

CAPITULO 1

Electrostática

Efecto triboeléctrico

El *efecto triboeléctrico* es un fenómeno en el cual la mayoría de los materiales tienen la tendencia de entregar electrones y quedar cargados positivamente (+) o atraerlos y quedar cargados negativamente (-) cuando son golpeados o frotados con otro material [1]. Aunque dependiendo de la combinación de materiales, un mismo material puede quedar cargado positiva o negativamente. La polaridad y magnitud de dicha carga difieren según el material.

El efecto triboeléctrico es estudiado por primera vez por el griego Tales de Mileto (624 AC – 546 AC), a quien se lo considera como el primer filósofo de la historia de la filosofía occidental. Tales observó que al frotar un trozo de ámbar (resina vegetal fósil) con piel o con lana se obtenían pequeñas cantidades de cargas eléctricas que atraían pequeños objetos. Más tarde, gracias a trabajos realizados por el físico y médico inglés William Gilbert (1544 - 1603) surge el término *electricidad* para referirse a este fenómeno, que proviene de la palabra griega *ἤλεκτρον* que significa precisamente ámbar.



Tales de Mileto



William Gilbert

En la siguiente tabla se enumeran algunos materiales que tienen la tendencia de entregar electrones, quedando cargados positivamente y otros que tienen la tendencia de absorber electrones, quedando cargados negativamente. En la columna de la izquierda, los primeros entregan electrones con más facilidad que los del abajo. En la columna de la derecha los elementos del final absorben electrones con más facilidad que los primeros.

Materiales que entregan electrones (Ganan carga positiva)	Materiales que absorben electrones (Ganan carga negativa)
Piel de conejo (+)	Acero (0)
Vidrio	Madera
Cabello	Ámbar
Nylon	Cobre

Acrílico	Bronce
Lana	Oro
Aluminio	Poliéster
Papel	PVC
Algodón (0)	Teflón (-)

Existen diversos aparatos capaces de detectar la carga eléctrica de los cuerpos. Aquí se trabajará con dos de ellos, el electroscopio y el electrómetro.

Electroscopio

El electroscopio es un instrumento para detectar la presencia y magnitud de carga eléctrica de un cuerpo. El primer electroscopio fue inventado precisamente por William Gilbert y consistía de una aguja de metal, la cual podía girar libremente con un eje en su centro (tal como lo hace una aguja de una brújula).

Los actuales electroscopios consisten de un soporte vertical de metal conductor sobre el cual se apoya una hoja de metal conductor (en nuestro caso, la hoja es reemplazada con un “sorbete” de metal) la cual puede pivotar sobre un eje horizontal colocado en el centro (Figura 1 (a) y (b)).

Al frotar una de las varillas sobre el paño, ésta se cargará eléctricamente debido al efecto triboeléctrico, con una cantidad de carga cuyo signo dependerá del material de la varilla y del paño, utilizados. Si se acerca la varilla (cargada eléctricamente) a la parte superior del electroscopio se podrá observar como el sorbete de metal gira alrededor del pivote de manera tal que los extremos se alejan del soporte (figura 1 (a) y (b)).

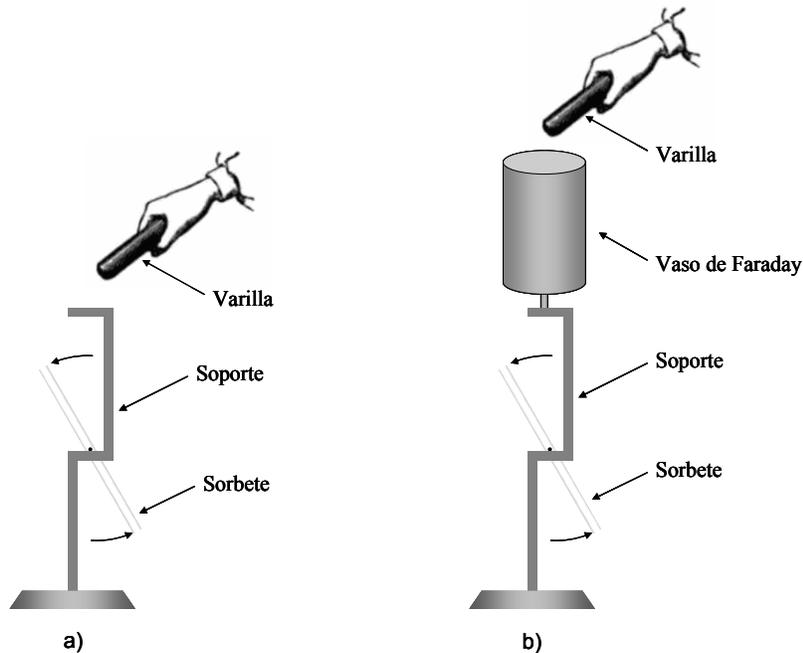


Figura 1: Electroscopio (a) sin vaso de Faraday, y (b) con vaso de Faraday.

Actividades propuestas:

- 1) Tome cada una de las varillas y frótela con el paño. Observe lo que sucede con el electroscopio al acercar la varilla a la parte superior de éste.
- 2) Observe a simple vista, el ángulo rotado por el sorbete para los casos con y sin vaso de Faraday.
- 3) Observe la inclinación del sorbete cuando la varilla es frotada una sola vez y cuando es frotada varias veces.
- 4) Frote ambas varillas, júntelas e introdúzcalas dentro del vaso de Faraday.
- 5) Ponga a prueba una jaula de Faraday en este aparato.

Preguntas:

- 1) Explique porque el sorbete rota cuando la varilla cargada se acerca al aparato.
- 2) ¿Es posible identificar el signo de la carga con este instrumento? ¿Cómo?
- 3) ¿En qué caso la inclinación del sorbete es mayor? ¿Con o sin el vaso de Faraday?
- 4) Sugiera una forma tal que el electroscopio quede cargado después de que la varilla es alejada del electroscopio. En este caso el sorbete quedaría inclinado, aún cuando la varilla es alejada del electroscopio.

Advertencias:

- 1) Tratar con delicadeza el sorbete para evitar que se quiebre.

Electrómetro

El electrómetro es un instrumento para medir indirectamente la carga inducida en un cuerpo (Figura 2). Este consiste de un vaso de Faraday conectado a un condensador de un valor conocido. El condensador, a su vez, esta conectado a un amplificador de tensión que permite medir indirectamente, cantidades de carga eléctrica relativamente pequeñas. Finalmente, un voltímetro se conecta a la salida del amplificador para medir la tensión amplificada.

Al introducir la varilla cargada eléctricamente dentro del vaso, se induce una carga de signo opuesto dentro del mismo. Esto induce una carga dentro del condensador que luego será detectado por el voltímetro. Aquí, se podrá observar como el voltímetro indica una diferencia de potencial eléctrico a los bornes del condensador.

Actividades propuestas:

Antes de realizar cualquier experimento, descargar las varillas y el vaso de Faraday.

- 1) Golpear ambas varillas entre si varias veces y luego mantenerlas separadas.
- 2) Introducir cada varilla por separado dentro del vaso de Faraday y observar el voltímetro.
- 3) Introducir ambas varillas cargadas al mismo tiempo y observar lo que sucede.
- 4) Frotar cada una de las varillas con la gamuza, papel y polietileno, y luego observe la polaridad de la carga inducida para cada combinación.

5) Ponga a prueba una jaula de Faraday en este aparato.

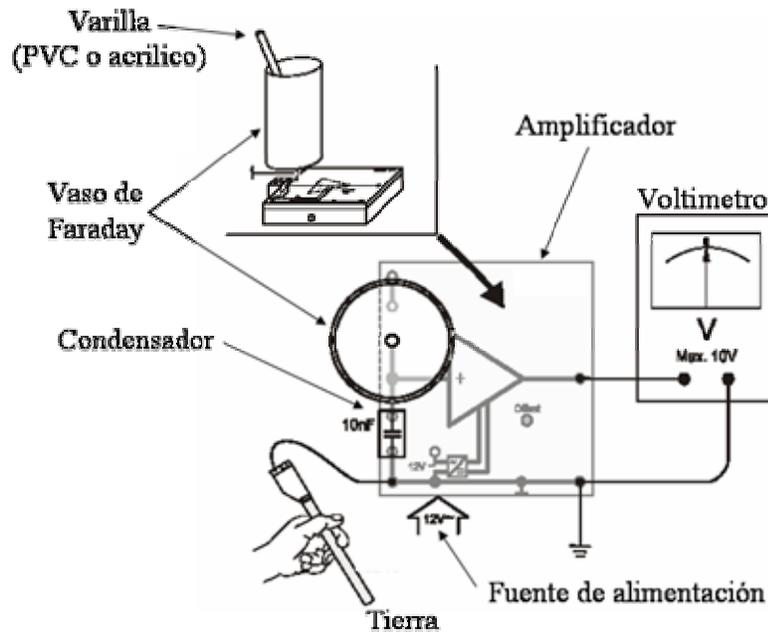


Figura 2: Esquema del electrómetro.

Preguntas:

- 1) ¿Es posible identificar el signo de la carga con este instrumento? ¿Cómo?
- 2) ¿Como se puede determinar la carga inducida en el vaso?
- 3) ¿Que cambia si se reemplaza el condensador por el otro de valor diferente?
- 4) ¿Cual es la utilidad de la barra de metal llamada tierra?

Advertencias:

- 1) Alimentar el amplificador solo con la fuente destinada a éste.
- 2) Tratar con cuidado el vaso de Faraday una vez instalado para no dañar el adaptador que lo sostiene.

Generador de Van de Graaff

Un generador de Van de Graaff es un generador electrostático que posee una banda móvil para acumular grandes cantidades de cargas eléctricas en una esfera hueca de metal que se encuentra en la parte superior del aparato. La diferencia de potencial generada en un generador de Van de Graaff puede llegar a cientos de miles de voltios. Este puede ser pensado como una fuente de corriente constante conectada en paralelo a un condensador y a una resistencia eléctrica muy alta.

El primer generador fue desarrollado en 1929 por el Físico estadounidense Robert J. Van de Graaff (1901–1967) en el MIT, para realizar experimentos en física nuclear en los que se aceleraban partículas cargadas que se hacían chocar contra blancos fijos a gran velocidad. En la figura 3 (a) se muestra un diagrama del primer diseño del generador y en la figura 3 (b) una ilustración del generador usado para acelerar las

partículas. Los resultados de las colisiones daban información acerca de las características de los núcleos del material que constituían el blanco.

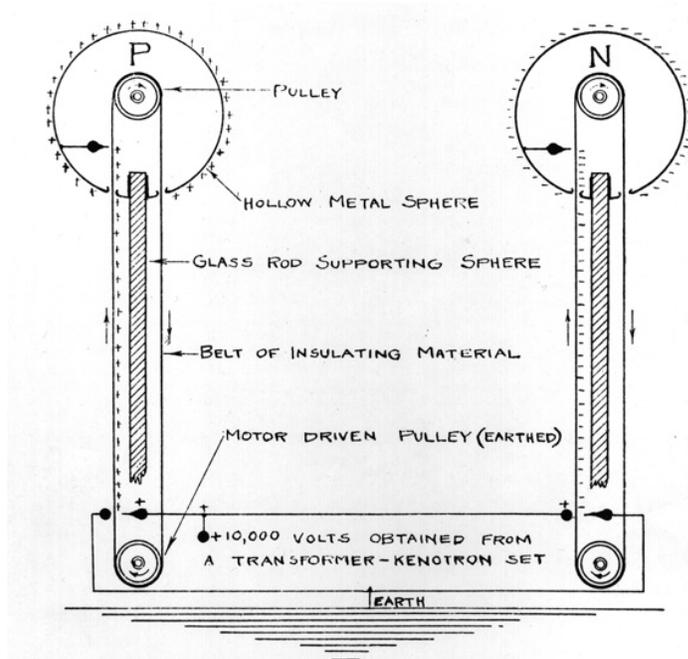
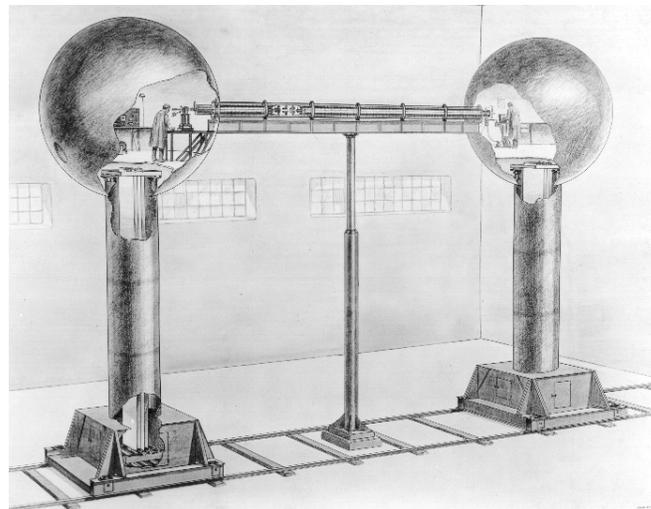


DIAGRAM OF FIRST GENERATOR

©MIT Museum All rights reserved

a)



CUTAWAY DRAWING SHOWING HOW THE MACHINE WAS USED AT ROUND HILL

©MIT Museum All rights reserved

b)

Figura 3: Diagrama del primer diseño de un generador (a) y una ilustración de cómo se usó para acelerar partículas cargadas.

El generador de Van de Graaff mas grande del mundo, construido por el propio R. Van de Graaff en la década de 1930, se encuentra en exhibición permanente en el museo de Ciencia de Boston (figura 4). Este consta de dos esferas conjuntas de aluminio de 4,5

m sostenidas por columnas de 6,7 m de altura, y puede alcanzar los 2 millones de voltios. En 1931, Van de Graaff solicitó la primera patente, que cuatro años después le fue concedida [2].

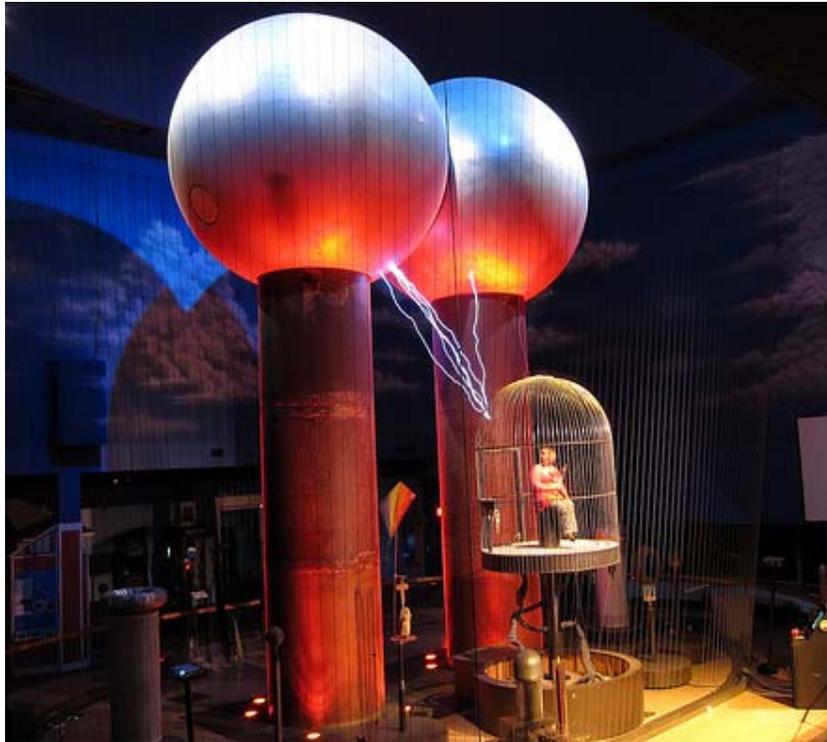


Figura 4: Generador de Van de Graaff en el museo de ciencia de Boston.

Un generador de Van de Graaff típico (figura 5) Consta de:

- 1 - Una esfera metálica hueca en la parte superior.
- 2 - Dos rodillos de diferentes materiales: el superior de metal conductor, y el inferior de material aislante.
- 3 - Dos “peines” metálicos (superior e inferior) para ionizar el aire. El inferior está conectado a tierra y el superior al interior de la esfera.
- 4 - Una cinta transportadora hecha de material aislante (comúnmente de látex).
- 5 - Un motor eléctrico para rotar el cilindro inferior.

Cuando el motor comienza a girar, el continuo proceso de contacto y separación entre el rodillo (inferior) de acrílico y la cinta, genera una cierta cantidad de carga en el rodillo debido al efecto triboeléctrico, y la misma carga pero de signo opuesto sobre la superficie interior de la cinta (figura 6). Luego de varias vueltas, el rodillo mantiene una densidad de carga bastante más alta que la de la cinta. De este modo, entre las puntas del peine inferior (conectado a tierra) y la superficie del rodillo se produce un campo eléctrico intenso provocando la ionización de las moléculas del aire cercano a las puntas

del peine, creando así, un puente conductor por el que circulan las cargas desde las puntas del peine hacia la superficie exterior de la cinta, la cual se encarga de transportar dichas cargas hacia la parte superior del generador donde se encuentra el otro peine.

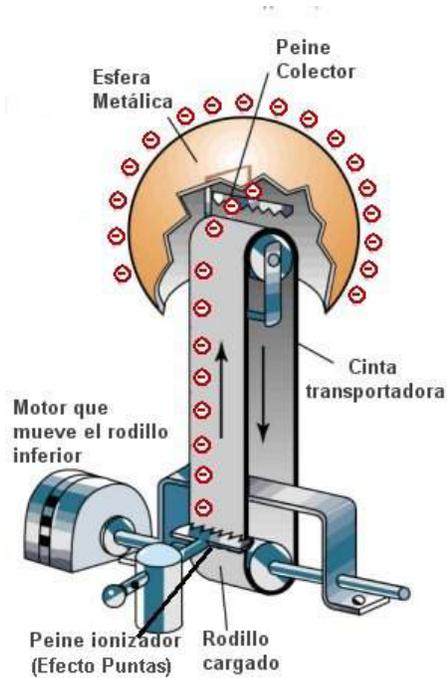


Figura 5: El generador de Van de Graaff

La densidad de carga en la parte exterior de la cinta resultara mayor (pero del mismo signo) a la densidad de carga en el interior, pero estas no se redistribuyen ya que la cinta es no conductora.

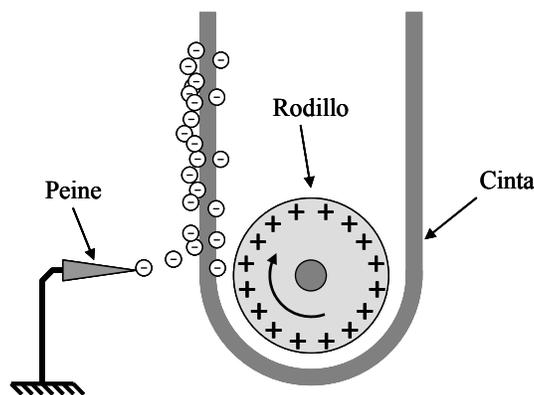


Figura 6: parte inferior del generador

Cuando la cinta entra en contacto con el rodillo superior, le transfiere algo de carga a este último, y así junto con las cargas sobre la superficie externa de la cinta, generan

un campo eléctrico suficientemente alto para ionizar nuevamente el aire cercano a las puntas del peine superior. De esta manera se produce una transferencia de carga desde el peine (conectado a la esfera metálica) hacia la cinta, quedando la esfera cargada y la cinta con carga neutra (Figura 7).

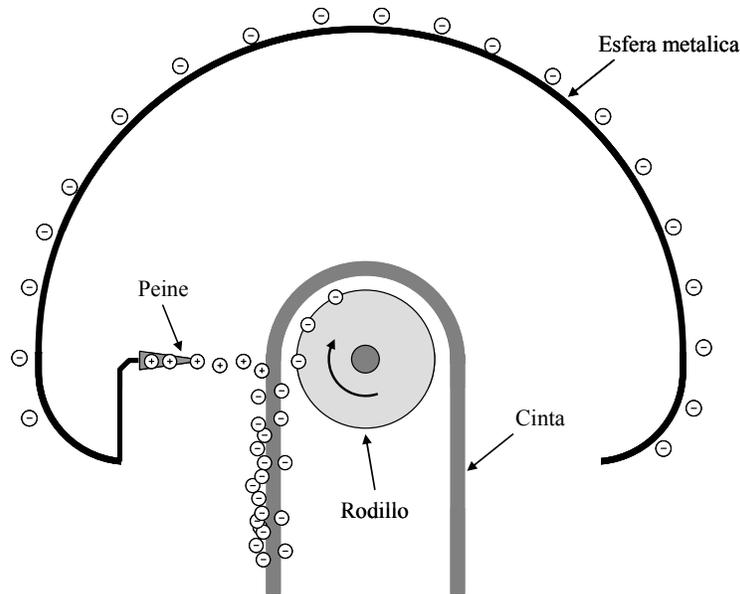


Figura 7: parte superior del generador

Mientras la esfera va acumulando carga, la diferencia de potencial entre ésta y tierra va aumentando pudiendo llegar a unos pocos millones de voltios.

Actividades propuestas

- 1) Conectar una punta al generador y colocarla cerca de una llama de una vela y observar lo que sucede con la llama.
- 2) Hacer lo mismo pero esta vez acercando la punta a un chorro fino de agua.
- 3) Conectar el molinete electrostático al generador.

Preguntas

- 1) Un generador de Van de Graaff, ¿funcionaria en el vacío?
- 2) ¿Siempre serán negativas las cargas inducidas en la esfera de un generador de Van de Graaff?
- 3) Explique lo observado en las actividades propuestas.
- 4) Un efecto muy conocido es el del cabello erizado de una persona cuando toca la esfera de generador en funcionamiento. Explique porque sucede esto.

Motor electrostático

Los motores electrostáticos [3] están basados en las fuerzas de atracción entre cargas eléctricas de distinto signo y las de repulsión entre cargas del mismo signo. A lo largo de los últimos tres siglos se han diseñado varios tipos de motores electrostáticos [4-8], sin embargo están muy limitados en la potencia que pueden entregar. Hoy se usan en sistemas micro-electromecánicos (MEMS) (figura 8) donde los voltajes de trabajo están por debajo de los 100 V, y donde las pequeñas partes de estos motores son mucho más fáciles de construir que las partes de un motor eléctrico convencional con bobinas [9].

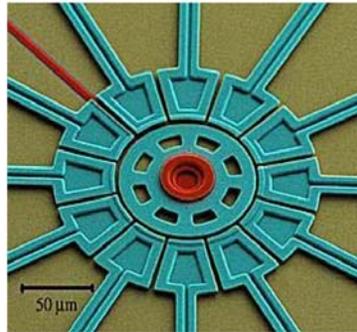


Figura 8: Micrografía electrónica de barrido (SEM) de un micromotor electrostático hecho de silicón policristalina usando técnicas de micromaquinado superficial.

Los primeros motores electrostáticos fueron desarrollados por Benjamín Franklin (1706 - 1790) y Andrew Gordon (1712 - 1751) independientemente [10]. El motor electrostático de Franklin (figura 9), consistía esencialmente en una rueda con varillas colocadas en forma radial, que gira en el plano horizontal sobre cojinetes con un bajo coeficiente de rozamiento. Las varillas eran de un material dieléctrico (vidrio), y en su extremo más alejado del centro de la rueda sostenía un dedal de bronce.

Las botellas de Leyden mostradas en la figura 9 servían como fuentes de cargas para hacer funcionar el motor. Estas botellas eran la versión primitiva de un condensador moderno de alta tensión.

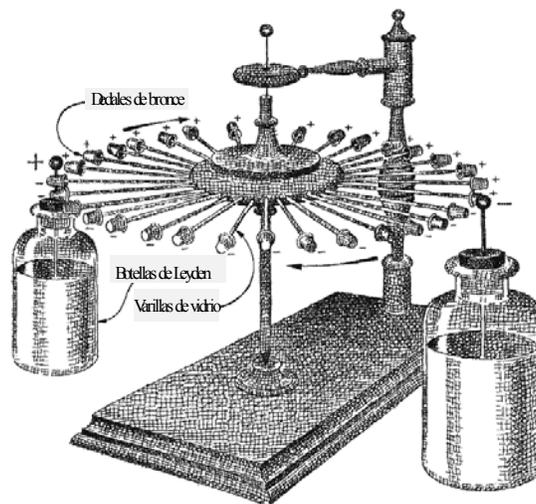


Figura 9: Motor electrostático de Franklin

Otro diseño de un motor electrostático, es el que se muestra en la figura 10 [11]. Este consiste de un cilindro de material no conductor que puede girar libremente al cual se han adherido tres laminas de material conductor (por ejemplo aluminio) aisladas entre si. El cilindro se coloca entre dos placas paralelas conductoras conectadas a un generador de Van de Graaff o de una fuente de alto voltaje para generar carga opuestas en las placas metálicas. De cada una de las placas sale un cable o alambre cuyo extremo suelto se coloca muy cerca del cilindro pero sin entrar en contacto. Al encender el generador de Van de Graaff o la fuente de alto voltaje el cilindro comienza a girar.

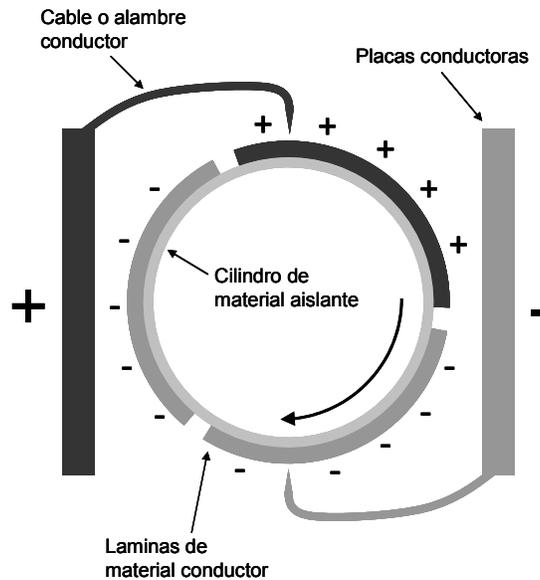


Figura 10: Motor electrostático visto desde arriba.

El siguiente es el motor electrostático mas simple que se haya inventado [11], y fue ideado por el fisico alemán Johann Christian Poggendorff (1796 - 1877). En este diseño, se usa un disco de material dieléctrico, el cual puede girar en el plano horizontal sobre cojinetes con un bajo coeficiente de rozamiento. Debajo del disco se encuentran dos puntas metálicas que se colocan cerca de la superficie del disco (sin tocarlo). Ambas puntas son conectadas a una fuente de alto voltaje o de un generador de Van de Graaff.

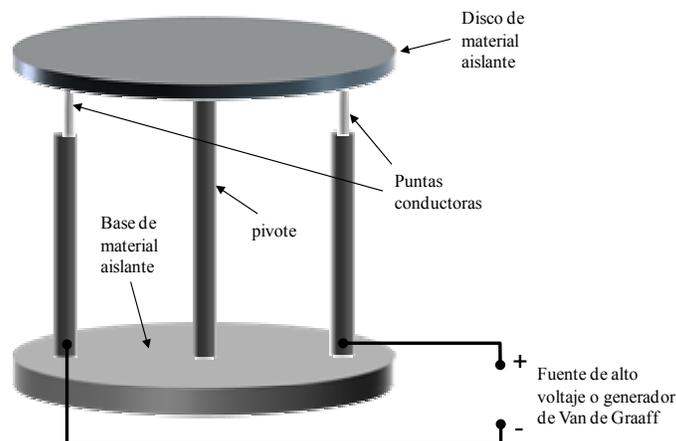


Figura 11: Motor electrostático de Poggendorff.

Preguntas

- 1) Deduzca el funcionamiento de estos tres motores electrostáticos.
- 2) ¿Cuál/es de los tres motores comienzan a girar por sí mismos y por qué?
- 3) ¿Funcionarían estos motores en el vacío?

Representación del campo eléctrico

Un campo eléctrico estático puede ser representado geoméricamente con líneas tales que en cada punto el campo vectorial sea tangente a dichas líneas, a estas líneas se las conoce como "líneas de campo". Matemáticamente las líneas de campo son las curvas integrales del campo vectorial. Las líneas de campo se utilizan para crear una representación gráfica del campo, y pueden ser tantas como sea necesario visualizar.

Actividades Propuestas

1. Visualice las líneas de campo eléctrico para distintas configuraciones de electrodos.

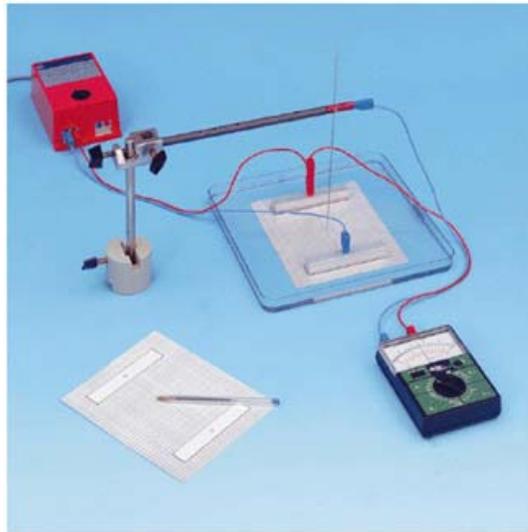


Figura12: Dispositivo para la visualización de las líneas de campo eléctrico

2. Determine superficies equipotenciales para distintas configuraciones de electrodos. Para ello utilice un papel resistivo en contacto con dos electrodos y utilice un voltímetro.

Preguntas

1. De las mediciones realizadas, analice el comportamiento de las líneas de campo respecto de la superficie de los electrodos y de su forma geométrica; y respecto de las líneas equipotenciales.
2. Proponga, si es posible, una configuración para obtener un campo eléctrico cero en una región.

Balanza de Coulomb

La balanza de Coulomb es un tipo de balanza de torsión muy sensible que puede ser utilizada para investigar la fuerza que aparece entre dos cargas eléctricas.

Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) fue un ingeniero militar francés que trabajó para Napoleón y realizó importantes contribuciones en el campo de la elasticidad y la resistencia de materiales. En Física es conocido por la ley de Coulomb, aunque en el campo de la electrostática estudió las propiedades eléctricas de los conductores y demostró que si un conductor en equilibrio electrostático está cargado, su carga se distribuye a lo largo de su superficie. En el año 1777 diseñó una balanza de torsión de gran sensibilidad formada por una varilla ligera que está suspendida de un largo y delgado hilo con dos esferas equilibradas a cada extremo (Figura 13).



Charles Coulomb

Con ayuda de esta balanza estableció de forma cuantitativa la ley del inverso del cuadrado de la distancia para la interacción entre cargas eléctricas puntuales, conocida como ley de Coulomb [12, 13].

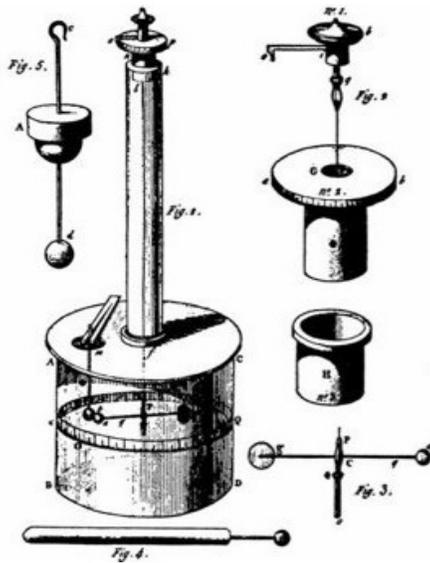


Figura 13: Balanza original de Coulomb



Figura 14: Balanza de Coulomb Pasco

En la Figura 13 se muestra un modelo de la balanza que utilizó Coulomb, en la Figura 14 se muestra la balanza que se utilizará en esta práctica y en las Figuras 15(a) y (b) un esquema de la misma.

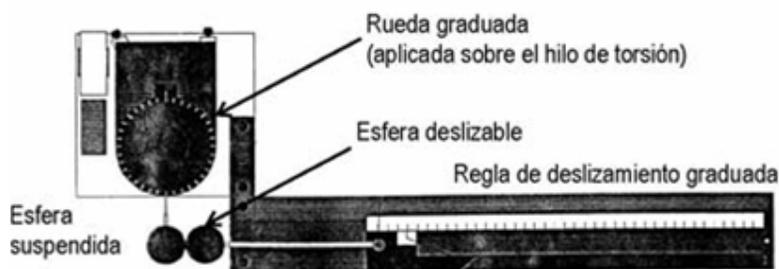
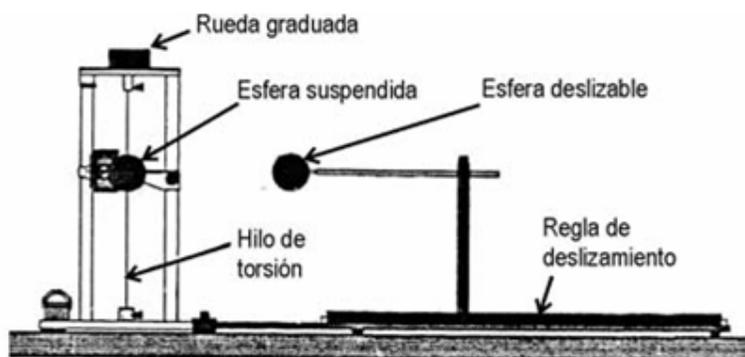


Figura 15: Esquema de la Balanza de Coulomb Pasco

Actividad propuesta

Utilice la balanza para estudiar la validez de la Ley de Coulomb.

Preguntas

1. Describa una propuesta para estudiar la dependencia de la fuerza eléctrica con la carga.
2. Describa una propuesta para estudiar la dependencia de la fuerza eléctrica con la distancia.
3. Analice la validez de suponer a las esferas como cargas puntuales.

Advertencias

Si hace uso de una fuente de alto voltaje para cargar las esferas, utilice la punta de cargado. En este caso, sostenga a la misma por el extremo más alejado de la punta metálica. Apague la fuente inmediatamente después de cargar las esferas. Tenga cuidado al utilizar la balanza para no romper la fibra de torsión.

Balanza electrostática

La balanza electrostática es una balanza diferencial fabricada a base de materiales no magnetizables que permite la medición de fuerza entre cuerpos cargados. En la Figura 16 se muestra un esquema de la balanza a utilizar para el caso de la medición de la fuerza entre una esfera (a) y un plato metálico puesto a tierra (b). La balanza consta de un pie de altura regulable (c) y de ajuste de horizontalidad (d).

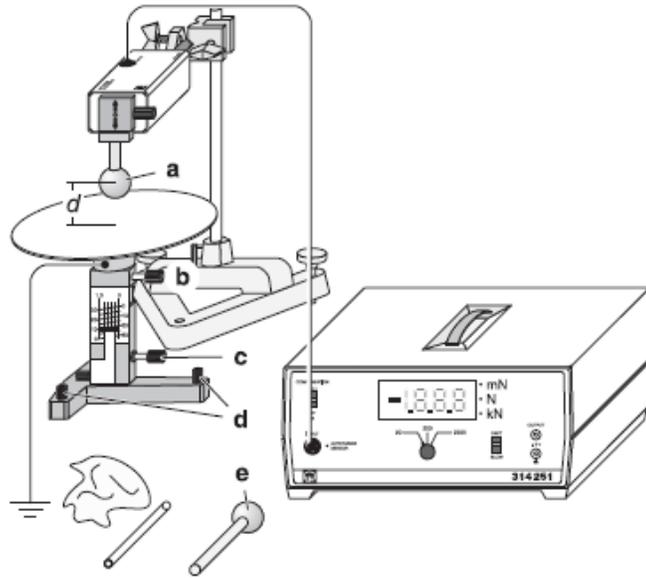


Figura 16: Esquema de la balanza electrostática.

Actividades propuestas

1. Mida la fuerza entre una esfera cargada y un plato metálico puesto a tierra.

Preguntas

1. Para el caso de la fuerza entre una esfera cargada y el plato metálico, analice la equivalencia entre la situación planteada y la de suponer una carga de signo opuesto (a la carga en la esfera) ubicada en el punto imagen del centro de la esfera.

Balanza de Kirchoff

Gustav Robert Kirchoff (Königsberg, 12 de marzo de 1824 - Berlín, 17 de octubre de 1887) fue un físico prusiano cuyas principales contribuciones científicas estuvieron en el campo de los circuitos eléctricos, la teoría de placas, la óptica, la espectroscopia y la emisión de radiación de cuerpo negro.

La balanza de Kirchoff permite medir la fuerza entre las placas metálicas de un capacitor cuando este está conectado a una fuente de tensión.

En la Figura 17 se muestra un ejemplo del dispositivo a utilizar donde a y b forman la placa superior del capacitor, y c la inferior. La placa inferior está montada sobre un pie de altura regulable (e y d) y de ajuste de horizontalidad (f).



Gustav Kirchoff

Actividad Propuesta

1. Mida la fuerza entre las placas del capacitor en función de la separación de las mismas y en función del voltaje aplicado.

Preguntas

1. Realice un análisis teórico de la relación entre la fuerza entre las placas de un capacitor y la separación entre las mismas; y del voltaje aplicado.
2. De las mediciones realizadas, ¿Es posible determinar el valor de la permitividad del vacío?

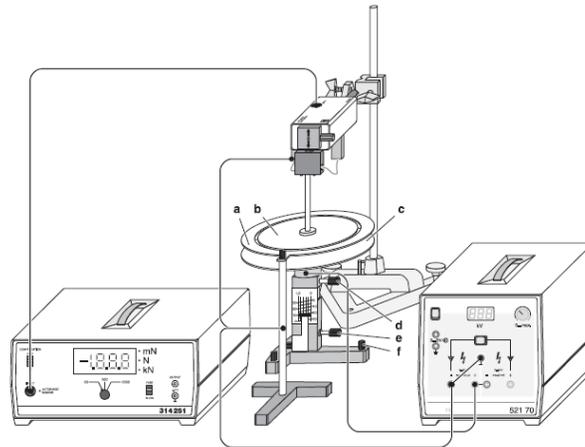


Figura 17: Conexiones para la balanza de Kirchoff

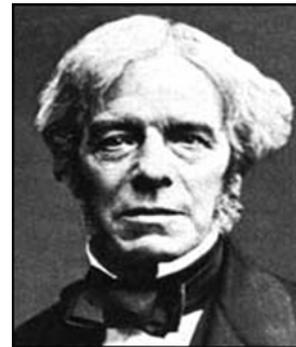
Advertencias

Evite tocar las placas metálicas y que estas se toquen cuando hay un voltaje aplicado a las mismas.

Jaula de Faraday. Blindaje electrostático

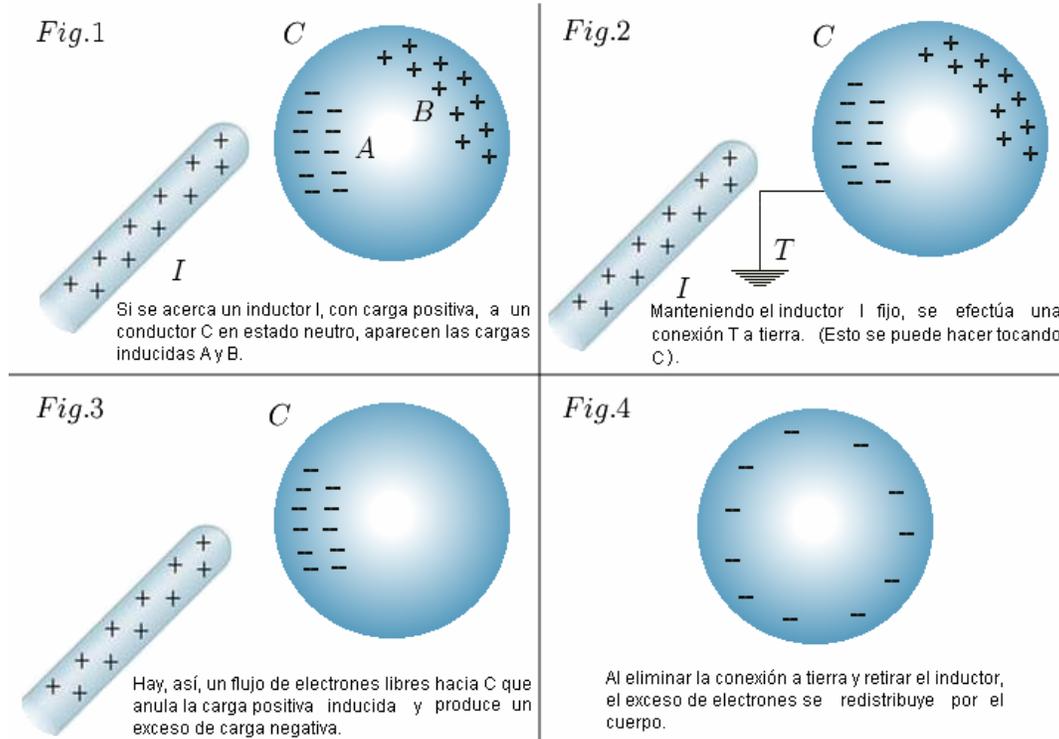
Michael Faraday (1791 - 1867) fue un científico inglés que estudió el electromagnetismo y la electroquímica. Es conocido principalmente por sus aportes a la comprensión del fenómeno de inducción electromagnética, y su formulación de las leyes de la electrólisis.

El funcionamiento de la jaula de Faraday se basa principalmente en el fenómeno de inducción eléctrica o electrostática asociado a las propiedades de un conductor en equilibrio electrostático [14] (figuras 1 – 4 de esta sección). Cuando una superficie construida con material conductor se coloca en presencia de un campo eléctrico externo, los



Michael Faraday

electrones libres de desplazarse en el conductor producen un exceso de carga negativa en un sector y positiva en el lado contrario. En las figuras el campo eléctrico externo es originado por un cuerpo cargado que llamamos inductor.



Si la esfera sobre la cual se induce redistribución de cargas se conecta a tierra mediante un conductor (figura 2), se producirá un flujo de electrones libres hacia la esfera quedando esta con exceso de carga negativa (figuras 3 y 4).

Un experimento conocido de Faraday fue el del “cacharro de hielo” (figura 18). Para estudiar la redistribución de cargas en un objeto conductor, Faraday utilizó un recipiente metálico que en sus tiempos se usaba para hacer hielo. Al introducir la esfera *k* cargada positivamente dentro del recipiente conductor *P* (sin tocar las paredes del mismo), inducción electrostática mediante, la superficie interior quedará cargada con exceso de carga negativa, mientras que la superficie exterior lo hará con carga positiva. Si la esfera estuviera cargada en forma negativa, la superficie exterior quedaría con carga negativa (figura 19).

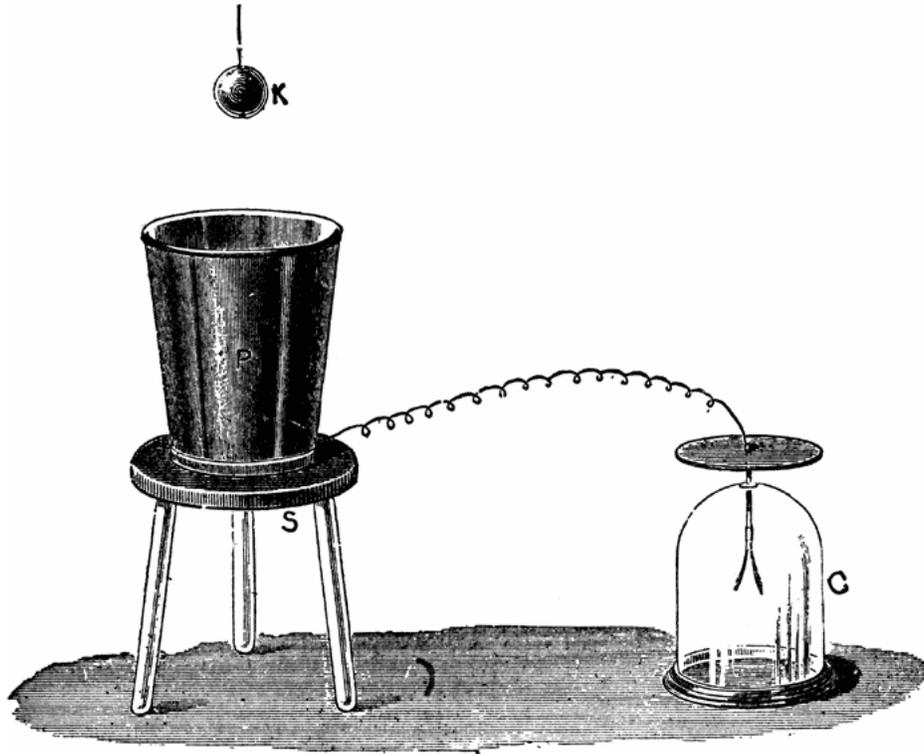


Figura 18: experimento del cacharro de hielo de Faraday (o “ice pail”). La esfera cargada k es introducida en el recipiente conductor P sin tocar las paredes. La redistribución de cargas inducidas es detectada en el electroscopio C .

Dicho exceso de carga puede ser detectado, por ejemplo, mediante un electroscopio. Al tocar con la mano la superficie externa, sucede un proceso análogo al descrito con la esfera: se establece un flujo de carga negativa hacia el cacharro (caso esfera positiva). Al retirar la mano y la esfera cargada, el cacharro quedara con exceso de carga negativa. Dicho proceso se denomina *carga por inducción*. Por el contrario, si se toca el cacharro con la esfera cargada, se establece un flujo de cargas entre la esfera y el recipiente. Al retirar la esfera, el recipiente quedará con exceso de carga positiva. En este caso, nos referimos a *carga por contacto*.

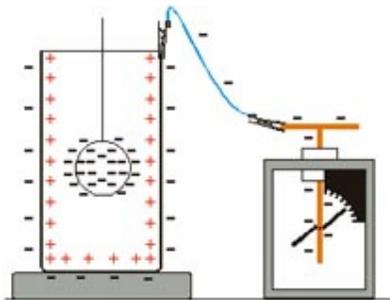


Figura 19: redistribución de cargas en el cacharro de Faraday debido al fenómeno de inducción electrostática.

Otro efecto se logra al acercar la esfera cargada al cacharro de costado (figura 20). En este caso, las cargas se distribuyen en la superficie exterior del recipiente de manera que el campo eléctrico resultante en el interior se anula. A este ultimo efecto se lo denomina “blindaje electrostático” (*electrostatic shielding o screening*). Si en vez de un cacharro hablamos de un recipiente cerrado, entonces nos referimos a una “jaula” de Faraday. Al igual que en el caso anterior, en presencia de campo eléctrico las cargas se distribuyen en el exterior del conductor de manera que la superficie interior permanece sin cargas superficiales.

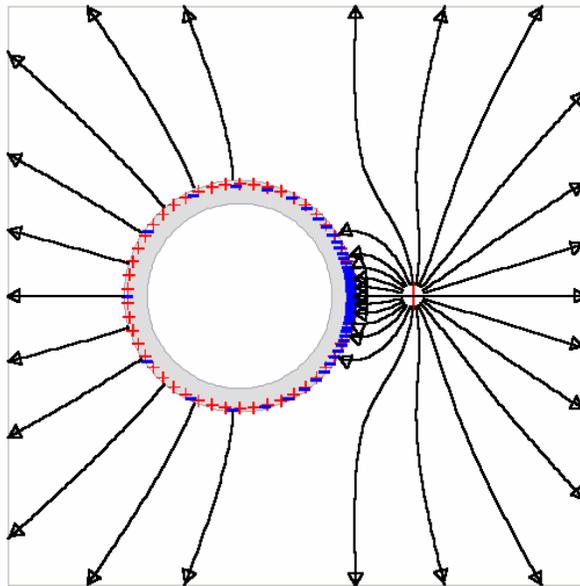


Figura 20: blindaje electrostático.

Es justamente este efecto el que permite protegernos, por ejemplo, de grandes descargas de alta tensión aplicadas a una jaula que nos rodea (figura 21).



Figura 21: blindaje electrostático mediante una jaula de Faraday aplicado a una descarga eléctrica de alta tensión.

Actividades propuestas

La figura 22 ilustra el cacharro de Faraday de Pasco disponible en el laboratorio.



Figura 22: cacharro de Faraday Pasco (Faraday Ice Pail). El recipiente interior es el cacharro propiamente dicho, el exterior es el blindaje.

1. Intente comprobar el concepto de carga por inducción. Para ello conecte el electrómetro como ilustra la figura 23. Conecte a tierra el cacharro de manera

que la lectura del electrómetro sea nula, indicando la ausencia de cargas. Cargue un objeto e introdúzcalo en el interior del cacharro sin tocar las paredes, tocando con una mano la malla de blindaje. Observe el electrómetro. Luego retire el objeto y verifique que el electrómetro vuelva a dar lectura nula.

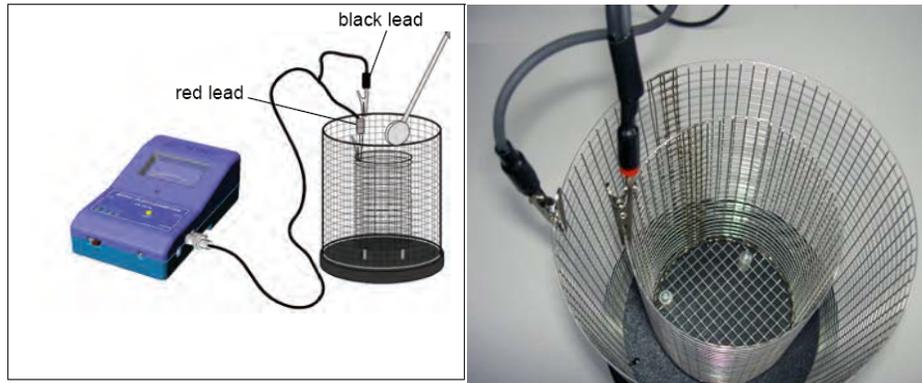


Figura 23: conexión del electrómetro al cacharro de Faraday Pasco.

2. Ahora compruebe la carga por contacto. Introduzca el cuerpo cargado en el interior del cacharro y toque con el mismo la pared interior del cacharro. Observe la lectura del electrómetro. Retire el objeto y observe la lectura nuevamente. Toque ahora al cacharro con la mano y observe nuevamente lo que ocurre en el electrómetro.
3. Proponga y experimente una forma de verificar el concepto de blindaje electrostático.

Preguntas

1. En la configuración de la figura 20, demuestre formalmente que el campo eléctrico dentro del recipiente es nulo.
2. Tanto para el cacharro de Faraday como para una superficie de blindaje, ¿existe alguna diferencia en que sea continua o una malla (como el accesorio de Pasco)?
3. Interprete lo observado durante la actividad 1. ¿Por qué la lectura del electrómetro vuelve a ser nula al retirar el cuerpo cargado?
4. Interprete lo observado en la actividad 2. ¿Queda cargado el cacharro al retirar el cuerpo? ¿Por qué?
5. Describa su propuesta para la realización de la actividad 3.

Carrete o bobina de Ruhmkorff

Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803 – 1877), físico alemán a quien se atribuye la invención de la bobina de inducción. Trabajó en París donde se dedicó a la construcción de instrumentos eléctricos. En 1851 diseña el carrete que lleva su nombre, el cual fue luego utilizado en diferentes aplicaciones, como por ejemplo en sistemas de telegrafía sin hilos (primeros sistemas de comunicación inalámbricos), de uso masivo hacia fines del siglo XIX. Un ejemplo de aplicación puede encontrarse en una importante patente de G. Marconi [15]. Estos eventos son contemporáneos con la discusión de la teoría electromagnética de J. C. Maxwell, y una intensa actividad científica y técnica relacionada al electromagnetismo y sus aplicaciones. Recordamos, por ejemplo, que hacia 1888 R. H. Hertz demuestra la posibilidad de crear y detectar ondas electromagnéticas.

El carrete o bobina de Ruhmkorff (figura 24) es esencialmente un generador eléctrico que permite obtener tensiones elevadas a partir de una fuente de corriente continua.

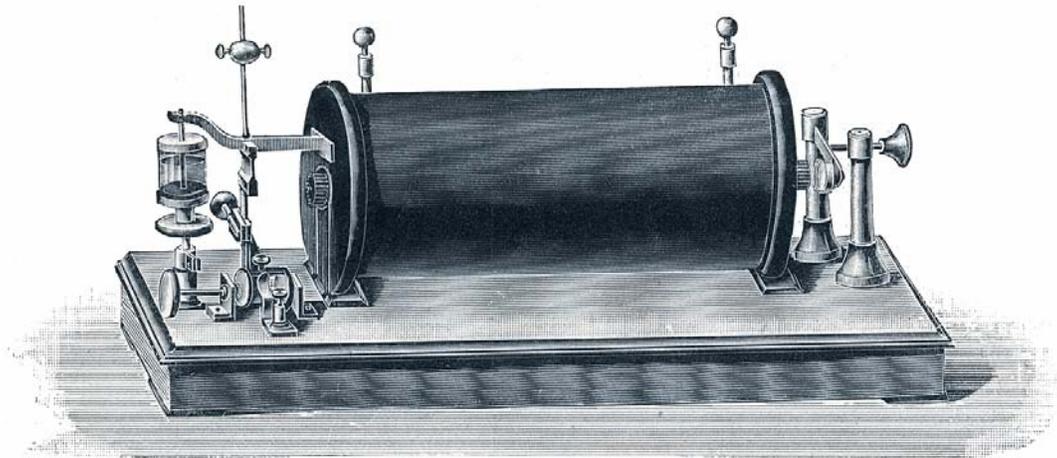


Figura 24: carrete de Ruhmkorff

El carrete o bobina de Ruhmkorff se constituye de dos bobinados de inducción: primario **A** y secundario **B** (figura 25). El primario consiste de algunas decenas de vueltas de alambre de cobre esmaltado del orden de un milímetro de diámetro, mientras que el secundario se compone de un bobinado de muchas vueltas de alambre de cobre de buena aislación y de algunas décimas de milímetro de diámetro. Ambos bobinados están enrollados alrededor de un núcleo magnético **C** formado por alambres de hierro dulce dispuestos paralelos unos con otros.

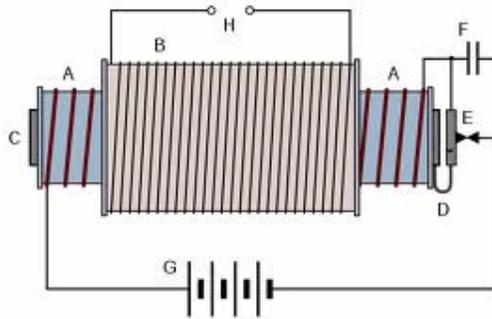


Figura 25: esquema de funcionamiento del carrete de Ruhmkorff

Cuando el primario es excitado por una corriente variable (por ejemplo, una corriente continua aplicada al cerrar un interruptor), la variación del campo magnético inducida en el secundario origina en éste una tensión proporcional a la relación entre el número de vueltas entre ambos bobinados. En este sentido, el carrete funciona como un transformador elevador de tensión [14]. El detalle del carrete de Ruhmkorff es que la *relación de transformación* es muy alta, permitiendo obtener tensiones de varios kilovoltios. Al corte de la corriente (abertura del circuito primario) es cuando la tensión inducida es más elevada y produce una chispa entre los bornes **H**.

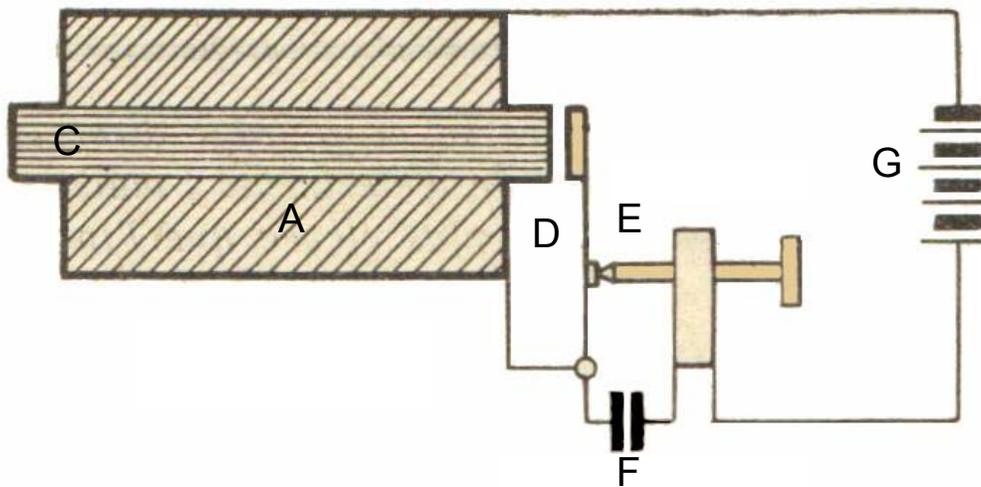


Figura 26: Circuito primario del carrete de Ruhmkorff donde se muestra el tornillo utilizado para optimizar el funcionamiento del oscilador

El carrete observado en la figura 1 utiliza un interruptor de Foucault [16]. Para producir chispas en forma continua se utiliza un dispositivo mecánico que consiste en una chapa flexible **D** que actúa como resorte y un platino **E** (llamado originalmente *oscilador*). Al conectar la batería **G**, se establece una corriente por el primario que circula a través del platino cerrado. Dicha corriente en el primario origina un campo magnético que magnetiza al núcleo de hierro, el cual atrae el contacto del platino montado sobre la chapa-resorte. En dicho instante se interrumpe la corriente del primario generando una alta tensión inducida en el secundario, y como consecuencia, se origina una chispa en **H**. Al cortarse la corriente en el primario, el contacto del platino

se cierra nuevamente por acción de la chapa-resorte, iniciando el ciclo nuevamente. El tiempo que separa dos cortes del circuito se llama *período de corte*. Depende de diversos parámetros como pueden ser la atracción del núcleo, la rigidez de la chapa-resorte, etc. La optimización del *oscilador* puede lograrse mediante el ajuste de un tornillo ubicado en el platino (figura 26).

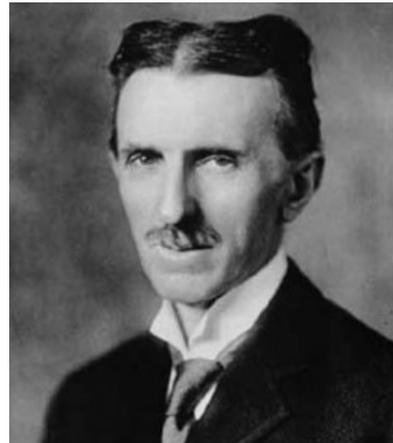
El mismo principio de funcionamiento, salvando detalles del accionamiento mecánico del platino, fue utilizado por muchos años en motores de explosión para generar las chispas detonadoras en las bujías de ignición. El uso persiste hasta nuestros días, donde la evolución tecnológica se concentra fundamentalmente en la forma de excitar el primario (sin piezas mecánicas).

Preguntas

1. ¿Qué rol cumple el capacitor **F** ubicado en paralelo al platino?
2. ¿Por qué resulta conveniente que el núcleo **C** este construido superponiendo alambres en vez de una barra maciza de hierro?
3. ¿Por qué la tensión inducida en el secundario es mayor al cortar la corriente que al conectarla?

Bobina de Tesla

Nikola Tesla (1856-1943) nació en Similjan, Imperio Austrohúngaro (hoy Croacia). Estudió ingeniería mecánica y eléctrica en Austria y física en Checoslovaquia. Trabajó en varias compañías eléctricas y telefónicas en Europa y Estados Unidos [17]. En 1909 Marconi gana el premio Nobel por su aparato de radio, el cual estaba basado en 17 patentes de Tesla [18]. Con dicho aparato se transmitió la primera señal de radio que cruzó el Océano Atlántico en 1901. No fue hasta 1943, una vez muerto Tesla, cuando la Corte Suprema de los Estados Unidos reconoció la prioridad de Tesla sobre la patente de la radio.



Nikola Tesla

Más allá del campo de las comunicaciones, Tesla aportó una importante cantidad de invenciones y patentes. Entre estos se destacan el sistema polifásico alterno utilizado hasta la actualidad para la distribución de energía eléctrica, y el motor de corriente alterna.

La bobina de Tesla (figuras 27 y 28) es básicamente un transformador resonante elevador de tensión. Tesla experimentó una gran variedad de configuraciones, de manera que existen varias alternativas constructivas. En general trabajaban con corrientes de alta frecuencia, logrando voltajes de RF (radio frecuencia) de hasta varios millones de voltios [19]. Las primeras bobinas usaban la acción disruptiva de un *explosor* en el circuito primario.

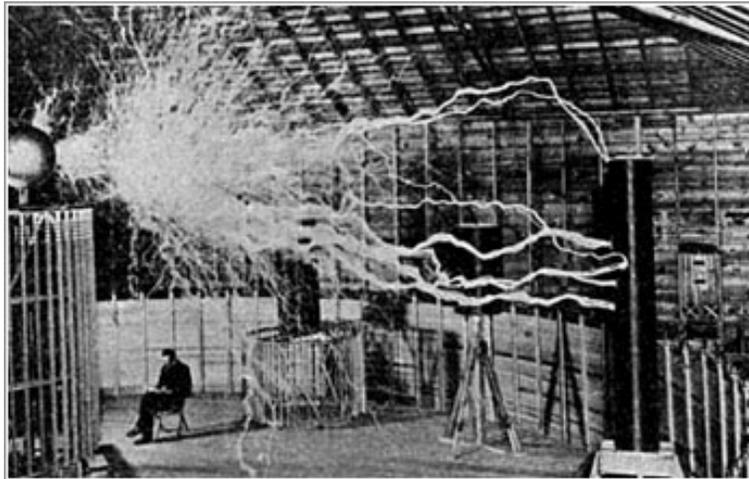


Figura 27: Fotografía tomada con fines publicitarios en doble exposición (año 1900), en la cual se muestra a Tesla leyendo totalmente ajeno al estruendo provocado por las descargas de una de sus bobinas [29].

En la configuración ilustrada en la figura 28, un transformador es utilizado para elevar la tensión provista por una fuente de CA. El secundario de dicho transformador alimenta con al circuito primario de la bobina. Al producirse una chispa en el *explosor* (o *espinterómetro*, o... simplemente chispero), el primario de la bobina se acopla con la capacidad formando con ésta un circuito oscilatorio resonante. Si la relación de transformación es suficientemente alta, el secundario de la bobina producirá una importante elevación de tensión.

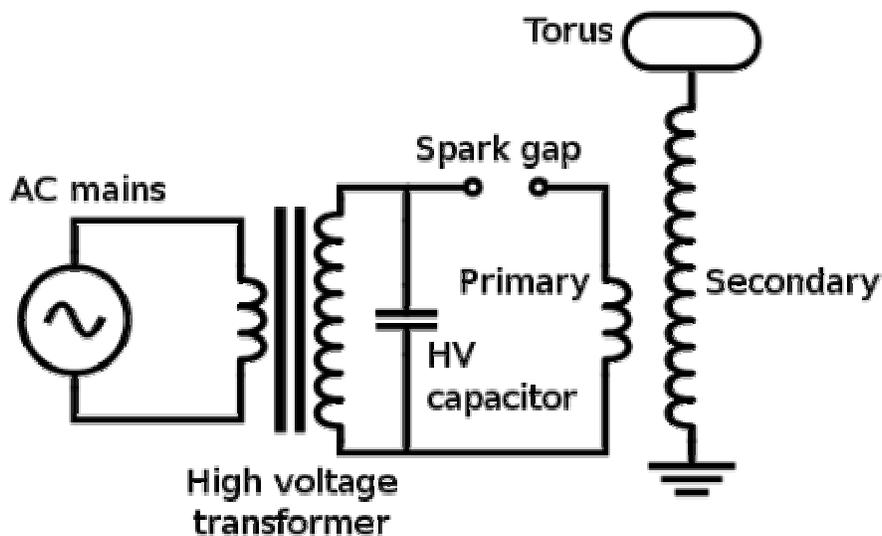


Figura 28: esquema circuital típico de una bobina de Tesla.

En la figura 29 se reconoce la configuración ilustrada en la figura 28, donde la alta tensión generada en la bobina se utiliza para producir iluminación mediante bombitas eléctricas especialmente diseñadas a tal fin [21]. En la figura identificamos *P* y *S* con el

primario y secundario del transformador, mientras que P' y S' son los respectivos bobinados de la bobina elevadora de tensión, C el capacitor y a el explosor.

Una de las aplicaciones que más obsesionó a Tesla fue, sin lugar a dudas, la de poder transmitir energía de manera inalámbrica. No sólo la transmisión de señales para uso en comunicación, sino la posibilidad de poder controlar “autómatas” en forma remota [22], o entregar potencia a artefactos de iluminación y motores a través las propiedades conductoras de los gases enrarecidos de la atmósfera [23,24] o por propagaciones a través del suelo [25]. Algunas de estas ideas lo condujeron a fracasados y costosos experimentos como la construcción de la torre de Wardenclyffe [20]. Sin embargo, sus ideas persisten y están presentes en numerosos desarrollos tecnológicos de la actualidad, como por ejemplo puede observarse en una reciente patente del MIT (Massachusetts Institute of Technology) sobre transmisión inalámbrica de energía [26].

Los dispositivos de Tesla fueron muy usados posteriormente en una gran variedad de situaciones experimentales, como por ejemplo, en aceleradores de partículas y generación de RX [27-29].

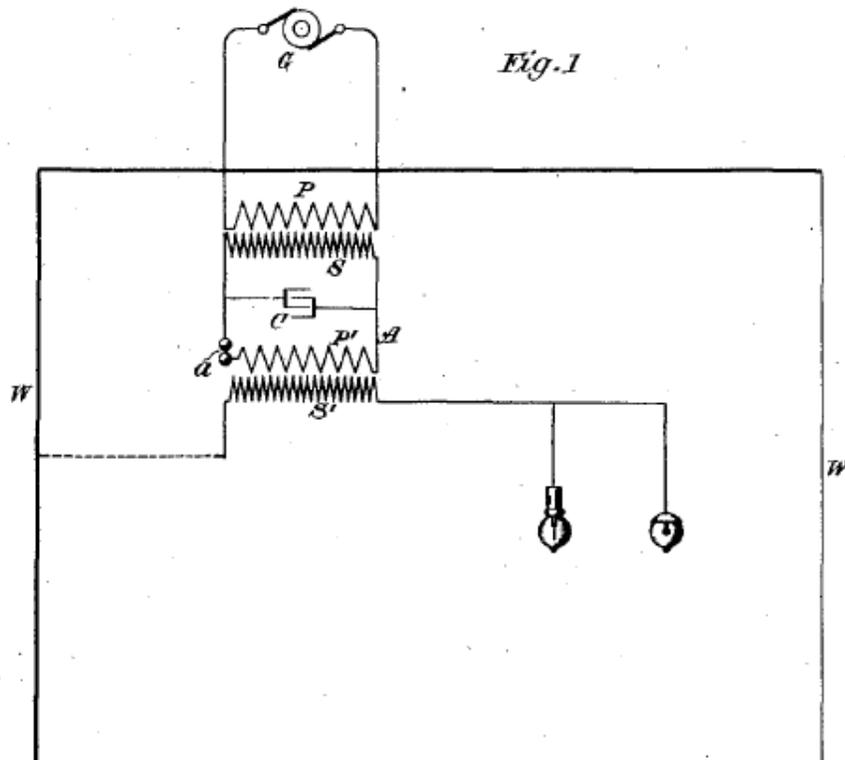


Figura 29: figura extraída de la patente 454.622 (Estados Unidos) de Tesla en la cual se ilustra la aplicación de una bobina elevadora de tensión para uso en iluminación.

Preguntas

- 1- ¿Por qué el transformador que alimenta al circuito primario de la bobina debe ser elevador de tensión?

- 2- ¿Es necesario que la fuente de AC que alimenta al transformador de alta tensión sea de la misma frecuencia que la resonancia del circuito primario de la bobina?. ¿Por qué?
- 3- ¿Qué condiciones debe satisfacer el secundario de la bobina para que la tensión lograda en el toroide sea máxima?
- 4- ¿Por qué un extremo del secundario de la bobina debe estar conectado a tierra?

Referencias

- [1]- *The Encyclopedia of Physics*, Third Ed., Robert M. Besancon, editor, Van Nostrand Reinhold Co., New York, (1985).
- [2]- R. J. Van de Graaff, U.S. Patent 1.991.236 (1935).
- [3]- “*Electrostatic Motors: Their History, Types and Principles of Operation*”, Oleg Jefimenko, Electret Scientific Co. (1973).
- [4]- J. Gallegos, U.S. Patent 633,829 (1899).
- [5]- E. Thomson, U.S. Patent 735,621 (1903).
- [6]- H. B. Smith, U.S. Patent 993,561 (1911).
- [7]- T. T. Brown, U.S. Patent 1,974,483 (1934).
- [8]- P. Robert, et al, U.S. Patent 5,965,968 (1999).
- [9]- L. Fan, Y. Tai, R. Muller, “Integrated Movable Micromechanical Structures for Sensors and Actuators”, IEEE Trans. On Electron Devices, **35** 724-730 (1988).
- [10]- “*Franklin electric motor*” Am. J. Phys. **39**, 1139-1141 (1971).
- [11]- <http://www.rexresearch.com/jefimenko/jefimenko.htm>
- [12]- Marcelo Alonso y Edward J. Finn, *Física*. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington, 1995.
- [13]- Agustín Udías Vadiñas, *Historia de la Física: De Arquímedes a Einstein*. Editorial Síntesis. Madrid, 2004.
- [14]- E. Perucca, *Física General y Experimental*, Editorial Labor, Barcelona (1958).
- [15]- G. Marconi, US Patent 586.193: “Transmitting electrical signals” (1897).
- [16]- A. Ganot, *Tratado Elemental de Física Experimental y Aplicada y de Metrología*, Bailly-Bailliere, París (1874).
- [17]- <http://www.anotherhistory.com/nikola-tesla>.
- [18]- G. Marconi, US Patent 792.528 (1905).
- [19]- G. Breit, M. A. Tuve y O. Dahl, Phys. Rev. **35**, 51–65 (1930).
- [20]- M. Cheney, *Nikola Tesla. El genio al que le robaron la luz*. Turner publicaciones. Madrid (2009).
- [21]- N. Tesla, US Patent 454.622 (1891).
- [22]- N. Tesla, US Patent 723.188 (1903).
- [23]- N. Tesla, US Patent 645.576 (1900).
- [24]- N. Tesla, US Patent 649.621 (1900).
- [25]- N. Tesla, US Patent 787.412 (1905).
- [26]- A. Karalis, A. Kurs, R. Moffat, J. Joannopoulos, P. Fisher y M. Soljacic, US Patent 7.825.543 B2 (2010).
- [27]- J. D. Cockcroft y E. T. S. Walton, Proc. R. Soc. Lond. **129**, 477-489 (1930).
- [28]- C. C. Lauritsen, R. Crane, Rev. Sci. Instrm. **4**, 497 – 500 (1933).
- [29]- D. H. Sloan, Phys. Rev. **47**, 62–71 (1935).