

# Torreón de la Física de Cartes y Aula ‘Espacio Tocar la Ciencia’

J Güémez  
*Aula de la Ciencia*  
Universidad de Cantabria

Junio 22, 2011

## Protocolo de Experiencias de Electricidad y Magnetismo

1. **Electrostática.** Los experimentos que se describen no producen buenos resultados cuando hay humedad en el ambiente.

- (a) *Frotamiento de ámbar.* Cuando una pieza de ámbar (resina fósil, *electros* en griego) es frotada con lana, es capaz de atraer pequeños cuerpos como plumas o pequeños trozos de papel.
- (b) *Tubo electrostático.* Se colocan pequeñas bolas de corcho blanco (poliexpan) en el interior de un cilindro de plástico horizontal y cerrado por sus extremos. Cuando la parte superior del cilindro se frota con lana, las pequeñas esferas ascienden. Conviene destacar que el movimiento de las plumas, bolitas, etc., se produce contra lo que Aristóteles denominaba ‘el movimiento natural de los cuerpos sólidos’, que era hacia Tierra para los cuerpos pesados. Los cuerpos así frotados consiguen que los cuerpos pesados, e inanimados, asciendan ‘espontáneamente’ y no se muevan según su movimiento natural.

[Nota Histórica. En su libro Física, Aristóteles indica que el experimento del ámbar frotado que atrae plumas, ha sido referido por Tales de Mileto. Para Aristóteles era importante destacar que esas experiencias contradecían su teoría de que los cuerpos pesados tendían a ir al centro de la Tierra de forma natural.]

(c) *Frotamiento de barras de ámbar y barras de vidrio.*

Dos barras de metacrilato (el equivalente artificial del ámbar) van a ser frotadas con lana. Se frota el extremo de una de las barras y se coloca en horizontal sobre un soporte apoyado sobre una aguja y que puede girar sin rozamiento. Se frota un extremo de la otra barra de metacrilato y con cuidado se acerca al extremo frotado de la barra horizontal previa. Se observa que la barra apoyada se aleja de la que se acerca. Si la barra que se acerca se cambia de lado, la barra horizontal se aleja en sentido contrario, probándose que se repelen.

Una barra de metacrilato va a ser frotada por un extremo con lana y apoyada en el soporte giratorio y una barra de vidrio va a ser frotada con seda por un extremo. Los extremos frotados de ambas barras se aproximan y se nota que la barra apoyada gira para acercarse a la de vidrio. Si se cambia la barra de vidrio de lado, la barra de metacrilato cambia también su movimiento, probándose que ambas barras se atraen.

Los experimentos fueron interpretados por B Franklin como que existían dos tipos de cargas eléctricas o de electricidades, positivas o resinosas y negativas o vítreas, concluyéndose que: cargas del mismo tipo se repelen, cargas del mismo tipo se atraen.

Hay que destacar: (i) que se encuentra una interacción repulsiva que no se conocía antes (las fuerzas gravitatorias son atractivas y tardo tiempo en descubrirse que los imanes también se podían repeler) y (ii) que si la interacción atractiva con la barra de metacrilato apoyada tuviera que lograrse mediante una masa situada a una cierta distancia, dicha masa debería ser enorme. Para una barra de 0,20 m de longitud que tuviese una masa de 0,10 kg concentrada a su extremo y que girase con una aceleración angular de  $0,2 \text{ rad s}^{-2}$ , la fuerza necesaria para conseguirlo,  $F \approx 2 \times 10^{-4} \text{ N}$  se obtendrían concentrando a una distancia de 1 m del extremo de la barra una masa de unos  $7 \times 10^7 \text{ kg}$ . (Si se considera que la bola sea de la densidad del oro,  $\rho \approx 20 \times 10^3 \text{ kg m}^3$ , entonces el radio de la bola debería ser de unos 500 m). Este cálculo indica que nos encontramos ante fuerzas que son gigantescas cuando se comparan con la fuerza de la gravedad.

(d) *Inducción: Globo metálico.* Se deja flotar, anclado, un globo metálico lleno de helio (Principio de Arquímedes). Cuando una

barra de metacrilato frotada con lana se acerca al globo, éste es atraído hacia la barra. Este fenómeno se explica mediante el fenómeno de inducción. Sobre el globo hay cargas positivas y negativas, dando lugar a un cuerpo neutro. Cuando la barra frotada se acerca al globo, que al ser metálico sobre él las cargas se desplazan fácilmente (diferencia entre buenos conductores de la electricidad y malos o aislantes), las cargas del mismo signo intentan alejarse de la barra, mientras que las de distinto signo son atraídas. Se aplica entonces la regla de que cargas de distinto signo se atraen. El ángulo que forma el globo con la vertical da una idea de la carga sobre la barra.

- (e) *Inducción. Chorro de agua que se dobla.* Si se aproxima una barra de ámbar frotada con lana a un chorro de agua, el hilo de agua se desvía de la caída libre. La barra induce las moléculas polares de agua, que al intentar moverse hacia cargas opuestas, producen un movimiento de todo el agua.
- (f) *Midiendo la electricidad: electroscopio.* Un electroscopio consta de una bola metálica que está en contacto con un bastidor de aluminio en cuyo centro hay una aguja metálica que puede girar. Sirve para medir la carga eléctrica y funciona mediante el fenómeno de inducción. Al acercarse a la bola una barra frotada y cargada, se inducen cargas de signo contrario sobre la bola y carga del mismo signo sobre el bastidor y la aguja. Como bastidor y aguja se cargan con carga del mismo signo, la aguja gira intentando alejarse del bastidor. Cuando mayor sea el ángulo de la aguja, mayor la carga sobre la barra. Los electroscopios vienen calibrados en kV, unidad de diferencia de potencial.
- (g) *Electróforo de Volta: transportando electricidad.* Si se frota una superficie de metacrilato con lana y sobre esa superficie frotada se apoya un plato plano metálico dotado de un mango aislante, sobre la parte del plato en contacto con el metacrilato se induce carga de distinto signo. Si se toca con un dedo en la parte opuesta del metal, salta una chispa y se produce una descarga eléctrica. El plato metálico queda así cargado eléctricamente, lo que puede comprobarse con la ayuda del electroscopio.
- (h) *Produciendo electricidad: máquina de Winshurst.* Se utiliza el fenómeno de la inducción para crear una máquina capaz de acumular grandes cantidades de carga en los extremos de dos esferas metálicas. Cuando la carga es suficientemente grande,

se produce el fenómeno de la ruptura dieléctrica del gas: un gas se vuelve conductor cuando antes era aislante.

Se puede dar una interpretación cualitativa, y cuantitativa, del fenómeno de la ruptura dieléctrica del aire. Los electrones son acelerados bajo la diferencia de potencial del campo eléctrico. Si se aceleran durante una distancia grande, lo que se consigue con bajas presiones, consiguen energía cinética suficiente como para arrancar otros electrones al chocar contra alguno de los átomos del gas. Estos nuevos electrones libres son acelerados a su vez, produciéndose una cascada de electrones y corriente eléctrica de baja intensidad, como en una lámpara de plasma. La luz que se observa se debe a la emisión de fotones por parte del gas que recupera sus electrones, por lo que dicha luz es característica del gas, constituye su espectro, y puede servir para identificarle.

- (i) *Máquinas electrostáticas: obtención de trabajo mecánico.* Si al electróforo de Volta se le coloca una bola que pueda oscilar en su mismo borde, se observará que cuando el electróforo se cargue, la bola se separa del borde. Si con un dedo próximo se permite que la bola se descargue, se producirá un movimiento de oscilación de la bola entre el borde y el dedo. Se trata de la conversión, mediante inducción, de la electricidad en movimiento mecánico, un motor electrostático.

Una máquina de Winshurst. se puede conectar una dos terminales próximos a una rueda de radios metálicos. Mediante la inducción la rueda empieza a girar de tal forma que cuando un radio se aproxima al terminal se produce la descarga y otro radio se ve inducido, repitiéndose el proceso y haciendo que la rueda gire. Este efecto se puede transportar mediante cables a muy largas distancias.

- (j) *Experimentos con el generador Van de Graaff.* Se explica primero el funcionamiento de éste generador. La idea fundamental detrás de su funcionamiento es la siguiente. Si por algún procedimiento, frotación o descarga en puntas, se consigue acumular cargas sobre una banda de material aislante, un motor hace ascender estas cargas hasta el interior de una esfera. Allí hay unos peines que recogen esa carga y por efecto de la repulsión, las cargas se van al exterior de la esfera. Allí se pueden acumular grandes cantidades de carga, pero en el interior de la esfera la carga siempre es muy pequeña. De esta forma el proceso

puede continuar. Si la carga no saliera al exterior, al cabo de un tiempo la parte superior y la inferior alcanzarían el mismo potencial eléctrico y no habría acumulación posterior de carga. Gracias a este diseño se consiguen diferencias de potencial de decenas de miles de voltios a partir de sistemas que producen sólo centenares de voltios.

- i. Ruptura dieléctrica del aire. Se produce la descarga entre las dos esferas.
- ii. Descarga mediante una vela. Si se coloca una vela encendida entre las esferas cargadas, la descarga cesa. Si se retira la vela, las descargas vuelven.
- iii. Viento eléctrico. La llama de una vela situada entre las esferas cargadas se inclina como si soplara un viento sobre ella. Los iones producidos en la llama son arrastrados por el campo eléctrico creado, anulando parte de las cargas de las esferas e impidiendo la descarga.
- iv. Molinete de puntas. Un molinete de tres puntas, con un diseño semejante al del helicóptero, gira cerca de la esfera cuando ésta está cargada.
- v. Máquina electrostática. Si se coloca una pelota de ping-pong, en forma de péndulo, entre las esferas del Van de Graaff, la bolita oscilará repetidamente.

## 2. Imanes

- (a) *Piedra imán:* Magnesia. Se utiliza un trozo de piedra imán o magnetita para ver que atrae piezas pequeñas de hierro. De nuevo, hay que llamar la atención, con Aristóteles, de que una piedra inanimada puede mover objetos contra lo que es su movimiento natural.
- (b) *Brújulas.* Una aguja imantada sobre un soporte en el que pueda girar libremente termina orientada hacia el polo norte geográfico.
- (c) *Experiencias de Gilbert.* Experiencia con brújulas, imanes en Tierra, y experiencias con varios imanes. Conclusión de Gilbert: la Tierra se comporta como un imán gigantesco ella misma. Gilbert dió nombre al polo norte de un imán como aquella parte que se orienta hacia el polo norte geográfico, y polo sur como la opuesta. Conclusión experimental: polos del mismo tipo se repelen, polos del mismo tipo se atraen.  
[Nota Histórica. La Reina Isabel I de Inglaterra (hija de Enrique VIII) fue la que sugirió a Gilbert que estudiara los imanes para mejorar la navegación. En esta época sucedió el desastre de la Armada Invencible. ]
- (d) *Relación electrostática y magnetostática.* A pesar de sus semejanzas, las cargas en reposo y los imanes en reposo no se afectan mutuamente.

## 3. Pilas Electroquímicas

- (a) *Pila de Volta: produciendo corriente eléctrica.* Se llenan 8 vasos grandes de ácido sulfúrico diluido. Entre cada dos vasos se sumergen dos placas, una de zinc y la otra de cobre, unidas por un remache metálico, de tal forma que en cada vaso haya una placa de zinc y otra de cobre sumergidas. La primera placa de zinc y la última de cobre se unen mediante cables y cocodrilos a una bombilla, de tal forma que se cierre el circuito. Cuando se sumerge la última placa en el líquido, cerrando realmente el circuito, la bombilla se ilumina.  
Se observa que sobre las placas de zinc se desprende un gas. Se trata de hidrógeno.  
La bombilla se va apagando lentamente, pues la producción de hidrógeno evita que se siga atacando el zinc por parte del ácido sulfúrico.

[Nota Histórica. En el año 2000 los italianos, un país con bastantes Premios Nobel de Física, celebraron el 200 aniversario del descubrimiento de Volta. Como en esa época Napoleón había conquistado en norte de Italia, se mostró muy interesado en el descubrimiento de Volta, al que nombró conde. Posteriormente, Napoleón estimuló la creación de los institutos de investigación en Francia, apoyando a figuras como Ampere, Biot, Savart, etc. ]

- (b) *Pila Aluminio-grafito hidróxido sódico.* En una pila de 9 V hay nueve capas de grafito y aluminio en polvo mezclado con hidróxido sódico. En esta reacción también se produce una diferencia de potencial de 1 V.
- (c) *Relojes con pantalla de cristal líquido.* Existen en el mercado pilas electroquímicas que funcionan con agua del grifo y alimentan relojes digitales con pantalla de cristales líquidos. Constan de dos componentes Zn-Cu conectados en serie, por lo que producen unos 2 V de diferencia de potencial, y una intensidad de corriente baja, suficiente para alimentar las pantallas de bajo consumo, pero insuficiente como para encender una bombilla o un LED. La gracia de estos relojes es que funcionan con agua del grifo, que tiene electrolitos disueltos. Con agua destilada no funcionan. Añadiendo sal común al agua destilada, vuelven a funcionar.
- (d) *Electrolitos.* Si se colocan los dos terminales de una pila de Volta (o de una fuente de alimentación) en un recipiente con agua destilada, de tal forma que se cierre el circuito con una bombillita en su interior, la bombilla no luce (pues no se consigue cerrar el circuito; como mucho, se produce la electrolisis del agua). Cuando al agua se le añade azúcar, ésta se disuelve, y la bombilla sigue sin lucir. Pero si se añade sal al agua, esta se disuelve y la bombilla comienza a lucir. La idea de Arrhenius fue que el azúcar se disuelve pero no se disocia en iones cargadas, mientras que la sal se disuelve y se disocia en iones cargados
- (e) *Obtención de altas temperaturas.* Si se hace circular corriente por un hilo de hierro, éste puede alcanzar tal temperatura que primero se pone al rojo vivo y luego puede lucir con luz intensa antes de fundirse.
- (f) *Efecto Seebeck.* Se puede obtener corriente eléctrica aplicando una diferencia de temperaturas entre los extremos de dos sol-

daduras de dos metales diferentes. Máquina térmica. Al aplicar una llama sobre una de las soldaduras del par termoeléctrico, el multímetro indicará el paso de la corriente. Si se calienta en ese momento la otra soldadura, la corriente disminuye.

- (g) *Efecto Peltier*. Efecto opuesto al Seebeck: haciendo circular corriente se puede obtener un punto a menor temperatura. Máquina frigorífica. Si se dispone de una placa Peltier bien refrigerada –una base metálica con muchas patas, hundida en agua fría– y de una fuente de alimentación, se puede conseguir que una gota de agua, colocada encima de la placa, congele.

#### 4. Experiencias de Oersted, Faraday y Lenz

- (a) *Experiencia de Oersted*. Se coloca una brújula debajo de un cable por el que va a circular una corriente eléctrica proveniente de una pila de Volta (corriente continua). La brújula se coloca paralela al cable mientras por él no circula corriente. Cuando la corriente comienza a circular, la aguja de la brújula se mueve, intentando quedar perpendicular al cable. [Nota Histórica. Parte de desarrollo económico de Dinamarca, un país con varios Premios Nobel de Física, se debe a Oersted, cuyos experimentos impulsaron la investigación en su país. En casi todas las ciudades danesas hay un parque Oersted y hay una Medalla Oersted a la divulgación de la Física. Los daneses han desarrollado la tecnología Bluetooth –literalmente DienteAzul, nombre de un rey danés del siglo XI–, por lo que cada vez que se compra uno un aparato con esa tecnología, se pagan royalties a los daneses.]
- (b) *Ley de Biot y Savart*. Cuanto más lejos se encuentra el cable de la aguja de la brújula, menor es su efecto. El efecto se interpreta como que la corriente crea un campo magnético que disminuye con la distancia.
- (c) *Ley de Ampere*. Cuando por dos cables circula corriente continua en la misma dirección, los cables se atraen. Cuando la corriente circula en sentido contrario, los cables se repelen. Es éste es un efecto relativista.

Los daneses han dado lugar a la tecnología Bluetooth (Diente Azul) y en todas sus ciudades hay un Parque Oersted, además de una Medalla Oersted a la divulgación de la Física.



5. Experiencia de Faraday. Si la experiencia de Oersted demuestra que las cargas eléctricas en movimiento, corriente eléctrica, producen efectos magnéticos, la búsqueda de la forma de producir corriente eléctrica mediante imanes o bobinas por las que circula corriente, llevaron a Faraday a descubrir su Principio de Inducción, que es el principio que rige la producción de la mayor parte de la electricidad de este mundo.

- (a) *Ley de Inducción de Faraday:* (i) sin núcleo de hierro dulce. Una bobina formada por muchas espiras de cobre se conecta a una pila de Volta u otro generador de corriente continua. Cerca de esta bobina, encima, por ejemplo, se coloca una segunda bobina que cierra un circuito con un amperímetro. Cuando se hace circular corriente por la primera bobina, buscando producir un efecto magnético, si uno se fija mucho se verá que la aguja del galvanómetro se mueve un poquito y luego se detiene, incluso aunque siga circulando corriente. Cuando la corriente se desconecta en la primera bobina, se observa también un pequeño movimiento de la aguja. (ii) con núcleo de hierro. La primera bobina se coloca ahora en un núcleo de hierro dulce abierto, mientras que la segunda bobina se coloca en el lado opuesto del núcleo, cerrando después el núcleo. Cuando ahora se hace circular corriente por la primera bobina, la aguja de mueve mucho, y vuelve a cero. Al desconectar el circuito, la aguja se mueve mucho y en sentido contrario al anterior.

La interpretación del experimento es que sólo los campos magnéticos variables en el tiempo inducen corriente eléctrica.

[Nota Histórica. Los instrumentos utilizados, y construidos, por Faraday, se guardan actualmente en el Museo Británico. ]

- (b) *Experiencia de Henry.* En vez de una bobina primera se puede utilizar un imán, uno de cuyos polos se acerca y se aleja de la segunda bobina, observándose cómo la aguja del galvanómetro oscila también.
- (c) *Transformadores.* Un solenoide conectado a una fuente de alimentación o pila de Volta, se introduce dentro de otro solenoide, conectado éste a dos LEDs, conectados en sentido contrario. Cuando se conecta la corriente del primer solenoide, se observa que se enciende uno de los dos LEDs. Cuando la corriente se desconecta, se enciende el otro LED. La variación de la corriente en el primer solenoide induce un campo magnético variable

en el tiempo que induce una corriente eléctrica continua en el segundo solenoide. Como los LEDs sólo se iluminan cuando la corriente va en el sentido adecuado, uno de ellos se enciende, pero no el otro. Cuando se desconecta la corriente, se induce corriente continua de dirección opuesta, encendiéndose el otro LED.

## 6. Ley de Lenz

- (a) *Imanes en bobinas.* Si un imán se deja caer desde una cierta altura para que atravesase una bobina de 400 espiras, se produce un pico de corriente de 0,001 A. Si el mismo imán se deja caer desde la misma altura sobre una bobina de 800 espiras, se observa que se produce un pico de 0,002 A. Si el mismo imán se deja caer desde la misma altura sobre una bobina de 1600 espiras, se observa que se produce un pico de 0,004 A.

El mismo experimento se puede hacer si se intenta introducir y extraer el mismo imán de las correspondientes bobinas. Para el, aparente, mismo movimiento del imán, con bobinas de mayor número de espiras se produce más corriente.

El propio Faraday llevó a cabo estas experiencias y concluyó que había algo que se le escapaba, pues el mismo movimiento del imán no podía producir más energía.

- (b) *Imán en tubo de cobre:* Cuando se deja caer un imán de neodimio por un tubo de cobre, material no magnético, el imán desciende con velocidad uniforme y con bastante lentitud.

En su descenso, el imán va atravesando zonas conductoras e induciendo corriente eléctrica por encima y por debajo, de acuerdo con el Principio de Inducción de Faraday. Estas corrientes inducen campos magnéticos, de acuerdo con la Experiencia de Oersted y la Ley de Biot y Savart. Estos campos magnéticos son tales que se oponen siempre al movimiento del imán (retroalimentación negativa), lo que constituye el enunciado de la Ley de Lenz.

La prueba de que el tubo ejerce una fuerza sobre el imán se obtiene colgando el tubo de un dinamómetro. En cuanto el imán se deja libre en la boca superior del tubo, el dinamómetro aprecia un aumento del peso del sistema, debido a que el tubo hace una fuerza sobre el imán que anula su peso (movimiento uniforme) y el imán ejerce la misma fuerza sobre el tubo (Tercera Ley de Newton).

En otra experiencia, un anillo de cobre se coloca rodeando un solenoide en el que se va a descargar un condensador cargado. Al circular la corriente por el solenoide, el anillo sale lanzado hacia arriba.

- (c) *Generador o dinamo.* La Ley de Lenz se puede notar cuando con la ayuda de una dinamo se intentan encender varias bombillas conectadas en serie. La primera bombilla es fácil de encender, pero a medida que más bombillas se intentan encender, las dificultades son cada vez mayores