



# DE LA BRÚJULA AL MOTOR ELÉCTRICO

+ Historia, aplicaciones y experimentos -  
sobre la teoría electromagnética

Bernardino Barrientos García  
Susana A. Alaniz Álvarez

## **Universidad Nacional Autónoma de México**

Dr. José Narro Robles  
Rector

Dr. Eduardo Bárzana García  
Secretario General

Lic. Leopoldo Silva Gutiérrez  
Secretario Administrativo

Dr. Francisco José Trigo Tavera  
Secretario de Desarrollo Institucional

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

Primera edición, febrero 2013

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: 978-607-02-4087-4  
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.

Información de la edición

Diseño y formación: Elisa López Alaniz  
Diseño de la portada: Elisa López Alaniz  
Fotografía e ilustración: Elisa López Alaniz y Bernardino Barrientos García

# Índice

INTRODUCCIÓN.....	5
Parte I. HISTORIA DE LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA.....	6
El ámbar.....	7
La magnetita.....	7
Carga eléctrica, corriente eléctrica y electricidad.....	8
El magnetismo y la brújula.....	9
Interacción entre cuerpos cargados eléctricamente.....	10
Relación entre electricidad y magnetismo.....	11
Electromagnetismo.....	13
Parte II. LA ELECTRICIDAD EN LA VIDA COTIDIANA.....	16
Energía potencial eléctrica, fuerza electromotriz y voltaje.....	17
Corriente directa y corriente alterna.....	19
Pila eléctrica.....	20
Potencia eléctrica.....	25
Resistencia eléctrica.....	28
El transformador eléctrico.....	30
Resumen de conceptos básicos.....	31
Precaución con el uso de la electricidad.....	32
Instalación eléctrica en nuestras casas.....	33
Foco.....	35
Descarga eléctrica.....	37
Rayos.....	37
Parte III. EXPERIMENTOS.....	40
Experimento 1. Cargas eléctricas.....	41
PARTE A. Acumulación de cargas eléctricas por fricción y por inducción eléctrica.....	42
PARTE B. Cargas con el mismo signo se repelen.....	44
PARTE C. Cargas con signos contrarios se atraen.....	47
PARTE D. Atracción de un chorro de agua.....	48
Experimento 2. Pila eléctrica.....	50
PARTE A. Una pila de varias papas.....	50
PARTE B. LEDs conectados en paralelo.....	53
PARTE C. Una pila de agua.....	54
Experimento 3. Resistencia eléctrica. Construye un foc.....	56
PARTE A. Conductores y no conductores.....	56
PARTE B. Resistencia eléctrica variable.....	58
PARTE C. Un foco.....	60
Experimento 4. El efecto magnético, la brújula y el electroimán.....	62
PARTE A. El efecto magnético. Campo magnético. Magnetismo inducido.....	62
PARTE B. La brújula.....	69
PARTE C. El electroimán.....	73
Experimento 5. Transformador, generador y motor eléctricos.....	76
PARTE A. Transformador y generador eléctricos.....	76
PARTE B. El motor eléctrico.....	80
Acerca de los Autores.....	82
Agradecimientos.....	83
Bibliografía consultada.....	84

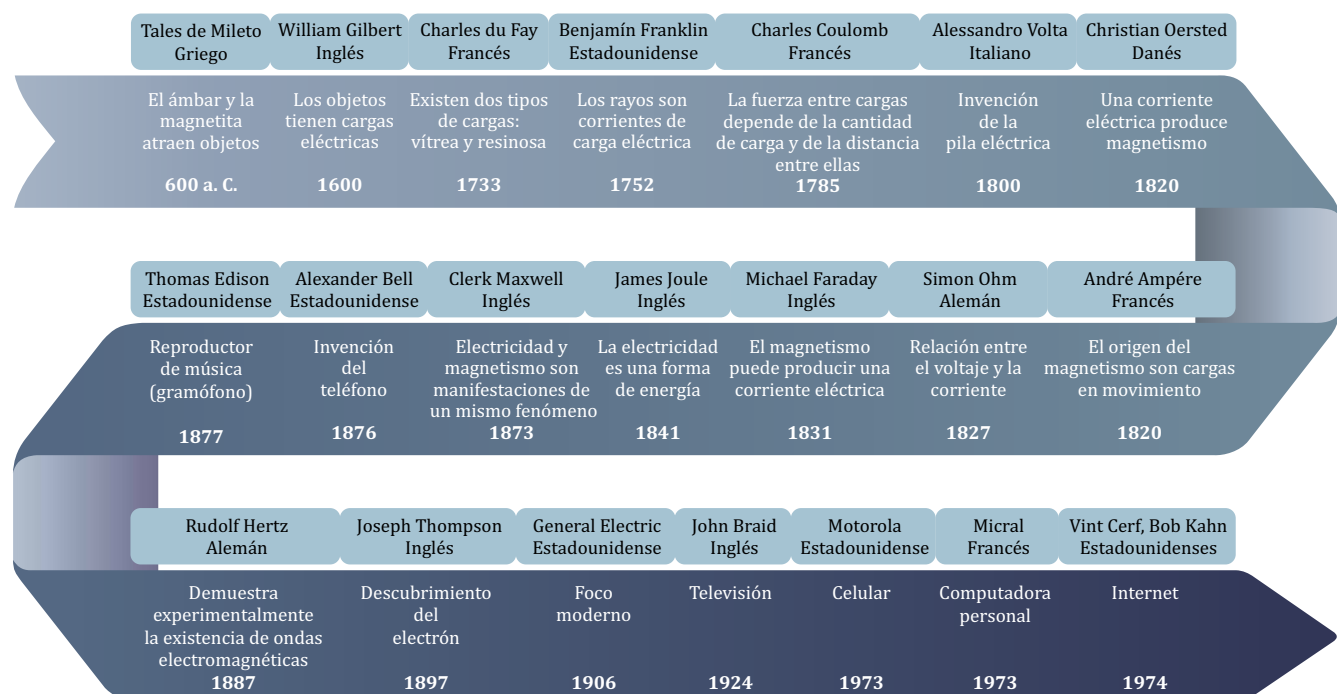
*“Pocas cosas se usan tanto y se entienden tan poco como la electricidad”*

# INTRODUCCIÓN

En tiempos antiguos a muchos fenómenos naturales, por ejemplo al arcoíris o a los rayos, se les solía dar significados especiales porque no se sabía qué eran o por qué ocurrían. Con el avance de la ciencia se pudo saber que el arcoíris es luz del Sol reflejada y refractada por gotas de agua y que los rayos son gigantescas corrientes eléctricas que generalmente van de las nubes al suelo. Yendo un poco más a fondo, ahora se sabe que estos dos fenómenos naturales, aparentemente tan diferentes, pueden ser explicados con la misma teoría científica. Ésta se conoce como **teoría electrotromagnética**, la cual incluye tanto fenómenos eléctricos como magnéticos, y extrañamente predice que estos dos tipos de fenómenos –eléctricos y magnéticos, tan disímiles a primera vista– son en cierta forma equivalentes.

El grado de influencia que la electricidad y el magnetismo han dejado en las sociedades modernas es vasto. Desde 1800 hasta la fecha se han realizado una gran cantidad de desarrollos tecnológicos relacionados con electricidad y magnetismo que han cambiado la forma en que hacemos muchas actividades de la vida diaria. Entre las principales actividades que fueron modificadas podemos mencionar las siguientes: a) la manera en que nos comunicamos, con la invención del telégrafo, el teléfono e internet; b) la forma en que pasamos nuestro tiempo libre, con la televisión y la radio; c) nuestros modos de trabajar, con la invención del motor eléctrico, el generador, el transformador eléctrico y la iluminación artificial; y d) la forma en que cuidamos nuestra salud, con desarrollos tecnológicos como la radiografía, la cirugía láser, la microscopía y la tomografía computarizada.

En el siguiente dibujo se muestran los principales personajes y acontecimientos relacionados con el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos a lo largo de la historia.



## Parte I

# HISTORIA DE LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA

## El ámbar

El conocimiento actual sobre electricidad y magnetismo tiene sus raíces en las sociedades antiguas. En particular, los griegos y los chinos dejaron testimonio escrito de valiosas observaciones hechas hace más de dos mil años. Por ejemplo, el griego Tales de Mileto, en el año 600 a. C. hizo observaciones simples pero de gran valor, que al final revolucionaron al mundo. Él observó que al frotar ámbar con lana, esa resina adquiría la capacidad de atraer objetos livianos, como paja o polvo. Tales se preguntó: “¿Qué fuerza invisible hace que se mueva la paja sin siquiera ser tocada?” La respuesta a esta pregunta tardó más de 2000 años en llegar y fue tomando forma a partir de los experimentos llevados a cabo por varios científicos entre los siglos XVII-XIX.



Cuando el ámbar es frotado con una pieza de lana, atrae pequeños pedazos de papel.

El ámbar es una resina fósil producida por árboles de hace varios millones de años. En algunos periodos la resina fue sometida a altas presiones y temperaturas por el sepultamiento de esos árboles bajo cientos de metros de capas de sedimentos. El color del ámbar va de amarillo a café. La palabra griega para ámbar es *elektron*. Hay menos de 20 yacimientos de ámbar en el mundo, uno de ellos está en Chiapas, México.

## La magnetita

Al igual que con el ámbar, Tales de Mileto observó que ciertas piedras con minerales de hierro, halladas en la región de Magnesia en Grecia, tenían la capacidad de atraer pequeños pedazos de hierro. Estos minerales, conocidos hoy en día como magnetita, no tenían que ser frotados para mostrar sus habilidades de atracción. Por ello, se asumió que la fuerza de atracción en este caso era de una naturaleza diferente a la fuerza de atracción que mostraban ciertos objetos cuando eran sometidos a fricción.



Una roca con magnetita. Se nota la capacidad para atraer objetos de hierro.

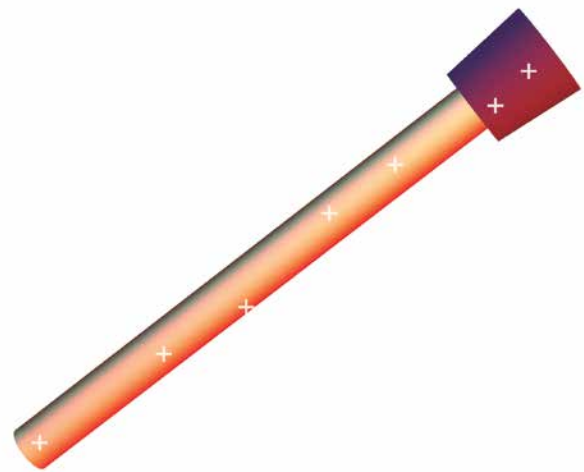
La magnetita es un mineral con alto contenido de hierro y debe su nombre a la región de Magnesia. Se le encuentra en todo tipo de rocas: sedimentarias, ígneas y metamórficas. Debido a la composición de la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), los lugares donde se acumula se explotan como minas de hierro. En México hay depósitos de magnetita en Peña Colorada, Colima y en el Cerro del Mercado, Durango.

# Carga eléctrica, corriente eléctrica y electricidad

En 1600, el inglés William Gilbert realizó una serie de experimentos que le permitieron concluir que, al igual que el ámbar, existían muchos otros materiales que cuando eran frotados también podían atraer objetos pequeños. A esta habilidad de los materiales para atraer cosas Gilbert la llamó en latín *electricus*, que literalmente significa “parecido al ámbar”. Adicionalmente, a la sustancia que contenían dichos objetos y que les permitían exhibir las propiedades de atracción le dio el nombre de *electricus effluvia*, que significa “fluido o espíritu de aquellos materiales que se comportan como el ámbar”. A este término, en los tiempos actuales, se le conoce como **carga eléctrica**. Así, la carga eléctrica identifica a ese “algo” que adquieren los objetos cuando se les frota y que les permite ejercer fuerzas de atracción sobre otros objetos. Cuando un objeto adquiere ese algo, por ejemplo por fricción o por contacto, se dice que se carga eléctricamente.

Gilbert fue la primera persona en construir un instrumento eléctrico, el *versorium*, el cual le permitió clasificar los materiales en eléctricos y no eléctricos. El *versorium* consistía en una varilla delgada metálica apoyada en un pivote, sobre el cual podía girar fácilmente al acercar objetos cargados. Más tarde, en 1729, el inglés Stephen Gray sugirió, mediante resultados experimentales, que los materiales realmente deberían ser clasificados como no conductores eléctricos (aislantes) y conductores eléctricos. Él definió que un conductor eléctrico es un material que permite en forma fácil el movimiento de cargas eléctricas a través de él. A una varilla de vidrio cargada eléctricamente, Gray le puso un pedazo de corcho en uno de sus extremos para aislarla de la humedad.

Casualmente, se dio cuenta que el corcho atraía cosas, lo cual implicaba que las cargas de la varilla se habían transmitido de alguna forma hasta el corcho. Además del corcho, hizo pruebas con otros materiales y con diferentes longitudes de dichos materiales. Hoy en día, al movimiento de cargas eléctricas se le conoce como corriente eléctrica.



Experimento de Gray

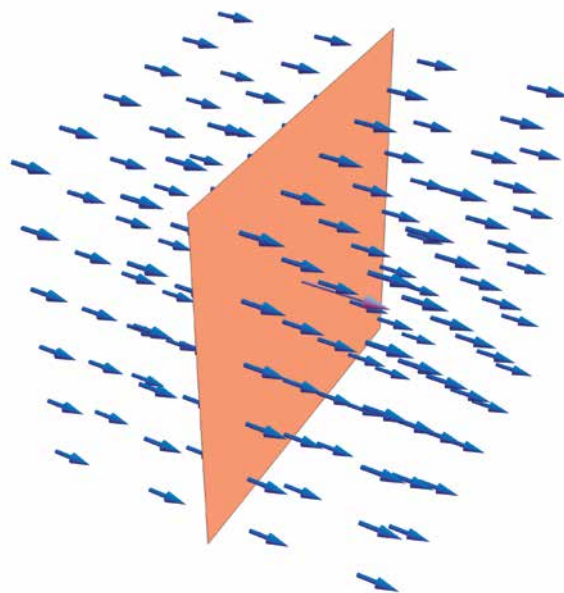
En este contexto también surge la palabra electricidad, la cual se refiere al estudio de los fenómenos relacionados con cargas eléctricas. En el lenguaje cotidiano es común que a la palabra electricidad se le use para referirse a las mismas cargas eléctricas, por ejemplo, cuando uno dice “este objeto tiene mucha electricidad” o “la plata es un buen conductor de electricidad”.

Formalmente, la corriente eléctrica es la cantidad de cargas eléctricas que pasan por un área en un segundo. La corriente se mide en amperes (el símbolo para un ampere es “A”). Un sólo ampere implica que por cierta área pasen en un segundo un número de cargas eléctricas igual a 6 000 000 000 000 000 000. La cantidad de corriente eléctrica que se usa en un hogar



típico es de unos 15 a 20 A. La corriente para encender un carro puede ser de 100 a 200 A; tan sólo sus faros pueden consumir 12 A.

Representación de una corriente eléctrica pasando a través de una superficie plana.



## El magnetismo y la brújula

Gilbert también fue la primera persona en llevar a cabo experimentos con la magnetita en forma sistemática; a los fenómenos de atracción relacionados con dicha piedra les dio el nombre de magnetismo, en referencia al nombre del lugar donde fueron encontradas las famosas piedras tipo imán. Antes de Gilbert, ya se sabía que cuando un pedazo de magnetita (comúnmente conocida como imán) se insertaba en un pedazo de madera y se ponía sobre agua, ésta siempre tendía a apuntar hacia cierta dirección. Esto fue lo que dio origen a la brújula, la cual se sabe que apunta hacia una dirección muy cercana al Norte geográfico –llamada Norte magnético-. Desde entonces la brújula ha servido para orientar a las personas, ya que una brújula siempre apunta hacia la misma dirección, sea de día o de noche. A partir de sus experimentos, Gilbert propuso que la Tierra era un imán gigante y que el origen de dicho imán era la existencia de una gran cantidad de hierro en el centro del planeta. De igual manera, él probó que si a un pedazo de hierro se le pasaba por encima un imán se

volvía magnético, o sea que también adquiriría la capacidad de atraer pedazos de hierro. A este tipo de magnetismo le llamó magnetismo inducido. También observó que el magnetismo inducido podía perderse si al objeto se le calentaba lo suficiente.



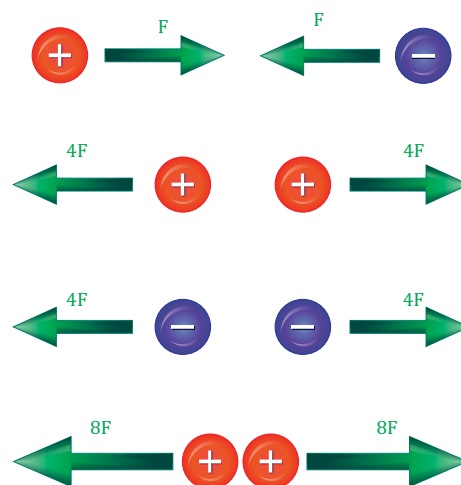
Una brújula comercial. La flecha indica la dirección del Norte magnético. La flecha es de acero y flota sobre agua.

# Interacción entre cuerpos cargados eléctricamente

A partir de experimentos similares a los hechos por Gilbert con objetos cargados eléctricamente, el francés Charles du Fay dedujo en 1733 que había dos tipos diferentes de cargas eléctricas: vítrea y resinosa. Para esto, du Fay frotó diversos materiales entre sí y observó que algunas combinaciones producían fuerzas de repulsión y otras de atracción. Du Fay también mostró que objetos con el mismo tipo de carga se repelían entre sí y objetos con diferente tipo de carga se atraían. En 1752, el estadounidense Benjamín Franklin rechazó la hipótesis de la existencia de dos tipos diferentes de cargas, argumentando que sólo había un tipo y que lo observado por du Fay se debía al hecho de que al ser un objeto frotado por otro solamente podían suceder dos cosas: ganaba carga eléctrica o cedía carga eléctrica, pero que la carga era de un sólo tipo. Tomando en cuenta esto, él designó al objeto que ganaba carga como un objeto con carga positiva y al que cedía carga como un objeto con carga negativa. Hoy se sabe que efectivamente sí existen dos tipos diferentes de carga eléctrica como había concluido du Fay (de hecho, actualmente se les conoce como carga positiva y carga negativa), pero el argumento de Franklin –que el exceso y la pérdida de un único tipo de carga eléctrica resulta en carga positiva y carga negativa, respectivamente– también resultó ser válido (aunque en un metal ese argumento presenta una variación: un exceso de carga realmente corresponde a una carga negativa).

Franklin fue la primera persona en mostrar que los rayos en una tormenta no eran más que un flujo de cargas eléctricas (corriente eléctrica) conducidas desde las nubes hasta el suelo a través del aire.

Años más tarde, en 1785, el también francés Charles Coulomb descubrió la ley que rige las interacciones entre cargas eléctricas sin movimiento. Esta ley dice que la fuerza de atracción o repulsión entre dos objetos cargados eléctricamente depende directamente de la cantidad de carga eléctrica que contienen dichos objetos e inversamente del cuadrado de la distancia que los separa. Esta ley permitió que, por primera vez, se pudieran medir en forma cuantitativa efectos eléctricos. En el presente, a la unidad de carga eléctrica se le llama coulomb, la cual se representa con una “C”. De esta forma, uno puede decir, por ejemplo, que un objeto tiene una carga eléctrica de +1.2 C si es positiva o de -1.2 C si es negativa (cuando la carga es positiva, generalmente se omite el signo +). Recordando que la corriente eléctrica es la cantidad de carga que pasa a través de cierta área en un segundo, entonces un ampere equivale al paso de 1 coulomb en 1 segundo, es decir,  $A = C/s$ . El símbolo para el segundo es “s”.

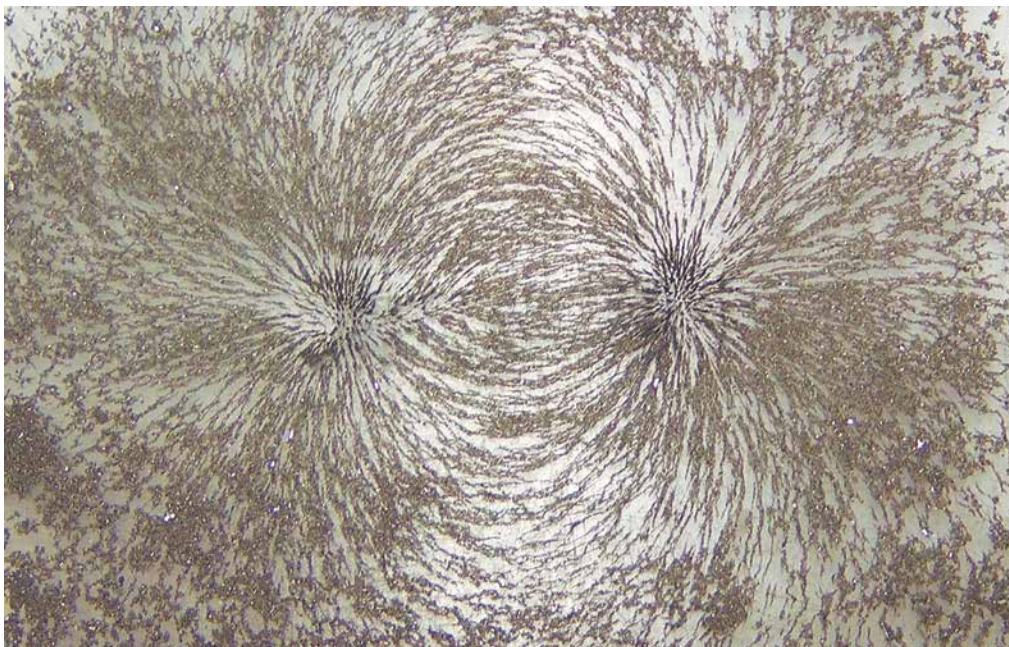
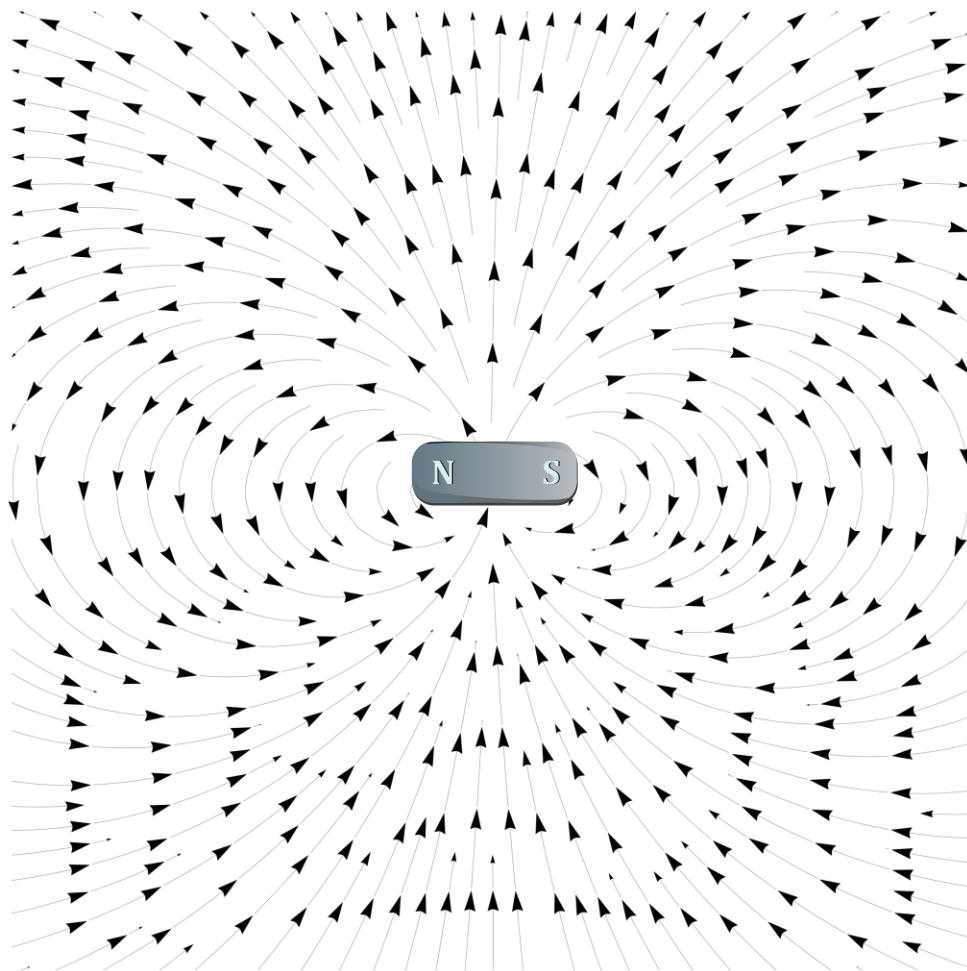


Cargas con signos opuestos se atraen con una fuerza de magnitud  $F$ ; cargas con signos iguales se repelen; la magnitud de la fuerza eléctrica no depende del signo de las cargas ni del tamaño de los objetos sino del número de cargas y la distancia entre ellas.

# Relación entre electricidad y magnetismo

Unos años después de los experimentos de Coulomb, en 1820, Christian Oersted (danés) encontró que el paso de una corriente eléctrica a través de un alambre producía un efecto magnético en los alrededores. Para llegar a este descubrimiento, Oersted colocó una brújula cerca de un alambre con corriente. Es importante comentar que para esas fechas ya se contaba con pilas eléctricas y por lo tanto se tenían los medios para crear corrientes eléctricas a voluntad. Antes de esto, las corrientes se producían conectando alambres a objetos que previamente se cargaban por fricción, por lo que las corrientes no eran fáciles de controlar. Regresando al tema, Oersted observó que la dirección en que apuntaba la brújula cambiaba conforme era movida cerca del alambre, es decir, la brújula ya no apuntaba siempre al Norte. Entonces, él dedujo que la presencia de la corriente en el alambre producía una fuerza parecida a la que se tenía al acercar un pedazo de hierro a un pedazo de magnetita. Ésta fue la primera prueba de que una cosa de origen eléctrico, el movimiento de cargas eléctricas en este caso, producía efectos magnéticos. En el mismo año, el francés André Ampère se enteró del descubrimiento de Oersted e inmediatamente llevó a cabo una serie de experimentos que le

permitieron describir la relación electricidad-magnetismo en una forma muy detallada desde el punto de vista experimental y matemático. En la actualidad, al resultado de esas descripciones se les conoce como ley de Ampère. Esta ley es el principio básico de funcionamiento de un motor eléctrico. La unidad básica de la corriente eléctrica –ampere– es nombrada en honor a Ampère. Por su parte, el inglés Michael Faraday propuso en 1831 algo complementario: cosas magnéticas pueden producir efectos eléctricos. Esta hipótesis fue demostrada por él mismo y hoy en día se le conoce como ley de Faraday. Los generadores eléctricos están diseñados con base en esta ley. Faraday, aunque no contaba con una educación formal (sabía álgebra y un poco de cálculo), hizo otras importantísimas contribuciones a la ciencia: inventó la electrólisis (separación de materiales mediante corrientes eléctricas), introdujo el concepto de campo magnético (como algo que es producido por una carga en movimiento y que le permite a ésta interactuar con otras cargas; él representó a ese algo como líneas [de fuerza] que tienen dirección y sentido), construyó tanto el primer motor eléctrico como el primer transformador eléctrico, y descubrió el benceno.



**Líneas de fuerza magnéticas.** Diagrama matemático con un solo imán y resultado experimental (esto se describe más adelante en el Experimento 4).

# Electromagnetismo

Si cualquier efecto eléctrico es causado por cargas eléctricas, cabe preguntarse, ¿cuál es la causa de los efectos magnéticos?

Las ideas relacionadas con la convertibilidad de magnetismo a electricidad y de electricidad a magnetismo fueron usadas por el inglés James Clerk Maxwell para demostrar, en 1873, que los fenómenos eléctricos y los magnéticos eran simplemente diferentes manifestaciones de un mismo fenómeno: el electromagnetismo. Así, Maxwell mostró matemáticamente que el origen del magnetismo reside en las mismas cargas eléctricas que causan los efectos eléctricos, pero siempre y cuando estén en movimiento.

Además, Maxwell demostró que las fuerzas electromagnéticas se manifestaban como ondas o campos (las mismas líneas de fuerza que ya anteriormente Faraday había propuesto) y que éstas viajaban a la velocidad de la luz, a unos 300 000 km/s, lo cual equivale a completar unas siete vueltas y media alrededor de la Tierra en un segundo (el símbolo de metro es “m” y el del prefijo kilo, que significa mil, es “k”). Con este conocimiento también se pudo establecer que la luz era una onda electromagnética, es decir, un disturbio con una parte eléctrica y otra magnética.

Para respaldar su trabajo científico, Maxwell usó cuatro ecuaciones básicas que ya habían sido propuestas por otros científicos: Ampère, Faraday y Gauss. El gran mérito de Maxwell fue el poder relacionarlas entre sí y ponerlas en una forma matemática relativamente simple y brillante. Estas ecuaciones sirven para describir una infinidad de cosas: la estructura molecular de los materiales, las reacciones químicas entre sustancias, la naturaleza de la luz, las ondas de radio, los colores, los sabores, los olores, los rayos, las auroras boreales, la forma

de nuestro cuerpo, el funcionamiento del cerebro, la forma de una gota de agua, etc. Asimismo, describen el funcionamiento de una gran cantidad de dispositivos y tecnologías: control remoto, internet, motor eléctrico, teléfonos celulares, fuentes de luz, televisión, marcapasos, lavadoras, secadoras, fibra óptica, etc. En el presente, a las cuatro ecuaciones de Maxwell se les considera como de las más importantes en toda la historia de la ciencia.

En 1897, el físico inglés Joseph Thomson demostró experimentalmente la existencia del electrón. Por este hecho, le fue otorgado el

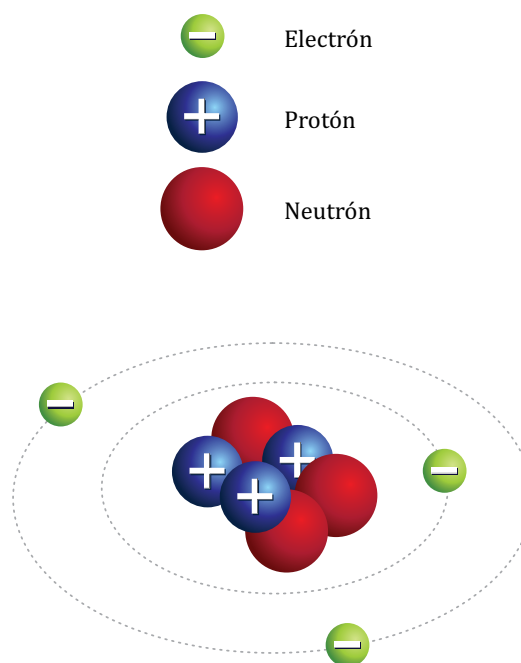


Diagrama esquemático de un átomo de litio que contiene un núcleo con 3 protones (esferas azules), 3 neutrones (esferas rojas) y 3 electrones alrededor (esferas verdes). La carga de los protones es positiva (+) y la de los electrones es negativa (-); los neutrones –descubiertos en 1932 por el inglés James Chadwick– no tienen carga, de ahí su nombre.

Premio Nobel en 1906. La carga eléctrica más pequeña que puede existir es la de un electrón y por convención se toma como negativa; la partícula que tiene una carga igual a la del electrón, pero positiva, es el protón, descubierto en 1918 por el alemán Ernest Rutherford. A la carga del electrón sin signo se le conoce como carga elemental (o sea, que es indivisible) y se le representa con el símbolo  $e$ , por la primera letra de la palabra “elemental”. Tomando en cuenta que las cargas del electrón y del protón son las mismas pero de signo contrario y que en un átomo el número de electrones es el mismo que el de protones, entonces la carga neta de un átomo es cero, es decir, un átomo es eléctricamente neutro; y ya que cualquier objeto en la naturaleza está compuesto de átomos, se deduce finalmente que en principio todos los objetos son eléctricamente neutros. Sin embargo, cuando dos materiales diferentes se ponen en contacto entre sí (por ejemplo, un pegamento y un pedazo de vidrio), puede ser que se produzca una transferencia de electrones entre ellos, dejando así a uno de los materiales con un exceso de carga (se dice que este objeto queda cargado negativamente) y al otro con una deficiencia de electrones –o equivalentemente, con un exceso de protones– (este objeto a su vez queda cargado positivamente). De manera similar, cuando dos sustancias se mezclan químicamente puede ser que algunos de los productos resultantes tengan un exceso de electrones y otros una pérdida de electrones –a estos materiales con carga se les conoce como iones–. Adicionalmente, si un objeto es dividido en dos partes, puede suceder que una de las partes quede con una ganancia de carga y la otra con pérdida.

Así, es posible que un objeto tenga una carga eléctrica negativa igual a 3 veces la carga del electrón, o  $-3e$ , donde el símbolo “-” indica que es negativa; otro ejemplo es un objeto con carga eléctrica de  $+3150e$ , o sea que contiene una carga de 3150 veces la carga elemental, es decir, que contiene una carga positiva (el signo

+ es opcional). Recuerda que la unidad para la carga eléctrica es el coulomb, el cual equivale a la carga de un número grandísimo de cargas elementales.

Por otro lado, por experimentación se sabe que la carga eléctrica no se puede crear ni destruir, por lo que la cantidad total de carga eléctrica en el universo se mantiene constante –a esto se le conoce como ley de la conservación de la carga–.

Si se observa cuidadosamente el diagrama de la estructura de un átomo, se pueden notar dos cosas que atraen la atención. Primero, que los electrones deberían caer sobre el núcleo, debido a las fuerzas de atracción por los protones, y segundo, que el núcleo debería ser muy inestable debido a la repulsión entre los mismos protones. Una respuesta satisfactoria a la primera observación se puede dar tomando en cuenta una teoría física desarrollada a principios del s. XX, llamada Mecánica Cuántica, la cual postula que los electrones únicamente pueden existir alrededor del núcleo cuando se encuentran en determinadas órbitas y que, además, no es posible conocer su posición exacta en un determinado instante de tiempo –esto es lo que se conoce como principio de incertidumbre–. Por lo tanto, si un electrón cayera hacia el núcleo, entonces su posición sería conocida en términos exactos y esto violaría el postulado anterior. Respecto a la segunda observación, con el desarrollo del campo de conocimiento llamado física de partículas, también a principios del s. XX, se propuso la existencia de una fuerza de atracción entre las partículas del núcleo atómico que opera solamente a distancias en el rango del tamaño del mismo núcleo, llamada fuerza nuclear fuerte. Esta fuerza, a distancias subatómicas, es mayor que la eléctrica de repulsión y al final es la que predomina.

Existen cuatro tipos diferentes de fuerza en la naturaleza: la nuclear fuerte (que permite que las partículas del núcleo atómico

permanezcan juntas), la electromagnética (que describe la interacción entre cargas eléctricas; esta fuerza es menor que la fuerza nuclear fuerte), la nuclear débil (la cual describe, por ejemplo, a la radiactividad, es decir, el proceso por el cual un núcleo atómico emite espontáneamente protones o neutrones, o cuando existe una conversión de un protón a neutrón o viceversa; esta fuerza es menor que la anterior) y la gravitacional (que tiene que ver con las fuerzas entre masas y es la más débil de todas).

## Parte II

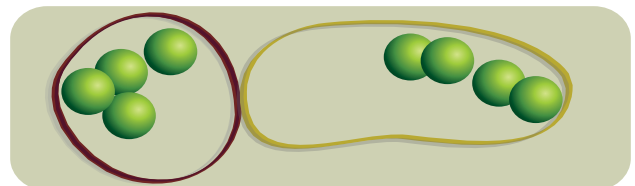
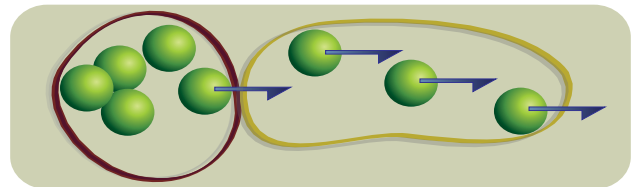
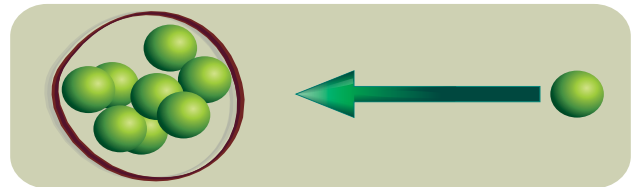
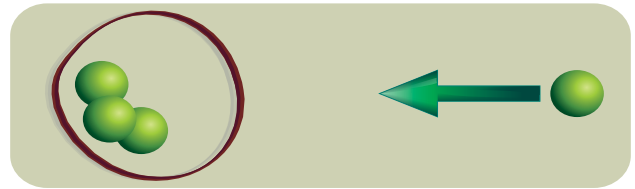
# LA ELECTRICIDAD EN LA VIDA COTIDIANA



# Energía potencial eléctrica, fuerza electromotriz y voltaje

Si un objeto eléctricamente neutro se pone en contacto con otro previamente cargado, el neutro recibe una transferencia de cargas, las cuales al irse acumulando comienzan a repelerse entre sí y a repeler a las que van llegando. Entonces, a medida que se van acumulando, se requiere aplicar más fuerza (o realizar más trabajo). De esta forma, las cargas adquieren una cierta forma de energía que van almacenando. A esa energía se le conoce como energía potencial eléctrica. Esta energía se manifestará en forma de otra transferencia de cargas, si se pone al objeto cargado con otro objeto neutro. De esta situación proviene el adjetivo “potencial”, es decir la energía almacenada tiene el potencial de hacer fluir las cargas cuando se le permite hacerlo, o sea, de realizar algún tipo de trabajo como encender un foco o poner en funcionamiento un motor.

Esto de acumular cargas eléctricas en un lugar se parece mucho a lo que sucede cuando estiramos una liga; al principio es fácil, pero cuando la liga ya está muy estirada, estirla aún más resulta cada vez más difícil. Al estirar una liga, ésta adquiere energía potencial mecánica. Esta energía se libera cuando se le suelta. Dicho de otro modo, la energía que una persona gasta para estirar la liga se almacena en la liga y queda disponible para realizar un trabajo cuando se requiera; por ejemplo, si a la liga se le pone una ficha y se le suelta, entonces gastará toda su energía potencial almacenada en lanzar la ficha. La energía se mide en joules (el símbolo para el joule es J), aunque otras unidades son más comunes, por ejemplo la caloría (cal), la cual equivale a 4.18 J. Esta caloría es la que aparece en los productos alimenticios.



Proceso de colocar cargas en un objeto. Al inicio se necesita una fuerza pequeña para llevar una carga hacia donde están las otras; luego, al acumularse las cargas, debido a la repulsión, la fuerza aplicada debe ser mucho mayor; cuando el objeto cargado es puesto en contacto con un objeto neutro, las cargas tienden a fluir por sí solas hacia este objeto; el flujo de cargas cesa cuando el número de cargas en un objeto es el mismo que en el otro. Las flechas verdes indican la magnitud y dirección de la fuerza aplicada, y las flechas azules la dirección del movimiento de las cargas.

En el caso de la liga, es una fuerza aplicada por una persona lo que hace que la liga se estire, pero en el caso de las cargas eléctricas, ¿quién o qué hace que se muevan para que se acumulen en un lugar? Bueno, para este propósito se usan unos dispositivos llamados fuentes de fuerza electromotriz, más comúnmente conocidos como pilas. Para ello también se pueden usar generadores eléctricos. La capacidad para acumular cargas eléctricas en cierto lugar depende del tipo y tamaño de las pilas. A esta capacidad para mover y acumular cargas en un punto se le conoce como voltaje o tensión eléctrica y se le mide en volts (V). El voltaje y la energía potencial eléctrica son muy parecidos; de hecho, entre mayor sea la energía eléctrica almacenada, mayor será el voltaje.

Mientras mayor sea el número de cargas eléctricas almacenadas por un objeto, mayor es la diferencia de carga o voltaje respecto a otros objetos. Mayor voltaje implica mayor corriente eléctrica cuando a las cargas se les permite fluir, por ejemplo, conectando el objeto cargado a uno no cargado mediante un alambre. La equivalencia de esto con la ficha y la liga es: mientras más se estire la liga, mayor será la velocidad de la ficha al ser lanzada.

En nuestras casas, los contactos eléctricos o tomacorrientes tienen un voltaje de 127 V entre los dos terminales, es decir que la diferencia de carga entre los dos terminales es proporcional a 127 V. Entonces, al conectar un foco a un contacto, rápidamente se establece una corriente eléctrica debida a la diferencia de carga que existe entre los dos terminales. Se puede hacer una analogía con el agua de una llave: en cuanto permitimos que el agua fluya, se forma un flujo de agua. Qué tan rápido sale el agua de la llave depende de la presión que tenga el depósito de agua. De igual forma, el valor de la magnitud de la corriente eléctrica que pasa por un foco depende del voltaje que existe entre los terminales del contacto. Cabe

mencionar que la corriente eléctrica puede ser totalmente interrumpida mediante un apagador o interruptor eléctrico.

Y, al conectar un foco a un contacto eléctrico, ¿se obtiene un movimiento perpetuo de cargas eléctricas? Si el foco se conecta a una pila, la cantidad de cargas es sin duda finita (la carga se acaba cuando la pila se descarga; por ejemplo, una pila AAA alcalina puede encender un foco pequeño por sólo 1.4 horas), y en ese caso la respuesta a la pregunta es: no. Sin embargo, en los contactos eléctricos de nuestras casas, la cantidad de cargas eléctricas es casi ilimitada, ya que el generador eléctrico que está a cientos o miles de kilómetros de nuestras casas siempre está poniendo más y más electrones en el terminal negativo del contacto, y por lo tanto, en este caso, la respuesta es: prácticamente, sí. Por otra parte, los electrones (cargas negativas) no se acumulan en el terminal positivo del contacto ya que son regresados a la fuente de voltaje, y así se encuentran listos para realizar nuevamente su trabajo. Lo que al final se obtiene es un circuito eléctrico cerrado, por donde fluye continuamente una corriente eléctrica.

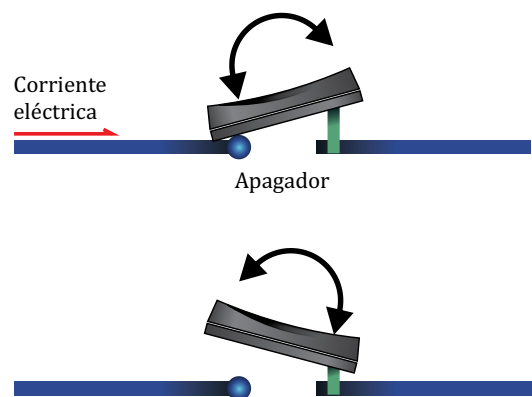
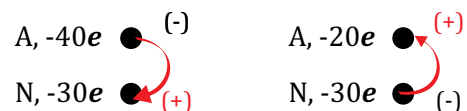


Diagrama de un apagador, en posición de encendido y en posición de apagado.

# Corriente directa y corriente alterna

Existen dos tipos de corriente, la corriente directa y la corriente alterna. La corriente directa es la que entregan las pilas y baterías, y en este caso las cargas fluyen en un sola dirección, tal como se describió en la sección anterior. En cambio, la corriente alterna es producida por medio de generadores que producen una corriente que primero fluye en un sentido y un instante después fluye en el sentido opuesto dentro de un circuito eléctrico cerrado. De esta alternancia en el sentido de la corriente es que deriva su nombre. El funcionamiento de un generador es abordado posteriormente. Como la corriente es proporcional al voltaje, entonces también podemos hablar de que existen voltajes directos y voltajes alternos. En voltajes alternos se llegan a tener tanto valores de voltaje positivos como negativos. Como hemos señalado, lo que fluye en un circuito eléctrico cerrado son electrones, entonces el sentido del movimiento de los electrones es el sentido real de la corriente en un conductor. Sin embargo, se puede suponer que los lugares que van abandonado los electrones, cuando van pasando de átomo en átomo, se van cargando positivamente, es decir, la ausencia de electrones -que Franklin correctamente interpretó como cargas positivas- viaja en el sentido opuesto al de los electrones. Hasta nuestros días, esta última convención del sentido de la corriente es la que más se usa.



En el caso de la izquierda, el voltaje de A respecto al de N es negativo -la corriente fluye de A a N-. En el caso de la derecha, el voltaje de A respecto al de N es positivo -la corriente fluye de N a A-. Los electrones fluyen desde zonas que tienen una mayor concentración de electrones a zonas de menor concentración.

# Pila eléctrica

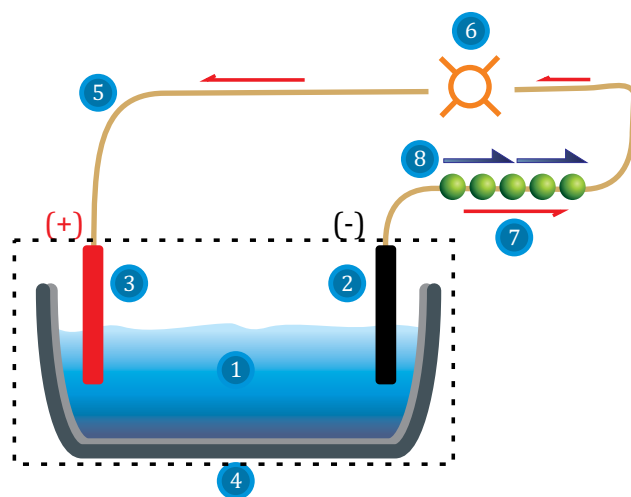
Las pilas eléctricas, que alimentan a una gran variedad de aparatos eléctricos (teléfonos celulares, juguetes, reproductores de música, etc.), son dispositivos que convierten energía química en energía eléctrica. Una pila consta de dos terminales, llamados electrodos. Internamente, los electrodos se encuentran en contacto con una solución química llamada electrolito. Si se usan diferentes materiales para cada electrodo, uno de ellos termina con un número de electrones mayor que el otro. El electrodo con el mayor número de electrones es el negativo de la pila y el otro es el positivo. Cuando conectamos las terminales de una pila a un dispositivo, por ejemplo un foco, se dice que está en operación; es decir, los electrones que genera el electrodo negativo encuentran un camino para viajar hasta el electrodo positivo, que los realimenta al electrolito que los lleva nuevamente hacia el electrodo negativo. El circuito eléctrico deja de operar cuando la pila se agota; es decir, cuando las reacciones químicas terminan (el electrolito o los electrodos se consumen). El tipo de voltaje que proporciona una pila es directo. Las pilas más comunes hoy en día son las alcalinas.

El italiano Alessandro Volta, en 1800, colocó una pila de pares de discos de zinc y de cobre con un cartón empapado en salmuera (agua con sal) entre ellos. A los pares de discos los conectó mediante un alambre. Cada par de discos produjo cerca de 1 V, así que al colocar N pares de discos en cadena, él pudo obtener N volts. El desarrollo de la pila significó un gran adelanto tecnológico para el hombre, ya que permitió por primera vez contar con una fuente de voltaje constante y controlable.

Las pilas formalmente están formadas de dos o más celdas. Una celda es como el par de discos (o electrodos) usados por Volta. Sin

embargo, a pesar de que muchas de las pilas comerciales actuales sólo constan de una celda (de tamaño AAAA, AAA, AA, C, D, etc.), se les sigue llamando pilas. En la siguiente tabla se indican los tipos más comunes de pilas desde que fueron inventadas por Volta. Los voltajes indicados se refieren a los voltajes producidos por una sola celda.

En términos muy generales, se puede decir que una pila es un dispositivo que produce energía eléctrica a partir de un proceso químico, mientras que una batería almacena la energía eléctrica. Ejemplos de batería son las de auto y las pilas recargables. La batería del auto está hecha de celdas de plomo y cada celda proporciona



- |   |                    |   |                     |
|---|--------------------|---|---------------------|
| 1 | Electrolito        | 5 | Alambre             |
| 2 | Electrodo negativo | 6 | Foco                |
| 3 | Electrodo positivo | 7 | Corriente eléctrica |
| 4 | Recipiente         | 8 | Electrones          |

Diagrama esquemático de una celda eléctrica, la cual consiste de un electrolito, un electrodo negativo y un electrodo positivo.

2.1 V. Ya que estas baterías generalmente constan de 6 celdas (cada celda a su vez tiene dos placas que corresponden a los electrodos positivo y negativo) conectadas en cadena –o en serie–, entonces su voltaje de salida es  $6 \times 2.1 \text{ V} = 12.6 \text{ V}$ . En una conexión en serie, el electrodo negativo de la celda 1 se conecta con el positivo de la celda 2, y el negativo de la celda 2 con el positivo de la celda 3, etc. En el caso de conexión

en serie, la corriente total de todas las celdas es la misma que la proporcionada por una sola celda. Cuando se requiere una mayor corriente, entonces las celdas se pueden conectar en paralelo, pero en este caso el voltaje total es solamente el que proporciona una sola celda. En una conexión en paralelo los terminales positivos de todas las celdas se conectan entre sí, y de igual forma se hace con los negativos.

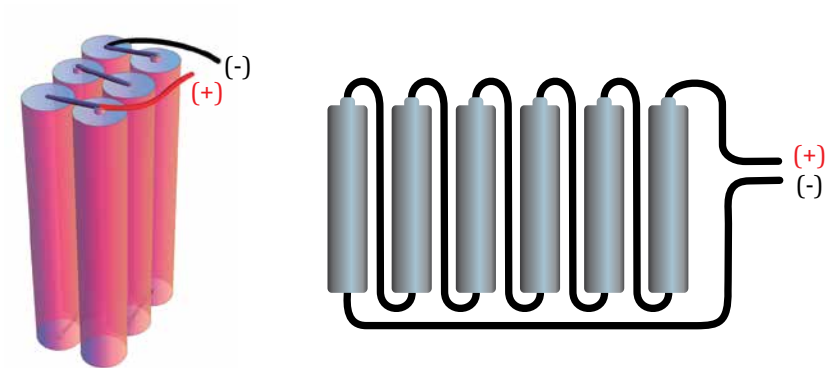
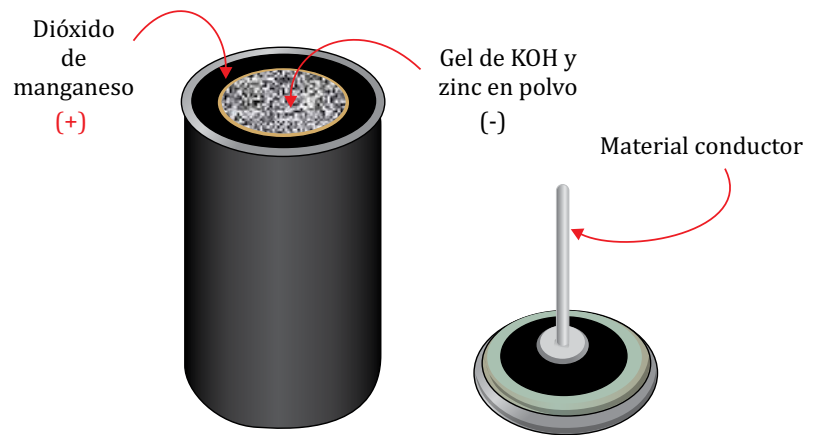
Nombre de la pila	Electrodo negativo	Electrodo positivo	Electrolito	Año de invención	Inventor, nacionalidad	Voltaje en V
Voltaica	Zinc	Cobre	Salmuera	1800	A. Volta, italiano	1.1
De plomo, recargable	Plomo	Dióxido de plomo	Ácido sulfúrico	1859	G. Planté, francés	2.1
De zinc-carbono	Zinc	Dióxido de manganeso, carbón como conductor	Cloruro de zinc	1876	G. Leclanché, francés	1.5
Níquel-cadmio, recargable	Cadmio	Níquel	Hidróxido de potasio, KOH	1899	W. Jungner, sueco	1.14
Alcalina	Polvo de zinc	Dióxido de manganeso	Hidróxido de potasio, KOH	1957	L. Urry, canadiense	1.5
Iones de litio, recargable, muy liviana	Carbono (grafito)	Óxido de manganeso y litio	Carbonatos orgánicos con iones de litio	1981	Laboratorios Bell, Estados Unidos	3.7



Diferentes tipos de pilas. Tamaño D, C, AA, AAA, cuadrada.



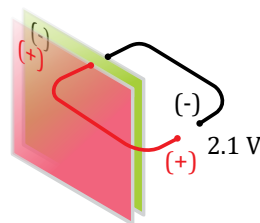
Pila cuadrada de 9V. Pilas tipo botón.  
Interior de una pila alcalina tipo C -el material conductor forma la tapa superior de la pila-



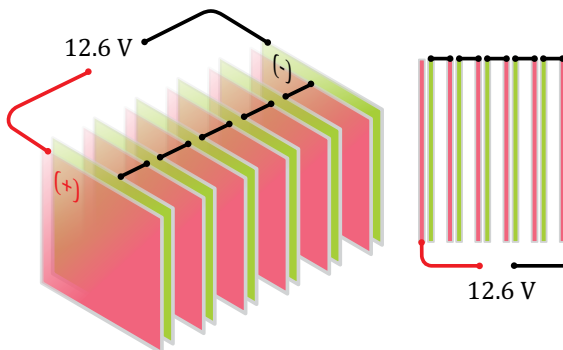
Una pila cuadrada está formada por 6 pilas de 1.5 V conectadas en cadena o en serie ( $6 \times 1.5 \text{ V} = 9 \text{ V}$ ). Las 6 pilas son tamaño AAAA. Izquierda, representación esquemática de las diferentes interconexiones; derecha, representación en línea.

En una batería comercial de auto, se requiere tanto un voltaje alto como una corriente grande: un voltaje de 6 veces el de una sola celda y generalmente una corriente de 8 veces la dada por una celda. Esto se puede lograr conectando primero en paralelo y luego en serie las  $6 \times 8 = 48$  celdas. En una forma similar, las pilas cuadradas de 9 V se fabrican conectando 6 pilas alcalinas AAAA en serie.

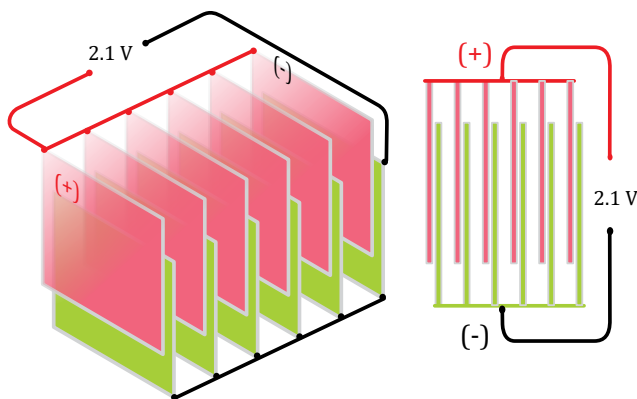
Un criterio para seleccionar una batería es la capacidad para almacenar cargas eléctricas. Un ejemplo típico de una batería relativamente grande es una de plomo con una carga de 64 ampere.hora (recuerda que la corriente es carga por unidad de tiempo; o sea que la carga es la multiplicación de la corriente y el tiempo, y las unidades resultantes para la carga son ampere.hora o Ah, donde “h” es el símbolo para “hora”). Lo anterior significa que esta batería puede sostener una corriente de 64 A por una hora (si la batería tiene 6 conjuntos de 8 celdas entonces la corriente por celda es de  $64/8 = 8$  A); o, lo que es lo mismo, puede dar una corriente de 128 A por media hora. Este tipo de baterías puede proporcionar una corriente máxima de 640 A (esto por 6 min, donde “min” es el símbolo de “minutos”). Como lo habrás notado, el producto de la corriente y el tiempo debe ser constante; en este ejemplo, debe ser de 64 Ah, o sea que es válido tener  $(64 \text{ A}) \times (1 \text{ h})$ , o  $(128 \text{ A}) \times (0.5 \text{ h})$  o  $(640 \text{ A}) \times (6 \text{ min}) \times (1 \text{ h}/60 \text{ min})$ .



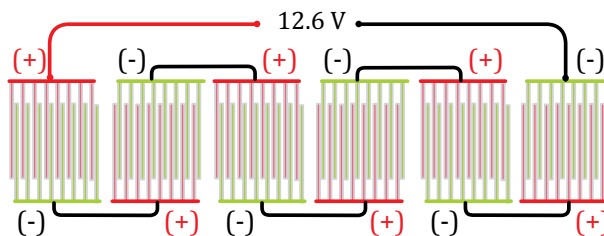
Una sola celda



Conexión en serie de 6 celdas, vista isométrica y de planta



Conexión en paralelo de 6 celdas, vista isométrica y de planta



Conexión en serie-paralelo de 6 celdas, vista de planta

Diferentes configuraciones de baterías de plomo que constan de: una sola celda; 6 celdas conectadas en serie (representación tridimensional y vista de planta); 6 celdas conectadas en paralelo (representación tridimensional -3D- y vista de planta); 6 conjuntos de celdas conectadas en serie donde cada conjunto de celdas consta a su vez de 8 celdas conectadas en paralelo.

Las pilas vienen en varios tamaños. El tamaño tiene que ver con la cantidad de electrolito. Y mientras más electrolito, mayor la corriente que puede suministrar una pila. Uno de los tamaños más chicos de pila alcalina es AAA. Una pila alcalina AAA tiene una carga eléctrica almacenada de unos 1000 miliampere.hora o 1000 mAh, o 1 Ah (esto a un voltaje de 1.5 V). El prefijo “mili” sirve para indicar la milésima parte de algo. Como el fabricante recomienda que la pila se use para corrientes de 50 mA, entonces esta corriente la puede sostener por 20 horas (h) ya que  $(50 \text{ mA})(20 \text{ h})=1000 \text{ mAh}$ . De ahí le siguen las pilas AA, las cuales tienen una carga almacenada típica de 2500 mAh, y se les recomienda para dar corrientes de 125 mA por 20 h. Luego viene la pila tamaño C, con una carga máxima de 6000 mAh (para corrientes de 300 mA por 20 h). Todavía existe un tamaño

comercial mayor, la tipo D. Éstas pueden llegar a almacenar cargas de hasta 10000 mAh, y se les recomienda cuando se requieren corrientes de hasta 500 mA (por 20 h).

Para fines de comparación, la pila del iPad 2, la cual es de iones de litio, tiene una capacidad de carga de 11666 mAh; o equivalentemente, proporciona 1166 mA por 10 h –de acuerdo con las especificaciones del fabricante, la duración de la pila es de 10 h–. Esto significa que tiene una capacidad de carga un poco mayor que una pila tipo D. La ventaja de este tipo de pilas es que son recargables y además proveen un voltaje mayor (3.7 V) que una alcalina (1.5 V), lo cual resulta más adecuado para aplicaciones electrónicas. Adicionalmente, ocupan un espacio menor manteniendo la misma capacidad de carga, pero son de las pilas más caras.



# Potencia eléctrica

Cuando las cargas eléctricas no se mueven pero están acumuladas en las terminales de una batería o de un generador se dice que tienen la capacidad para realizar trabajo (energía potencial); es decir, pueden realizar trabajo una vez que empiecen a moverse. Así, la energía potencial se convierte en energía de movimiento que es la **energía cinética**. Pero, ¿cómo la energía cinética de los electrones produce trabajo? Como ya se ha mencionado antes, el movimiento de los electrones produce un campo magnético que por medio de atracciones y repulsiones con otro campo magnético puede producir movimiento mecánico (ver el caso de la brújula); es decir, la energía cinética de los electrones se convierte en energía mecánica. Esta conversión de energía está relacionada con el funcionamiento de un motor o de un altavoz (o bocina). Por otra parte, al pasar una corriente muy grande a través de un hilo metálico muy delgado, como el filamento de un foco, las cargas “chocan” con los átomos del metal y lo calientan; la temperatura es tan alta que el filamento emite luz; éste es el principio de funcionamiento de los focos de nuestros hogares. Una vez realizado el trabajo, las cargas regresan con menos energía a la terminal positiva de la batería (o generador) que les vuelve a proporcionar energía potencial para que regresen al circuito eléctrico (a través de la terminal negativa) y así poder seguir produciendo trabajo. Al final de cuentas, el trabajo que realizan las cargas se manifiesta como la fuerza del movimiento del motor o la brillantez del foco, según sea el caso. Este trabajo es una forma de energía y se mide en **joules**. El número de joules que se consumen cada segundo es la **potencia eléctrica** que se mide en **watts (W)**. A mayor voltaje (equivalentemente, a mayor energía potencial) y mayor corriente (equivalentemente, a mayor energía cinética), mayor es la potencia eléctrica.

En términos técnicos, la potencia se calcula dividiendo la cantidad de energía entre el tiempo durante el cual se usa o se genera esa energía. Alternativamente, la potencia también se puede calcular multiplicando la corriente y el voltaje. Un ejemplo de potencia es un motor que consume 746 W; cuando se le conecta a un voltaje de 127 V, le pasan a través de él  $746 \text{ W}/127 \text{ V}=5.9 \text{ A}$ . Esta potencia de 746 W equivale a 1 caballo de potencia (hp). Otro ejemplo típico es un foco de 100 W, el cual al conectarse a una línea de 127 V consume 0.79 A. El televisor es otro ejemplo, el cual consume entre 100 y 300 W, dependiendo del tamaño. Asimismo, si se sabe que la pila del iPad funciona con un voltaje de 3.7 V y que su capacidad de carga es de 11666 mAh, entonces la capacidad en energía de la pila del iPad también se puede expresar como  $11.666 \text{ Ah} \times 3.7 \text{ V}=43.2 \text{ Wh}$ . Recordando que  $1 \text{ W}=1 \text{ J/s}$ , esa energía corresponde a  $43.2 \times 3600=155391.1 \text{ J}$ , ya que  $1 \text{ h}=3600 \text{ s}$ . En calorías esto equivale a  $155391.1/4.18=37174.9 \text{ cal}$  (recuerda que  $4.18 \text{ J}$  equivalen a  $1 \text{ cal}$ ).

Para fines de comparación, podemos decir que la energía almacenada por la pila del iPad es de 37.17 kcal, equivalente a la energía química que proveen dos nueces al cuerpo humano y que es más pequeña que la que aporta un refresco (es casi 6 veces menor). Otra comparación: la energía almacenada por una pila AA es de  $(2.5 \text{ Ah})(1.5 \text{ V})=3.75 \text{ Wh}$ , o sea, unas 11 veces menor que la contenida por una pila de un iPad.

Ahora, ¿cuánta potencia se requiere para encender los dos faros de un coche? Si los faros son de halógeno, pueden llegar a consumir 12 A a un voltaje de 12.6 V; entonces la potencia es de  $12 \times 12.6=151.2 \text{ W}$  o un quinto de hp –la potencia de un carro estándar es de unos 150 hp–.

Otra pregunta interesante es: ¿cuál es la potencia que consume una casa? Entre los aparatos eléctricos de uso cotidiano que hay en el hogar, los que más potencia eléctrica consumen son la secadora eléctrica de ropa (6000 W), el aire acondicionado (3000 W), la

secadora de pelo eléctrica (1500 W), la plancha (1200 W) y el tostador (1000 W). Si se tuvieran todos estos aparatos encendidos al mismo tiempo consumirían una corriente total de  $(6000+3000+1500+1200+1000)W/(127V)=100\text{ A}$ , la cual es una cantidad mucho mayor que la que puede soportar una instalación eléctrica normal (que es de 25 A a 50 A). Esto ocasionaría que el circuito protector de la instalación eléctrica (la **pastilla termomagnética**) se accionara; es decir, desconecta el voltaje de entrada (**circuito abierto**), ya que una corriente tan alta puede ser interpretada como un **corto circuito**. En la figura se muestran esquemáticamente lo que son el circuito abierto, el **falso contacto**, que es un estado intermedio entre el circuito abierto y el circuito cerrado, y el corto circuito.

En un corto circuito, los alambres conectados a los terminales positivo y negativo entran en contacto y por lo tanto la corriente aumenta a valores altísimos que termina dañándolos. Causas comunes de cortos circuitos

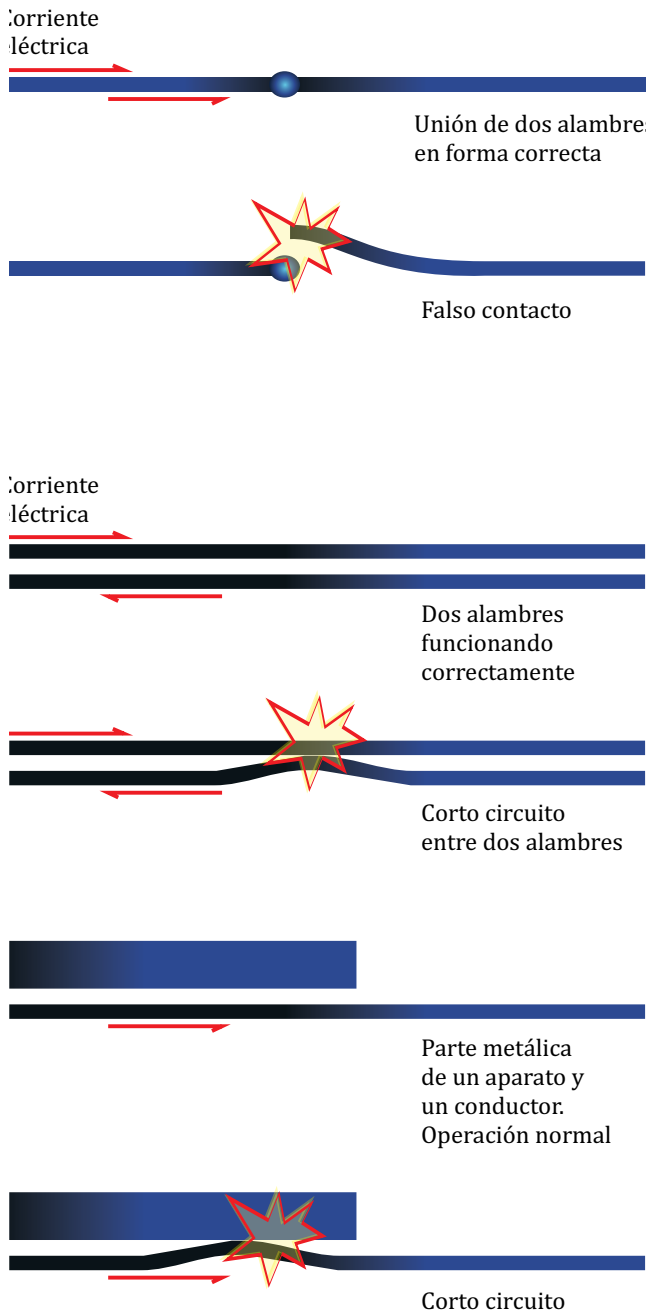
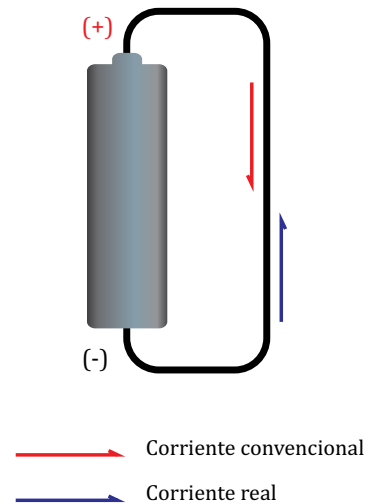


Diagrama esquemático de un falso contacto y de dos situaciones diferentes de corto circuito.



Una pila es puesta en corto circuito al conectar un alambre entre sus terminales. Se indican tanto la corriente real (de electrones) como la convencional (de cargas positivas). Debe evitarse hacer este tipo de conexión ya que la pila se vuelve inservible rápidamente y la alta corriente puede generar mucho calor en el alambre.

son la falta de limpieza y de aislamiento de los diferentes componentes eléctricos (alambres, baterías, carcasas, contactos, etc.).

En un falso contacto, el contacto de un alambre con otro es interrumpido y el aparato deja de funcionar. Esto puede ser ocasionado por oxidación de los alambres o por falta de flexibilidad de los mismos, lo cual provoca su rompimiento.

Cuando usamos una pila, su energía almacenada la podemos usar en un lapso corto o largo. Por ejemplo, cuando ponemos en corto circuito a una pila alcalina AA, la pila puede sostener una corriente de 7 A por 5 min. Esto es un tiempo muy corto, comparado con las 20 horas que recomienda el fabricante para que se consume toda la energía de la pila, y significa que la potencia que proporciona una pila en corto circuito es bastante alta. Por ello, debe procurarse no poner las pilas en corto circuito debido a que 7 A es una corriente muy alta que hace que las pilas queden inservibles y además que el alambre que une sus terminales se caliente tanto que si se le toca pueda causar quemaduras.

Por otra parte, cuando se paga el recibo de luz de nuestros hogares realmente lo que uno paga es la energía eléctrica consumida durante 2 meses, dada en kWh, y no tanto la rapidez con la que se gasta (aunque esto último se toma en cuenta con la aplicación de diferentes tarifas: mientras mayor es el consumo de energía en un periodo de 2 meses, mayor es el precio de los kWh que uno tiene que pagar). Si una familia ve la televisión, la cual suponemos que requiere de 250 W para funcionar, por cuatro horas diarias, entonces habrá consumido cada día una energía de  $250\text{ W} \times 4\text{ h} = 1000\text{ Wh}$  o 1.0 kilowatt-hora, o 1.0 kWh. Como cada kWh es cobrado por la Comisión Federal de Electricidad a alrededor de 0.74 pesos, entonces, por 2 meses se pagaría:  $1.0\text{ kWh} \times 60\text{ días} \times 0.74\text{ pesos} = 44.4\text{ pesos}$ .

De la producción total de electricidad en México en el 2011, el 26% se consumió en los hogares, el 59% en la industria, el 11% en los comercios y servicios, y el 4% en la agricultura. México es el 19º país en el mundo que produce más electricidad por año pero de los que consumen menos porque somos el 104º país en el mundo en cuanto a consumo de electricidad por persona (por debajo de Chile, Venezuela y Brasil, año 2012). El consumo en los hogares por cada persona en promedio en un año (2008), en México, fue de 430 kWh.

La capacidad de potencia eléctrica instalada en México, en el 2012, fue de 58 GW=58 MkW (aquí “G” denota al prefijo “giga” y equivale a mil millones de veces); o sea que en un año, México podría producir  $(58 \times 10^6\text{ kW})(365\text{ días})(24\text{ h}) = 508\text{ GkWh} = 508\text{ TWh}$  de energía (“T” se usa para representar al prefijo “tera”, el cual equivale a 1 millón de millones –o un billón–); sin embargo, por diversos factores (por ejemplo, porque las plantas eléctricas no siempre están en funcionamiento debido a mantenimiento), la producción efectiva es de alrededor de 230 TWh.

A escala mundial, la iluminación de espacios físicos es una de las actividades que consume más energía eléctrica, cerca del 20% de toda la energía eléctrica generada.

Num. de Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Mult.	Consumo kWh	Doméstico	01	1
3KB4V5	14280	14094	00001	186	Facturación		
Periodo de consumo		Días	Promedio diario kWh		Concepto	kWh	Precio Subtotal
12 MAR 12 A 14 MAY 12		63	2.95		Básico	159.0000	0.741 111.15
					Intermedio	30.0000	0.900 32.40
					Suma	186.0000	143.55
Historial de consumo							
Facturación	Ene	Mar	May	Jul	Sep	Nov	
2011	0	0	450			23	
2012	191	174	186				
Estado de cuenta							
Apoyo gubernamental		Energía		143.55			
Costo de producción		IVA 16%		22.96			
Aportación Gubernamental		Fac. del Periodo		166.51			
		DAP 8.00%		11.48			
Avisos importantes		Adeudo Anterior		164.07			
- De acuerdo a las instrucciones, el importe de este aviso-recibo		Su Pago		-164.00			
				478.08			

Parte de un recibo de un usuario típico expedido por la Comisión Federal de Electricidad. Se indica que el consumo total de energía eléctrica es de 186 kWh, el cual corresponde a varios tipos de tarifas.

# Resistencia eléctrica

En un material, los electrones se encuentran unidos a los átomos. En los materiales llamados conductores, una gran cantidad de electrones se encuentran débilmente unidos a los átomos—se dice que son electrones libres—, por lo que es relativamente fácil poder establecer corrientes eléctricas. A diferencia de esto, en los materiales llamados aislantes (o no conductores) la gran mayoría de los electrones están fuertemente unidos a los átomos, y en este caso es difícil producir flujos de electrones. La capacidad de los materiales para permitir flujo de cargas es llamada conductividad eléctrica. La plata y el cobre son los materiales que presentan la conductividad más alta y como el cobre es más económico es el que más se usa en la fabricación de conductores eléctricos. Por otra parte, entre los mejores aislantes están el hule y la madera. El hule es usualmente empleado para el aislamiento de conductores mientras que a la madera se le suele usar para la fabricación de postes en las líneas de distribución.

Lo contrario a la conductividad es la oposición al flujo de la corriente, la **resistencia eléctrica**. La resistencia eléctrica de un material depende de su valor de conductividad, de su grosor y de su longitud. Por ejemplo, un alambre con alta resistencia es uno fabricado con un material de baja conductividad, por ejemplo tungsteno, delgado (de área de sección transversal pequeña) y de gran longitud.

La unidad de medida de la resistencia eléctrica es el ohm. El símbolo para el ohm es  $\Omega$ , que es la letra griega “omega”.

Ya anteriormente se comentó que mientras mayor sea el voltaje aplicado a los extremos de un material conductor, mayor es la corriente, y si la resistencia es alta entonces la corriente es pequeña. Estas dos relaciones se expresan como: la corriente es el voltaje dividido por la resistencia, o sea,  $I = V/R$ , donde  $I$

Conductividad de algunos materiales.

Material	Conductividad, $1/(\Omega\text{m})$
Plata	$62 \times 10^6$
Cobre	$59 \times 10^6$
Oro	$41 \times 10^6$
Aluminio	$36 \times 10^6$
Tungsteno	$19 \times 10^6$
Acero	$7 \times 10^6$
Mercurio	$1 \times 10^6$
Carbón (grafito)	$0.3 \times 10^6$
Magnetita	$2.5 \times 10^4$
Suelo (tierra)	1
Agua potable	$5.0 \times 10^{-3}$
Silicio	$1.6 \times 10^{-3}$
Hule	$10^{-14}$
Madera	$5 \times 10^{-15}$
Aire	$10^{-15}$

es la corriente,  $V$  el voltaje y  $R$  la resistencia. Esta expresión es conocida como la ley de Ohm. Una manera fácil de recordar esta fórmula es memorizando Victoria es igual a Reina de Inglaterra.

En el caso de una liga, una analogía del concepto de resistencia eléctrica es como sigue: cuando estiramos una liga con el propósito de lanzar una ficha, si la ficha no es libre de moverse porque tiene fricción con alguna otra parte, entonces se dice que existe resistencia al movimiento de la ficha. Dicha fricción produce calentamiento de las superficies. Entonces, la energía almacenada en la liga no se transfiere completamente a la ficha sino que una parte se gasta en producir calor y en este caso la ficha no llegará tan lejos como cuando no hay fricción.

En electricidad, el problema del calentamiento también existe. Por ejemplo, como ya fue mencionado en el apartado de la Potencia Eléctrica, un flujo de cargas produce

calentamiento en un material debido a las colisiones que éstas tienen con los átomos del material. Entonces, corrientes eléctricas grandes implican pérdidas de energía por calentamiento grandes, ya que entre mayor sea el número de electrones que forma un flujo, mayor es el número de colisiones. Así, para lograr tener la menor cantidad de pérdidas por calentamiento, cuando se transmite cierta potencia de un punto situado a cientos de kilómetros con respecto a otro, es recomendable que la resistencia de los conductores y la corriente eléctrica sean relativamente bajas. El primer caso se descarta ya que una resistencia baja implica el uso de conductores muy gruesos y por lo tanto costosos. Sin embargo, como una corriente baja sólo implica tener un voltaje alto, esto no representa un problema significativo. Recuerda que la potencia es igual a la corriente multiplicada por el voltaje. Así, si se requiere mandar 1270 W por un conductor, esto puede lograrse de varias formas, por ejemplo aplicando 127 V con una corriente de

10 A o aplicando un voltaje de 1270 V con una corriente de 1 A. En este último caso, debido a que la corriente es relativamente pequeña se tendrían menos pérdidas por resistencia (y menos calentamiento). Esta solución se aplica en las líneas de transmisión de alta tensión, las cuales transmiten energía eléctrica desde los generadores eléctricos (plantas eléctricas) hasta los diferentes lugares: hogares, fábricas, oficinas, estadios, etc.

México cuenta con plantas eléctricas que llegan a generar millones de watts. Estas plantas generalmente se encuentran en lugares lejanos de las ciudades. Las plantas producen la energía eléctrica a un voltaje de 13800 V. Luego, utilizando transformadores, el voltaje es elevado y transmitido a través de cables a valores de 115000 V, 230000 V y 400000 V. Cerca de las ciudades el voltaje (o tensión eléctrica) se baja a unos 13200 V, para finalmente ser entregado a los hogares y a las fábricas a valores de 127 V, 220 V y 440 V. El valor de 127 V es el que más se usa en los hogares.

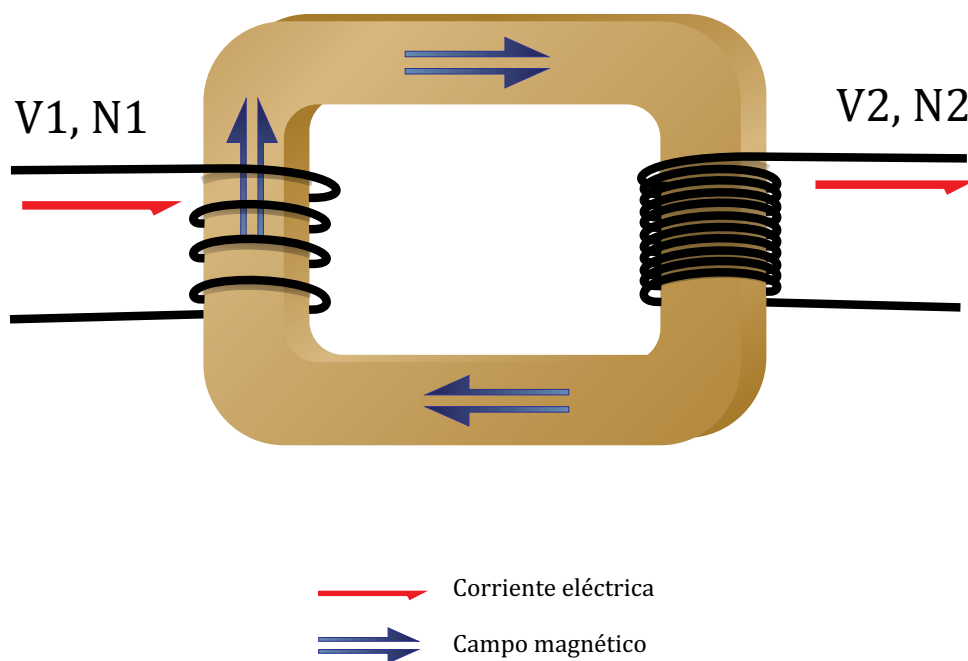


Línea de transmisión eléctrica de 230 kV.

# Transformador eléctrico

Los cambios de voltaje en las líneas de distribución se logran mediante el uso de transformadores. Un transformador eléctrico es un dispositivo que funciona con base en las leyes de Faraday y de Ampère. Un transformador consta de un núcleo de hierro con dos rollos de alambre (con  $N_1$  y  $N_2$  vueltas). La corriente en el rollo 1 provoca un campo magnético que viaja por el núcleo (flechas azules) –ley de Ampère–. Este efecto magnético a su vez causa una corriente eléctrica sobre el rollo de alambre 2 –ley de Faraday–. El voltaje en los terminales

del rollo 2 es  $V_2 = V_1(N_2/N_1)$ . Por lo tanto, variando la relación de vueltas de alambre de los rollos 1 y 2 se puede variar el voltaje  $V_2$ . Si el voltaje  $V_1$  es del tipo directo –por ejemplo el que proporciona una pila– entonces el flujo magnético establecido dentro del núcleo de hierro no cambia en el tiempo y, de acuerdo con la ley de Faraday, ello no inducirá un voltaje sobre  $V_2$ . Para que ello ocurra, el flujo magnético debe variar en el tiempo y esto se puede lograr si  $V_1$  es del tipo alterno.



Un transformador con un núcleo rectangular de hierro y dos rollos de alambre (devanados). Los alambres están cubiertos por un aislante eléctrico, por ejemplo hule; así que la corriente en el devanado  $N_1$  no se transfiere por conducción hacia  $N_2$ . La transferencia de energía entre los dos devanados se debe a la existencia de un campo magnético creado por  $N_1$ , el cual acopla a ambos devanados.

# Resumen de conceptos básicos

**Carga eléctrica.** Es ese “algo” que tienen los objetos de tal forma que producen fuerzas de atracción y repulsión sobre otros objetos. La carga eléctrica en un conductor está relacionada con el electrón. La carga eléctrica se mide en coulombs (C).

**Corriente eléctrica.** Es un flujo de partículas cargadas. Su valor o magnitud se determina como el número de cargas eléctricas que atraviesan un área de sección transversal cada segundo, y su unidad es el ampere (A).

**Energía potencial eléctrica.** Para poner cargas eléctricas en un lugar es necesario aplicar fuerza o trabajo sobre ellas. Ese trabajo se almacena en las cargas en forma de energía potencial. La energía se mide en joules (J).

**Voltaje.** El voltaje de un punto en el espacio es directamente proporcional al número de cargas eléctricas presente en ese punto. Para acumular cargas en un punto es necesario traerlas desde otro lado, es decir, se debe aplicar cierta cantidad de trabajo sobre ellas. Ese trabajo se acumula en las cargas como energía potencial eléctrica. Entonces, mientras mayor sea la cantidad de cargas acumuladas en un punto, mayor será la energía potencial de ese punto. Como el voltaje es directamente proporcional a la carga eléctrica, entonces el voltaje también es directamente proporcional a la energía potencial. Así, al voltaje se le puede relacionar con la capacidad para realizar trabajo, por ejemplo, encender un foco o hacer girar un motor. En un circuito cerrado, el voltaje es lo que causa el movimiento de las

cargas (corriente eléctrica o amperaje). Otros nombres para el voltaje son fuerza electromotriz, diferencia de potencial eléctrico y tensión eléctrica. La unidad para el voltaje es el volt (V), siendo 1 V igual a 1 J dividido por 1 C, es decir,  $V=J/C$ . Un equivalente en mecánica para el voltaje es la altura a la que se encuentra colocado un objeto: cuando la altura es grande, la energía potencial mecánica del objeto también es grande, o sea, si al objeto se le deja caer desde esa altura, la velocidad con la que puede golpear el suelo es grande y entonces puede realizar una gran cantidad de trabajo. Este mismo resultado se obtiene si el peso del objeto es grande; entonces, un equivalente mecánico de la carga eléctrica es el peso.

**Resistencia eléctrica.** Es la capacidad que presentan los materiales para oponerse al movimiento de las cargas eléctricas. La unidad para la resistencia es el ohm ( $\Omega$ ).

**Potencia eléctrica.** Es la rapidez con la cual se genera o se consume energía eléctrica. La potencia eléctrica es igual al producto entre corriente y voltaje. Mientras más grandes sean el voltaje y la corriente, mayor será la potencia eléctrica. Alternativamente, la potencia es igual a energía entre tiempo. La potencia se mide en watts (W),  $W=J/s$  o  $W=AV$ .

## Precaución con el uso de la electricidad

Se debe ser muy cuidadoso al manejar la electricidad, ya que corrientes de apenas unas cuantas milésimas de ampere pueden ocasionar severos daños a nuestro cuerpo. Voltajes menores que 25 V se puede decir que son relativamente seguros, aunque si se tiene una herida abierta o se está húmedo el nivel de riesgo aumenta drásticamente debido a que la resistencia eléctrica que ofrece la piel seca (de 1 a 2 millones de  $\Omega$ ) se reduce hasta sólo 500  $\Omega$ . En cualquier caso, las corrientes tolerables son de tan sólo unas cuantas milésimas de ampere (5 mA). Por ello, en cualquier circunstancia se debe evitar el contacto directo con los terminales de los contactos eléctricos de nuestras casas. Un contacto accidental con voltajes mayores que 2000 V o corrientes del orden de 70 mA, puede llegar a ser fatal.

Ahora bien, el uso de corrientes relativamente grandes por períodos de tiempo del orden de unos cuantos milisegundos, a través del cuerpo, puede resultar útil, por ejemplo en el desfibrilador. Este aparato es usado en técnicas de resucitación cuando se presentan problemas con el corazón, en cuyo caso se aplican voltajes directos del orden de 1000 V por tiempos cortos de aproximadamente 5 ms, con una energía típica de 200 J, lo cual produce corrientes en el rango de 30 a 40 A a través de la zona del corazón. El uso de estos pulsos de corrientes permite en muchos casos restablecer el funcionamiento normal del corazón. Por otro lado, la corriente eléctrica puede ser usada para un fin totalmente opuesto al anteriormente descrito, por ejemplo para causar la muerte a prisioneros condenados a muerte mediante la silla eléctrica, la cual es ocasionalmente usada en los Estados Unidos. En la silla eléctrica se aplican voltajes directos típicos de 2000 V y corrientes de 10 A por tiempos de 1.5 minutos.

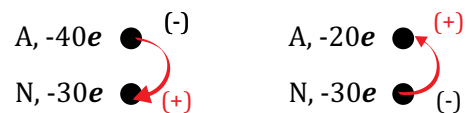


# Instalación eléctrica en nuestras casas

Como ya se mencionó previamente, a nuestras casas generalmente llegan 127 V de tipo alterno. ¿Por qué se usa voltaje alterno y no voltaje directo? Básicamente se debe a que con voltaje alterno se puede cambiar el nivel del voltaje usando transformadores –recuerda que con voltajes directos, los transformadores no funcionan–. Las plantas eléctricas generalmente se encuentran a cientos o miles de kilómetros de las ciudades. Esto significa que las pérdidas por calentamiento resistivo de los cables pueden ser muy altas si la corriente es alta. Sin embargo, para una cierta potencia generada, la corriente puede ser pequeña si el voltaje es grande (recuerda que la potencia=voltaje x corriente). Así, el voltaje puede ser tan alto como 400 kV, pero tener este valor de voltaje en nuestros hogares o fábricas resultaría sumamente peligroso. Entonces, la solución es elevar el voltaje al salir de las plantas eléctricas de 13.8 kV a 400 kV, luego bajarlo cuando se está cerca de las ciudades a 13.2 kV y volverlo a bajar al llevarlo a los hogares a 127 V.

Ya en las casas, los 127 V pueden usarse al conectar algún aparato eléctrico a cualquiera de los contactos instalados (o tomacorrientes). Cuando conectamos un aparato eléctrico se cierra el circuito eléctrico que viene del transformador más cercano. El contacto tiene generalmente dos o tres terminales. Los que proveen un mayor nivel de seguridad tienen tres terminales. La compañía de electricidad suministra dos alambres. Uno es el que tiene voltaje, conocido como el cable vivo, siempre envuelto por algún tipo de hule sintético no conductor (PVC por ejemplo), y otro alambre que permite el regreso fácil de la corriente, una vez que ya pasó por el aparato eléctrico. Este último cable es el neutro y se le conecta al suelo (o tierra) una vez

que llega al transformador más cercano (un valor típico para la conductividad del suelo es de  $1.0 (1/\Omega\text{m})$ , o sea que el suelo es relativamente muy buen conductor de electricidad). El neutro no tiene voltaje (ya sea en corriente directa o en alterna) y no es peligroso si se toca por accidente, ya que el voltaje entre él y nosotros es prácticamente cero. Aun así, debe procurarse no ser tocado ya que en algunas ocasiones los contactos se instalan incorrectamente, o sea, al revés.



Considera que si el punto A está sobre el cable vivo y el punto N sobre el cable neutro, cualquier punto del cable neutro tendría un voltaje igual al de N, pero un punto sobre el cable vivo tendría una carga entre  $10e$  y  $-10e$ , respecto a N, suponiendo que los valores máximos de carga estuvieran entre esos valores. Recuerda que el voltaje es proporcional a la cantidad de carga presente en un punto o región en el espacio. Entonces, en un mismo conductor, en unos puntos la corriente iría en un sentido, y en otros, en el sentido opuesto.

En el tomacorriente, o contacto eléctrico, el terminal plano y de mayor tamaño corresponde al neutro. El otro terminal plano es el cable vivo o con voltaje. El terminal del centro, que es semicircular, corresponde al cable de tierra. El cable de tierra va conectado a las carcasas metálicas de todos los aparatos eléctricos y a las partes metálicas de todos los componentes de la instalación eléctrica (gabinetes, cajas, tableros, ductos metálicos, etc.) La función del cable de tierra es conducir hacia el suelo cualquier corriente que pueda aparecer en las carcasas de los aparatos ya sea por alguna falla eléctrica (por ejemplo, porque algún cable del aparato hace contacto accidentalmente con la carcasa) o por acumulación de electricidad estática (por fricción). El cable de tierra está conectado directamente al suelo por medio de una varilla metálica muy larga que se sepulta en la tierra. Si hubiera voltaje en la carcasa de un aparato y ésta fuera tocada por una persona, una corriente pasaría a través de ella hacia el suelo, lo cual sería muy peligroso. Sin embargo, si existe el cable de tierra, dicha corriente pasaría directamente a través del cable hacia tierra en lugar de pasar por la persona, ya que el cable de tierra tiene mucho menos resistencia que una persona.

Es relativamente común que algunos aparatos eléctricos que usamos en nuestras casas, tales como lavadoras o tostadoras, nos den toques cuando los tocamos, incluso cuando están apagados. Esto se puede deber a dos causas: (1) existe un contacto entre un cable vivo del aparato y su carcasa o (2) la conexión eléctrica de los cables que le llegan al tomacorriente desde el interior de la pared se hizo incorrectamente (al revés).



Un apagador y un contacto eléctrico.

# Foco

La palabra foco proviene de la palabra latina *focus*, que significa fuego, y en tiempos antiguos se usaba para referirse al lugar donde se prendía la lumbre, ya fuera para cocinar o para calentarse.

Cuando se hace pasar una corriente alta a través de un pedazo de alambre que tiene una resistencia eléctrica alta es posible que se genere una gran cantidad de calor. El nivel de calor puede ser tan alto que haga que el alambre se ponga al rojo vivo y produzca luz visible. Precisamente este fenómeno es el principio del funcionamiento de un foco y se le conoce como incandescencia. El filamento del foco generalmente se fabrica de tungsteno y puede alcanzar temperaturas del orden de 2500 °C. El foco, como actualmente lo conocemos, fue desarrollado en 1906 por la compañía estadounidense General Electric.



Dos tipos de lámparas: una compacta fluorescente ahorradora de energía (CFL por sus siglas en inglés: *Compact Fluorescent Lamp*) y un foco incandescente.

- 1 Bulbo de vidrio
- 2 Alambre de cobre, se conecta con el contacto lateral (rosca)
- 3 Alambre de cobre, se conecta con el contacto inferior
- 4 Parte negra aislante
- 5 Contacto inferior
- 6 Contacto lateral (rosca)
- 7 Filamento de tungsteno (alambre enrollado)



Es muy probable que el filamento de tungsteno sea el objeto de mayor temperatura que tengamos en nuestros hogares. Como referencia, la temperatura de la superficie del Sol es de 5500 °C.

La potencia típica de los focos va de 25 W a 150 W. Los de 150 W son los más luminosos porque permiten el paso de una mayor corriente.

Uno se podría preguntar por qué los alambres de cobre que conectan al filamento de tungsteno no se ponen al rojo vivo también, siendo que la corriente que pasa por ellos es la misma que pasa por el alambre de tungsteno. La respuesta es que la conductividad y el grosor del alambre de cobre es mayor, por lo tanto se calienta menos.

Los focos incandescentes, además de producir luz, producen mucho calor, por ello son muy ineficientes. En un foco de 100 W, sólo el 2.6% de la energía eléctrica que recibe se convierte en luz visible. Esta eficiencia es aún más baja para un foco de 40 W, la cual es de 1.8%. En los últimos años se ha aplicado la política de reemplazar los focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas. Estas lámparas pueden alcanzar eficiencias hasta del

10%, en particular las que vienen en forma de hélice o con varios tubos ;que fueron inventadas en 1976! De esta forma, una lámpara fluorescente de 25 W produce la misma luz visible que un foco de 100 W, o sea, consume un 75% menos energía que una incandescente. En los próximos años, las lámparas a base de LEDs (por sus siglas en inglés: *Light-Emitting Diodes*, diodos emisores de luz) serán las que prevalecerán, debido a que se espera que presenten aún mayores eficiencias; hasta el año 2012, han alcanzado una eficiencia del 30% en pruebas de laboratorio. Un LED es un dispositivo hecho de un material semiconductor cuya resistencia eléctrica está entre la de un conductor y la de un no conductor, y que al hacerle pasar una corriente eléctrica relativamente pequeña (de 5 a 20 mA) produce luz visible. Las lámparas LEDs que se encuentran actualmente en el mercado son apenas un 15% más eficiente que las compactas fluorescentes pero son mucho más caras. Sin duda, en cuanto al precio, los focos incandescentes son los más baratos de todos. Sin embargo, el tiempo de vida de un foco es de menos de 3000 h, el de una lámpara compacta fluorescente (conocida como “ahorradora”) es menor que 6000 h y el de una lámpara de LEDs es de al menos 30000 h.

# Descarga eléctrica

Si se carga continuamente un objeto, ya sea por fricción, mediante una pila o mediante un generador eléctrico, se llega a un punto en el cual las cargas tienden a salirse del objeto debido a la repulsión entre ellas. Esto causa que aparezcan pequeñas chispas alrededor del objeto. Si colocamos un segundo objeto conductor cerca del objeto cargado es posible que los

electrones en el objeto cargado alcancen a saltar al segundo objeto y, en tal caso, se produce una descarga eléctrica. Por ejemplo, empiezan a ocurrir descargas eléctricas cuando hay un voltaje de 3000 V entre dos objetos que están a una distancia menor que 1 mm en un ambiente con poca humedad.

# Rayos

Sin lugar a dudas, uno de los fenómenos más espectaculares en la naturaleza es el rayo. Los rayos son gigantescas descargas eléctricas que generalmente se originan entre las nubes y el suelo. Se estima que en un día ocurren alrededor de 5 millones de rayos en todo el mundo. Los rayos no siempre ocurren cuando hay nubes o lluvia. Para que existan rayos deben cumplirse algunas condiciones. Se considera que cuando las nubes contienen pequeños cristales de hielo y de granizo entran en contacto entre sí; al separarse los unos de los otros, los cristales quedan con carga positiva y los pequeños granizos con carga negativa. Las corrientes de aire tienden a llevar a los cristales hasta la parte superior de la nube -por ejemplo a unos 9 km del suelo- y los granizos, por su parte, se establecen en la parte baja (a una altura de aproximadamente 5 km). Cuando la carga en la parte más baja de la nube es lo suficientemente grande, la repulsión entre las cargas es tan grande que trata de forzar las cargas para que

fluyan hacia algún lado. Entonces, pueden pasar cualquiera de cinco cosas: (1) que la carga de la nube sea atraída hacia el suelo por una carga inducida de igual tamaño (rayo de nube al suelo, muy común), (2) que la carga de la nube atraiga hacia la nube las cargas inducidas del suelo (rayo del suelo a la nube, muy raro), (3) que haya transferencia de carga eléctrica entre las partes alta y baja de la nube (rayo intranube, lo más común), (4) que haya una corriente eléctrica entre nubes vecinas (rayo internubes, común), o (5) que haya una descarga eléctrica entre la nube y el aire (poco común). Ocasionalmente, también puede haber descargas eléctricas que parten de la parte positiva de la nube (la parte más alta) hacia el suelo; estos rayos tienen una probabilidad del 10%, tomando en cuenta todos los rayos que van de la nube al suelo. Estos rayos son los más largos de todos ya que tienen que ir desde la parte más alta de la nube hasta el suelo, y por lo tanto pueden llegar a tener un largo de hasta 14 km.

Los caminos que las corrientes eléctricas (rayos) siguen son líneas en zigzag (se estima que sus grosores no son mayores que unos cuantos cm) y comúnmente tienen muchos caminos secundarios llamados ramificaciones.

¿Cómo saber si un rayo va de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba? Si el rayo va de arriba hacia abajo, las diversas ramificaciones del rayo ocurren cerca del suelo; en el otro caso (el cual es muchísimo más raro) se ven cerca de la nube.

La cantidad de corriente que puede haber en un rayo es de alrededor de 30000 A, lo cual genera temperaturas de poco más de 20000 °C

en puntos localizados a lo largo de la trayectoria de propagación. Esta temperatura es suficiente como para causar un cambio intempestivo en la densidad del aire, y generar así el gran ruido característico que siempre acompaña a un rayo (el bien conocido trueno). El resplandor de luz, originado también por dicho calentamiento del aire, es lo que se conoce como relámpago. Cuando un rayo cae sobre arena, ésta se funde y da lugar a estructuras de vidrio –conocidas como fulguritas- cuyos diámetros típicos son de 2 cm a 3 cm y con longitudes típicas de 50 cm. Para que la arena se funda se requieren muy altas temperaturas, por arriba de los 1500 °C.



Diferentes tipos de rayos.

Un rayo puede tener una duración de aproximadamente 60 millonésimas de segundo ( $60 \times 10^{-6}$  s o 60  $\mu$ s o 60 microsegundos) con un voltaje de 333 millones de V (o 333 megavolts o 333 MV o  $333 \times 10^6$  V). Por lo tanto, la potencia promedio de ese rayo es de aproximadamente  $(30000 \text{ A}) \times (333000000 \text{ V}) =$  un 1 segundo por 13 ceros de W, o sea 10 TW (10 terawatts o  $10 \times 10^{12}$  W). La energía promedio (igual a potencia multiplicada por tiempo) es entonces de  $(10 \times 10^{12} \text{ W})(60 \times 10^{-6} \text{ s}) = 600$  millones de joules o 600 MJ. Ahora bien, es usual que un rayo conste de 4 rayos sucesivos que ocurren en aproximadamente un cuarto de segundo (0.25 s). Por lo tanto, la energía total de un rayo es de alrededor de  $4 \times 600 \text{ MJ} = 2400 \text{ MJ} = 2.4$  gigajoules ( $2.4 \times 10^9$  J o 2.4 GJ). Esta energía es suficiente como para encender 1000 focos de 100 W durante alrededor de 6.6 horas. Este tiempo se calcula así: como potencia=energía/tiempo, entonces tiempo= energía/potencia=  $2.4 \times 10^9 \text{ J} / (1000 \times 100 \text{ W}) = 24000$  segundos, lo cual equivale a 6.6 h. Muchos de los datos anteriores aún no han sido satisfactoriamente

determinados y mucha investigación al respecto todavía se está llevando a cabo. Sin embargo, estos datos nos proporcionan una buena idea de la cantidad de energía que puede llegar a tener un rayo.

Para evitar que los rayos caigan en los edificios se colocan pararrayos en las partes más altas. Los pararrayos son varillas metálicas hechas de un material buen conductor, generalmente cobre, de tal forma que puedan proveer un camino de baja resistencia al rayo y que pueda así conducirse fácilmente hasta el suelo. Si un rayo cae directamente sobre alguna estructura, puede causar un inmenso daño por calentamiento excesivo.

Asimismo, durante una tormenta eléctrica es recomendable no hacer llamadas por teléfonos de alambre y no bañarse si la casa tiene la tubería del agua hecha de algún metal. Esto se debe a que si la influencia de un rayo alcanza la línea del teléfono o la tubería metálica, parte de la descarga puede viajar hasta la persona. No son comunes este tipo de accidentes, pero sí ocurren.

Parte III

**EXPERIMENTOS**





# Experimento 1

## Cargas eléctricas

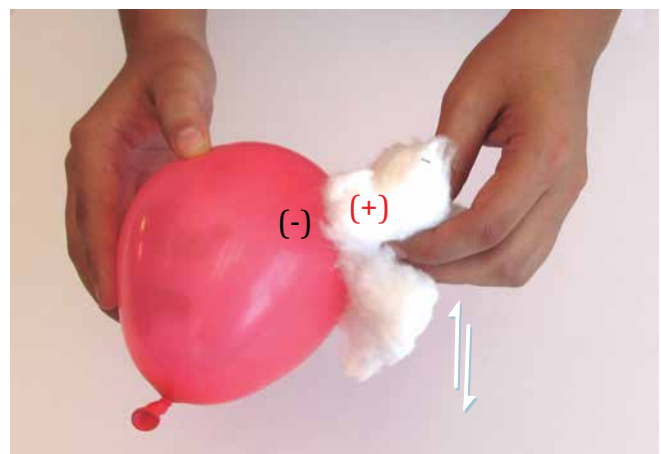
### Materiales:

Globo de hule (pequeño), pedazo de piel, papel aluminio, trozo de algodón, pelotitas de unicel (tamaño 00), regla de plástico, cinta adhesiva, hilo, vaso desechable y cono de papel (de los que se usan para tomar agua).

### PARTE A

## Acumulación de cargas eléctricas por fricción y por inducción eléctrica

1. Infla el globo y frótalo con el algodón por lo menos 30 segundos. El área de fricción debe ser de unos 3 cm x 3 cm. La fricción hace que el globo le arranque electrones al algodón, por lo que el globo se carga negativamente mientras en el trozo de algodón predomina la carga positiva por haber perdido electrones. Se dice que **el globo y el algodón se cargaron eléctricamente**.

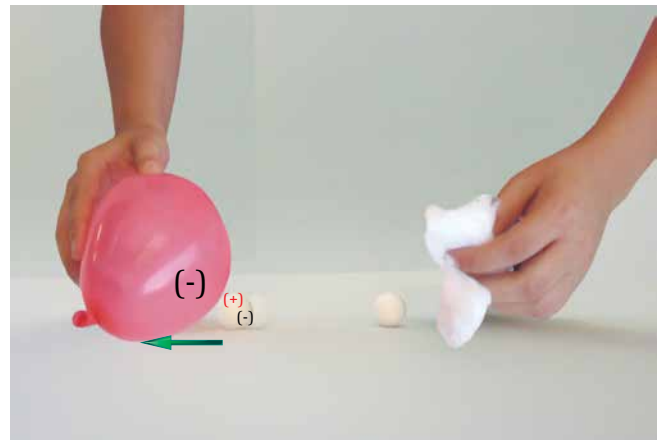


Carga eléctricamente objetos por frotamiento.

2. Una vez que el globo y el algodón son cargados eléctricamente, acerca la parte del globo que fue frotada previamente hacia una pelotita de unicel, que se considera eléctricamente neutra, es decir, cada una de sus cargas negativas está equilibrada con la correspondiente positiva. Observa lo que pasa. Ahora acerca la parte del algodón que fue frotada a la misma pelotita de unicel. **En el primer caso la pelotita es atraída hacia el globo** y, en cambio, **cuando el algodón se acerca a la pelotita no se nota efecto alguno**. La atracción que se da entre la pelotita (sin carga eléctrica) y el globo se debe a que la carga negativa del globo interactúa con las cargas negativas y positivas de la pelotita y las redistribuye ligeramente, dando como efecto final la aparición de una carga positiva cerca al globo y una carga negativa alejada del mismo. Estos cúmulos de cargas en la pelotita son **cargas inducidas** y la distancia a la que se encuentra cada cúmulo del globo interviene mucho en el efecto observado. A mayor distancia entre cargas el efecto es menor y viceversa. El cúmulo de cargas positivas en la pelotita se encuentra muy cercano a las cargas negativas del globo, por lo que hay una fuerte atracción (cargas de signos opuestos) entre ellas. El cúmulo de cargas negativas en la pelotita se encuentra más alejado de las cargas negativas del globo, y existe una fuerza de repulsión (cargas del mismo signo) más débil que la anterior. El efecto

final que se da entre el objeto cargado y el objeto neutro es una fuerza atractiva entre ellos, ya que la atracción predomina sobre la repulsión. Nota que cuando la pelotita es atraída y hace contacto con el globo, ésta es repelida bruscamente por el globo. Esto le pasa porque al hacer contacto con el globo, éste le transfiere parte de su carga, y por lo tanto ambos quedan cargados negativamente, con su consecuente repulsión (cargas con el mismo signo se repelen).

¿El objeto cargado atrae (jala) al objeto neutro, o es al revés? Los dos se atraen mutuamente con la misma fuerza. Sin embargo, aun cuando la cantidad de carga es la misma en ambos objetos, el que se mueve más es el de menor peso, aparte de que el globo está sujeto con la mano mientras que la pelotita está relativamente libre.



Observa el efecto por acercar un material aislante (globo) y uno conductor (algodón) a las pelotitas de unicel.

En el caso del algodón, como es un material relativamente conductor, la carga positiva originada por el frotamiento se redistribuye o se **conduce** rápidamente por todo el material y cuando el algodón entra en contacto con las manos de una persona, inmediatamente electrones de la persona fluyen hacia el algodón y entonces el algodón regresa a su estado original de neutralidad eléctrica sin provocar inducción sobre la pelotita, por lo cual tampoco existe fuerza alguna entre esta última y el algodón. En este caso se dice que el algodón fue puesto a tierra.

La capacidad de conducción de cargas eléctricas por parte del algodón explica el porqué de que al usar ropa de algodón casi no se generen las molestas chispas (pequeñas descargas eléctricas o flujos de cargas eléctricas) causadas por el contacto del algodón con la piel (la piel generalmente se carga positivamente). El caso contrario pasa con la ropa de poliéster, que se carga fácilmente

(en forma negativa) al roce con la piel; y ya que el poliéster es un **no conductor o aislante**, casi no conduce esas cargas a través de la piel de la persona y por lo tanto se acumulan hasta que saltan hacia la piel en forma de chispas. Los zapatos con suelas de hule se cargan negativamente y son muy malos conductores, por lo tanto mientras caminamos acumulamos tal cantidad de cargas que cuando tocamos algo metálico (por ejemplo, la perilla de la puerta) éstas saltan dando lugar a los muy molestos chispazos. Lo anterior se evita si la suela se fabrica de piel, la cual también es relativamente conductora y, por lo tanto, no tiende a almacenar cargas mientras caminamos conduciéndolas hacia el suelo. Un chispazo puede involucrar el movimiento de millones de electrones.

Como el agua es conductora, en climas húmedos es más difícil acumular cargas eléctricas y, por lo tanto, no se es tan proclive a los chispazos eléctricos. Cuando se carga un material, ya sea positiva o negativamente, se dice que éste adquiere un potencial eléctrico o voltaje con respecto a alguna referencia. Así, uno también puede decir que un chispazo ocurre porque se acumula mucho voltaje. En las descargas más pequeñas el voltaje es del orden de 1000 V, mientras que en las más grandes, por ejemplo el toque con una perilla, es de alrededor de 10000 V.

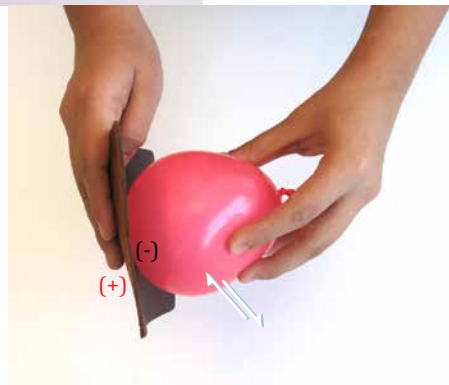
Cuando peinamos nuestro cabello con un objeto de plástico, el cabello puede quedar cargado y, por lo tanto, al quedar todos con carga positiva se repelen unos con otros, lo que da una apariencia de pelos parados. Esto se puede evitar con el uso de acondicionadores de pelo, los cuales contienen sustancias químicas que permiten atraer eléctricamente la humedad del aire. De esa forma, el cabello se vuelve ligeramente conductor y por ende las cargas no se acumulan. Esta misma propiedad es usada por la llamada “agua o lluvia sólida”, que está formada por un compuesto químico que atrae eléctricamente al agua, lo cual evita su evaporación y permite el almacenamiento de agua de manera más eficiente. Otro ejemplo de fuerzas eléctricas es el que se observa con el plástico de vinil: se pega casi a cualquier cosa ya que fácilmente se carga negativamente al contacto con otros materiales; su uso más frecuente es para envolver cosas.

3. Descarga el globo tocándolo con tus manos. Repite la parte anterior, pero frota el globo con tu cabello. Al acercar la parte frotada del globo a la pelotita de unicel, ésta **es atraída más fuertemente** que en el caso anterior, ya que la combinación cabello-globo transfiere más carga eléctrica y acumula más voltaje que en la de algodón-globo. El globo gana más electrones en este caso.

4. Repite lo mismo que en el punto anterior, pero con un pedazo de piel. No olvides descargar el globo antes de frotarlo con la piel. En esta última combinación globo-piel, la pelotita **es atraída hacia el globo aún con mayor fuerza**. Como en el caso del algodón, al acercar el pedazo de piel a la pelotita, ésta tampoco es atraída, lo que significa que el pedazo de piel,



Descarga del globo mediante nuestras manos.



Frota un globo con un pedazo de piel.

como ya se había comentado anteriormente, es relativamente conductor, o sea que su carga es casi instantáneamente conducida hacia las manos y el cuerpo de la persona que sostiene el pedazo de piel.

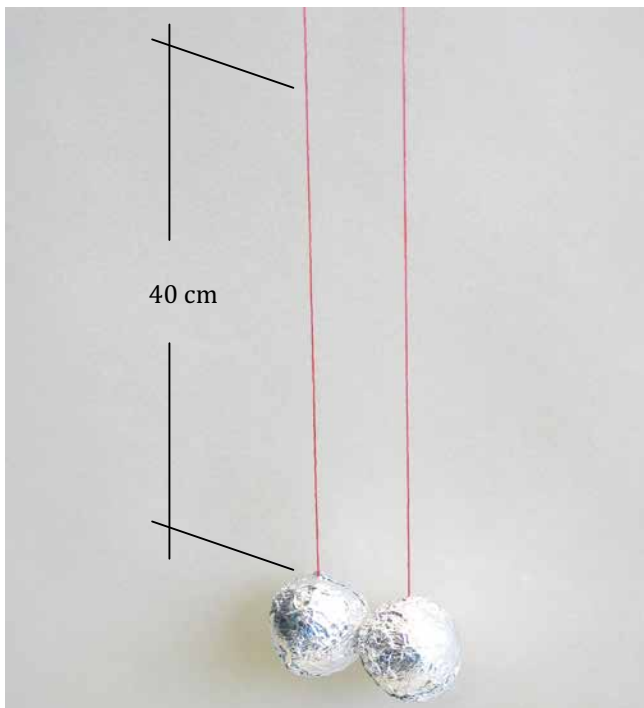
5. Nota que cuando frota el globo con tu cabello hay una fuerte atracción entre ellos, de tal forma que **el cabello se adhiere al globo**. El cabello se carga positivamente al ceder electrones y el globo negativamente al ganarlos.



Observa la fuerza de atracción entre cabello y globo.

## PARTE B

### Cargas con el mismo signo se repelen

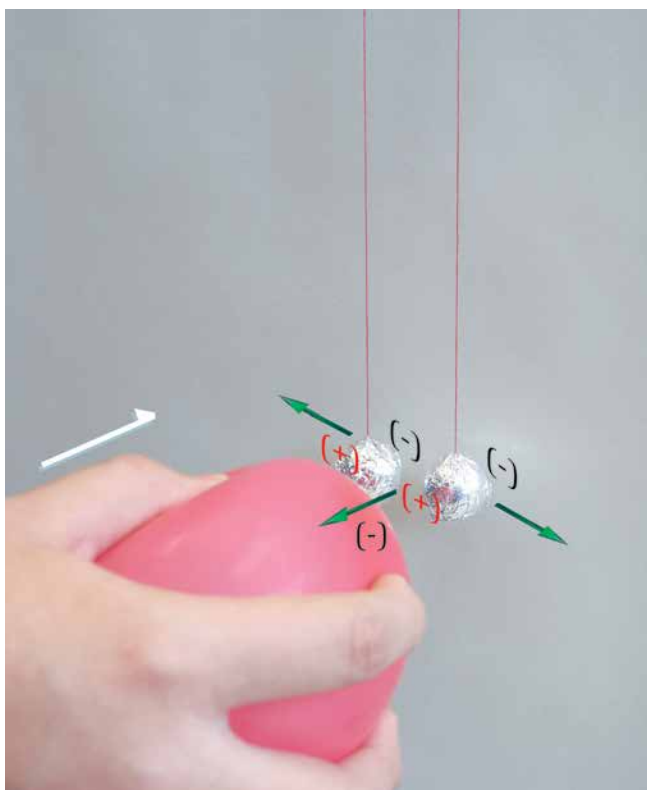


Forra pelotitas de unicel con material conductor (papel de aluminio) y cuélgalas haciendo contacto.

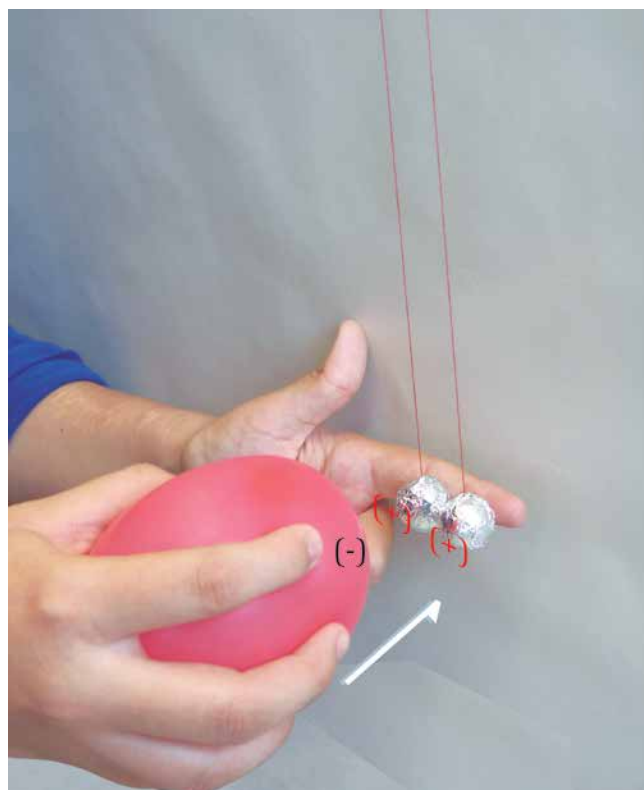
1. Forra dos pelotitas de unicel con papel aluminio. Pégalas un hilo con la cinta y cuélgalas de tal forma que se toquen. El largo del hilo debe ser de alrededor de 40 cm. El aluminio es un material conductor, es decir que si se le pone en contacto con un objeto cargado eléctricamente, el aluminio conducirá las cargas presentes en dicho objeto. Si una bolita tiene cierta carga, al ponerla en contacto con la otra, parte de la carga se conducirá hacia la otra y las dos quedarán con prácticamente la misma cantidad de carga.

2. Frota (carga eléctricamente) el globo con el pedazo de piel.

3. Acerca el globo hacia las pelotitas poco a poco, **de frente**. **El globo atrae a las pelotitas con la misma fuerza, y además se separan ligeramente entre ellas**. Evita que



Acerca el globo cargado frontalmente a las pelotitas.



Toca la parte posterior de las pelotitas con un dedo y acerca un globo cargado.

las pelotitas toquen el globo. Aleja el globo y las pelotitas vuelven a juntarse. La carga inducida por el globo sobre las pelotitas desaparece tan pronto se retira el globo. Entonces, **las cargas por inducción existen en cantidad significativa solamente si un objeto cargado está relativamente cerca a otro no cargado (neutro). Además, como la carga inducida en ambas pelotitas tiene el mismo signo, entonces las pelotitas se repelen entre sí.**

4. Repite la parte anterior, pero esta vez, cuando el globo se encuentra cerca de las pelotitas, toca las pelotitas con tus dedos por un instante, por la parte de atrás, y retira el globo. **Cuando el globo es retirado, las pelotitas se siguen repeliendo entre sí.** Esto implica que la carga inducida no desaparece como en el caso anterior. Esto se debe a que al tocar las pelotitas con nuestros dedos, la carga negativa inducida se conduce hacia nuestras manos, quedando solamente la carga inducida positiva. Así que al alejar el globo, no hay carga inducida negativa

que neutralice la carga positiva inducida, y por lo tanto, ambas pelotitas quedan cargadas positivamente, causando una fuerza de repulsión entre ellas.

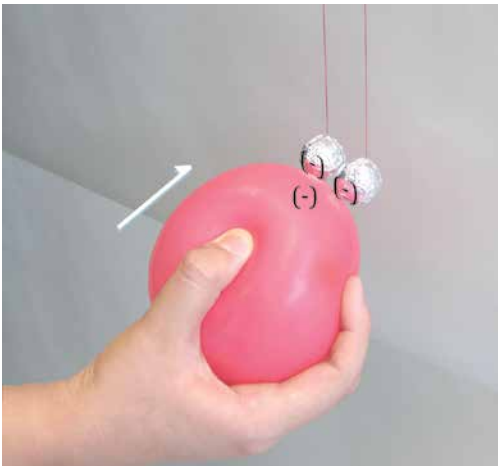
5. Ahora, acerca el globo y permite que haya contacto entre las pelotitas y el globo, y luego aleja el globo. Una vez que el globo se retira, las pelotitas se repelen entre sí. Las cargas negativas del globo fueron transmitidas por conducción (a través del papel aluminio) hacia las dos pelotitas. Aun cuando el globo se retire, la carga que fue pasada por conducción a las pelotitas (ya que estaban juntas) permanece en ellas. Por lo tanto, las pelotitas tienden a repelerse incluso cuando el globo ya no está cerca. **Conclusión: las cargas ganadas por fricción o por conducción permanecen en un objeto mientras a éste no se le ponga en contacto con algún otro objeto que sea conductor.** Por ejemplo, cuando al globo se le frota, gana cargas negativas. Estas cargas negativas permanecen prácticamente en el mismo lugar del globo, por

mucho tiempo, porque el globo es no conductor. Sin embargo, si al globo cargado lo tocamos con las manos, entonces las cargas ganadas por el globo son conducidas hacia el cuerpo de la persona y el globo se descarga y ya no puede atraer o repeler objetos. En tal caso, las cargas transferidas hacia la persona pueden a su vez ser conducidas hacia el suelo a través de la suela de nuestros zapatos, o pueden almacenarse en el cuerpo hasta que se toca algo metálico, por ejemplo la perilla de una puerta, con el consiguiente chispazo producido por el dedo y la perilla. El posible chispazo se produciría debido a que las cargas del mismo signo tienden a repelerse; es decir, las cargas acumuladas en el dedo tienden a repelerse o a fluir pero no lo pueden hacer porque no están cerca de un material que sea conductor. Tan pronto se acercan a un material conductor, por ejemplo una perilla metálica,

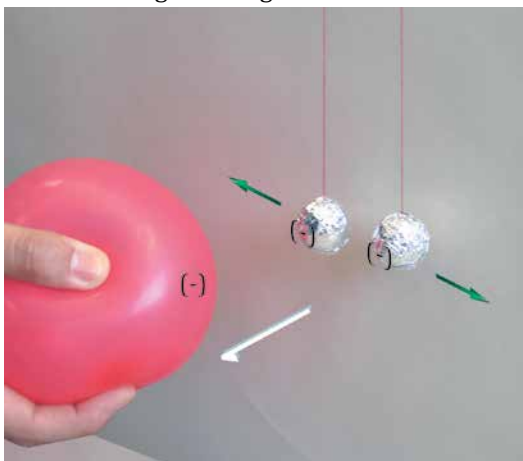
entonces las cargas fluyen casi instantáneamente hacia el conductor, produciendo un pequeño dolor en el dedo.

6. Descarga las pelotitas tocándolas con tus manos. Cuelga las pelotitas de tal forma que ahora no se toquen. Deja un espacio de 5 mm entre ellas. Con el globo frotado, acércalo hacia las pelotitas en forma lateral. **La pelotita más cercana al globo es atraída con mayor fuerza.** La inducción eléctrica depende de la distancia.

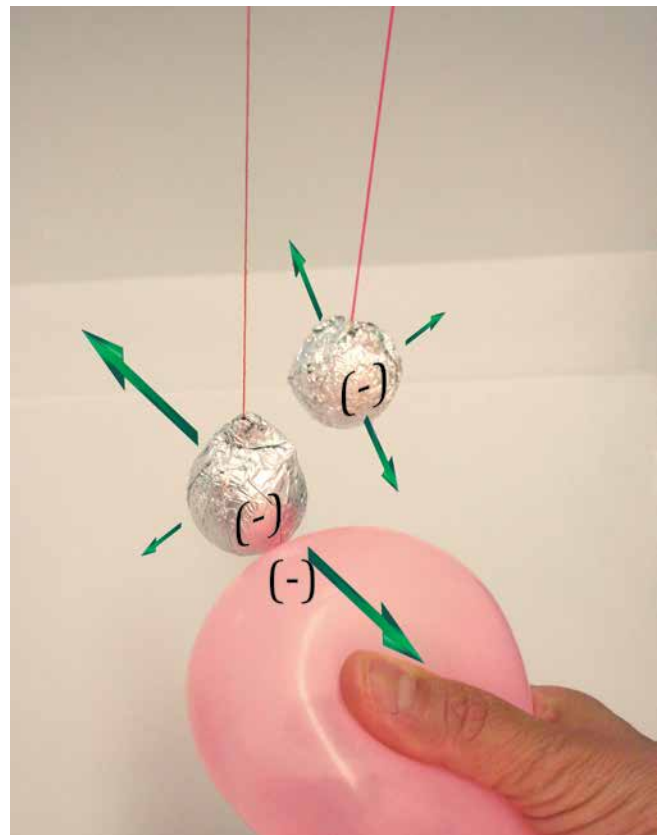
7. Cuelga las pelotitas de tal forma que se toquen entre sí. Carga el globo y toca las dos pelotitas. Las pelotitas se separan un poco por sí solas. Aleja el globo y desde una dirección de 45° acércalo poco a poco nuevamente. **La pelotita más cercana es repelida más intensamente. La fuerza eléctrica depende de la distancia.**



Toca las pelotitas con el globo cargado.



Aleja el globo y observa cómo las pelotitas se apartan una de otra.

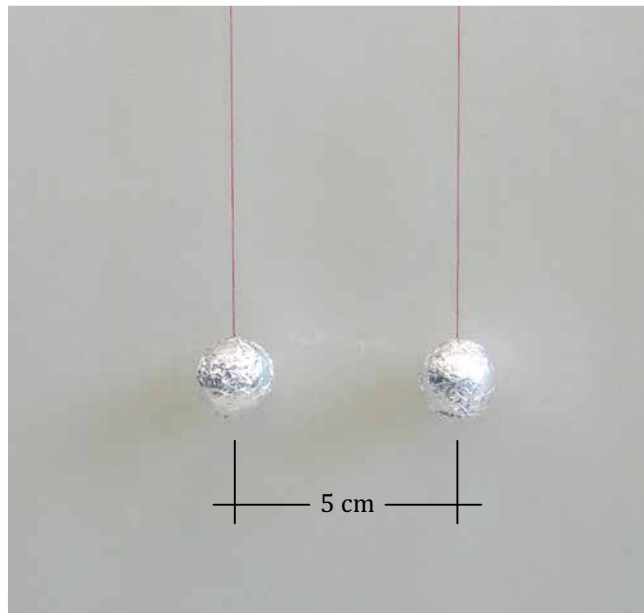


Acerca el globo cargado hacia las pelotitas en una dirección de 45° respecto a la línea imaginaria que une las pelotitas.

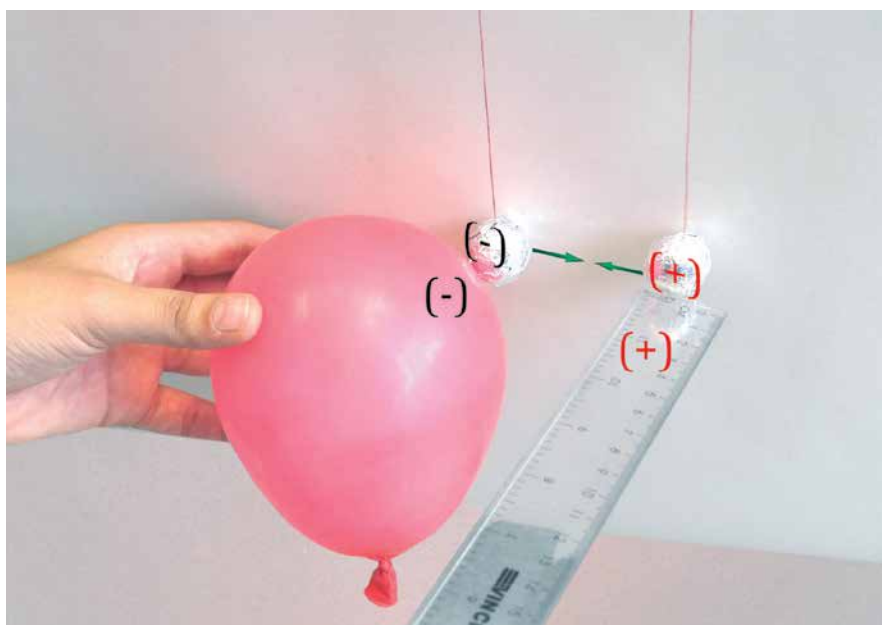
## PARTE C

### Cargas con signos contrarios se atraen

1. Cuelga las pelotitas de tal forma que estén separadas unos 5 cm entre sí. Frota la regla de plástico con un pedazo de algodón. La regla se carga positivamente. Toca una de las pelotitas con la regla hasta que se cargue bien, es decir, hasta que la misma regla pueda repeler a la pelotita. Carga el globo con el pedazo de piel (o con tu cabello); el globo quedará cargado negativamente. Toca la segunda pelotita con el globo. Ahora acerca una de las pelotitas a la otra lentamente, trata de evitar que las pelotitas se balanceen fuertemente y que se toquen. Cuando las pelotitas están a una distancia de 2 mm a 3 mm, **se atraen mutuamente y llegan a tocarse**. En ese momento ocurre conducción de cargas entre ellas y como la cantidad de cargas positivas y negativas son en general diferentes se produce una redistribución de ellas, quedando cargadas con la misma cantidad de cargas y con el mismo signo, y consecuentemente el efecto final es que se repelen entre sí.



Cuelga dos pelotitas de unicel separadas.

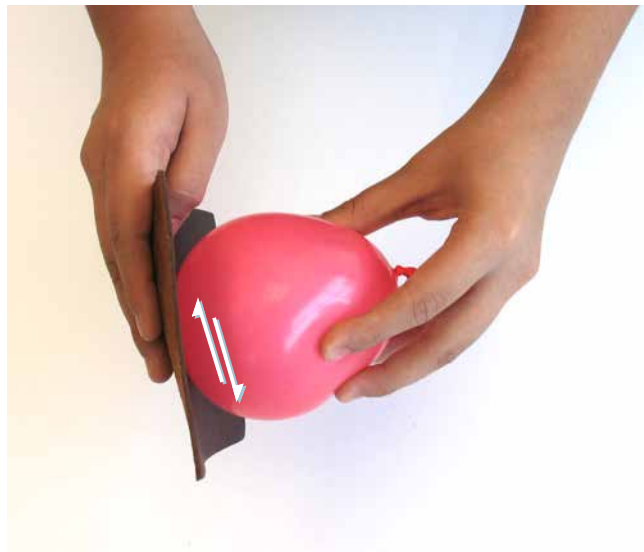


Observa la atracción de dos pelotitas con cargas opuestas.

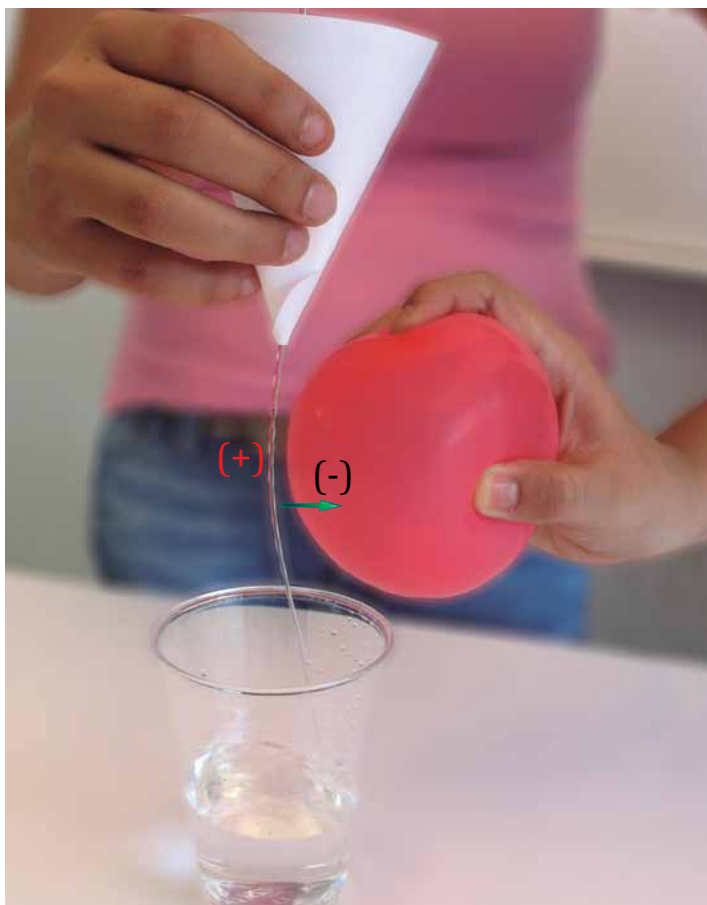
# PARTE D

## Atracción de un chorro de agua

1. Carga el globo con el pedazo de piel durante al menos 30 segundos. En la parte del vértice del cono de papel haz un pequeño agujero de 2 mm de diámetro. Llena el cono de agua y vierte el agua en el vaso. Acerca la parte frotada del globo al chorro de agua. El chorro de agua es atraído por el globo debido a la aparición de una carga inducida positiva en el agua. ¿Y qué le sucede a las cargas inducidas negativas, localizadas en el lado más lejano del chorro de agua? Como el agua es conductora, dichas cargas, al ser repelidas por las cargas del globo, tienden a irse hacia la parte superior del cono o hacia la parte inferior del chorro. Esto lo hacen en forma casi instantánea. De esta manera, el efecto de atracción es aún más efectivo.



Frota un globo con un pedazo de piel.

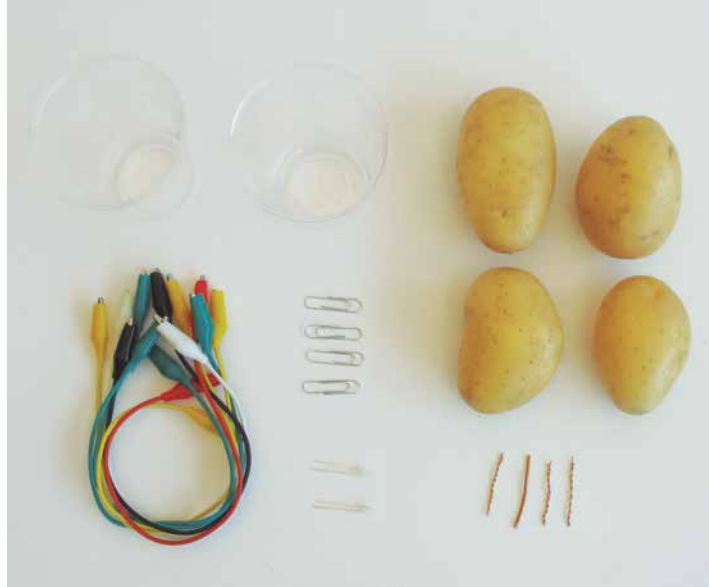


Acerca el globo cargado eléctricamente al chorro de agua y observa el efecto de atracción.



La atracción de objetos cargados eléctricamente se aplica en varias situaciones de la vida cotidiana. Un ejemplo son las impresoras de inyección de tinta. La tinta y el papel se cargan con signos contrarios de tal forma que el papel atraiga a la tinta sólo en los lugares del papel en los que fue cargado. Esos lugares son en realidad puntos muy pequeños, del tamaño de unos cuantos micrómetros. Otro ejemplo es la precipitación de contaminantes. Por las chimeneas de las fábricas pasan muchos polvos que si llegan a la atmósfera pueden ocasionar grandes problemas de contaminación. Para reducir ese problema, en las chimeneas se instalan aparatos que acumulan cargas, de uno y otro signo, separadamente, para atraer eléctricamente a los contaminantes, y de esta forma evitar que salgan al ambiente. Otra aplicación son los pegamentos, los cuales se pegan a las superficies básicamente por la aparición de fuerzas eléctricas. En la naturaleza también puedes ver varios efectos debidos a la acumulación de cargas. Uno de ellos son las descargas eléctricas que en ocasiones aparecen por arriba de los volcanes. Estas descargas eléctricas se originan cuando se pulveriza la roca (y forma la ceniza volcánica) y los fragmentos adquieren cargas eléctricas. Otro fenómeno natural que involucra grandes cantidades de acumulación de cargas eléctricas por supuesto que son los rayos o relámpagos, que ya fueron mencionados anteriormente. El fenómeno es parecido a lo que pasa cuando se produce un chispazo entre nuestra mano y una perilla, pero en proporciones gigantescas.

Una aplicación que se basa en la generación de descargas eléctricas es la soldadura, la cual crea un arco eléctrico (descarga eléctrica a través del aire) entre una varilla metálica de soldadura (electrodo) y las piezas a unir. El calor generado funde al mismo tiempo la varilla y las piezas, permitiendo la unión de estas últimas. Valores típicos de voltaje y corriente, para el arco eléctrico, son 40 V y 300 A. Nota que un voltaje de 40 V no es suficiente para iniciar una descarga a través del aire. Sin embargo, un voltaje alto no es necesario porque al iniciar el proceso de soldadura, la varilla se pone en contacto con la pieza e inmediatamente se produce una corriente. Una vez que la corriente es establecida, la varilla se separa un poco de la pieza y la corriente continúa fluyendo. El movimiento de los electrones es lo que causa el calentamiento de los componentes y por lo tanto su fusión



# Experimento 2

## Pila eléctrica

### Materiales:

4 papas, 4 clips de acero galvanizado, 4 alambres de cobre grueso no esmaltado (diámetro de al menos 2 mm y longitud 3 cm), 7 caimanes o alambres delgados de 10 cm de longitud, 2 LEDs que produzcan luz roja y 2 vasos desechables con agua.

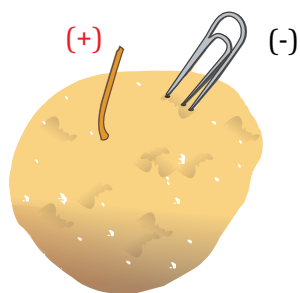
## PARTE A

### Una pila eléctrica de varias papas

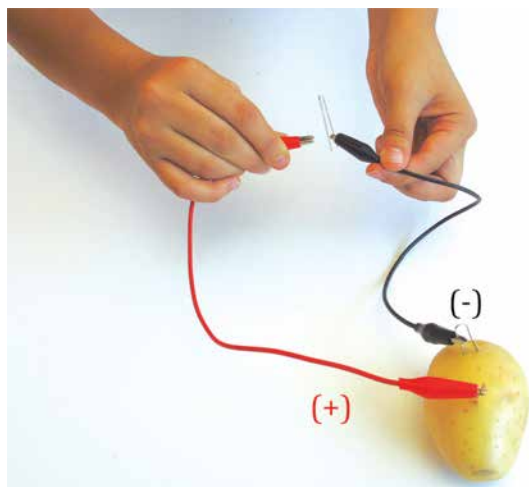
1. En una papa clava el clip y el alambre grueso de cobre. Con ayuda de los caimanes conecta un LED al clip y al alambre grueso de cobre. Conecta el caimán que viene del clip al terminal negativo del LED. Conecta el otro caimán que viene del alambre de cobre al otro terminal del LED. En el encapsulado del LED, visto desde sus terminales, podemos notar que hay un borde plano. La patita del LED cercana a este borde es el terminal negativo. Cada papa genera un voltaje entre 0.9 V y 1 V. Para lograr encender un LED se necesitan al menos 1.5 V. O sea, los LEDs no encienden con 1 papa (1 V), ya que  $1\text{ V} < 1.5\text{ V}$ . Así que para encender 1 LED, se requiere conectar al menos 2 papas en serie.



Vista de la base de un LED.



La papa, el clip y el alambre de cobre forman una pila. El terminal negativo corresponde al clip que contiene zinc y el positivo al alambre que contiene cobre. El electrolito es el ácido fosfórico contenido por la papa.



Conecta un LED a la papa.



Puedes medir el voltaje con un multímetro.

Nota: Los valores de voltaje y corriente fueron medidos mediante un aparato que mide corrientes y voltajes, conocido como multímetro. Para realizar tus experimentos no es necesario medir dichos valores.

2. Conecta una papa más (las dos papas se conectan en cadena o en serie: el positivo de una se conecta al negativo de la otra). Conecta el LED. **El LED enciende tenuemente.** Ahora el voltaje aplicado es de  $1+1 = 2\text{ V}$ , el cual es mayor que el mínimo necesario para encender un LED, es decir  $2\text{ V} > 1.5\text{ V}$ . La corriente es de  $0.05\text{ mA}$ .

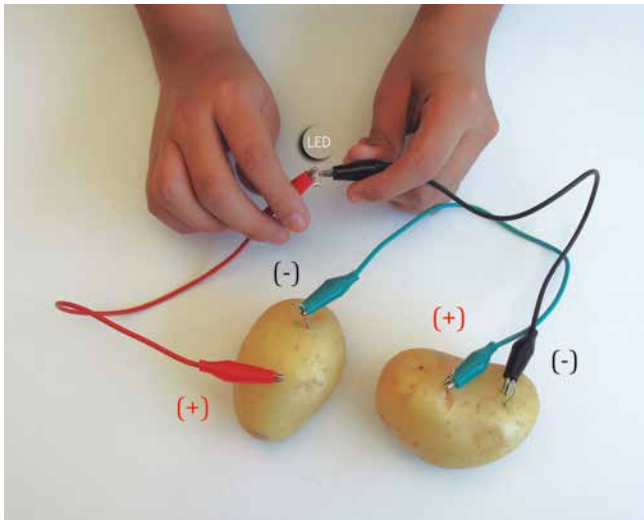
3. Con el arreglo anterior de 2 papas, conecta un segundo LED en serie con el primero. **Los LEDs no encienden.** Como cada LED necesita  $1.5\text{ V}$  para encender, entonces el voltaje que deben dar las papas para que enciendan los 2 LEDs es de  $1.5+1.5 = 3.0\text{ V}$ . Pero como el voltaje de las 2 papas sólo es de  $2\text{ V}$  entonces los LEDs no encienden.

4. Agrega otra papa en serie. Conecta un sólo LED. **Nota que el LED enciende mucho más** que con una sola papa. La cantidad de luz de un LED depende del voltaje aplicado y de la

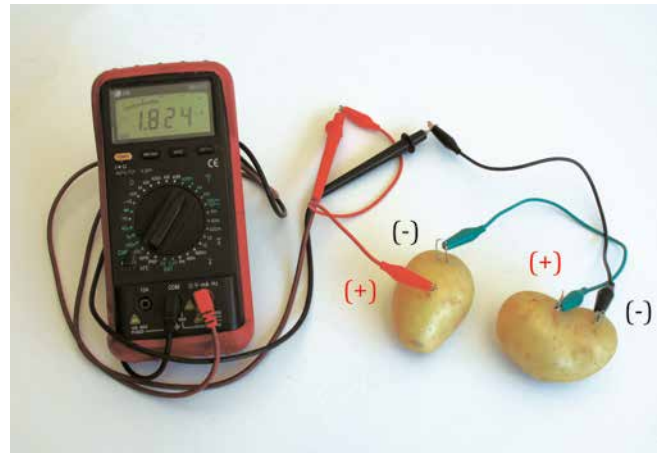
corriente. El valor medido para la corriente es  $0.13\text{ mA}$ .

5. Con las 3 papas conectadas en serie, conecta 2 LEDs en serie. Ahora **sí los 2 LEDs encienden pero muy tenuemente**, ya que el voltaje de las 3 papas es de  $3\text{ V}$ , el cual es apenas igual que los  $3\text{ V}$  demandados por los 2 LEDs. Si los 2 LEDs son idénticos, entonces deberían de encender con la misma intensidad. Puede ser que el voltaje de cada papa sea de  $0.9\text{ V}$ , en cuyo caso el voltaje total de las papas será sólo de  $0.9+0.9+0.9\text{ V} = 2.7\text{ V}$ , y en tal caso los LEDs no encenderán. Entonces, agrega otra papa como se señala en el siguiente punto.

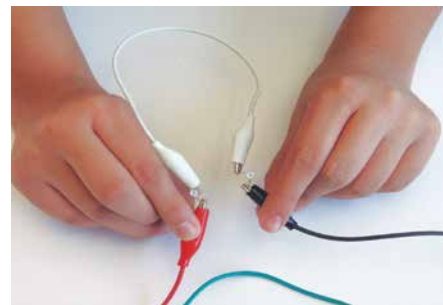
6. Agrega una cuarta papa. Conecta un sólo LED. **El LED ilumina con gran intensidad (la corriente es de  $0.15\text{ mA}$ ).** Conecta 2 LEDs en serie. Ahora **los 2 LEDs encienden con mayor intensidad (la corriente es de  $0.043\text{ mA}$ ).**



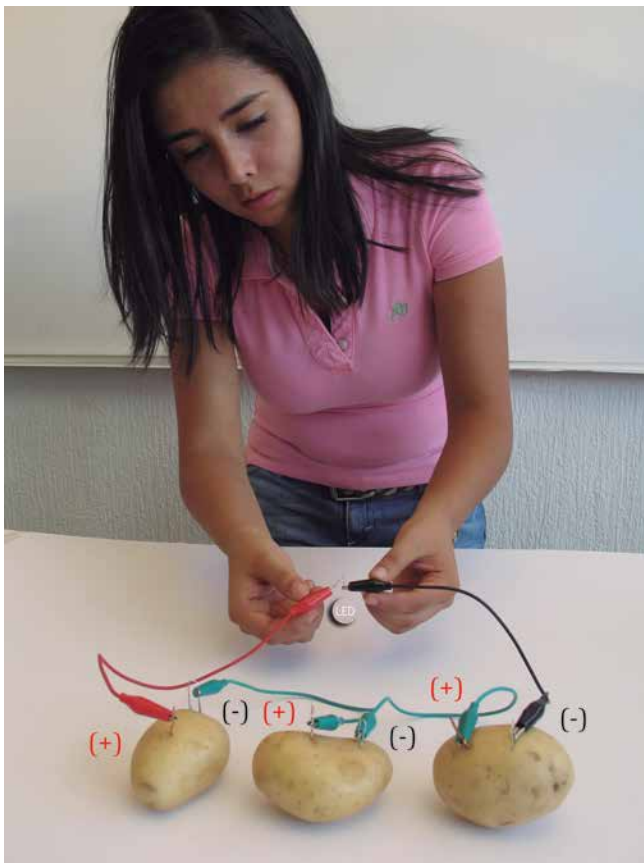
Conecta dos papas en serie.



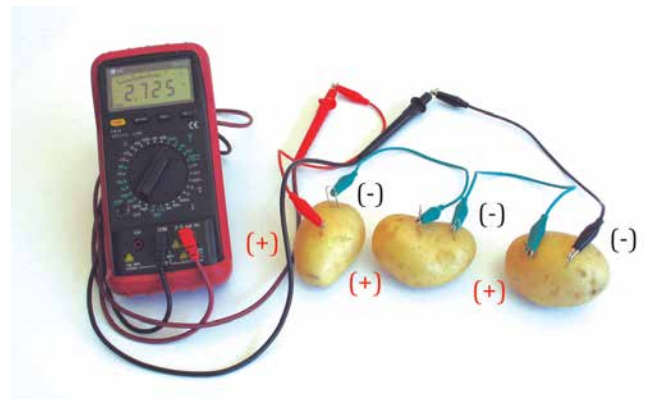
Observa el voltaje obtenido con dos papas.



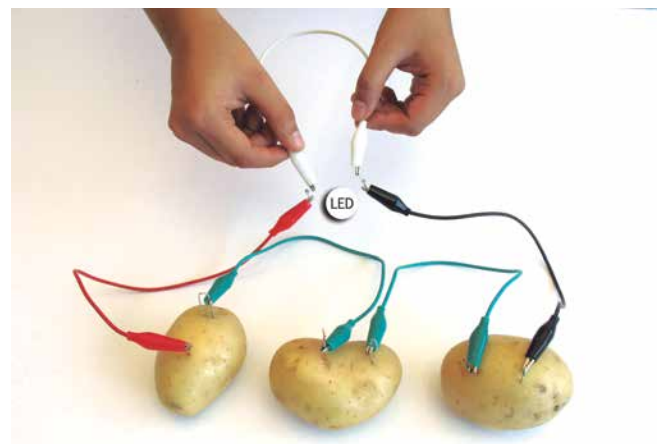
Conecta dos LEDs en serie.



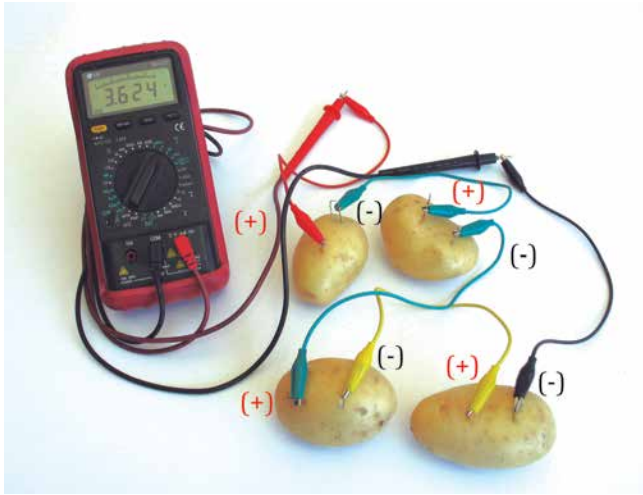
Conecta un LED a las tres papas conectadas en serie.



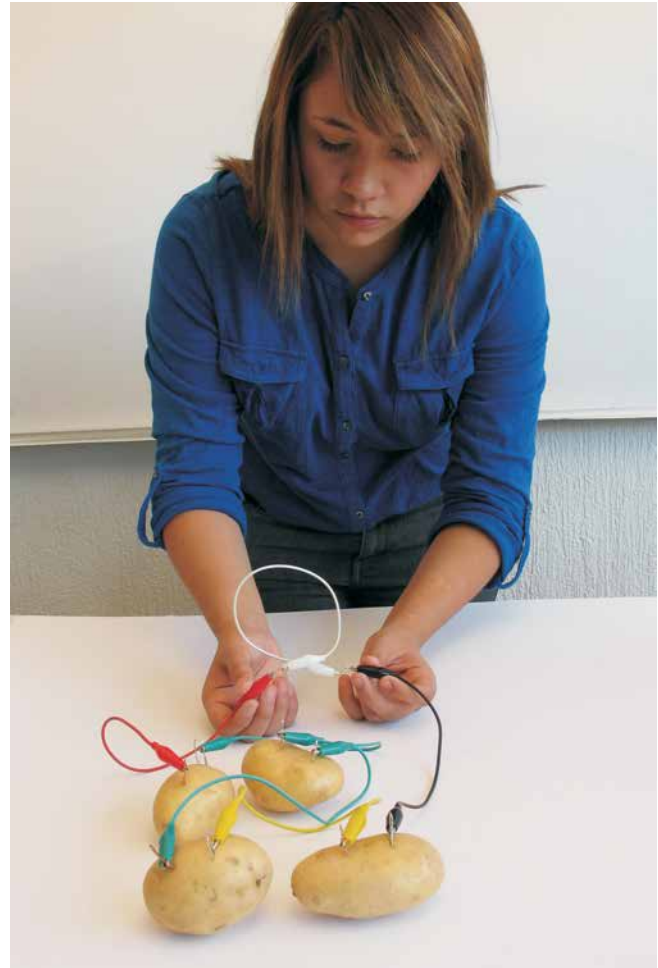
Observa el voltaje de tres papas conectadas en serie.



Conecta dos LEDs en serie a tres papas conectadas en serie.



Observa el voltaje de cuatro papas conectadas en serie.



Conecta dos LEDs en serie a cuatro papas conectadas en serie.

## PARTE B

### LEDs conectados en paralelo

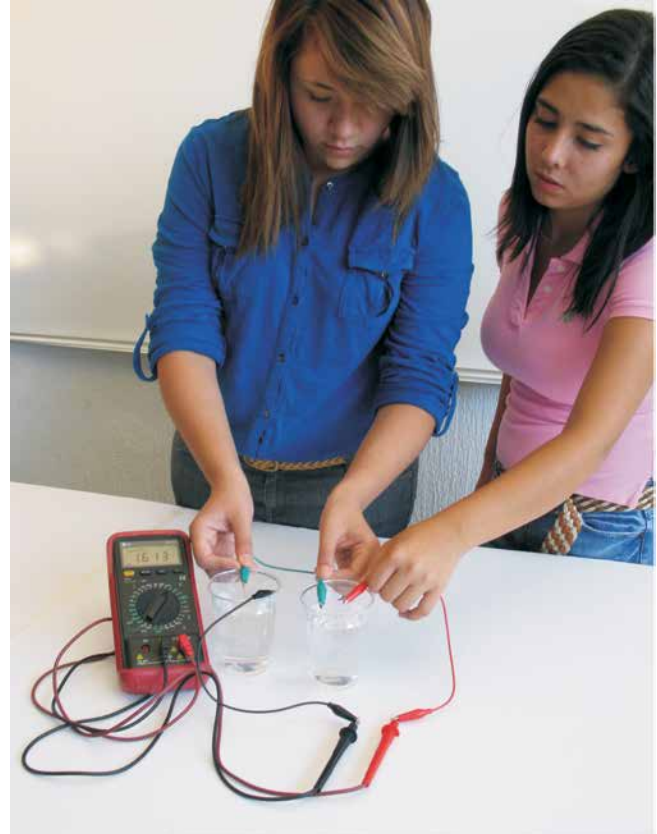
1. Con las 4 papas conectadas en serie, conecta 2 LEDs de forma que sus terminales negativos estén unidos y lo mismo sus terminales positivos (se dice que están conectados en paralelo). Nota que los **2 LEDs encienden con la misma intensidad (la corriente que pasa por cada LED es de 0.046 mA y la corriente total es de  $0.046+0.046=0.092$  mA)**. Sin embargo, la iluminación de cada uno es menor que cuando sólo estaba conectado uno de ellos y un poco

mayor que en el caso cuando estaban conectados en serie. En este caso, la corriente se divide en partes iguales y por lo tanto la intensidad disminuye a la mitad. La cantidad de luz que genera un LED depende de la corriente que fluye por él. El producto del voltaje por la corriente que consume un LED es la **potencia eléctrica** que recibe, la cual en gran parte es transformada en potencia luminosa y una pequeña parte en calor.

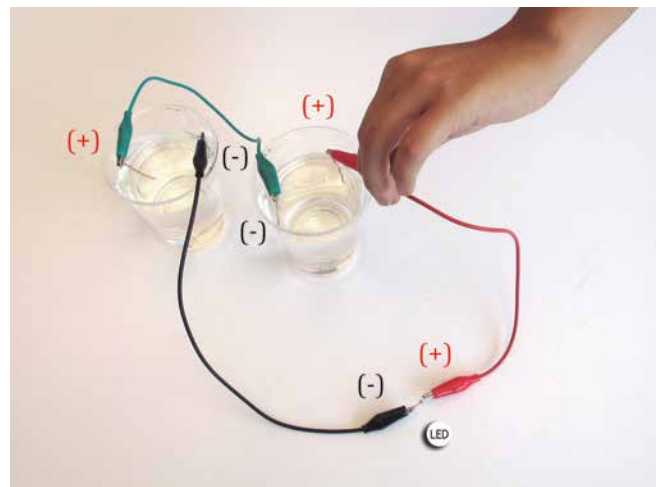
# PARTE C

## Una pila de agua

1. Conecta un LED a dos vasos de agua conectados en serie. Procura que los caimanes no toquen el agua. **El LED enciende con la misma intensidad que en el caso de la pila de 2 papas.** El voltaje que se genera es casi el mismo que el obtenido con 2 papas, es decir, de alrededor de 2 V. Esto significa que el voltaje no depende mucho del medio sino del material con el cual están hechos los electrodos (zinc y cobre, en todos los casos presentados). Sin embargo, no cualquier medio permite construir una pila; por ejemplo, si se usa agua destilada en lugar de agua potable, no se genera voltaje, ya que el agua destilada es químicamente pura, es decir, no contiene minerales que favorezcan la producción de iones. En la papa, el medio que permite que haya un voltaje entre los electrodos es el ácido fosfórico contenido en la papa. Al medio que permite la transferencia de cargas de un electrodo al otro se le conoce como electrólito. Si se usaran limones en lugar de papas, entonces el electrólito correspondería al ácido cítrico contenido en el limón. La energía que permite encender los LEDs no proviene propiamente de las papas o del agua sino de la reacción química que sucede entre los electrodos y el electrólito.



Mide el voltaje producido por una pila compuesta por dos vasos de agua con electrodos de zinc (clip) y cobre (pedazo de alambre). Sólo los electrodos deben estar sumergidos en agua.



Conecta un LED a la pila de agua.

En la vida diaria encontramos pilas hechas de diferentes combinaciones de materiales. Por ejemplo, las pilas de carbón, las de plomo, las alcalinas, y últimamente las de litio. Ya se están fabricando pilas recargables de iones de litio con suficiente voltaje como para impulsar a un automóvil. Como el litio es uno de los metales más ligeros que existen en la naturaleza, las pilas fabricadas con este material son excepcionalmente livianas cuando se les compara con las de plomo. El plomo es uno de los metales más pesados que existen, pesa 21.3 veces más que el litio. La densidad del litio es de  $0.534 \text{ g/cm}^3$ , mientras que la del plomo es de  $11.35 \text{ g/cm}^3$ . Como referencia, la densidad del agua es de  $1 \text{ g/cm}^3$ ; entonces, el litio flotaría sobre el agua y el plomo no. A los vehículos que funcionan a base de pilas se les conoce como eléctricos. Uno pensaría que este tipo de carros son muy recientes; sin embargo, de los primeros que se construyeron, hacia 1880, eran de ese tipo; en ese entonces, a los carros eléctricos ya se les podía encontrar circulando por las calles (funcionando a base de pilas de plomo), junto con los de gasolina y los de vapor. Debido a que el precio de la gasolina era muy bajo y a que la distancia total de recorrido de los eléctricos era relativamente pequeña, el carro eléctrico se dejó de producir por el año de 1920. La fabricación de carros eléctricos se retomó hace apenas unos pocos años, básicamente porque representa una buena solución al problema de la contaminación producida por los residuos de la combustión de la gasolina. Esta contaminación ha contribuido incluso al calentamiento del planeta con sus consecuentes cambios en el clima.

Respecto al carro eléctrico, en el presente todavía falta por resolver el problema de las relativamente cortas distancias de recorrido (autonomía del auto), pero últimamente se han logrado importantes avances con modelos que pueden recorrer distancias de hasta 200 km con una sola carga de baterías, lo cual es suficiente para recorridos en ciudad. Sin embargo, actualmente los precios de los carros eléctricos son casi del doble que los de gasolina.



# Experimento 3

## Resistencia eléctrica

### Construye un foco

#### **Materiales:**

1 lápiz, 1 hoja de papel, 1 globo, 1 vaso con agua, 1 alambre de cobre con diámetro de al menos 3 mm, 2 pilas alcalinas tamaño AAA, 2 caimanes (o alambres delgados), 1 LED que produzca luz verde, 3 pilas tamaño D, 1 imán de ferrita, 1 mina de grafito (de las que se usan en los lapiceros mecánicos) y un puño de sal de mesa.

## PARTE A

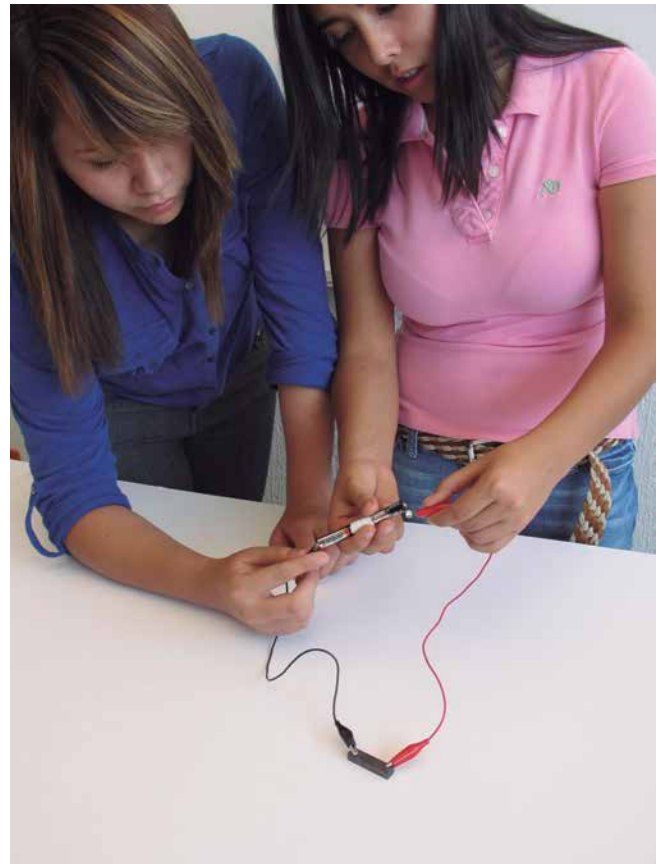
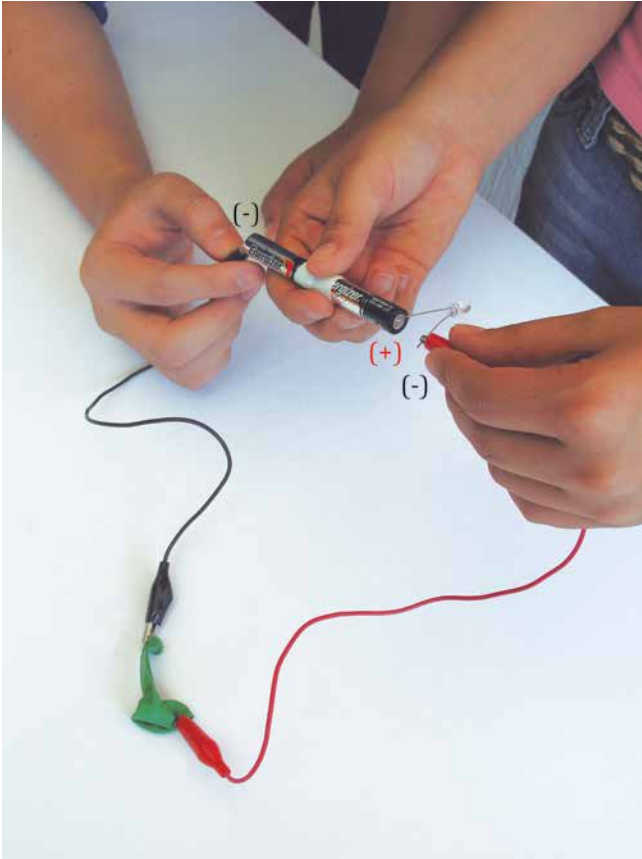
### Conductores y no conductores

1. Conecta las dos pilas AAA en serie. Conecta el terminal positivo del LED directamente al positivo de la combinación de las dos pilas, y la otra terminal del LED a un extremo del globo. El otro extremo del globo conéctalo al terminal negativo de la combinación de pilas. El LED no enciende. Debido a que el hule del globo es un aislante, entonces no conduce corrientes eléctricas y, por lo tanto, el LED no enciende. Este tipo de materiales, no conductores o aislantes, son útiles para impedir

el paso de las corrientes eléctricas. Por ejemplo, todos los cables de electricidad en nuestras casas están forrados por algún tipo de hule. Otro ejemplo es la cinta aislante que se usa para cubrir conexiones eléctricas entre un foco y un alambre. Al cubrir los alambres y los terminales de un foco con cinta nos aseguramos que al tocarlos por accidente no haya flujo alguno de cargas hacia nosotros y que, por lo tanto, no nos cause daño alguno.



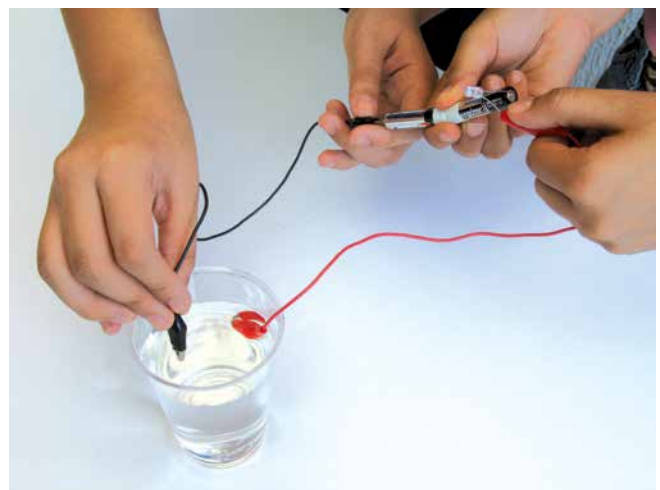
2. Repite el experimento anterior, pero reemplaza el globo por el imán. **El LED no enciende.** La magnetita, a pesar de ser un metal, no es buena conductora de corriente eléctrica.



Prueba si un imán es conductor de electricidad.

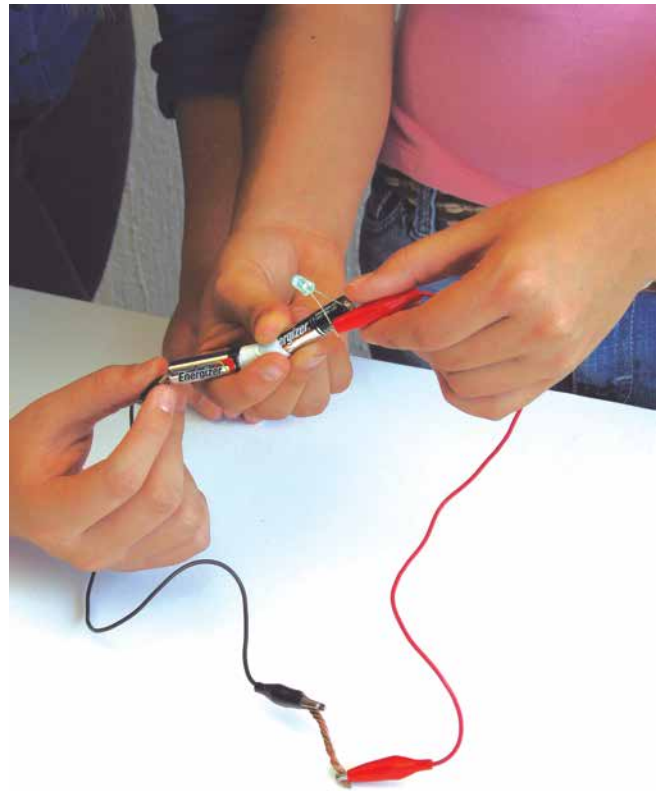
Prueba si el globo es conductor de electricidad, conectando el LED y el globo a dos pilas AAA conectadas en serie.

3. Repite la parte anterior, pero reemplaza al imán por el vaso con agua. Agrégale un puñito de sal al agua y agita hasta que la sal se disuelva por completo. Para que la sal se disuelva rápidamente, usa agua caliente. **El LED enciende** con intensidad moderada. El agua no es muy buena conductora de electricidad pero tampoco es un aislante. Es muy peligroso meter aparatos eléctricos al agua ya que estos inmediatamente van a fallar porque van a ocurrir contactos entre partes que estaban aisladas. Esos contactos se producen porque el agua es parcialmente conductora.



Prueba si el agua es conductora de electricidad.

4. Ahora coloca un pedazo de alambre grueso en lugar del vaso con agua. **El LED enciende con mucha intensidad.** El cobre es uno de los mejores conductores de electricidad que existen.

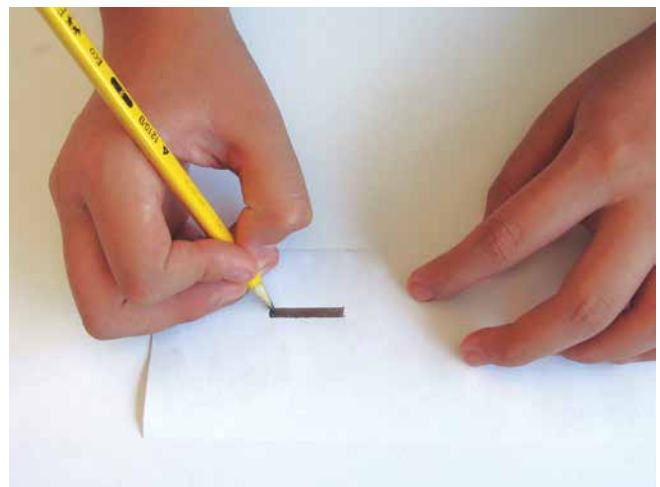


Prueba si el cobre es buen conductor de electricidad.

## PARTE B

### Resistencia eléctrica variable

1. Dibuja con un lápiz, en un pedazo de papel, un rectángulo de 0.4 cm x 2 cm. Rellena el rectángulo (cárgale fuerte al lápiz). Conecta el terminal positivo del LED directamente a una de las pilas. Este arreglo es similar al de la sección anterior pero en este caso el rectángulo de grafito es el material a analizar. **El LED enciende tenuemente.** Acerca entre sí los caimanes que conectan a dos puntos localizados sobre el rectángulo. **La intensidad del LED aumenta conforme la distancia entre los caimanes disminuye.** El material con el que está hecha la punta del lápiz es

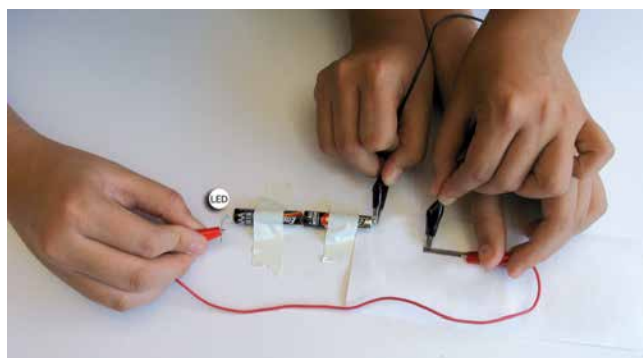


Dibuja y rellena un rectángulo con un lápiz de grafito.

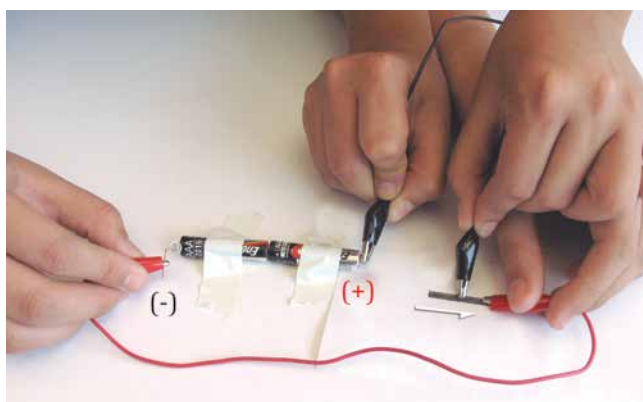
grafito (una de las formas en que se presenta el carbón). Este material es buen conductor, pero no tanto como el cobre. A una longitud pequeña (1 cm) presenta una resistencia de alrededor de  $9000\ \Omega$  (o  $9\ \text{k}\Omega$ ), la cual casi no permite que fluya corriente a través del LED y que por lo tanto casi no encienda. Sin embargo, mientras disminuimos la distancia entre los caimanes, disminuye la longitud del rectángulo con grafito por donde pasa la corriente y por tanto la resistencia eléctrica disminuye a unos  $3000\ \Omega$ , con una distancia entre caimanes de 2 mm. De esta forma, mientras acercamos el caimán, la resistencia disminuye, la corriente aumenta, y el LED ilumina con mayor intensidad. El arreglo creado representa a una resistencia variable, el cual resulta muy útil en ciertas aplicaciones, por ejemplo, para cambiar el nivel de luz que da un foco, para cambiar el volumen de un reproductor de música o, en general, para regular la cantidad de corriente que pasa por un conductor.

2. Con el mismo arreglo anterior coloca la punta del caimán fuera del rectángulo de grafito. **El LED no enciende.** El papel también es muy buen aislante.

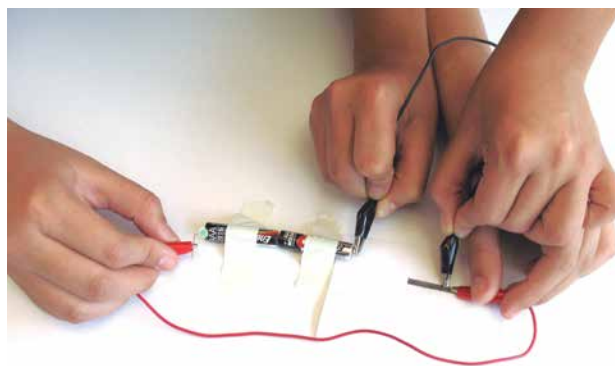
3. Otra forma de obtener una resistencia variable es usando un vaso de agua. Conecta el LED como en el punto 3 de la parte A. Agrega al agua una pizca de sal. **El LED enciende con muy poca intensidad.** Agrega otras pizcas de sal. **El LED enciende cada vez con mayor intensidad.** El agua sin sal tiene una resistencia de  $150\ \text{k}\Omega$ ; al agregar sal al agua la resistencia puede bajar hasta  $7\ \text{k}\Omega$ . El agua no es muy buena conductora si se le compara con una mina de grafito ( $2.2\ \Omega$ ) o con un pequeño pedazo de cobre ( $0.03\ \Omega$ ), pero cuando se le compara con la piel humana ( $1\ \text{M}\Omega$ ) se puede considerar que es muy buena conductora de corriente eléctrica.



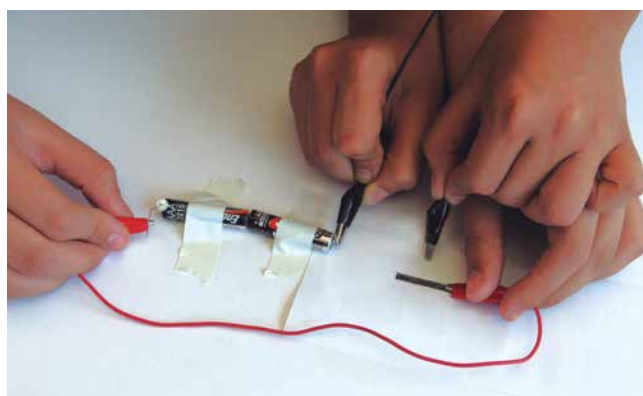
Haz una resistencia variable con el rectángulo de grafito. Observa la intensidad con la que enciende el LED.



Acerca las puntas del caimán sobre el rectángulo de grafito.



Acerca todavía más los dos extremos del caimán sobre el rectángulo de grafito.



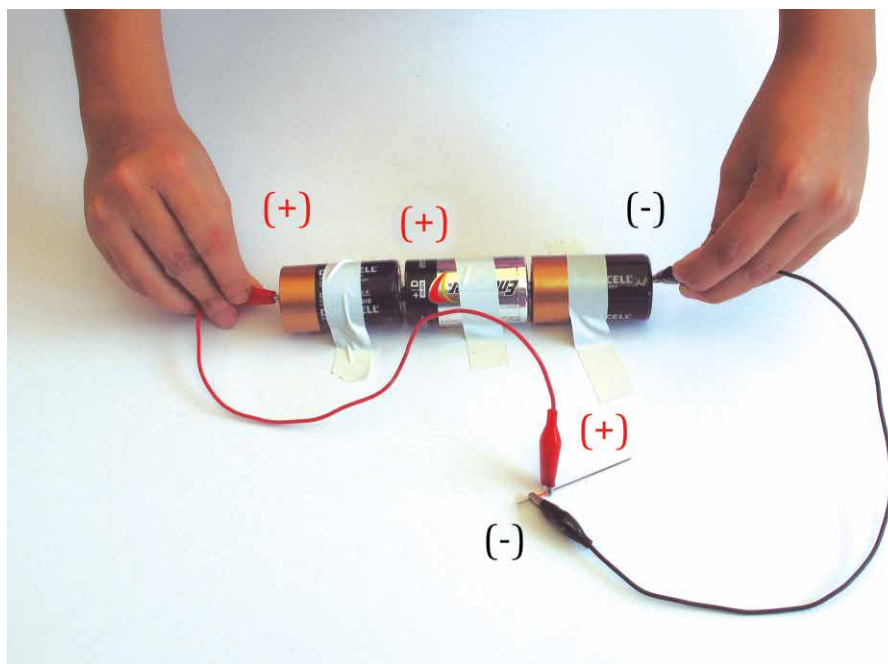
Si una de las puntas del caimán se coloca fuera del rectángulo de grafito el LED no enciende.

# PARTE C

## Un foco

1. Este experimento debe ser llevado a cabo sólo por adultos. Mediante tres pilas tipo D nuevas conecta una mina de grafito (de 0.5 mm de diámetro). Deja una distancia de alrededor de 2 cm entre el caimán y una de las puntas de la mina. Usa un sólo caimán, de tal forma que la longitud del alambre no sea mayor que 30 cm. **Cuando uno trata de conectar la punta de la mina directamente a la pila, saltan chispas, y las puntas del caimán se calientan un poco.** Ahora, acorta la distancia entre el caimán y la punta de la mina a 1 cm. **Se nota que empieza a salir humo del grafito, lo que significa que la mina se está calentando.** Acorta aún más la distancia entre caimán y punta de la mina, a 4 mm. **A los 5 segundos aproximadamente, la mina se pone al rojo vivo y ¡produce luz!** Al ir acortando la distancia entre la punta de la mina y el caimán, la cantidad de mina (grafito) que hay entre ellos disminuye y, por lo tanto, también la

resistencia; de esta forma, la corriente aumenta y entonces se produce una gran cantidad de calor en la mina. Las pilas se conectan en serie para así tener el triple del voltaje de una sola pila. Con esta configuración se tienen  $3 \times 1.5 \text{ V} = 4.5 \text{ V}$ . Debido a que el pedazo de mina tiene una resistencia muy baja, de unos  $0.65 \Omega$  (cuando ya está al rojo vivo), entonces se tiene una corriente muy grande, de  $4.5 \text{ V} / 0.65 \Omega = 6.9 \text{ A}$  que hace que la mina se caliente rápidamente y emita luz visible. La potencia de este “foco” es de  $(4.5 \text{ V})(6.9 \text{ A}) = 31.1 \text{ W}$ . Este experimento se parece mucho al del rectángulo de grafito que se describió anteriormente. Para realizar este experimento se debe procurar tener mucho cuidado en no tocar la mina cuando está al rojo vivo, ni tampoco los caimanes, ya que también se calientan mucho. No dejes conectada la mina por más de 10 s.



Construye un foco conectando una mina de grafito a los terminales de tres pilas conectadas en serie. Nota que la parte de la mina que está entre las dos puntas de los caimanes está al rojo vivo.



Si quieres aumentar la corriente que pasa por la mina (y por lo tanto la cantidad de luz producida) usa un solo caimán y conecta uno de los extremos de la mina directamente a uno de los terminales del conjunto de pilas.

Una aplicación de una resistencia variable es el detector de mentiras. Con este dispositivo se conectan dos de los dedos de una mano a una pequeña pila mediante dos cables. Cuando una persona miente generalmente empieza a sudar. El sudor contiene sales que favorecen la conducción eléctrica, por lo que la resistencia entre los dedos disminuye y un aparato que puede medir corrientes (amperímetro) registra los cambios. Por lo tanto, si de repente ocurren cambios bruscos en el nivel de la corriente que se está midiendo es probable que en ese momento la persona haya respondido a una pregunta con una mentira.



# Experimento 4

## El efecto magnético, la brújula y el electroimán

### Materiales:

5 imanes con diferente forma (1 de U, 1 de barra, 2 de dona y 1 de cilindro), un puño de limaduras de hierro (éstas se pueden producir limando un pedazo de hierro), 1 hoja de papel o un pedazo de placa delgada de acrílico, 2 pelotitas de unicel, 2 clavos chicos, una charola, 1 lápiz, 1 clip, 1 pedazo de lija, 1 pila alcalina AAA, 2 caimanes (o alambres delgados), 2 clavos grandes, un alambre magneto delgado (calibre 32), 1 alambre de cobre de 5 cm de longitud, 1 lata de aluminio, 1 regla de plástico y un cuadrito de corcho de unos 4 cm x 4 cm.

## PARTE A

### El efecto magnético. Campo magnético. Magnetismo inducido

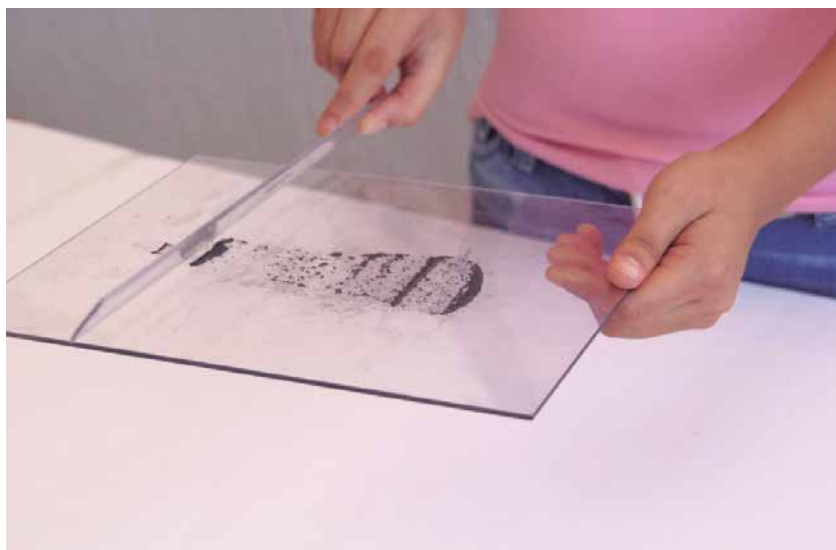
1. Coloca las limaduras de hierro en la lámina de acrílico o en la hoja de papel. Extiende las limaduras ayudándote con la regla. Coloca el imán en barra (o cualquiera de los 5) por debajo, de perfil. Con el lápiz, dale pequeños golpecitos a la lámina de acrílico (o a la hoja de papel)

con el fin de que las limaduras indiquen mejor la forma del patrón resultante. **Las limaduras de hierro forman un patrón de tal forma que pareciera que el imán está rodeado por líneas de fuerza.** A esas líneas de fuerza se les conoce como **campo magnético**. Nota que al

mover el imán, las limaduras tratan de seguirlo. Recuerda que un imán es un pedazo de magnetita, aunque en este caso el imán está hecho de ferrita, el cual, además de contener magnetita, también contiene otros compuestos químicos. Entonces, cuando el imán atrae a una limadura de hierro lo hace por medio de su campo magnético.

2. Coloca ahora los imanes con el lado mayor hacia el papel. **Se forma un patrón que pareciera que trata de sacar a las limaduras del papel.** De este experimento y del anterior podemos deducir la forma de las líneas de fuerza

magnética de los imanes. Nota que el campo une los lados de los imanes. A estos lados que parece que están unidos por un flujo magnético se les conoce como **polos magnéticos**. Por analogía con los polos geográficos, a los polos magnéticos se les llamó Norte y Sur, y se les identifica con las letras N y S (la mayoría de los imanes no tienen los polos señalados con letras). Los polos magnéticos de los imanes y los polos geográficos del planeta no son lo mismo y no coinciden exactamente. Se considera que las líneas de fuerza o campo magnético en un imán salen del polo N y llegan al polo S.



Esporce las limaduras de hierro.



Observa el patrón que se forma con el imán de barra colocado de frente.



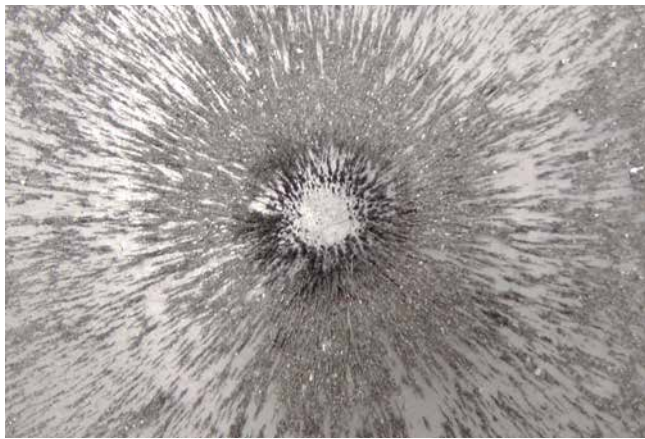
Observa el patrón que forma el imán de barra colocado de perfil.



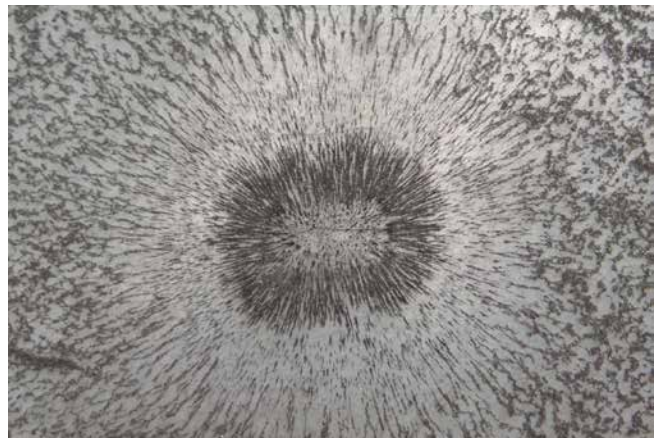
Observa el patrón formado con un imán de forma de dona.



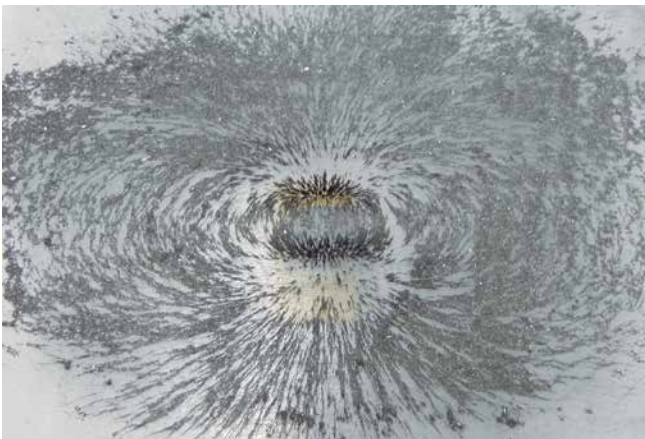
Observa el patrón formado con un imán de forma rectangular.



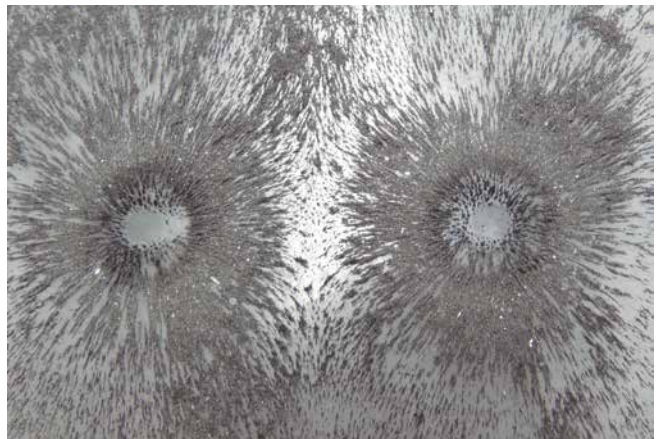
Patrón formado en las limaduras de hierro del imán de dona.



Patrón formado en las limaduras de hierro del imán de barra de frente.

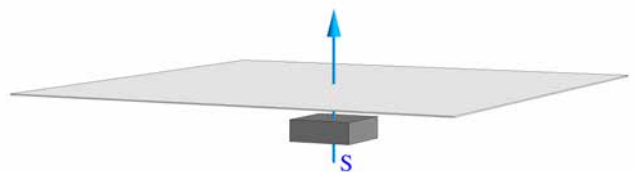


Patrón formado en las limaduras de hierro del imán de barra de perfil.

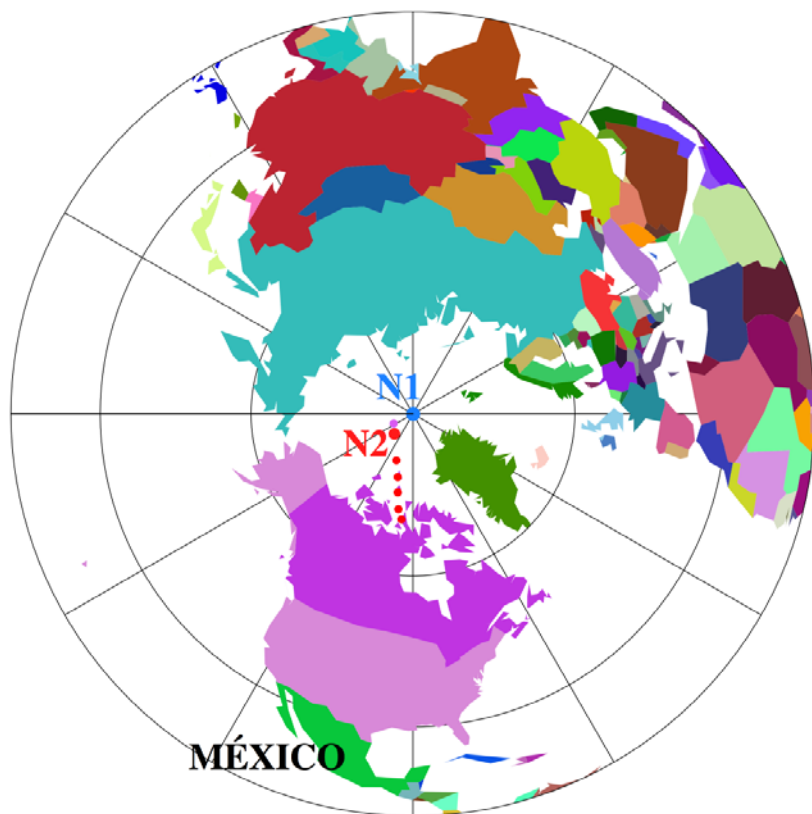


Patrón formado en las limaduras de hierro de dos imanes en forma de donas con polos iguales.

Imán por debajo de la hoja de papel con limaduras. La dirección del campo magnético producido por el imán se indica con la flecha azul.







El campo magnético de la Tierra es equivalente al producido por un imán grandísimo localizado en el centro del planeta. En la figura se muestran las posiciones actuales del Norte geográfico (N1) y del Norte magnético (N2, indicado por el círculo rojo de mayor tamaño). Adicionalmente, se incluyen las posiciones de N2 observadas en diferentes años (indicadas por los círculos rojos; yendo de abajo hacia arriba): 1900, 1930, 1960, 1990, 2000, 2010 y 2015 (estimada) –de acuerdo con datos del British Geological Survey–. No todos los cuerpos celestes tienen un campo magnético como el de la Tierra; se sabe que la Luna y Venus no tienen. Júpiter es el planeta del sistema solar con el mayor campo magnético, es de unas 10 veces el de la Tierra.

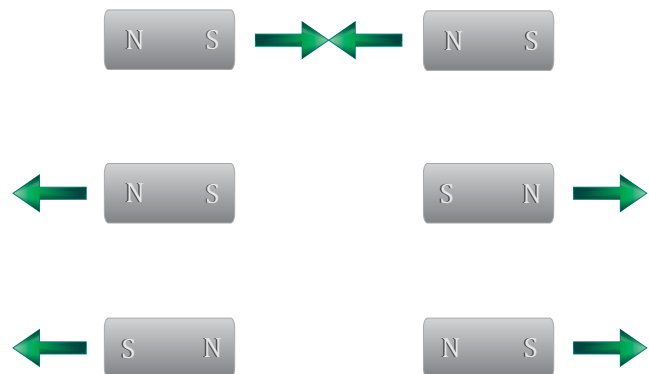
¿Con cuál imán se observan más claramente las líneas de fuerza? En unos casos las líneas se concentran más que en otros y también se les puede observar a mayores distancias del imán, lo cual significa que el campo magnético de unos imanes es mayor que el de otros. El patrón de líneas que se forma con las limaduras es similar al que presenta nuestro planeta, el cual se origina por posibles corrientes de hierro líquido (material conductor) encontradas en el interior del planeta. Las unidades en que se mide el campo magnético son teslas (T), o también se mide en gauss (G), donde 10000 gauss equivalen a 1 T. La intensidad del campo magnético de la Tierra es muy variable entre 30 mT cerca del Ecuador y 60 mT cerca de los polos; debido a que el campo magnético de la Tierra es prácticamente dipolar, en general su intensidad depende de la latitud aunque, en algunos casos debido a componentes no dipolares, la intensidad puede variar mucho aun en la misma latitud. El polo Norte magnético (punto donde el campo magnético es vertical) y el polo Norte geográfico (por donde pasa el eje de revolución del planeta) no coinciden en posición. En general, la brújula no marca hacia el Norte magnético y éste, a su vez, no coincide exactamente con el Norte geográfico. El campo geomagnético varía en la Tierra no sólo en el espacio, también ha variado en el tiempo de una manera complicada y todavía no bien entendida.

¿Están fijos los polos magnéticos de la Tierra? No. Por medio del análisis de piedras volcánicas encontradas en el lecho marino se sabe que el eje que une al polo Norte magnético y al polo Sur magnético ha cambiado a través del tiempo. En los últimos 10 millones de años, el polo Norte magnético ha girado hasta el Sur cada 700000 años en promedio. **Recuerda que el centro de la Tierra está formado, en parte, por hierro fundido**, el cual está sometido a gigantescas presiones y temperaturas, y se mueve lentamente en el transcurso del tiempo.

El Sol continuamente genera chorros de electrones y protones (viento solar) hacia todas direcciones. La energía de estas partículas es suficientemente alta como para dañar a cualquier tipo de ser vivo en el planeta. El viento solar, sin embargo, no llega hasta nosotros gracias a que el campo magnético ejerce fuerzas sobre las partículas, de tal forma que son desviadas antes de alcanzar la superficie –a cientos de kilómetros de altura–.

Los campos magnéticos más potentes que se han podido crear mediante electroimanes han sido del orden de 100 T (en la sección C siguiente se incluye la descripción de un electroimán). El campo de un imán de neodimio puede ser tan alto como 1 T. Los campos magnéticos que emiten los electrodomésticos que tenemos en casa van desde 0.02  $\mu\text{T}$  a 7  $\mu\text{T}$ . En un tomógrafo de resonancia magnética se usan campos de 0.5 a 1 T. Este tipo de tomógrafos son de los más avanzados en su tipo y se les utiliza para ver el interior del cuerpo (sin necesidad de hacer incisión alguna) con la posibilidad de detectar tejidos dañados.

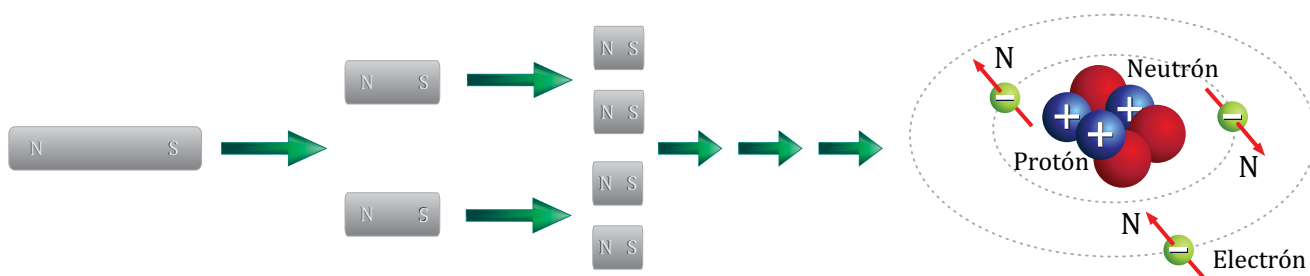
3. Coloca los imanes en una de tal forma que sientas que se repelen entre sí. **Los imanes no muestran efecto alguno hasta que están muy cerca uno del otro, en cuyo caso se repelen fuertemente.** Ponlos por debajo de la hoja que contiene las limaduras. Sus ejes deben apuntar hacia la placa. Observa el patrón que se forma. ¿Podría un imán flotar arriba del otro? Sí, pero como la configuración es muy inestable, ponlos a lo largo de un alambre de cobre. Ahora voltea uno de ellos y nuevamente acércalos entre sí. **Los imanes se atraen con fuerza.** De estos dos experimentos podemos concluir que, al igual que con las cargas eléctricas, los lados o polos magnéticos con el mismo nombre se repelen y los polos con nombres diferentes se atraen. Nota cómo las líneas de fuerza tienden a chocar unas con otras en el caso de polos iguales, y cómo tienden a reforzarse con polos diferentes.



Que el campo magnético en un imán salga por el Norte y entre por el Sur, explica la repulsión entre polos iguales y la atracción entre polos diferentes. **El campo de repulsión es como cuando se encuentran dos chorros de agua saliendo de mangueras encontradas.** Esto también explica por qué al partir un imán los pedazos resultantes se convierten en dos nuevos imanes. Antes de partir un imán, el campo magnético atraviesa cualquier pedazo del imán y entonces el campo magnético siempre entra por un lado de un trozo del imán y sale por el otro lado del trozo. Las líneas de fuerza magnéticas siempre son cerradas.

Si recordamos un poco sobre las cargas eléctricas, sabemos que pueden existir por separado en un objeto; por ejemplo, un objeto podría tener sólo cargas negativas, por decir algo, una carga de  $4e$ . Sin embargo, a diferencia de esto, un objeto no puede tener solamente polos de un tipo. Un

pedazo de material siempre tiene tanto un polo Norte como un polo Sur. Si partimos un imán a la mitad obtenemos 2 imanes, cada uno con su Norte y con su Sur. Si estos imanes a su vez los partimos a la mitad (aunque estrictamente hablando no se tienen que partir exactamente a la mitad) y esto se repite indefinidamente, se llega a un límite que es el átomo, y en este caso se observa que cada uno de los electrones del átomo corresponde a un pequeño imán. La dirección del eje que une los polos Norte y Sur del electrón, por convención, se dice que puede apuntar ya sea hacia arriba o hacia abajo (positivo o negativo).



Proceso de división de un imán. Cada vez que el imán es cortado en dos pedazos, cada pedazo se convierte a su vez en otro imán con su N y su S. Si esto se repite hasta llegar al átomo, entonces se encuentra que los electrones mismos son como pequeños imanes (indicados por medio de las flechas rojas), unos apuntando hacia arriba y otros hacia abajo.

En resumen, haciendo una analogía con las cargas eléctricas, el Sur y el Norte de un imán corresponden a la carga negativa y a la carga positiva, respectivamente. Al final de cuentas, el electrón da origen tanto a los fenómenos magnéticos como a los eléctricos.

Al igual que existen campos magnéticos, también existen campos eléctricos. Los campos eléctricos están asociados a las cargas eléctricas. El campo eléctrico es lo que permite que las cargas eléctricas ejerzan fuerzas entre sí y, por ende, que objetos cargados eléctricamente se repelan o atraigan entre sí.

En la actualidad existe la controversia de si el uso de teléfonos celulares pudiera tener efectos nocivos en la salud de las personas. Aún no se tiene una respuesta definitiva al respecto. Si la respuesta fuera positiva, tales efectos se deberían a la presencia de campos eléctricos y magnéticos producidos por corrientes eléctricas de frecuencias muy altas.

Al presente, en el mundo se llevan a cabo diversos experimentos para mostrar la existencia de polos magnéticos aislados (como si fueran cargas magnéticas o monopolos magnéticos), es decir, se quiere mostrar la existencia de algún objeto que contenga solamente polos Norte o polos Sur. Sin embargo, hasta el día de hoy aún no se han podido encontrar dichas cargas magnéticas; siempre se ha visto que donde hay un polo Norte siempre hay un polo Sur. Si se llegaran a descubrir tales cargas magnéticas, eso equivaldría a que los fenómenos eléctricos y los fenómenos magnéticos fueran totalmente simétricos.

**4. Materiales magnéticos y no magnéticos.** Una analogía adicional entre electricidad y magnetismo es que existen materiales que responden a (o conducen) campos magnéticos y otros que no. Acerca un imán a la lata de refresco. **El imán no atrae a la lata.** Esto se debe a que la lata está hecha de aluminio, el cual es un material no magnético (de hecho, todos los materiales son magnéticos en cierto grado, pero en este caso el aluminio casi no responde a efectos magnéticos). Prueba con el alambre de cobre y con el clip. **El imán sólo atrae al clip,** ya que está hecho de acero (aleación de hierro con carbono). Los tres materiales que responden altamente a campos magnéticos son el hierro, el níquel y el cobalto (la magnetita es un compuesto que contiene hierro). A esta lista se agregan algunas tierras raras (samario, neodimio, cerio, gadolinio, europio y disprosio) y algunos plásticos (los imanes que pegas en el refrigerador están hechos de estos plásticos especiales). Otros imanes un poco diferentes (fabricados con materiales superconductores, es decir, con materiales que no presentan resistencia eléctrica) pueden ejercer fuerzas de repulsión de tal tamaño que pueden hacer levitar un tren completo al grado de que el tren pueda viajar por una vía sin fricción y, por lo tanto, a una gran velocidad.



Los imanes tienen muchas aplicaciones. Se les usa en aparatos médicos de resonancia nuclear magnética, los cuales nos permiten ver el interior del cuerpo sin necesidad de abrirlo; son parte fundamental de algunos motores y generadores eléctricos; se les encuentra en los discos duros de las computadoras; también en las bocinas de audio y en las guitarras eléctricas; se les emplea como sujetadores, etc.

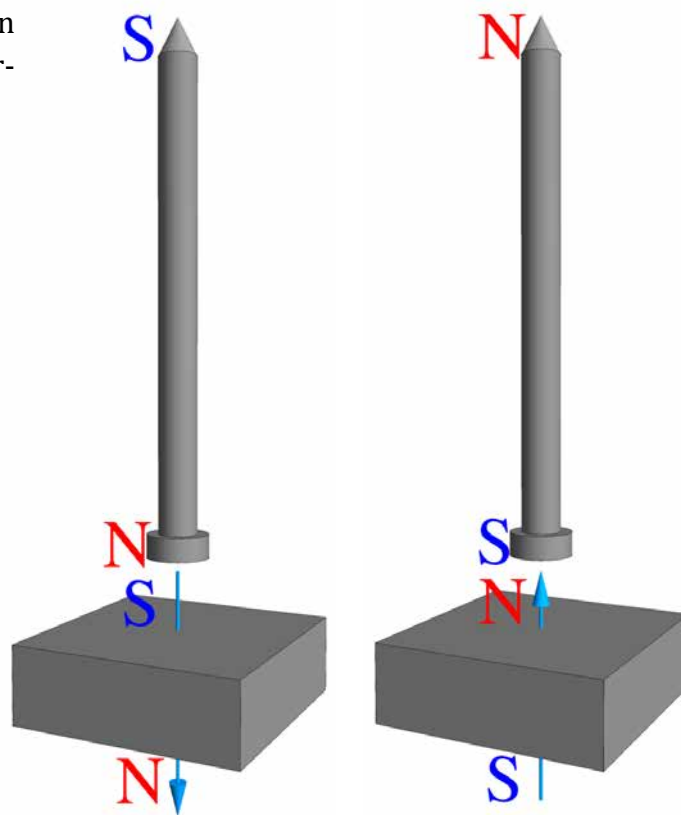
¿Y cómo le hace un imán para atraer a un clavo de hierro no imantado? Cuando el polo N de un imán se acerca lo suficientemente a un objeto de hierro, en el objeto se induce un Sur en el lado más cercano del clavo y un Norte en el lado más lejano. Como las líneas de campo magnético que produce un imán son cerradas, éstas pasan a lo largo del clavo, induciendo un Sur por el lado que entran al clavo y un Norte por el lado que salen. En magnetismo también existe una ley parecida a la de Coulomb para cargas eléctricas, es decir, mientras mayor distancia hay entre polos, menor es la atracción o repulsión entre ellos. Como la distancia entre el Sur inducido en el objeto y el N del

imán es menor que la distancia entre el N inducido en el objeto y el N del imán, el efecto que al final predomina es el de atracción. Ésta es la razón por la que siempre hay atracción (y no repulsión) entre un pedazo de hierro y un imán. Esto mismo se da también en el caso de cargas eléctricas inducidas. Un objeto cargado eléctricamente siempre atrae a un objeto neutro debido a que el objeto cargado induce cargas de signo opuesto sobre el objeto neutro, que están más cerca que las inducidas que tienen el mismo signo.

## PARTE B

### La brújula

1. Magnetizando un clavo. Coloca el imán junto al clavo (por unos 2 o 3 segundos). Acerca pequeños objetos de hierro al clavo, por ejemplo limaduras de hierro o un clip. **El clavo atrae a los pequeños objetos, es decir, se convirtió en un imán.** Se dice que el clavo fue magnetizado. ¿Cómo se le puede quitar lo magnetizado? Calentándolo con la llama de un cerillo o de un encendedor durante unos 10 s o golpeándolo (dejándolo caer unas 5 veces al piso). O también puedes poner el imán con su lado contrario cerca del clavo.



Magnetización de un clavo. El clavo se puede magnetizar en dos diferentes direcciones.

2. A una de las pelotitas de unicel pásale el clavo magnetizado. Llena con agua una pequeña charola. Pon la pelotita sobre el agua, de preferencia en el centro de la charola. **El clavo se sigue moviendo y después de unos segundos deja de moverse para apuntar hacia cierta dirección.** Marca con un lápiz la dirección hacia donde apunta. Empuja o gira el clavo. Déjalo reposar. Nuevamente, cuando el clavo deja de moverse, marca la dirección. **Las marcas son casi las mismas.** Muévelo varias veces, evita que la pelotita se atore con las orillas de la charola. **El clavo, cuando deja de moverse, siempre apunta hacia la misma dirección.** Esa dirección es el Norte magnético, el cual está muy cerca del Norte geográfico. La pelotita con el clavo magnetizado, flotando sobre agua, constituye una brújula.



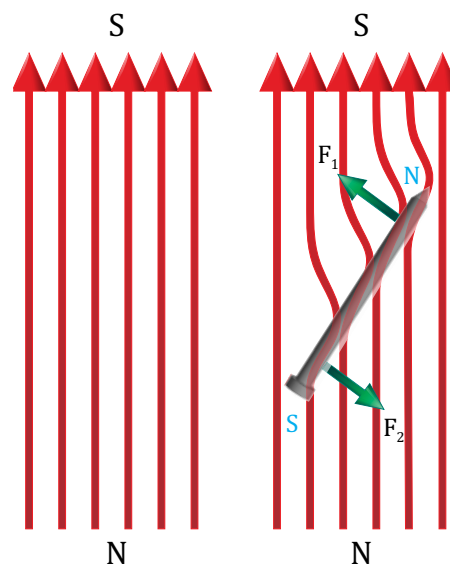
Construye una brújula con un clavo magnetizado y una pelotita de unicel.



Las dos brújulas apuntan hacia el Norte magnético.

El polo N de las brújulas comerciales siempre apunta hacia el Norte geográfico. Entonces, el polo Norte geográfico corresponde al polo Sur magnético ya que un polo Sur magnético siempre atrae a un polo Norte magnético. El resultado de esta atracción son las dos fuerzas que se muestran en el dibujo:  $F_1$  se debe a la atracción que ejerce el polo S magnético de la Tierra sobre el polo N de la brújula, y  $F_2$  a su vez se origina de la atracción entre el polo N magnético del planeta y el polo S de la brújula. También, las magnitudes de  $F_1$  y  $F_2$  son las mismas. Nota que el resultado de estas fuerzas es un movimiento de rotación de la brújula –a este tipo de fuerzas iguales que provocan giros se les llama par; un ejemplo típico de par es el que se ejerce mediante una llave cruceta sobre los tornillos de una llanta–.

Imanta el clavo con el lado contrario del imán. Coloca el clavo nuevamente en la charola. **El clavo apunta en la misma la dirección, pero la punta del clavo apunta en la dirección opuesta.**



A la izquierda se representa el campo magnético de la Tierra con flechas rojas. En la parte de la derecha, cuando un clavo magnetizado interactúa con ese campo, éste tiende a pasar a través de él, ya que el hierro es mejor conductor de campo magnético que el aire. Se asume que el clavo magnetizado tiene sus polos N-S –indicados en letras azules–. De esta forma, se originan las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  (indicadas con flechas verdes) que actúan sobre el clavo, las cuales lo hacen girar y alinearse con el campo de la Tierra.

En este caso, la dirección del campo inducido sobre el clavo corresponde a la opuesta del caso anterior. Así, cambiando el N por el S y el S por el N, el sentido de las fuerzas cambia, y entonces el clavo tiende a girar en sentido contrario.

¿Es necesario usar un clavo magnetizado para que sirva como brújula? Sí. Si el clavo se usa sin magnetizar, notarás que no apunta hacia el Norte. A pesar de que existe la posibilidad de que el clavo sea magnetizado naturalmente por el campo magnético de la Tierra, éste no es lo suficientemente intenso como para causar una magnetización significativa en el clavo y, por lo tanto, no alcanza a crear un eje S-N único a lo largo del clavo. Así, la interacción del campo de la Tierra y el clavo resulta ser muy débil, de tal forma que el clavo no sigue al campo de la Tierra. En cambio, cuando el clavo es magnetizado, se le induce un campo magnético significativo que hace que aparezca un campo magnético inducido con una dirección bien definida a lo largo del clavo, como se mostró en la figura anterior.

3. Identificando los polos de un imán. Si los polos no vienen marcados en los imanes, ¿cómo podemos identificarlos? En primer lugar, lo que podemos hacer es encontrar los polos. Esto se puede lograr con dos imanes, y observando qué lados son los que ejercen las mayores fuerzas, ya sea de atracción o de repulsión. También se pueden identificar por medio de las limaduras de hierro, como en el punto 2 de la Sección A: los polos forman patrones de tal manera que las limaduras parecieran salirse del papel. Y, ¿cómo saber cuál es el N y cuál es el S? Se puede crear una brújula con el imán, como se hizo con el clavo y la pelotita. Para ello

coloca el imán sobre un pedazo de corcho o unicel y éste, a su vez, sobre agua. En este caso, el lado del imán que corresponde al N del imán es el que apunta hacia el Norte geográfico. Por curiosidad, acerca un clavo no magnetizado al conjunto corcho-imán y observa lo que sucede. El corcho-imán trata de seguir al clavo. Esto se debe a lo siguiente: cuando el clavo se acerca al imán, el clavo se magnetiza, de tal forma que un campo magnético mucho mayor que el de la Tierra aparece a lo largo del clavo. Entonces, el imán y el clavo se atraen. Sin embargo, como el imán está flotando, le es fácil moverse, y de esa forma sigue al clavo. Se pueden usar más clavos

dispuestos en diferentes posiciones al mismo tiempo y así observar que la fuerza resultante sobre el imán (la dirección y la rapidez con las que se mueve) está relacionada con la suma de fuerzas producida por cada clavo.



El imán siempre apunta hacia el Norte geográfico (Sur magnético).

Otra forma de identificar el N del imán es usando un electroimán, como en la parte 1 de la Sección C que se ve más adelante. En la figura de esa sección se muestra un electroimán con un cierto sentido de enrollamiento, el cual produce un flujo que sale de la parte superior, y por lo tanto esa parte del electroimán es un N. Así, si acercas un polo del imán al electroimán, sabrás que corresponde al N, si existe repulsión entre ellos, o al S, si existe atracción.

4. Haz otra brújula con otra pelotita y otro clavo magnetizado. Pon **las dos pelotitas sobre el agua**, un tanto alejadas entre sí. Las dos apuntan a la misma dirección. Acerca las pelotitas hasta una distancia de medio centímetro. **Los clavos se atraen y se alinean formando una sola brújula**. Pon al revés una de las brújulas y nuevamente acércala a la otra. **Los clavos se repelen de punta a punta aunque tienden a juntarse por los lados**.

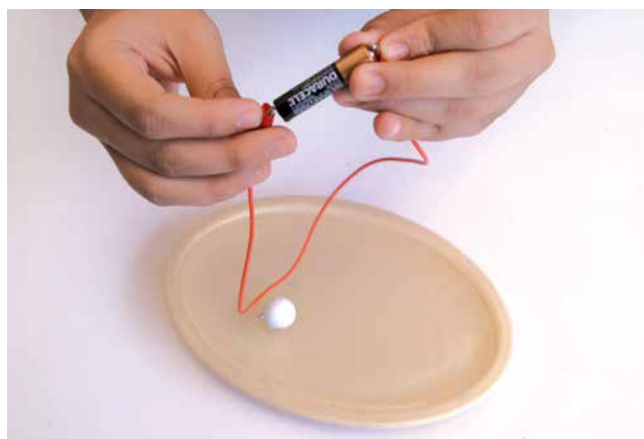
5. Acerca un imán a las brújulas. **La dirección en la cual apuntaban las brújulas se modifica y ya no es hacia el Norte geográfico**. Cuando existen muchos campos magnéticos, éstos se suman y se encuentra la resultante. Por lo tanto, como el campo magnético de un pequeño imán de ferrita es aproximadamente mil veces mayor que el campo magnético de la Tierra, el pequeño imán afecta más a las brújulas.



Las dos brújulas apuntan a la misma dirección



6. Ley de Ampere. Pon una pila en corto circuito, pero solamente conecta el alambre por un instante de tiempo. Coloca el alambre paralelo al clavo de una de las brújulas del experimento del punto 4. **Cada vez que conectas la pila, la brújula cambia de dirección.** Debido a que el alambre conduce una corriente, generada por la pila, aparece un campo magnético en los alrededores del alambre mucho mayor que el de la Tierra y por lo tanto el clavo tiende a alinearse con él. Nota que mientras más cerca se coloque el alambre del clavo, mayor será la fuerza sobre el alambre. Esto implica que la magnitud del campo magnético creado por la corriente depende de la distancia a la que se coloca el clavo, algo parecido a la ley de Coulomb.



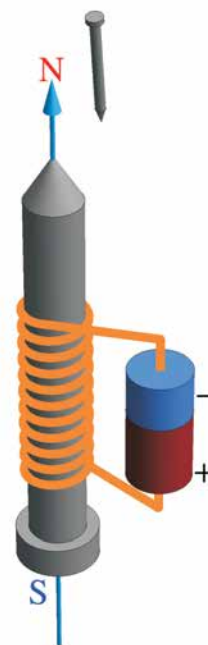
Con este experimento se demuestra la ley de Ampere.

## PARTE C

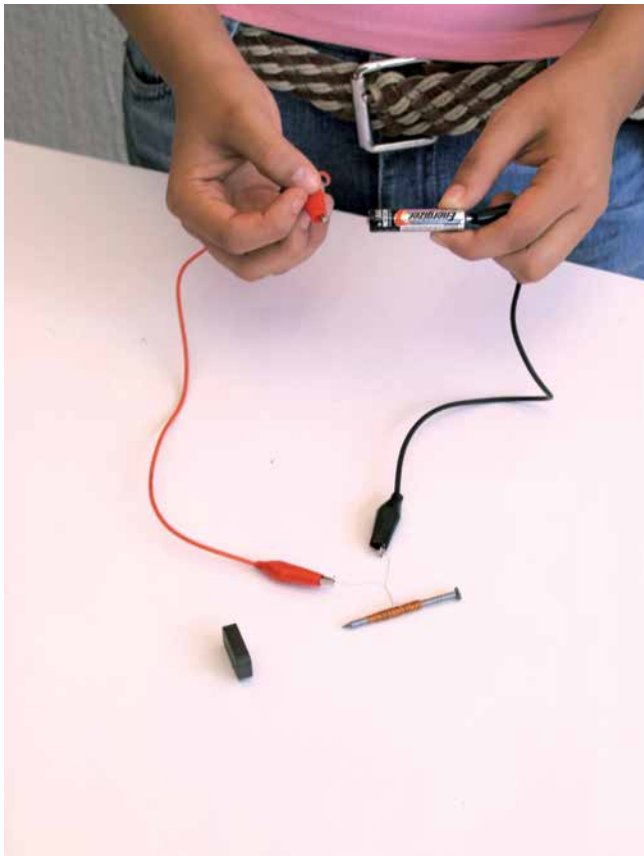
### El electroimán

1. Enreda el alambre magneto en uno de los clavos más grandes. Dale 50 vueltas. Quítale el esmalte a las dos puntas del alambre. Para esto, puedes raspar las puntas con la lija. Conecta las puntas a la pila AAA. Acerca el clavo que tiene el alambre hacia otro clavo. **Los clavos se atraen mutuamente.** Desconecta la pila. **Los clavos dejan de atraerse.** Al dispositivo compuesto por el clavo y el alambre enrollado (bobina) se le conoce como electroimán.

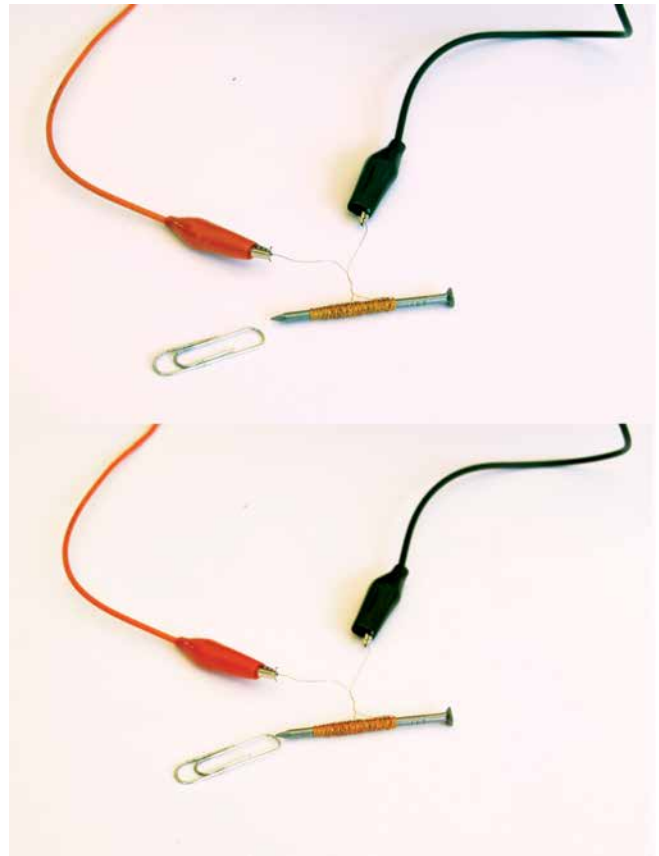
2. Acerca el electroimán que construyeste hacia uno de los imanes en barra. Observa lo que sucede. Repite el experimento, pero voltea el imán en barra. **El clavo se comporta como un imán, ya que atrae y repele a otro imán (un material que no es un imán sólo puede atraer a un imán pero no repelerlo).** Coloca el electroimán cerca de la hoja que contiene las limaduras de hierro. Observa que los patrones de líneas que se forman se parecen mucho a los formados ante la presencia de un imán.



Electroimán compuesto por un alambre enrollado sobre un clavo de acero y una pila.



Construye un electroimán.



Si la bobina no está conectada a la pila el clavo no atrae el clip. Cuando la bobina está conectada a la pila el clavo atrae al clip.

A diferencia del clavo magnetizado del experimento descrito en la parte B, cuando se desconecta el alambre de la pila, el clavo con la bobina deja de atraer al otro clavo. A decir verdad, el clavo del electroimán queda ligeramente magnetizado también en este caso. Esto lo puedes comprobar acercando el clip al electroimán desenergizado; como puedes ver, el electroimán alcanza a atraer al clip porque este último pesa mucho menos que el clavo.

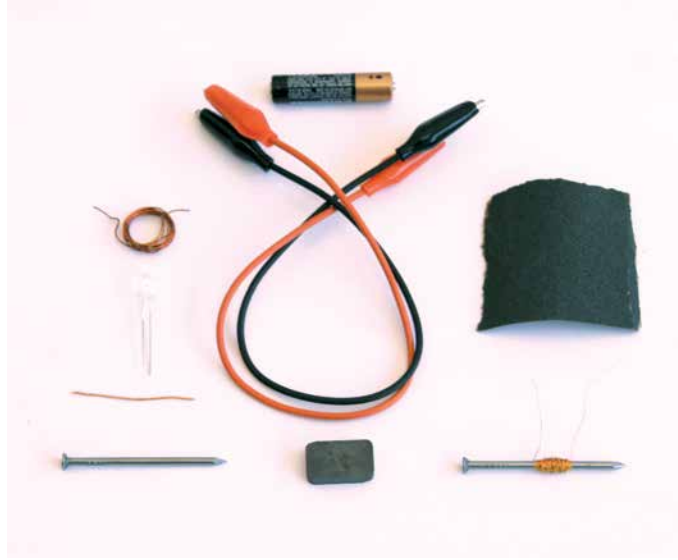
El campo magnético producido por el electroimán es alrededor de 10 veces mayor que el campo de uno de los imanes en barra. Esto explica por qué el electroimán atrae con mucha fuerza al polo sur del imán; las fuerzas se suman. Sin embargo, cuando se pone Norte con Norte se supondría que se repelerían, pero cuando se acercan hasta cierta distancia entre ellos, el fuerte campo del electroimán se impone al del imán, induciendo con ello un Sur sobre el débil imán, lo cual en vez de repelerlo lo atrae (esto sucede cuando están a una distancia de aproximada 3 mm). Esto mismo ocurre cuando se pone cerca el Norte de un imán muy potente al Norte de un imán no muy potente: cuando están hasta cierta distancia entre ellos se produce un poco de repulsión, pero cuando se acercan a una distancia menor, el Norte más potente induce un Sur en el imán menos potente y consecuentemente el Norte más potente termina atrayendo al Norte más débil.

Cuando conectes la pila, puedes usar pedazos de cinta adhesiva para mantener los cables pegados a la pila, y de esta forma evitar molestias en los dedos en caso de que la conexión se llegue a calentar.

Si por el alambre magneto circula una corriente, ¿por qué no se produce un corto circuito entre las espiras de la bobina? Porque el alambre magneto tiene una cubierta hecha de un esmalte que no es conductor de electricidad. Por esta misma razón, cuando el alambre fue conectado a la pila se le tuvieron que raspar sus puntas con la lija para que pudiera hacer contacto eléctrico.

El electroimán fue inventado en 1825 por el inglés William Sturgeon. Los electroimanes se usan, por ejemplo, para activar las cerraduras eléctricas (interfón) y se usan en las bocinas de sonido para empujar la pieza de cartón de la bocina, la cual, a su vez, empuja al aire circundante, lo cual finalmente produce sonidos. También se le usa para levantar los pedazos de los coches que abundan en los deshuesaderos de autos, o para hacer funcionar un timbre. Incluso los electroimanes fueron parte esencial del telégrafo, que fue inventado en 1844 por el estadounidense Samuel Morse. El telégrafo permitía mandar mensajes desde una ciudad a otra. El telégrafo reemplazó a los mensajes por caballo o por tren. Todavía a principios de la década de los 90 del siglo anterior, el telégrafo se usaba con frecuencia en México. En la actualidad el telégrafo ha sido reemplazado por el teléfono, por los mensajes de celular y por el correo electrónico.

En el experimento del electroimán, una corriente eléctrica (cargas en movimiento) genera un campo magnético (ley de Ampere). Sin embargo, en un imán, ¿qué es lo que causa el campo magnético? ¿Será que en un imán existen corrientes eléctricas internas? La respuesta es afirmativa, sin embargo, las corrientes eléctricas que existen no son como las que se tienen en un alambre. Veamos lo que pasa. Una representación simplificada del electrón es como una pelotita que además de moverse alrededor del átomo, también gira sobre su propio eje. Esto recuerda al movimiento de los planetas alrededor del Sol. A esos dos movimientos del electrón, el de rotación alrededor del núcleo y el de rotación respecto a su propio eje, se les puede considerar como corrientes eléctricas que existen en regiones de tamaños pequeñísimos, del tamaño de un átomo (de unos 0.25 nm, o sea como 100 000 veces menor que el diámetro de un cabello). Esos dos tipos de corrientes de escala atómica dan origen al campo magnético de los materiales. Entonces, a los electrones de un átomo se les puede visualizar como pequeños imanes de escala atómica. Es importante aclarar que estos dos movimientos del electrón, alrededor del núcleo y sobre su propio eje, sólo son formas pictóricas que ayudan a representar lo que se observa en la naturaleza. De hecho, lo que se sabe del electrón es que tiene las siguientes propiedades: 1) “algo” relacionado con la cantidad de substancia o materia –llamado masa–, 2) “algo” que da lugar a efectos eléctricos –llamado carga eléctrica–, y 3) “algo” que está relacionado con efectos magnéticos –llamado *spin* (giro, en español)–. En el texto, a los electrones se les ha representado con bolitas, pero su forma real es desconocida; sólo se sabe que “eso” llamado electrón se encuentra alrededor del núcleo del átomo.



# Experimento 5

## Transformador, generador y motor eléctricos

### Materiales:

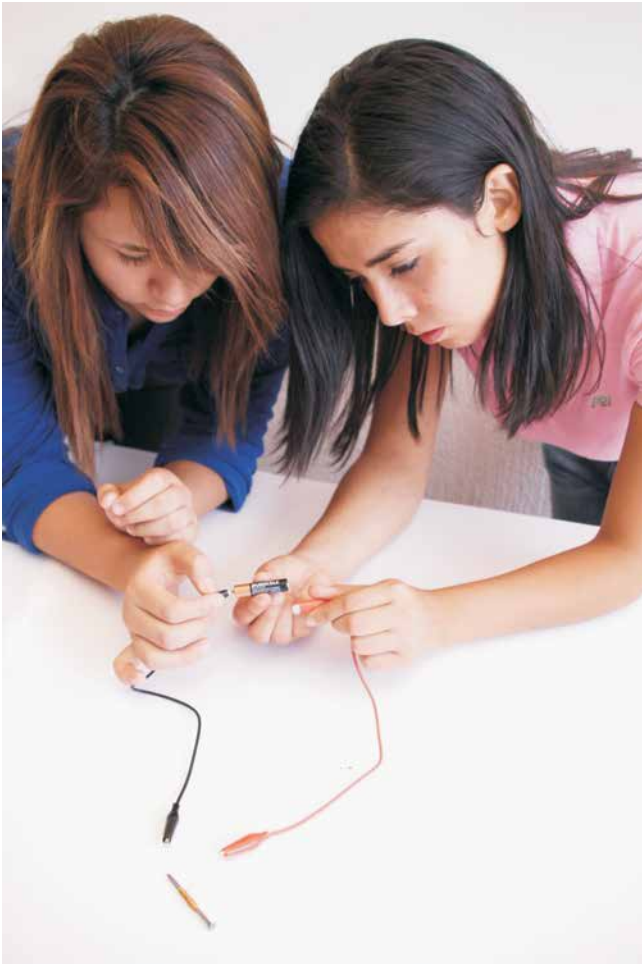
Un pedazo de lija, 2 clavos grandes, 1 pila alcalina AAA, 4 caimanes (o alambres delgados), un alambre magneto (calibre 32, longitud 15 m), un alambre magneto (calibre 22, más grueso que el anterior, longitud 5 m), 2 alambres de cobre de diámetro 2 mm (longitud 5 cm), 1 imán pequeño, 1 LED que produzca luz verde.

## PARTE A

### Transformador y generador eléctricos

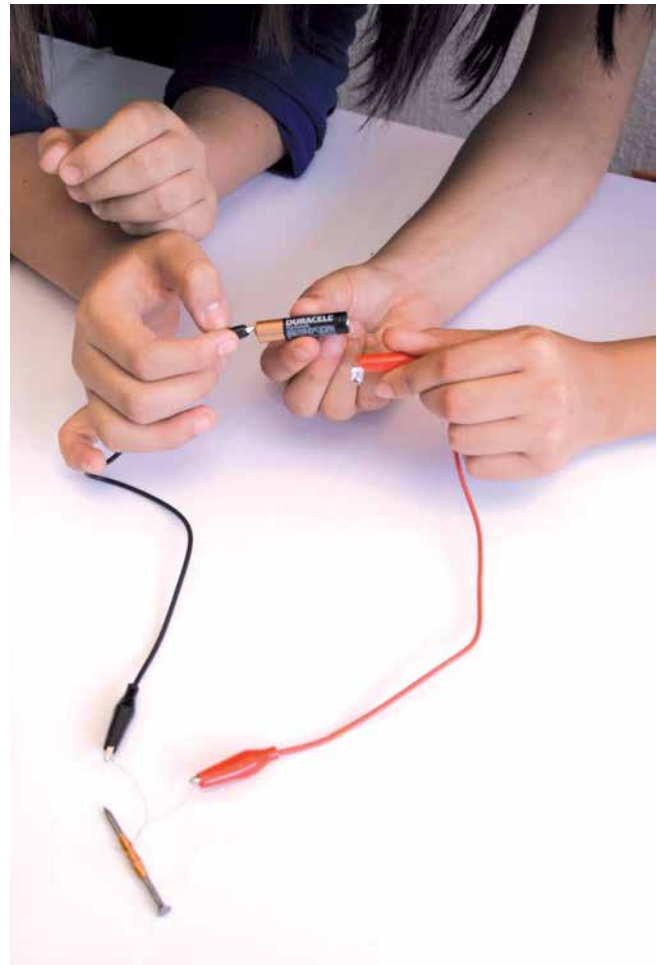
1. En uno de los clavos grandes enrolla 70 vueltas del alambre magneto más delgado (esto constituye la bobina 1). Trenza los dos terminales. A un lado de esta bobina enrolla otro alambre (del mismo diámetro que el anterior) para formar unas 150 vueltas (bobina 2). Trenza los terminales de esta bobina. Conecta la batería AAA de 1.5 V para encender el LED verde a través de la bobina 1. **El LED no enciende.** Conecta al revés los terminales. **El LED sigue sin encender.** A diferencia del LED que se usó en el

Experimento 1 con las papas, este LED necesita 2.4 V para encender. Entonces, si se usa una pila de sólo 1.5 V, el LED no encenderá. Sin embargo, si usamos el dispositivo recientemente construido (el cual es un transformador eléctrico) y lo conectamos a la pila como se indica en la figura, el LED enciende. Si el LED no enciende en el primer intento, conecta al revés los terminales de la bobina que van a la pila. **El LED enciende, pero sólo por un breve instante (sólo destella al momento de conectar y desconectar la**



Conecta un LED entre la bobina y la pila.

**pila).** Nota que las bobinas no están conectadas eléctricamente, ya que el alambre magneto de las bobinas está aislado mediante una película de esmalte aislante. Pareciera que la corriente en la bobina 1 se pasara directamente a la bobina 2 por medio del clavo que sí es conductor. Esto no es el caso, y eso se podría comprobar reemplazando el clavo por un palito de madera, y el LED seguiría prendiendo. Veamos qué es lo que pasa.

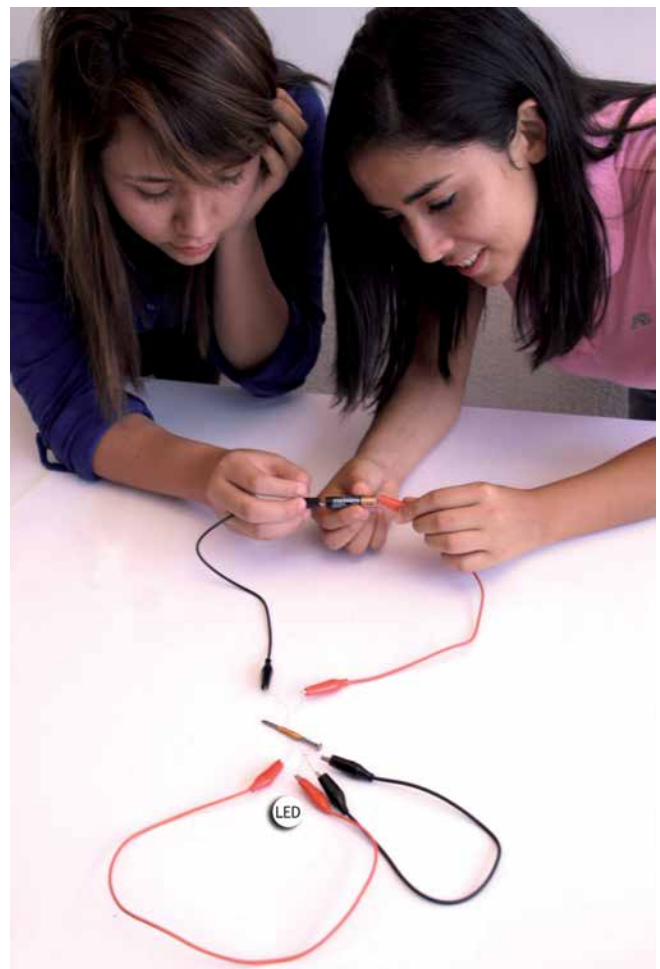


Cuando la bobina 1 se conecta a la pila, una corriente fluye a través de esta bobina. Por la ley de Ampere, se crea un campo magnético que se conduce a través del hierro del clavo. Este campo magnético pasa a través del centro de la bobina 2, y por la ley de Faraday induce un voltaje en los terminales de la bobina 2. Este voltaje es de  $(150/70)(1.5 \text{ V}) = 3.2 \text{ V}$ . Este voltaje se suministra al LED y como es mayor que el voltaje que necesita para encenderse, 2.4 V, entonces el LED enciende. Sin embargo, al dejar conectada la batería el LED sólo hace un destello, pues la ley de Faraday dice que para producir un voltaje en una bobina el campo magnético debe ser variable. Así, cuando conectamos la pila, la corriente aumenta de 0 V hasta cierto valor en sólo un instante y luego se

queda constante; es en ese primer instante que el campo magnético resulta ser variable y entonces puede inducir un voltaje en la bobina 2. Luego, al seguir conectada la pila, el campo magnético es constante, al igual que la corriente, y no se induce ningún voltaje en la bobina 2 y, entonces, el LED no enciende. Así que para que veas que el LED en verdad sí enciende haz lo siguiente: conecta y desconecta la pila a cierta frecuencia y entonces vas a ver que el LED centellea al ritmo de la frecuencia de conexión y desconexión de la pila.

Este resultado implica que un transformador no puede ser usado con corriente directa, sólo con corriente que varía con el tiempo, es decir, con corriente alterna. Por lo tanto, si se conecta una fuente de corriente alterna a la bobina 1, ésta creará un campo magnético variable que pasa a través de la bobina 2. En este caso, en los terminales de la bobina 2, sí aparece en todo momento un voltaje, el cual puede encender un foco en forma continua, no en forma centelleante.

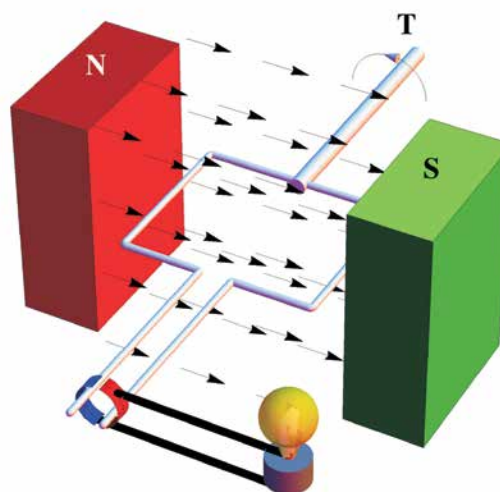
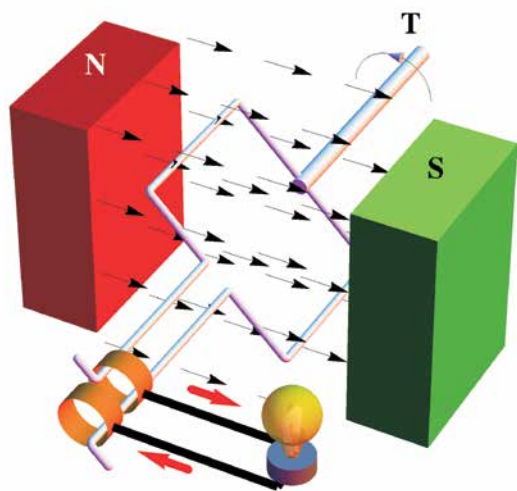
2. El generador eléctrico. La parte derecha del transformador (bobina 2) es esencialmente un generador eléctrico. El principio de funcionamiento de esta parte, como ya se mencionó anteriormente, se basa en que hay un conjunto de líneas de fuerza magnética (conocido también como flujo magnético) o de campo magnético atravesando a la bobina 2. Cuando dicho flujo magnético varía en el tiempo entonces produce un voltaje en los terminales de la bobina 2, de acuerdo con la ley de Faraday. Entonces, cabe preguntarse, si quitamos la bobina 1 y la pila, y sólo dejamos la bobina 2, ¿sería posible generar voltaje y así encender el LED? La respuesta es: sí. ¿Cómo? Pues creando de alguna forma un flujo magnético variable parecido al que produce la bobina 1. Una forma de crear dicho flujo es pasando un imán permanente sobre la bobina a una velocidad grande. Otra forma sería colocando un imán como si se deseara magnetizar al clavo, pero en este caso moviéndolo de tal forma que se alejara y acercara al clavo con cierta frecuencia. Esto ocasionaría que sobre la bobina 2 existiera un flujo magnético variable (producido por el imán en movimiento) parecido al que producía la bobina 1 en el transformador. Sin embargo, para ello necesitamos enrollar muchísimas vueltas de alambre magneto sobre el clavo y además debemos usar un imán que produzca un campo magnético grande, por ejemplo, se puede usar



Construye un transformador eléctrico con dos bobinas.

un imán de samario-cobalto, el cual puede generar un campo magnético 5 a 10 veces mayor que el que produce un imán de ferrita.

Observa que el único problema con el generador es que alguien, o algo, debe mover el imán permanente, o equivalentemente a la bobina manteniendo el imán fijo. Para este último caso, la fuerza que impulsa a la espira (o en su caso a la bobina, si se tienen muchas espiras) generalmente proviene de una turbina que se le acopla al eje de la espira. La turbina, a su vez, puede ser impulsada por agua en movimiento, como en el caso de una presa, dando origen a un generador hidroeléctrico. La turbina también puede ser impulsada por vapor de agua (a temperaturas alrededor de los 520 °C). ¿De dónde sale el vapor de agua? Puede salir directamente de las fuentes termales (planta geotermoelectrica) o puede ser producido calentando agua (planta termoeléctrica). La energía para calentar el agua generalmente se obtiene quemando gas natural, carbón, diesel o combustóleo –chapopote– o por fisión nuclear. De hecho, la quema de gas natural es la forma que más se usa para generar energía eléctrica en México.



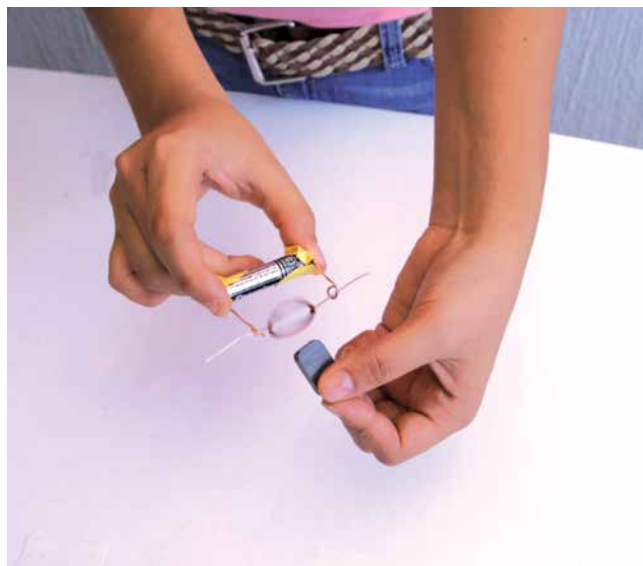
Los diagramas de los generadores aquí mostrados fueron creados con base en un código de programación que aparece en el sitio web de Wolfram Mathematica.

**Generador eléctrico.** El campo magnético que genera el imán es constante, y de acuerdo con la ley de Faraday no debería haber voltaje en los terminales de la espira. Sin embargo, si la espira gira (quizás porque esté acoplada a una turbina T), entonces el área de la espira que se expone al campo varía en el tiempo y, por lo tanto, la cantidad de campo magnético que atraviesa a la espira también varía en el tiempo (en el dibujo de la izquierda el área es diferente de cero y por lo tanto el flujo magnético también es diferente de cero, pero en el de la derecha, como el área que atraviesa el campo magnético es cero, entonces el flujo es cero). Así, existirá un voltaje en los terminales de la espira, el cual podrá realizar trabajo, por ejemplo, podrá encender un foco. Con flechas rojas se señala el sentido de la corriente generada. Dos láminas de metal en forma de anillos se indican en color naranja. Se supone que cada terminal de la espira sólo hace contacto con un anillo. En la parte derecha, los anillos son reemplazados por medios anillos y, por lo tanto, el voltaje generado ya no es de tipo alterno sino directo.

# PARTE B

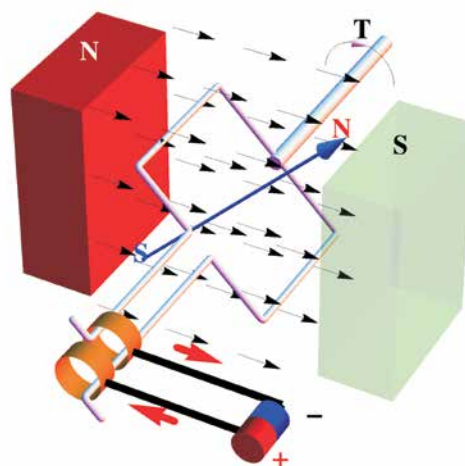
## El motor eléctrico

1. Con el alambre magneto calibre 22, forma una bobina de 4 vueltas con un diámetro de 2 cm, apóyate en una pila AAA o con uno de tus dedos. Trenza cada terminal sobre la bobina para que las puntas queden firmemente posicionadas. Lija completamente un extremo de la bobina y sólo la mitad superior de la otra punta. Las puntas de la bobina deben ser de unos 3 cm. Conecta los alambres gruesos a la pila como se indica en la fotografía. Dale la forma como se muestra. Coloca la bobina sobre los alambre de cobre. Acerca un polo de un imán. **La bobina gira por sí sola, ¡has construido un motor!** Si la bobina sólo hace un movimiento de vaivén, es decir, que no alcanza a girar, entonces acerca y retira el imán, o muévelo hacia arriba o hacia abajo. Si aun con lo anterior la bobina no gira, entonces dale un pequeño empujón. Si la bobina sigue sin girar, dale un empujoncito pero en el sentido contrario al que le acabas de dar.



Construye un motor eléctrico simple.

**Diagrama esquemático de un motor.** La pila produce una corriente, la cual a su vez crea un flujo magnético que pasa a través de la espira -vuelta de alambre-, de acuerdo a la ley de Ampère. Dicho flujo -indicado por la flecha azul- tiende a alinearse con el flujo producido por el imán permanente (el polo S es opcional; cuando se le incluye, el campo que pasa a través de la espira es mayor y la espira puede girar a mayor velocidad). De esta forma, el polo S del imán atrae al polo N de la espira y similarmente pasa con el polo N del imán y el polo S de la espira. Por lo tanto, la espira tiende a girar en el sentido de las manecillas del reloj. La corriente proveniente de la pila se indica con flechas rojas (es la corriente convencional). A la flecha T se le puede acoplar un engrane o una banda, y entonces se tiene la capacidad de mover cosas, tal es el caso de una licuadora, un ventilador, una lavadora, un carro, etc.



El diagrama del motor aquí mostrado fue creado con base en un código de programación que aparece en el sitio web de Wolfram Mathematica.



¿Qué hace girar a la bobina? La pila produce una corriente eléctrica que circula por la bobina. Esta corriente a su vez crea un campo magnético en los alrededores de la bobina (ley de Ampère). Asimismo, el campo magnético que produce la bobina tiene una dirección preferencial y no necesariamente igual a la del imán que se pone junto a ella. Entonces, la bobina gira para alinearse al campo magnético del imán; esto es parecido al giro de la brújula para alinearse con el campo magnético de la Tierra. Una vez que la bobina se alinea con el campo magnético del imán, se debería quedar en ese punto y quedarse parada –esto sucede cuando a la bobina no se le da un pequeño empuje inicial–. Sin embargo, cuando se empuja inicialmente la bobina, ésta se pasa un poco de la posición de equilibrio debido al vuelo que trae (efecto de inercia o peso de la bobina) y de esa forma sigue girando.

Si a un extremo de la bobina le conectaras un pedazo de papel entonces formarías un ventilador. Como ves, la energía eléctrica de la pila se puede convertir en energía mecánica, la cual puede mover cosas. Generalmente los motores se usan para mover objetos, por ejemplo para mover un carro, para hacer girar el mecanismo de un torno o las aspas de la licuadora, para bombear agua de un lugar a otro, etc.

2. Ahora acerca el otro polo del imán a la bobina. La bobina gira en sentido opuesto al experimento anterior. Como puedes notar, el campo magnético del imán tiene una dirección bien definida.

3. Mientras esté girando la bobina, voltea el imán (de Norte a Sur, por ejemplo). La bobina se frena y empieza a girar en el sentido contrario.

4. Finalmente, cuando la bobina esté girando, retira lentamente el imán. La bobina gira más lentamente. Esto sucede porque el campo magnético del imán que pasa por la bobina disminuye con la distancia. Y si acercas nuevamente el imán, la bobina se acelerará.

Si la punta que fue lijada sólo por un lado, ahora se le lijara completamente, ¿giraría la bobina? Sí. Inténtalo y encuentra las posibles diferencias entre las dos situaciones.



Para terminar, si quieres estudiar todo esto con mucho mayor detalle, puedes cursar las siguientes carreras de licenciatura: ingeniería eléctrica, ingeniería en electromecánica, ingeniería mecatrónica, ingeniería en electrónica, ingeniería en física, física o ingeniería industrial.

# ACERCA DE LOS AUTORES

**Bernardino Barrientos García** se graduó como ingeniero electromecánico por el Instituto Tecnológico de León en 1993. Obtuvo su maestría y doctorado en ciencias, con especialidad en óptica, en el Centro de Investigaciones en Óptica A. C. (CIO), en 1994 y 1999, respectivamente. Durante el año 2000 realizó una estancia posdoctoral en la Universidad de Warwick, en Inglaterra. Actualmente es investigador en el CIO. Su área de investigación es la aplicación de técnicas ópticas en mecánica. Escribió el libro de divulgación *La Luz y los colores*, del que se han distribuido más de 40 000 ejemplares, y ha ofrecido talleres de iniciación a la ciencia a cientos de maestros de primaria y secundaria en los estados de Querétaro y Coahuila.

**Susana A. Alaniz Álvarez** es Investigadora Titular C del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Obtuvo el doctorado en Ciencias de la Tierra en 1996. Pertenece a la Academia Mexicana de Ciencias. Es académico de número de la Academia de Ingeniería y tiene el nivel II del Sistema Nacional de Investigadores. Ha escrito más de 35 artículos científicos sobre la deformación de la corteza superior y su relación con el vulcanismo. Su producción científica es diversa y abarca un total de 56 trabajos que incluyen mapas geológicos, artículos de divulgación, memorias, capítulos en libros, libros y programas de cómputo. Fue editora en jefe de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas de 2005 a 2012. En 2004 recibió el premio Juana Ramírez de Asbaje otorgado por la UNAM. Es coordinadora de la serie de divulgación “Experimentos simples para entender una Tierra complicada”, la cual tiene seis títulos publicados. Organiza talleres de iniciación a la ciencia para maestros de educación básica.

**Elisa López Alaniz** es licenciada en Diseño Gráfico por la Universidad de Guanajuato de la generación 1999-2003. Colaboró con el Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, Universidad Autónoma de México, como diseñadora editorial del Léxico Geológico Mexicano (2004), como coeditora técnica de Volumen Conmemorativo del Centenario de la Sociedad Geológica Mexicana y como editora técnica y diseñadora de la Colección “Experimentos simples para entender una Tierra Complicada” (2007-2012). Actualmente es Consultora Técnica en el Departamento Diseño y Desarrollo de Producto del CIATEC. Ganó el Concurso Internacional de Moda y Diseño CREÁRE 2008 en la categoría de calzado profesional de dama y en 2010 obtuvo Mención de Honor en IV Premio CONCYTEG, como parte del equipo de trabajo en el proyecto “Zapato Transformable”.

# Agradecimientos

Este libro forma parte del proyecto PE102513, apoyado por el Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los autores queremos agradecer a M. en C. Ricardo Valdivia Hernández, Dr. Efraín Mejía Beltrán, L. M. Ninfa del Carmen Lozano Rincón, Fís. Dalía Ornelas Martínez, M. en C. Carlos Mares Castro, Fís. Carlos Saavedra Salazar, Ing. Joaquín Alaniz, Ing. Jorge Escalante González, Ing. Bernardino Rodríguez Morales, M. en C. Francisco Fernández Escobar y Dr. Juan Julio Morales, quienes con sus sugerencias permitieron que el contenido del libro mejorara sustancialmente. También queremos agradecer la participación de Andrea Vargas Puente, Eduardo Padilla Vargas, Ana Carolina Malacara Gutiérrez y María Guadalupe Almeda Vázquez, quienes reprodujeron los experimentos para tomar las fotografías. La redacción y el estilo del texto fueron mejorados por Claudia Hernández del Valle Arizpe.

# Bibliografía consultada

Allain, R., 2010, *Electric current and magnet demos*, *Dot Physics: Wired Science blogs* (en línea) <<http://www.wired.com/wiredscience/2010/12/electric-current-and-magnet-demos/>>, acceso libre, consultado el 9 de agosto del 2012.

Beaty, W.J., 1999, *Static Electricity means “High Voltage”, Measuring your body voltage*: *Science Hobbyist* (en línea) <<http://amasci.com/emotor/voltmeas.html>>, acceso libre, consultado el 3 de julio del 2012.

Beaty, W.J., *Static electricity misconceptions*, *Science Hobbyist* (en línea) <<http://amasci.com/emotor/stmiskon.html>>, acceso libre, consultado el 3 de julio del 2012.

British Geological Survey, 2012, *Geomagnetism* (en línea) <<http://www.geomag.bgs.ac.uk/education/poles.html>>, acceso libre, consultado el 7 de agosto del 2012.

Comisión Federal de Electricidad, México (en línea) <<http://www.cfe.gob.mx/negocio/informacionclientenegocio/Paginas/Conoceturecibo.aspx>>, en acceso libre, consultado el 3 de julio del 2012.

Crump, T., 2001, *A brief history of science as seen through the development of scientific instruments*, Robinson Publishing, Londres, Reino Unido, 384 p.

Du Fay and T. S., 1733-1734, *A letter from Mons. Du Fay, F.R.S. and of the Royal Academy of Sciences at Paris, to his Grace Charles Duke of Richmond and Lenox, concerning Electricity*. Translated from the French by T.S. M D., *Royal Society Philosophical Transactions*, vol. 38, 258-266, (en línea) <<http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/38/427-435/258.full.pdf+html>>, acceso libre, consultado el 3 de agosto del 2012.

Elliot, R., *Electrocution & how to avoid it*, *Elliot Sound Products* (en línea) <<http://sound.westhost.com/articles/electrocution.htm>>, acceso libre, consultado el 3 de julio del 2012.

Energizer, *Product datasheet* (en línea) <<http://data.energizer.com/PDFs/E95.pdf>>, acceso libre, consultado el 3 de agosto del 2012.

Escobar Espinoza, E., *Apuntes de Electricidad y Magnetismo: Normas de seguridad e higiene para el manejo de electricidad* (en línea) <<http://emilioescobar.org/reportes/Unidad%20III/practica1/practica1.html>>, acceso libre, consultado el 3 de agosto del 2012.

*Explorando México, Principales plantas de energía en México* (en línea) <<http://www.explorandomexico.com.mx/about-mexico/6/106/>>, acceso libre, consultado el 9 de agosto del 2012.

Georgia State University, *Fundamental forces: HyperPhysics*, (en línea) <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/forces/funfor.html>>, acceso libre, consultado el 17 de agosto del 2012.

Goettsche, C., y Lago, J., *The History and Physics of Defibrillators* (en línea) <<http://unc.edu/~goettsch/>>, acceso libre, consultado el 9 de agosto del 2012.

Gribbin, J., 2002, *Science: a history*, Penguin Books, Londres, Reino Unido, 672 p.

Halliday, D., Resnick, R., y Walker, J., 2001, *Fundamentals of Physics*, 5ª Ed., John Wiley & Sons, NY USA, 624 p.

Hila Research Center, A Lemmon Battery: *Hila Projects, Electricity/Magnetism* (en línea) <[http://hilaroad.com/camp/projects/lemon/lemon\\_battery.html](http://hilaroad.com/camp/projects/lemon/lemon_battery.html)>, acceso libre, consultado el 3 de agosto del 2012.

Hunka, G., *Circuit Grounds and Grounding Practices* (en línea), University of Pennsylvania <<http://www.ese.upenn.edu/detkin/instruments/misctutorials/Ground/grd.html>>, acceso libre, consultado el 3 de julio del 2012.

*Index Mundi web site* (en línea) <<http://www.indexmundi.com/map/?v=81>>, acceso libre, consultado el 9 de agosto del 2012.

James, W.L., 1988, *Electric Moisture Meters for Wood*, United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report, FPL-GTR-6, (en línea) <<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr06.pdf>>, acceso libre, consultado el 3 de agosto del 2012.

Kybett, H., y Boysen, E., 2008, *All new electronics, self teaching guide*, 3rd. Ed., Willey Publishing, IN USA, 426 p.

*LEDs Magazine, Press releases*, 2012, (en línea) <<http://ledsmagazine.com/press/34816>>, acceso libre, consultado el 3 de julio del 2012.

Lux, J., *Jim Lux's Web Site*, (en línea) <http://home.earthlink.net/~jimlux/lfacts.htm>, acceso libre, consultado el 9 de agosto del 2012.

Nava Jaimes, H., Pezet Sandoval, F., Hernández Gutiérrez, I., 2001, *El Sistema Internacional de Unidades (SI)*: Centro Nacional de Metrología, Publicación Técnica CNM-MMM-PT-003, 142p.

*Physclips*: University of New South Wales or of the School of Physics, (en línea) <<http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/electricmotors.html>>, acceso libre, consultado el 9 de agosto del 2012.

Physics.org, *A bolt of lightning has enough energy to toast 100,000 slices of bread*. Institute of Physics Resistivity, Conductivity and Temperature Coefficients for some Common Materials, (en línea) <http://www.physics.org/facts/toast-really.asp>>, acceso libre, consultado el 3 de julio del 2012.

Pounder, C., 1990, *Experiments with frictional Electricity: An Electro-Magnetic Miscellany* (en línea) <<http://volcaniclightning.tripod.com/experime.htm>>, acceso libre, consultado el 8 de agosto del 2012.

Quellen Field, S., *Chapter 3: Electrochemistry: Science Toys* (en línea) <<http://sci-toys.com/scitoys/scitoys/echem/batteries/batteries.html>> acceso libre, consultado el 8 de agosto del 2012.

Rachidi, F., y Tkachenko S. V., 2008. *Electromagnetic field interaction with transmission lines*, WIT Press, MA Estados Unidos de América, 259 p.

Reitz, J. R., Milford, F.J., y Cristy, R. W., 1996, *Fundamentos de la teoría electromagnética*, 4ª Ed., Addison Wesley, Méx., 641 p.

Science Encyclopedia, 2012, *Magnetism- Origin of magnetism: Net Industries, Education, Knowledge, Information* (en línea) <<http://science.jrank.org/pages/4082/Magnetism-Origin-magnetism.html>> acceso libre, consultado el 7 de agosto del 2012.

Shamieh, C., y McComb, G., 2009, *Electronic for dummies*, 2nd. Ed., Wiley Publishing, NJ USA, 435 p.

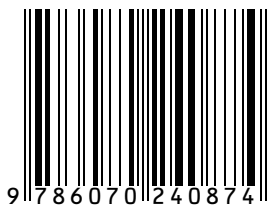
Siliconfareast.com, *Triboelectric Series, 2001*, (en línea) <[http://www.siliconfareast.com/tribo\\_series.htm](http://www.siliconfareast.com/tribo_series.htm)>, acceso libre, consultado el 9 de agosto del 2012.

Sindhu, S., Anantharaman. M. R., Bindu, P. T., Malini, K.A., Kurian, P., 2002, *Evaluation of a.c. conductivity of rubber ferrite composites from dielectric measurements*, Bulletin of Materials Science, vol., 25, núm. 7, 599-607.

The Engineering ToolBox, *Resistivity, conductivity and temperature. Coefficients for some common materials* (en línea) <[http://www.engineeringtoolbox.com/resistivity-conductivity-d\\_418.html](http://www.engineeringtoolbox.com/resistivity-conductivity-d_418.html)>, acceso libre, consultado el 3 de julio del 2012.

Wolfram Demonstration Project, *Alternating current generator* (en línea) <<http://demonstrations.wolfram.com/AlternatingCurrentGenerator/>> acceso libre, consultado el 17 de agosto del 2012.

Wolfram Demonstration Project, *The solenoide* (en línea) <<http://demonstrations.wolfram.com/TheSolenoid/>>, acceso libre, consultado el 17 de agosto del 2012.





**CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN OPTICA, A.C.**



Diseño y formación  
Elisa López