz un agujero en el casquete por el centro, hasta atravesarlo.



**2** Toma la tapa de plástico y utiliza el clavo pequeño para perforar el fondo de la misma, en el centro, hasta atravesarlo. Retira el clavo y deja a un lado la tapa.



**3** Corta un trozo del palillo, entre 1.2 y 1.4 cm, que incluya una de sus puntas. Introduce el trozo del palillo en el agujero de la tapa, hasta el ras de la cara exterior de la misma, cuidando que el palillo quede vertical. Cubre la cara exterior de la tapa con un trozo de tela adhesiva, para evitar fugas de agua. Con esto habrás terminado el contenedor de agua de tu brújula, incluyendo su pivote de rotación.



**4** Magnetiza la aguja pegándole el imán durante unos segundos. Coloca la aguja sobre la cara plana del casquete, cuidando que la parte media de la aguja coincida con el agujero. Usa pedacitos de tela adhesiva para fijar la aguja al casquete de unicel. Inserta el casquete que contiene la aguja magnética en el palillo de la tapa de plástico.



**5** Añade agua a la tapa hasta que veas que el casquete flota y gira fácilmente. Con esto habrás completado el montaje de tu brújula. Notarás que la aguja magnética se alinea en la dirección geográfica norte-sur.



**6** Coloca una brújula comercial cerca de tu brújula -sin que estén pegadas una a la otra- para probar su funcionamiento. Aquí te darás cuenta hacia dónde, norte o sur, indica el ojo de la aguja. Gira manualmente ambas brújulas o cámbialas de lugar



y observarás que la aguja magnética mantiene su orientación, siempre y cuando no haya otros imanes cercanos u otras fuentes de campo magnético. Prueba juntar ambas brújulas y verás que dos brújulas no son mejores que una, ya que interfieren entre sí.

## IDENTIFICA EL NORTE DE UN IMÁN

**1** Identifica todas las caras del imán usando tela adhesiva y una pluma. Por ejemplo, a las caras de mayor área puedes llamarles lados A y B.



**2** Acerca el imán acostado a tu brújula, poco a poco y a la misma altura del plano de giro de la aguja (utiliza algún soporte improvisado de ser necesario). Arrímallo hasta que notes una desviación de la aguja de tu brújula. Prueba acercar el imán con los lados restantes. Podrás observar que hay diferencias significativas en la forma en que gira la aguja, dependiendo de qué lado del imán (A o B) está hacia arriba.



**3** Ahora acerca el imán ya no acostado sino de lado, notarás que hay giros más fuertes y el sentido de los mismos depende mucho del lado acercado.



## EXPLÍCALO

Los imanes siempre presentan dos polos magnéticos llamados actualmente norte y sur, porque con el paso del tiempo (en el siglo XIX de nuestra era) se descubrió que la Tierra es un gigantesco imán natural, cuyos polos magnéticos son muy cercanos a los polos geográficos norte y sur. Similarmente a las cargas eléctricas aisladas, entre dos imanes también hay fuerzas de atracción o de repulsión, dependiendo de la cercanía de polos opuestos o polos iguales de ambos imanes. Es decir, el polo norte de un imán atrae al polo sur de otro imán y repele al polo norte. De igual forma, el polo sur del primer imán atrae al polo norte del segundo imán y repele al polo sur de este último.

La aguja magnetizada de tu brújula es un imán pequeño, con un polo norte y un polo sur, que está inmerso en el campo magnético de nuestro planeta. En el experimento, el ojo de la aguja señala hacia el norte de la Tierra, eso quiere decir que el ojo es el polo magnético sur de la aguja.

Nuestro planeta, como gran imán natural, también presenta una enorme distancia entre sus polos, por lo que la intensidad de su magnetismo es muy débil. Sólo los objetos magnetizados, livianos y suspendidos de forma que puedan girar libremente (como la aguja de tu brújula), son los que pueden detectar el campo magnético terrestre. Cuando acercas otro imán a tu brújula, ésta pierde su orientación con el magnetismo terrestre, ya que predomina el campo magnético del otro imán, aun cuando éste sea pequeño.

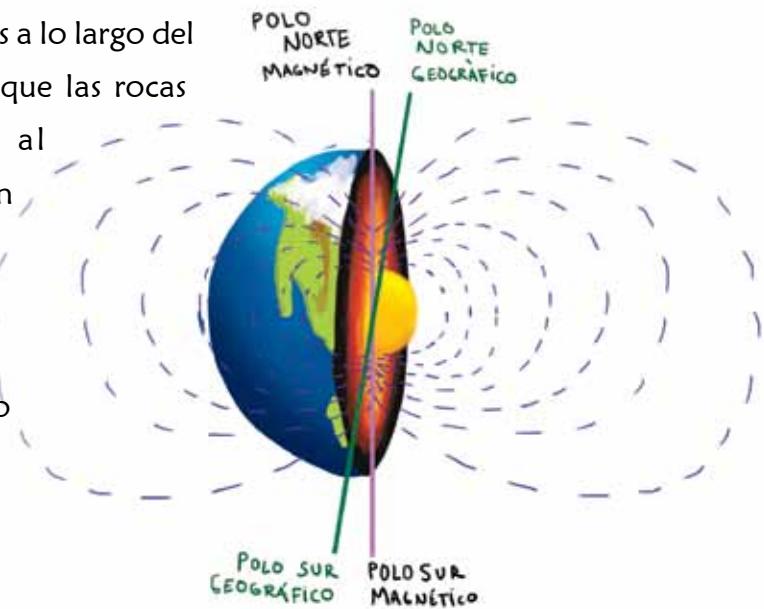
Podrás identificar los polos magnéticos de cualquier imán con sólo acercarlo a la brújula y notar qué lado del imán produce la mayor desviación de la aguja y su orientación. En el caso presentado, los polos del imán son los lados A y B, siendo A el polo norte (atrajo fuertemente al ojo de la aguja) y B el polo sur (fue señalado por la punta de la aguja).

## ¿QUÉ PUEDE FALLAR?

Si alguna vez usas una brújula con el fin de orientarte, evita la cercanía de imanes y de objetos magnetizables (como algunos metales), para evitar lecturas erróneas o tomar un rumbo equivocado.

## EN LA NATURALEZA

La Tierra tiene un campo magnético natural porque su núcleo externo está formado en gran parte por hierro fundido en continuo movimiento. Se sabe que los polos del campo magnético de la Tierra han cambiado muchas veces a lo largo del tiempo, porque las rocas volcánicas al enfriarse han dejado registrada la orientación del campo magnético.



# **EXPERIMENTO 6.**

## **DESCUBRIMIENTO DE OERSTED**



Hasta hace poco menos de 200 años se supo que el magnetismo también se produce por flujo de electrones, es decir, por una corriente eléctrica. En 1820, el físico danés Hans Christian Oersted descubrió que la aguja imantada de una brújula se desviaba cuando se le acercaba un cable o alambre conduciendo corriente eléctrica.

### **MATERIALES**

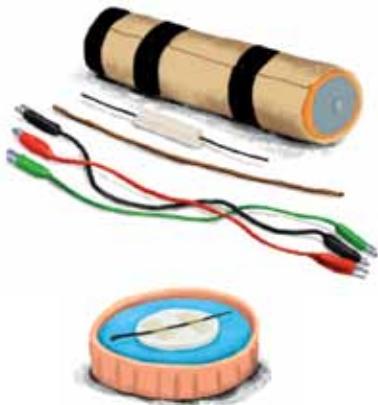
Una brújula.

Un tubo delgado (o alambre grueso) de cobre, con un largo mayor o igual a 6 cm.

El arreglo de 2 pilas tamaño D que usaste en el experimento 3.

Una resistencia de 1.5 ohms a 10 watts de potencia.

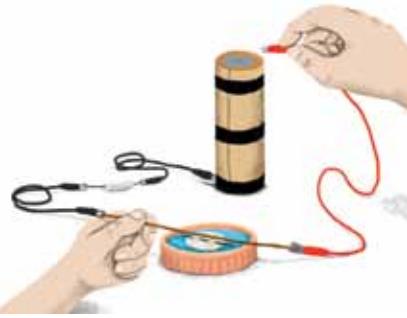
Tres cables con caimanes.



### **PROCEDIMIENTO**

**1** Conecta cada extremo del alambre a los polos de tu batería de 3 volts con la resistencia de 1.5 ohms conectada en serie; la resistencia evitará que la batería se descargue muy rápido y se calienten los cables. Utiliza cables negros para la conexión del

polo negativo y rojo para conectar el polo positivo. Todavía no conectes el rojo a la batería.



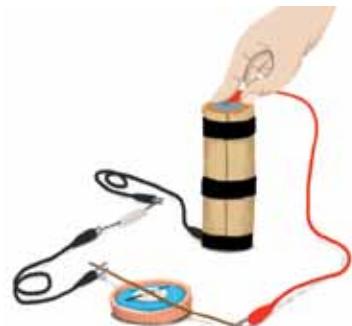
**2** Primero coloca el alambre por arriba de la brújula de tal manera que quede alineado con la aguja. Notarás que al conectar el alambre con la batería la aguja de la brújula gira, fíjate en qué sentido lo hace. Al desconectar la batería, la brújula regresa a su posición original.



**3** Repite lo anterior, pero ahora invirtiendo la polaridad de la batería. Notarás que ahora la aguja de la brújula gira en sentido contrario.



**4** Prueba colocando el alambre de manera perpendicular a la aguja de la brújula. Si lo hiciste bien no girará aunque inviertas la polaridad de la batería.



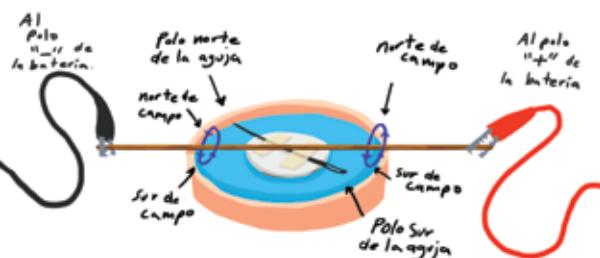
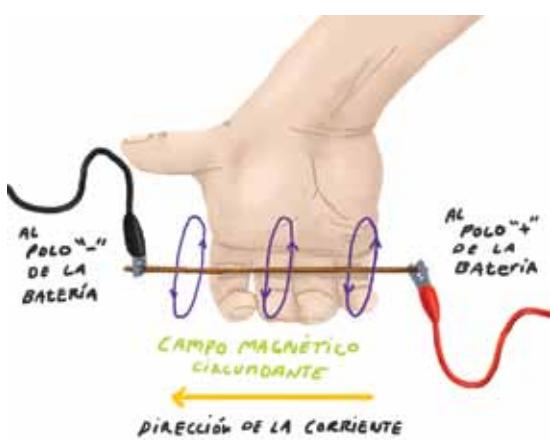
## EXPLÍCALO

Oersted descubrió que toda corriente eléctrica produce un campo magnético circundante a la

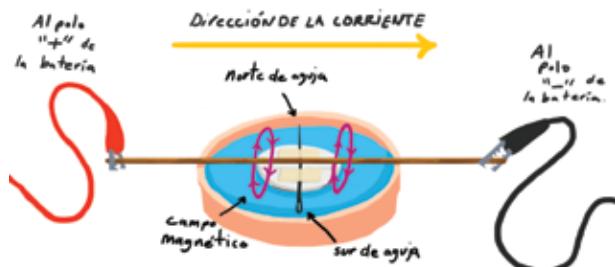
dirección de la misma.

Actualmente se usa “la regla de la mano derecha” para saber la dirección de dicho campo magnético.

Con el dedo pulgar se señala la dirección de la corriente eléctrica, que va del polo “+” al polo “-“ de la batería, y los dedos restantes curvados tratando de cerrar la mano señalan la dirección del campo magnético.



Este campo desvía la aguja cuando el alambre es paralelo, mientras que en la dirección perpendicular no causan efecto alguno. En el primer caso el campo magnético le llega de lado a la aguja, mientras que en el segundo el campo queda alineado con ella.



# **EXPERIMENTO 7.**

## **¡HAZ UN IMÁN!**

### **El electroimán**

Una aplicación inmediata del experimento de Oersted es el electroimán, que puedes construir al enrollar alambre esmaltado sobre un núcleo ferromagnético y conectarlo a una fuente de energía eléctrica.

### **MATERIALES**

Una pila tamaño D, o el arreglo de 2 pilas tamaño D que usaste en el experimento 3.

Cinco metros de alambre esmaltado calibre 28.

Un tornillo grueso (con diámetro de  $\frac{1}{4}$  " o mayor) de fierro, con al menos 3 cm de longitud.

Dos cables con caimanes.

Un trozo de lija, cinta de aislar y tijeras.



### **PROCEDIMIENTO**

Sujeta un extremo del alambre esmaltado con un trozo de cinta sobre el tornillo y enrolla el alambre lo más uniforme posible, hasta completar tres capas del bobinado o hasta agotar los 5 metros de alambre. Luego lija los extremos del alambre para retirar el esmalte donde conectarás la batería.





Al enrollar el alambre, haces que los campos magnéticos generados por cada vuelta se superpongan en el interior del núcleo ferromagnético, que es un material con la propiedad de permitir el flujo de campos magnéticos con mucha facilidad.



Con lo anterior, tu electroimán está listo para funcionar. Para probarlo conecta una de sus terminales al polo negativo de la batería y deja su otra terminal lista para conectar al polo positivo. Acerca un clip al electroimán antes de conectar y verás que no pasa nada; luego termina la conexión a la batería y notarás que el clip es atraído por el electroimán e inclusive puedes levantar el

clip mientras mantengas la conexión con la batería.

## APLÍCALO A TU VIDA

El electroimán tiene la ventaja que puede controlarse fácilmente conectando o desconectando la corriente eléctrica. Tiene múltiples usos; por ejemplo, con un electroimán se levanta chatarra de fierro, sirve para abrir una cerradura desde un interfon, para activar los frenos de un carro, entre otras muchas aplicaciones a la vida diaria.



# **EXPERIMENTO 8.**

## **CAMBIANDO EL CURSO**

### **Desviación con cargas eléctricas**

#### **MATERIALES**

Globo grande

Aqua

Gotero

Hoja blanca tamaño carta



#### **PROCEDIMIENTO**

**1** Llena el gotero con agua y deja caer gotas en el papel.

**2** Carga el globo frotándolo en tu cabello o con una camiseta de algodón.

**3** Pon el globo con la zona cargada cerca de la trayectoria donde soltarás nuevamente las gotas. Las gotas de agua se desvían de la trayectoria original aunque el globo no entre en contacto con el agua.



#### **EXPLÍCALO**

Las gotas de agua se cargan eléctricamente (por inducción) al pasar cerca de la zona cargada del globo. Por lo tanto, las gotas son atraídas hacia el globo y eso hace que se desvíe su trayectoria. Las



gotas caen por la gravedad, si en vez de un globo lateral pones arriba un material con mucho mayor carga eléctrica, podrías reducir la velocidad de caída de las gotas, y si la carga eléctrica fuera grandísima, incluso podrías hacerlas subir.

## **EXPLICACIÓN DEL EXPERIMENTO DE MILLIKAN**

### **¡Obtén la carga de un electrón!**

**Nota:** Este experimento sólo se puede hacer en un laboratorio de física experimental.

La carga eléctrica más pequeña que puede existir es la de un electrón. En el siguiente experimento te decimos cómo Robert Millikan obtuvo el valor de esta unidad fundamental.

### **MATERIALES**

Aceite.

Atomizador de perfume.

Microscopio.

Dos placas metálicas.

Un generador eléctrico de varios miles de volts.

Un contenedor cerrado.

### **PROCEDIMIENTO**

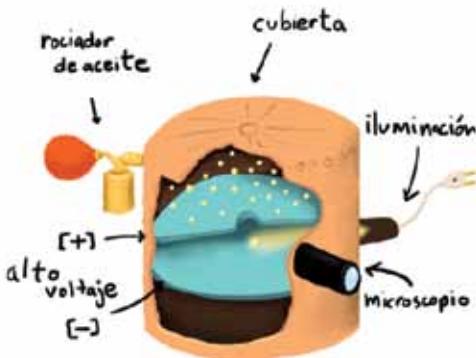
**1** Millikan hizo tres agujeros en las paredes del contenedor para la iluminación, el microscopio, y el atomizador.

**2** Colocó las placas metálicas horizontalmente en el contenedor y a la superior le hizo previamente un agujerito, para que cayeran las gotitas de aceite que vienen del atomizador.

- 3** Cargó las placas a miles de volts.
- 4** Con el atomizador roció en el contenedor gotitas de aceite y a través del microscopio las miró caer.
- 5** Ajustó el voltaje hasta que las gotitas de aceite empezaban a quedar suspendidas entre las dos placas.

## OBSERVÓ

Por el microscopio pudo ver las gotitas de aceite caer entre las dos placas; controlando el voltaje (y consecuentemente el campo eléctrico) pudo lograr que quedara una sola gota en equilibrio entre las dos placas.



## CÓMO MILLIKAN CALCULÓ LA CARGA DEL ELECTRÓN

La suspensión de la gota de aceite se logró ya que entre las dos placas ocurrió lo siguiente:

Las gotitas cayeron por gravedad.

Las gotitas se cargaron eléctricamente por fricción al salir del atomizador; mientras más pequeñas eran las gotas, mejor funcionó el experimento.

Su caída estuvo frenada por la viscosidad del aire que hay dentro del contenedor. Su caída también se frenó por la intensidad de la fuerza eléctrica que se generó entre las dos placas metálicas.

La carga del electrón se calculó igualando las sumas de las fuerzas que actuaron sobre la gota de aceite: la de gravedad (dirigida hacia abajo) con las fuerzas de fricción y eléctrica (dirigidas hacia arriba).

La fuerza eléctrica ( $F_e$ ) está determinada por la carga eléctrica ( $q$ ) de la gota de aceite y el campo eléctrico ( $E$ ) entre las placas. La ecuación que usó Millikan fue  $F_e = qE$ . Lo que estaba buscando era justamente  $q$ : la carga eléctrica. El campo eléctrico se obtiene conociendo el voltaje y la distancia entre las placas.

Lo que Robert Millikan descubrió fue que todas las cargas calculadas eran múltiplos de un solo valor muy pequeño. Buscó el número más pequeño del que todos los valores obtenidos de  $q$  eran múltiplos. Este valor debería ser la carga eléctrica de un electrón.

El valor de la carga que Millikan obtuvo fue muy parecido al que actualmente conocemos, que es de  $1.602176487 \times 10^{-19}$  coulombs, también se puede escribir como:

0.0000000000000000001602 C.

Si deseas conocer más sobre este tema te invitamos a visitar la página [www.geociencias.unam.mx/geociencias/experimentos/serie/brujo-la\\_completo\\_impresso.pdf](http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/experimentos/serie/brujo-la_completo_impresso.pdf)

# **AGRADECIMIENTOS**

Los autores queremos agradecer a los Dres. Achim M. Loske Mehling, Angel F. Figueroa Soto y Ángel Eco. Nieto Samaniego quienes revisaron la parte técnica del trabajo. También le agradecemos a Jorge Escalante González, Paola A. Botero Santa, Alexis del Pilar Martínez, Patricia Alaniz, Fabricio Sánchez “Faboc”, Leonel Fernández, Héctor Martínez y Juan Pablo Martínez quienes se aseguraron que los experimentos pudieran reproducirse con las explicaciones del texto. La corrección de estilo fue hecha por Odette Alonso. Este libro forma parte del proyecto PE102513 (UNAM).

## **Acerca de los autores**

### **Francisco Fernández Escobar**

Físico egresado de la Facultad de Ciencias de la UNAM y obtuvo su Maestría en Ciencias (Física) en la misma institución. Como Físico experimental ha laborado en la UNAM desde 1976 a la fecha, dedicado a la tecnología científica y a la docencia. Ha estado adscrito a la Facultad de Ciencias (1976-1986) y al Instituto de Física (1986-2001), en Cd. Universitaria D.F., con actividades primordiales en instrumentación electrónica. En los últimos 14 años se ha dedicado a la experimentación con ondas de choque, en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM, campus Juriquilla Qro., donde también es profesor del Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales.

### **Susana A. Alaniz Álvarez**

Estudió la carrera de Ingeniería Geológica y obtuvo su doctorado en Ciencias de la Tierra en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Es Investigadora Titular “C” en el Centro de Geociencias, y es profesora del Posgrado y de la licenciatura de Ciencias de la Tierra en el campus Juriquilla de la UNAM. Es autora de 77 publicaciones científicas. Pertenece a la Academia Mexicana de Ciencias, es nivel III del Sistema Nacional de Investigadores y es Académica de número de la Academia de Ingeniería.



La serie "Experimentos simples para entender una Tierra complicada" está basada en la lista de los experimentos más bellos de la historia, publicada por la revista *Physics World* en septiembre del 2002. Fueron elegidos por su simplicidad, elegancia y por la transformación que provocaron en el pensamiento científico de su época.

Cada fascículo de esta serie está dedicado a uno de esos experimentos. Nuestro propósito es lograr que entiendas, a través de la experimentación, fenómenos que ocurren tanto en nuestra vida cotidiana como en nuestro planeta.

Este fascículo está dedicado al experimento de las gotas de aceite de Millikan.

#### **Libros de esta serie**

1. La presión atmosférica y la caída de los cuerpos
2. La luz y los colores
3. ¡Eureka! Los continentes y los océanos flotan
4. El clima pendiente de un hilo
5. La Tierra y sus ondas
6. La medición de la Tierra
7. La edad de la Tierra
- 8. ¡A la carga!**

La serie completa la puedes descargar de la página web:  
<http://www.geociencias.unam.mx>

ISBN 978-607-02-7242-4



9 786070 272424