

FÍSICA II (NOCIONES DE ELECTROSTÁTICA)

Cargas eléctricas

En el transcurso de su vida, el ser humano siente continuamente los efectos de la atracción gravitatoria, originada por la masa de las partículas que constituyen la materia. Además de estas, existen otros tipos de interacciones, entre ellas las electromagnéticas, que se manifiestan sobre las cargas eléctricas.

La carga eléctrica es una característica de las partículas, como el color o el sabor, que puede ser detectada por las fuerzas que sobre ella ejercen otras cargas, conocidas bajo el nombre de fuerzas eléctricas.

La manera en que interactúan las partículas cargadas eléctricamente, o portadores de carga eléctrica, depende de su estado de movimiento.

Se denomina electrostática a la parte del electromagnetismo que se ocupa de las fuerzas entre cargas en reposo, reservándose el término electromagnetismo para el caso general de cargas en movimiento.

Una forma de comprobar la existencia de una carga eléctrica es detectando una fuerza eléctrica sobre ella. Acercando una varilla a un objeto liviano colgado de un hilo, no se alcanza a apreciar la desviación del péndulo por efecto de la atracción ejercida por la masa de la varilla. Contrariamente si se frota la varilla con un paño (sosteniéndola con un guante o mango aislante), al acercarla al péndulo, la desviación de éste es notable. Este hecho permite concluir que al frotar la varilla con el paño se modificaron algunas características de ésta, originando una fuerza cuyo origen no está en la masa de las partículas que constituyen la varilla. ([Experiencia 1](#)).

La desviación del péndulo cuando se acerca la barra se debe a un cambio en el estado eléctrico de ésta por el frotamiento y a que la magnitud de la fuerza que ejerce sobre el péndulo es comparable con el peso de éste.

En la figura se indica con F_a a la fuerza de atracción, P al peso del objeto suspendido y θ al ángulo de desviación del péndulo. Utilizando el subíndice 1 para considerar la situación antes de frotar la barra y 2 luego de hacerlo, se puede realizar la comparación entre ambos tipos de fuerzas.

De la figura,

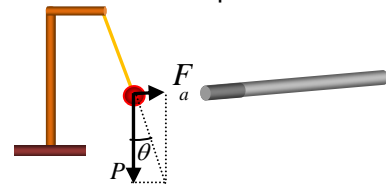
$$\operatorname{tg}(\theta) = \frac{\vec{F}_a}{\vec{P}}$$

$$\frac{\vec{F}_{a2}}{\vec{F}_{a1}} = \frac{\operatorname{tg}(\theta_2)}{\operatorname{tg}(\theta_1)}$$

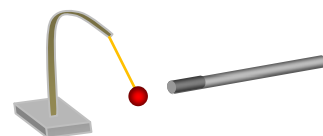
La observación realizada, $\theta_2 \gg \theta_1$ permite asegurar que,

$$F_{\text{eléctrica}} \gg F_{\text{masas}}$$

Frotando más enérgicamente la barra, se incrementa la magnitud de esta fuerza. El mismo resultado se obtiene acercando más la barra al péndulo, pudiéndose afirmar que la intensidad de la fuerza eléctrica depende del estado eléctrico de los objetos involucrados y de la distancia entre ellos.



Cuando frotamos un peine para atraer un trocito de papel, la fuerza eléctrica interviniente supera a la atracción ejercida sobre el papel por la masa de todas las partículas que constituyen La Tierra.



Conductores y dieléctricos

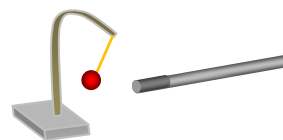
En la experiencia anterior la barra se mantiene suficientemente alejada el péndulo de modo que no llega a tocarlo. Considerando que las experiencias se realizan en un ambiente seco, si la barra alcanza a tocar al péndulo el resultado obtenido dependerá del tipo de material del objeto colgado del mismo.

Utilizando materiales diferentes para el objeto liviano colgado del hilo, es posible comprobar que se comportan de manera diferente ante las fuerzas eléctricas ([Experiencia 2](#)).

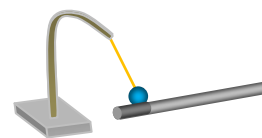
Existe un conjunto de materiales, entre los que se encuentra el vidrio, porcelana, plástico y madera seca, que permanecen unidos a la varilla cargada después del contacto.

Para otros materiales, entre los que se puede mencionar principalmente a los metales, la fuerza entre los objetos después del contacto, es de repulsión. En estos materiales, denominados conductores de la electricidad, las cargas eléctricas pueden permanecer en reposo, desplazarse con velocidad constante o con movimiento acelerado. Por este motivo, serán ampliamente utilizados para describir diferentes aspectos del electromagnetismo.

Cuando se utiliza un material conductor colgado del péndulo, antes de repetir la experiencia se debe tocar el objeto con la mano.



Con un pedacito de hoja de carpeta se hacen dos bolitas que se cuelgan de hilos formando dos péndulos. Una de las bolitas se recubre con cinta de nylon cuidando que la parte lisa (no engomada) sea la que haga contacto con la barra frotada.



Electroscopio

Para poder explicar los fenómenos observados muchas veces es necesario contar con instrumental que permita cuantificar o al menos comparar las magnitudes involucradas.

Un electroscopio es un instrumento de medida utilizado para el estudio de fenómenos electrostáticos.

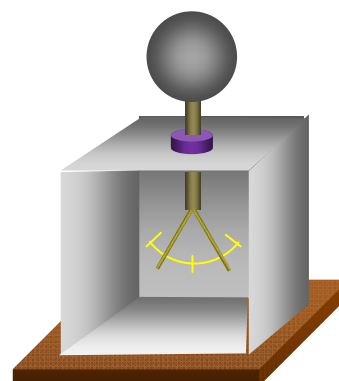
Su principio de funcionamiento se basa en la proporcionalidad entre la desviación de un péndulo eléctrico y la intensidad de la fuerza eléctrica ejercida sobre el objeto suspendido del mismo.

Está formado por una varilla metálica que en un extremo se une a un objeto metálico (esfera, disco) y en el otro lleva suspendidas dos hojuelas metálicas móviles muy delgadas. El conjunto se separa eléctricamente de la caja metálica que sirve de soporte mediante un tapón aislante. Una ventana de vidrio permite ver la indicación en una escala.

Al depositar cargas eléctricas sobre la esfera, las mismas se reparten por los conductores del sistema hasta alcanzar la posición de equilibrio.

En estas condiciones, las hojuelas o láminas metálicas cargadas con cargas del mismo tipo se repelen; el ángulo que forman es indicador de la fuerza eléctrica de repulsión entre ellas y será mayor cuanto mayor sea la cantidad de cargas depositadas en el instrumento, independientemente de su signo.

([Experiencia 4](#)).



Estados eléctricos iguales

Debido a que, en el contacto entre el objeto del péndulo conductor y la barra frotada, la fuerza eléctrica de atracción se transforma en repulsión, se puede suponer que el cambio se debe a la transferencia hacia el péndulo de parte del estado eléctrico de la barra. Poniendo dos péndulos conductores en contacto se observa que se separan después de haber sido tocados por una barra cargada ([Experiencia 3](#)). Este comportamiento se observa para diferentes combinaciones de material barra / paño, con la única condición que la combinación de materiales elegida permita separar cargas con facilidad. De esta manera se puede concluir diciendo que, independientemente del estado eléctrico, habrá una fuerza de repulsión entre dos objetos con el mismo estado eléctrico ([Experiencia 5](#)).

Estados eléctricos diferentes

Si los péndulos se ponen en contacto con varillas de diferentes materiales después de haberlas frotado, el resultado puede ser de repulsión o de atracción.

Puede comprobarse que existe atracción entre los péndulos cargando uno de ellos con una barra de vidrio frotada con un paño de seda y el otro con una barra de caucho frotada con lana. Colocando a los péndulos suficientemente cerca se puede observar que se atraen sin intervención externa ([Experiencia 6](#)).

Cargas eléctricas positivas y negativas

De esta manera se puede comprobar que existen dos tipos diferentes de cargas eléctricas diferenciadas por su signo. Por convención, se denominó “positiva” al tipo de carga adquirida por el vidrio cuando es frotado con seda y “negativa” a la adquirida por el caucho cuando es frotado con lana.

Equilibrio de cargas

Contrariamente a como sucede con la atracción gravitatoria, no es común percibir los efectos de las fuerzas eléctricas originadas por las cargas eléctricas de las partículas que constituyen la materia.

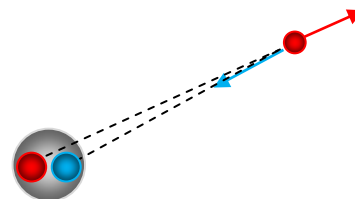
Puesto que las fuerzas eléctricas se manifiestan entre cargas eléctricas y pueden ser de atracción o de repulsión, para explicar por qué es nula la fuerza originada por un objeto material sobre cualquier carga externa alejada del objeto, deberá considerarse que se cancelan los efectos sobre la misma. Para esto, si algunas de las partículas que constituyen los átomos poseen cargas eléctricas, cada átomo deberá tener igual cantidad de cargas positivas y negativas.

En la figura se esquematiza un posible modelo de átomo y su efecto sobre una carga externa.

La carga neta de cada átomo que constituye la materia es nula, existiendo tantas cargas positivas como negativas. Cuando la distancia entre la partícula y el átomo es grande comparada con las dimensiones de éste, la fuerza resultante sobre ella es nula.

Cuando se frota una varilla con un paño, dependiendo de los materiales utilizados pasarán algunas cargas de un objeto a otro.

Si se trasladan cargas positivas, el objeto que las recibe quedará cargado positivamente y el que las cede tendrá el mismo exceso de cargas pero negativa. Si en cambio se trasladan cargas negativas, el objeto que las recibe se cargará negativamente y el que las entrega se cargará positivamente.



De lo anterior se puede inferir que deben existir en la naturaleza tantas cargas positivas como negativas; de no ser así, se sentirían los efectos de una fuerza eléctrica resultante.

Así como es posible descargar un objeto cargado tocándolo con la mano, también se observa que desaparece el estado eléctrico cuando dos objetos con diferentes estados eléctricos se ponen en contacto ([Experiencia 8](#)).

La realización de experiencias en el laboratorio sirve para verificar un resultado o estudiar un nuevo fenómeno. Durante su transcurso, la observación atenta y los interrogantes que puedan surgir sirven para dar una explicación o proponer nuevas experiencias que ayuden a encontrarla. ([Experiencia 9](#)).

Modelo clásico del átomo

Aunque las fuerzas eléctricas mantienen unida a la materia y son las responsables de diferentes características de los medios materiales, normalmente pasan inadvertidas debido a que los átomos que constituyen la materia son eléctricamente neutros y sus dimensiones despreciables aún para distancias del orden de la milésima parte de un milímetro.

Que los átomos sean eléctricamente neutros implica que están constituidos por partículas neutras y/o por igual cantidad de partículas con cargas de diferente signo. El modelo clásico de un átomo considera que la mayor parte de la masa está ubicada en un núcleo de pequeñas dimensiones formado por neutrones y protones. Alrededor del núcleo existen electrones en igual cantidad a los protones.

La carga eléctrica de un protón es igual a la de un electrón aunque de signo contrario: positivo para el protón y negativo para el electrón. El neutrón, de carga neta nula, posee una masa ligeramente superior a la del protón y algo más de mil ochocientas veces la masa de un electrón.

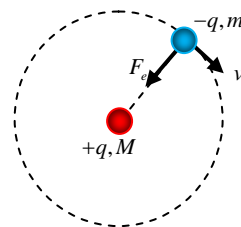
Debido a que cargas de signos opuestos se atraen, el modelo atómico clásico considera que los electrones giran alrededor del núcleo describiendo órbitas determinadas por la fuerza eléctrica resultante sobre cada uno de ellos.

Para el átomo más simple, un electrón de carga $-q$ y masa m gira en una órbita de radio R con velocidad v alrededor de un protón sostenido por la fuerza eléctrica de manera similar al giro de una piedra atada a una soga. La energía del electrón está asociada al radio de la órbita y a la fuerza eléctrica originada por el núcleo.

En general los átomos están formados por neutrones y cargas positivas en el núcleo e igual cantidad de electrones describiendo órbitas con diferente energía alrededor del mismo.

El tamaño del núcleo depende del número de protones y neutrones siendo entre diez mil y cien mil veces menor que el tamaño total del átomo, el cual es del orden de $10^{-10} m$ (1 \AA).

Los electrones de las órbitas externas están ligados al núcleo con menor energía y si algún electrón abandona al átomo este se convierte en un ión positivo.



Modelo simple de un conductor

En un material conductor, el tamaño de cada átomo no puede despreciarse frente a la separación existente con los átomos vecinos. Por este motivo, la fuerza sobre cada carga de un átomo, ejercida por las restantes cargas del material, es suficiente para “arrancar” algún electrón débilmente ligado al núcleo.

Cuando un átomo cede un electrón a la red cristalina, se convierte en un ión positivo (N protones y $(N-1)$ electrones). Por lo tanto un conductor eléctricamente neutro estará formado por iones positivos “fijos” formando la estructura cristalina del material y electrones libres en igual cantidad.

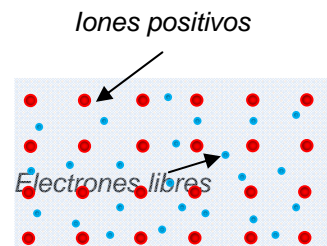
El término “fijo” se refiere a que aún vibrando en torno a una posición, no pueden trasladarse de un lado a otro.

El modelo más simple de conductor supone que en el metal existen iones positivos regularmente espaciados e igual cantidad de electrones libres moviéndose al azar por la red cristalina de manera similar a como lo hacen las moléculas de un gas.

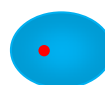
Se suele representar esta situación comparando al metal con un recipiente en el que hay pequeñas bolitas que lo llenan hasta determinado nivel. A medida que aumenta la temperatura las bolitas se mueven al azar con mayor velocidad adquiriendo mayor energía y saltando sin llegar a salir del recipiente. Si se quiere arrancar un electrón del metal deberá realizarse un trabajo adicional. Se denomina función trabajo a la mínima cantidad de energía que se debe entregar al material para extraer un electrón.

En presencia de una fuerza eléctrica ejercida desde el exterior, el movimiento al azar entre átomos de la red tendrá mayor probabilidad de realizarse en sentido de la fuerza, originando un desplazamiento de electrones hacia un lado, el que adquiere exceso de carga negativa y dejando un déficit de electrones en el otro extremo, que se cargará positivamente.

De esta manera, acercando un objeto cargado a un conductor eléctricamente neutro y sin llegar a tocarlo, se acumulan cargas de signo contrario a las del objeto cargado en el lado más próximo a éste, quedando un exceso de cargas del mismo signo a las del objeto cargado en el otro extremo del inicialmente neutro, que sigue manteniendo su neutralidad. Esta separación de cargas en conductores se denomina inducción electrostática y la barra cargada que la origina recibe el nombre de barra inductora ([Experiencia 10](#)).



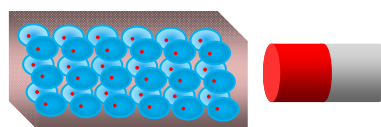
(a)



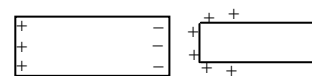
(b)

Dipolo inducido

Existen otros mecanismos de polarización además de la deformación de orbitales



(c)



(d)

Modelo simple de un aislador

En los materiales aislantes los átomos que constituyen la estructura cristalina del dieléctrico, mantienen todos sus electrones. Así, por no tener electrones libres, estos materiales no presentan las propiedades eléctricas de los conductores. De todos modos, las órbitas de los electrones se deforman en presencia de fuerzas eléctricas externas. En cada átomo, aunque sigue manteniéndose la neutralidad de cargas, se produce un leve desplazamiento de las mismas como se esquematiza en la figura.

El sistema formado por dos cargas iguales de signo contrario separadas una distancia pequeña respecto a sus dimensiones recibe la denominación de dipolo eléctrico.

Cuando se acerca una varilla cargada eléctricamente a un objeto aislante, se inducen dipolos eléctricos (fig.c) quedando los extremos del dieléctrico con igual cantidad de cargas en exceso de diferente signo. Se denomina polarización del dieléctrico a este efecto. El esquema de fig.d, válido indistintamente para aisladores o conductores, sirve para mostrar que al acercarse la varilla eléctricamente cargada aparece, en los extremos del objeto inicialmente neutro, igual cantidad de cargas de signos opuestos. Sigue manteniéndose neutralidad de carga aunque las de igual signo a la barra están más alejadas de ésta y las de signo opuesto son atraídas hacia ella ([Experiencia 15](#)).

Inducción electrostática

Cuando se acerca una barra cargada a un péndulo neutro, independientemente del tipo de material del objeto suspendido del hilo, el péndulo siempre será atraído por la barra cargada.

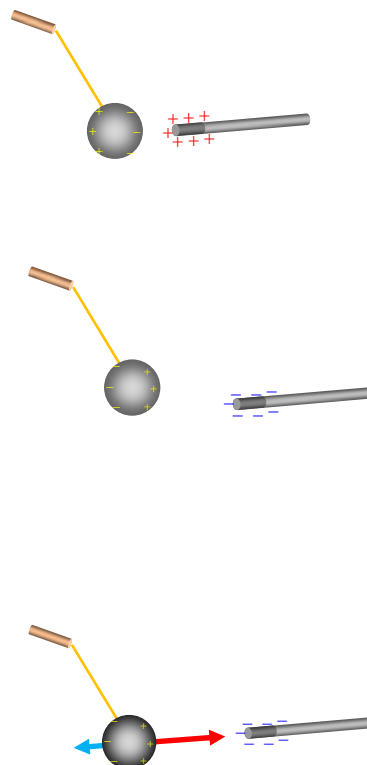
Suponiendo una barra cargada positivamente y que el objeto suspendido es conductor eléctrico, electrones libres del mismo serán atraídos por las cargas en exceso de la barra, ubicándose sobre la superficie del conductor que enfrenta a la varilla cargada.

Debido a que el objeto es eléctricamente neutro y la varilla no llega a tocarlo, la cantidad de cargas positivas y negativas seguirá siendo la misma.

Si la barra tiene carga negativa, los electrones del material en el péndulo serán repelidos hacia la región más alejada de la barra mientras que el exceso de carga positiva por falta de electrones quedará enfrentando a la barra.

Así, la atracción sobre las cargas de la cara más cercana a la barra será más intensa que la repulsión sobre el extremo más alejado. ([Experiencia 13](#)).

Si el material colgado del hilo no es conductor, al acercar la barra cargada se polariza observándose también en este caso, atracción al acercar la barra cargada.



Cuerpos cargados eléctricamente

Un cuerpo está cargado eléctricamente cuando las cantidades de carga positiva y negativa del mismo dejan de ser iguales.

En el caso de considerar conductores cargados, se debe tener en cuenta que la característica principal de los mismos es que algunos portadores de carga eléctrica pueden moverse libremente por el material. En los metales, los portadores móviles de carga eléctrica son electrones.

Carga de un aislante

Cuando se frota la varilla aislante con un paño, debido a la fricción entre ambos materiales se quitan electrones de los átomos de la superficie de uno de los objetos, depositándose en la superficie del otro.

El trabajo necesario para sacar un electrón de un material depende del tipo de material. Así, el vidrio cede electrones a la seda cargándose positivamente mientras que al frotar caucho con lana, el mismo recibe electrones adquiriendo carga negativa. En ambos casos, el paño utilizado para frotar se carga con igual cantidad de carga eléctrica que el objeto frotado, aunque de signo opuesto ([Experiencia 7](#)).

Cuando un objeto cargado se pone en contacto con un aislante, ambos quedan unidos sin que exista pasaje de cargas hacia el aislante. Por este motivo, si logramos separarlos sin llegar a tocarlos, al acercar nuevamente el objeto cargado se vuelve a observar atracción. ([Experiencia 16](#)).

Distribución de cargas en conductores en equilibrio electrostático

Antes de considerar las diferentes formas de cargar eléctricamente un objeto conductor es conveniente analizar cómo se distribuyen las cargas en exceso en estos materiales.

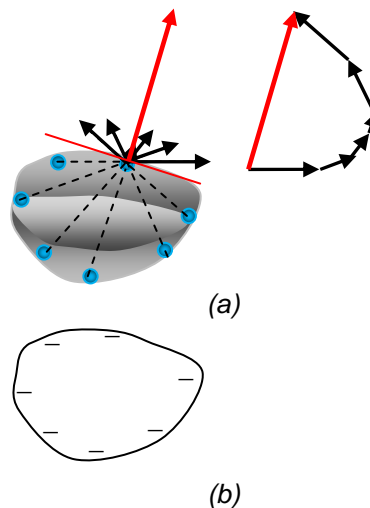
Quitando algunos electrones libres de un conductor, este adquiere exceso de carga positiva mientras que si se agregan electrones, el objeto se carga negativamente.

En un cuerpo metálico cargado negativamente, los electrones en exceso se repelen alejándose uno de otro hasta alcanzar la superficie del objeto, que no pueden abandonar a menos que se les entregue una cantidad suficiente de energía para hacerlo.

Si la carga en exceso es positiva, existirán algunos iones positivos más que electrones libres. Estos iones positivos corresponden a átomos en la superficie del metal que han cedido algún electrón y su ubicación es tal que no producen una componente de fuerza sobre los electrones libres del metal

([Experiencia 11](#)).

De esta forma, se puede asegurar que no habrá exceso de cargas en el interior del conductor. Si existen cargas en exceso, estas se ubican en la superficie. Respecto a cómo se distribuyen, si están más juntas en un lugar que en otro, se verá que la cantidad de carga por unidad de superficie es mayor en las partes con menor radio de curvatura.



Carga por contacto

Cuando la varilla cargada hace contacto físico con el objeto colgado, si el material utilizado es conductor de la electricidad y la barra está cargada positivamente, al hacer contacto electrones libres del conductor serán atraídos por las cargas positivas de la barra saltando hacia ella y ocupando el lugar vacante en cada átomo.

De esta manera el átomo vuelve a su estado neutro desapareciendo simultáneamente el electrón libre y el ión positivo de la barra como portadores de carga independientes.

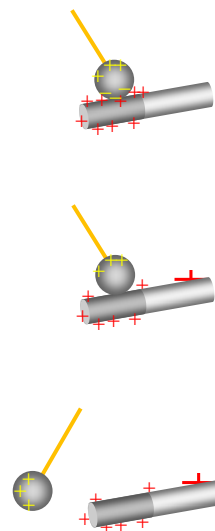
Debido a que ambos objetos poseen cargas en exceso de igual signo, se observa repulsión entre los mismos.

Si la carga de la barra es negativa, los electrones en exceso estarán disponibles para ocupar los lugares vacantes en átomos de la superficie del metal. Cuando los materiales llegan a tocarse, electrones de la barra saltan hacia el péndulo. El resultado final es el mismo, repulsión entre los objetos, aunque en este caso el péndulo se carga negativamente.

Cuando un objeto metálico es tocado por un cuerpo cargado, parte de la carga del cuerpo pasa al metal.

En la carga por contacto, el conductor adquiere cargas de igual signo a las del objeto inicialmente cargado.

([Experiencia 14](#))



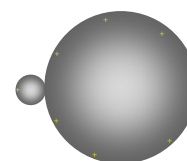
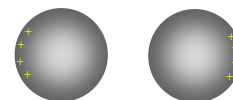
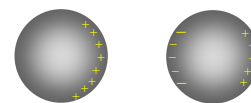
Transferencia de carga entre objetos metálicos

Además de cargar un conductor a partir de un aislante cargado eléctricamente, se puede cargar eléctricamente un cuerpo metálico neutro haciendo contacto con otro objeto metálico cargado eléctricamente.

Desde el punto de vista de las cargas en exceso, dos cuerpos conductores en contacto pueden considerarse como un único objeto metálico de tamaño mayor en el que las cargas tienen más espacio para ubicarse.

Por ser mayor la superficie disponible, el cuerpo inicialmente descargado se cargará a expensas de la carga cedida por el otro. Mediante algunas simplificaciones, se puede tener noción del reparto de cargas entre los mismos.

Partiendo de dos esferas metálicas idénticas, una cargada y la otra neutra, al unir las se transfieren cargas entre ellas hasta alcanzar el nuevo equilibrio. Se debe observar que en este caso, aún tratándose de esferas, la distribución de cargas en las mismas no es uniforme, incluso en el caso que una de ellas sea eléctricamente neutra. Si tienen diferente tamaño, la mayor podrá contener con más facilidad una cantidad mayor de cargas en exceso.



Descarga de un conductor cargado

Cuando se une un cuerpo conductor cargado a otro conductor de muy grandes dimensiones, prácticamente toda la carga pasa al de mayor tamaño quedando el de menor de tamaño sin cargas en exceso. Esto es lo que sucede en la descarga de un cuerpo conductor al tocarlo con la mano o establecer un camino conductor hacia el piso. Este hecho se denomina “descarga a tierra”.

Si el cuerpo inicialmente está cargado con carga negativa, se inducen cargas positivas en el terreno. Al establecer un camino conductor, los electrones en exceso abandonarán al objeto bajando a tierra, que es un conductor de grandes dimensiones respecto a la de los objetos utilizados.

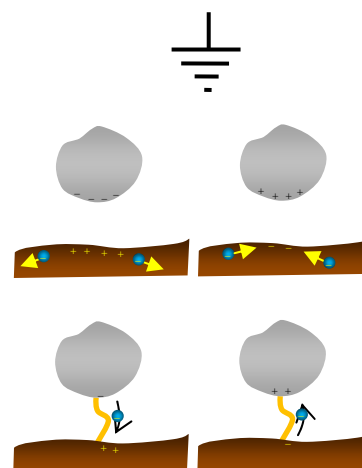
Contrariamente, si el objeto está cargado positivamente, al establecerse un camino a tierra electrones sube hasta cancelar las cargas en exceso.

Uniendo momentáneamente el objeto cargado con tierra mediante un hilo conductor, la carga en exceso fluye desde o hacia el terreno produciéndose la descarga.

El cuerpo humano permite el movimiento de electrones libres, de modo que tocando con la mano al conductor cargado, también se logra descargarlo a tierra. Dependiendo de la cantidad de carga en exceso, esta operación puede ser peligrosa.

La humedad sobre los objetos cargados constituye un camino conductor hacia la Tierra. Por este motivo, la realización de las experiencias de electrostática requiere ambientes secos.

([Experiencia 12](#))



Carga de un conductor por inducción

Además de transferir carga a un conductor mediante el contacto eléctrico con un objeto cargado, se lo puede cargar eléctricamente por inducción. Para considerar la atracción entre cargas de signos opuestos, se agregan líneas imaginarias entre ellas, similares a bandas elásticas.

La secuencia siguiente muestra los pasos a seguir para cargar la esferita del péndulo por inducción.

Dependiendo del tipo de carga de la barra, portadores de signo opuesto irán a tierra o subirán desde tierra dejando al péndulo con exceso de cargas de signo opuesto a la barra. La puesta a tierra se puede realizar tocando momentáneamente con la mano la esfera a cargar, en presencia de la barra inductora. Para la situación presentada, las cargas positivas de la barra atraen a los electrones sobre la cara de la esferita que enfrenta a la varilla, impidiendo que los mismos pasen a tierra durante la descarga.

No sucede lo mismo con las cargas positivas en la esferita que son neutralizadas por los electrones que las mismas atraen desde tierra.

En fig.c se indica la conexión a tierra en la base de la esferita colgada del péndulo. ¿Dependerá el resultado obtenido del punto donde se realice esta conexión?

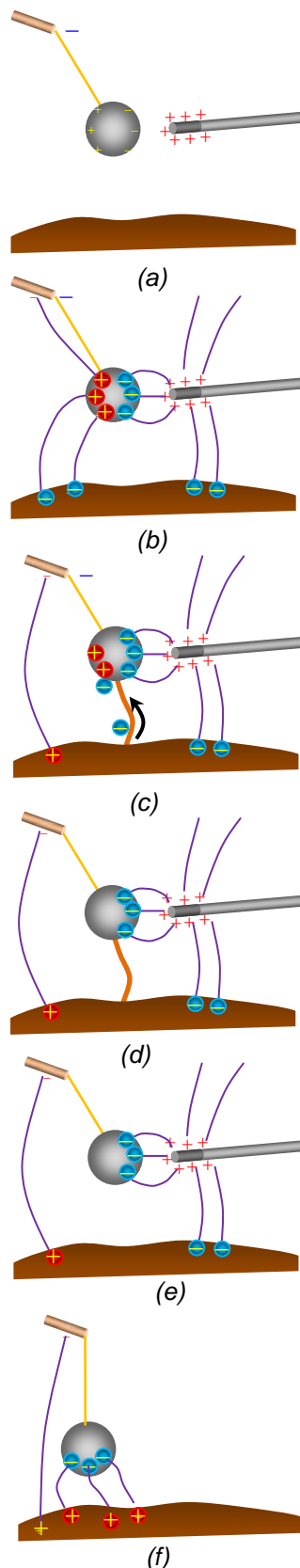
Si el contacto a tierra se realiza sobre la cara derecha de la esferita ¿Qué sucederá con los electrones en exceso que se repelen tratando de alejarse y se les brinda un camino por donde hacerlo?

Al desaparecer las cargas positivas en exceso en el lado izquierdo, la esfera queda cargada negativamente, repeliendo cargas negativas de objetos externos. Por este motivo, la línea que sale del electrón agregado en el soporte del péndulo termina sobre el terreno, que en este caso es el conductor más cercano del que desplazará otro electrón dejando un exceso de carga positiva. Los electrones en exceso en la esfera (fig.d) no bajan a tierra por estar fuertemente sostenidos por la atracción ejercida por las cargas positivas de la barra.

Por este motivo, el resultado es el mismo independientemente del punto donde se realice la conexión a tierra.

Cuando se quita la conexión a tierra, debido a que todas las cargas con libertad de movimiento están fijadas en su posición por las fuerzas ejercidas por cargas de signos opuestos, no se produce un desplazamiento de las mismas (fig.e).

Al retirar la barra cargada desaparecen las fuerzas ejercidas por la misma sobre las cargas en exceso en el péndulo, que se reubicarán hasta alcanzar la nueva posición de equilibrio. Debido a la existencia de objetos cerca de la esferita cargada, la distribución de cargas sobre la superficie de la misma no será uniforme como sería en caso de encontrarse aislada. Si esta fuera la situación, los hilos imaginarios saliendo de cargas uniformemente distribuidas sobre la superficie de la esfera terminarían en cargas infinitamente alejadas puesto que por cada carga en exceso debe existir en algún lugar otra de signo opuesto.



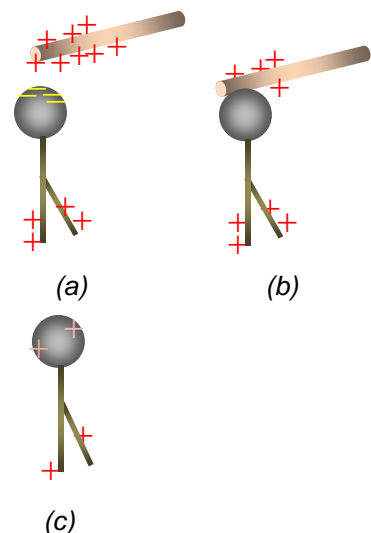
Carga del electroscopio por contacto

En la secuencia de la figura adjunta se muestra la carga por contacto de un electroscopio utilizando una barra cargada positivamente.

Acercando la barra al instrumento, en la parte superior se inducen cargas de signo opuesto al de las cargas de la barra. Las láminas se desvían debido al exceso de cargas en las mismas, de igual signo a las cargas de la barra (Fig.a).

Haciendo contacto entre la barra y el electroscopio, se neutralizan las cargas en exceso en la parte superior del mismo sin modificarse la cantidad de cargas en las láminas ni su desviación (Fig.b).

Al retirar la barra, las cargas en exceso se redistribuyen por las partes metálicas del instrumento (Fig.c) ([Experiencia 17](#)).

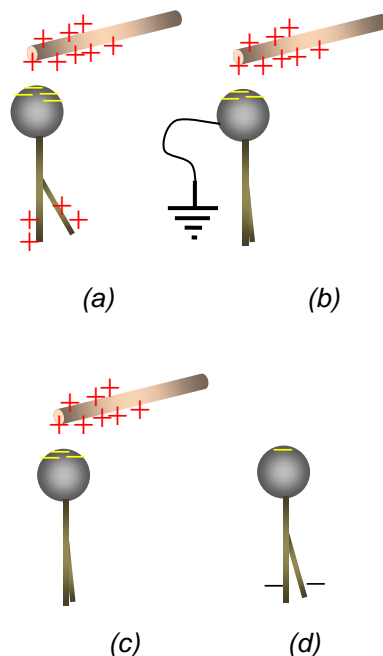


Carga del electroscopio por inducción

En este caso la barra no llega a tocar al instrumento (fig.a). Al unir la parte metálica del electroscopio a tierra, se neutralizan las cargas del mismo signo que las de la barra. Para que esto ocurra, la barra inductora debe mantenerse sobre el instrumento mientras está conectado con la tierra (fig.b). Debido a que desaparecen las cargas en exceso en las láminas, no se observa desviación de las mismas. Lo mismo ocurre cuando se retira la conexión a tierra, manteniendo la barra inductora (fig.c).

Finalmente, al retirar la barra inductora, como en el caso anterior se observará desviación de las láminas, aunque en este caso la carga adquirida será de signo opuesto al de las cargas de la barra inductora. ([Experiencia 18](#)).

A partir de la misma barra cargada, cargando un electroscopio por contacto y otro por inducción, se puede comprobar que al ponerse en contacto cargas de diferente signo, neutralizan sus efectos ([Experiencia 19](#)).

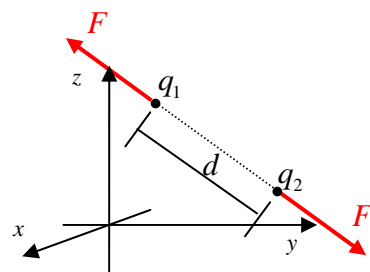


Ley de Coulomb

En 1785 Charles Coulomb determinó experimentalmente la fuerza entre dos cargas puntuales llegando a una expresión, similar a la propuesta por Newton, cien años antes, para la atracción entre masas puntuales ([Experiencia 20](#)).

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

La dirección está determinada por la recta que pasa por ambas cargas y el sentido es de repulsión si ambas cargas son de igual tipo y atracción si son de signo diferente.



La constante de proporcionalidad depende del sistema de unidades utilizado.

En el SI de medidas, en que la unidad de carga eléctrica es el culombio, C, la mencionada constante es:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \kappa_e = 9 \times 10^9 \left(\frac{Nm^2}{C^2} \right)$$

Siendo $c=3 \times 10^8$ m/s la velocidad de la luz en el vacío, κ_e se denomina constante de Coulomb y ϵ_0 permitividad del vacío ([Experiencia 21](#)).

Calculando la fuerza con que se repelen dos cargas puntuales, separadas un metro y cargada cada una con un Coulomb, se puede comprobar que esta es una cantidad enorme de carga eléctrica.

La partícula cargada más pequeña que se encontró en la naturaleza es el electrón. Su carga es negativa y su valor es $1,602 \times 10^{-19}$ C. Las cargas de las demás partículas, positivas o negativas, tienen el mismo valor o un múltiplo del valor de la carga del electrón.

La comparación entre las fuerzas debidas a las cargas eléctricas y las generadas por las masas de dos electrones o de dos protones, pone de manifiesto la enorme magnitud de las fuerzas bajo estudio. El motivo por el que se obtienen resultados correctos para la descripción del movimiento de los cuerpos mediante las leyes de la mecánica sin considerar las fuerzas eléctricas, se justifica considerando la neutralidad de carga de los objetos. Por otra parte, la enorme cantidad de masa de los planetas requiere un exceso de carga considerable en los mismos para que los efectos de las mismas sean apreciables.

La expresión de la fuerza entre dos cargas puntuales es semejante a la correspondiente a la atracción entre dos masas puntuales. Esta fuerza es directamente proporcional al producto entre las masas (cargas) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas estando su dirección sobre la recta que une a las mismas. Esta última característica es la que permite asegurar que las fuerzas eléctricas, como las ejercidas entre masas, son fuerzas conservativas.

La única diferencia entre ambas es que, mientras que las fuerzas entre masas siempre son de atracción, entre cargas de diferente signo son de atracción pero si son de signos opuestos son de repulsión.

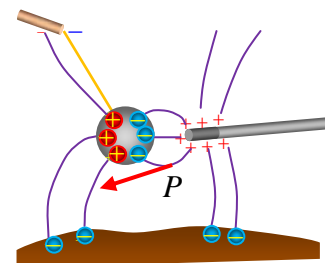
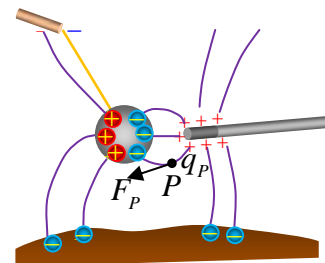
Esta similitud lleva a considerar que un objeto cargado produce una modificación de las propiedades del espacio que lo rodea de manera similar a como ocurre con el campo gravitatorio.

Debido a que nuestra existencia transcurre bajo los efectos de la atracción ejercida por la Tierra, es bastante simple asociarla con el campo gravitatorio terrestre. Actualmente no causa sorpresa la noticia de que una nueva nave exploradora utilizó la atracción ejercida por un planeta para impulsarse en su viaje hacia el espacio exterior, pudiendo compararse la situación con el recorrido de una pelota de golf, hábilmente lanzada a ras del suelo para alcanzar un hoyo aprovechando las ondulaciones del terreno. La modificación de las propiedades espaciales originada por la presencia de cargas eléctricas, recibe el nombre de campo eléctrico.

El campo eléctrico

En fig.a además de mostrar líneas semejantes a banditas elásticas entre cargas de signos opuestos representando que cada una “tira” de otra de signo opuesto, se indica con un vector la fuerza eléctrica sobre una carga de prueba positiva colocada en un punto P cualquiera de la región. Esta fuerza es proporcional al valor de la carga puntual y al efecto producido por el cuerpo cargado, con una dirección asociada.

El efecto ejercido sobre el punto P por las cargas fijas de la barra y péndulo no cambia al sacar la carga de prueba (fig.b), pudiéndose concluir que las propiedades del espacio que rodea a los objetos car-



gados se modifican de manera tal que al colocar en un punto cualquiera una carga puntual, aparece sobre la misma una fuerza eléctrica.

La situación es similar a la del campo gravitatorio donde la aceleración gravitatoria, cuya existencia en una región del espacio es independiente de la existencia o no de una masa en dicha región, tiene en cuenta el efecto que ejerce la masa de la Tierra sobre cada punto del espacio.

Al colocar un objeto, la fuerza sobre el mismo será proporcional a su masa y a la aceleración de la gravedad en esa ubicación, coincidiendo su dirección y sentido con la del campo gravitatorio en ese punto.

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

De manera similar, la región en la que una carga eléctrica ejerce una fuerza sobre otra carga, se conoce con el nombre de campo eléctrico.

El campo eléctrico es el campo de valores vectoriales que representa la influencia ejercida por cargas eléctricas y se define como la fuerza eléctrica ejercida por unidad de carga.

$$\vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} (\vec{F}_e / q)$$

Conocido el campo eléctrico en un punto cualquiera P, la fuerza sobre una carga de prueba puntual q colocada en dicho punto estará dada por la expresión

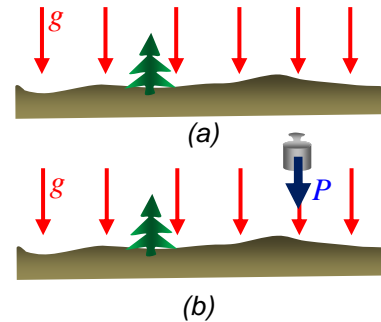
$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$

La carga de prueba utilizada debe ser tan pequeña como sea posible para no modificar la distribución de cargas que origina al campo eléctrico.

En el S.I de medidas la unidad de campo eléctrico es N/C aunque como se verá, es más utilizado el voltio/metro como unidad para esta magnitud.

En situaciones electrostáticas se supone que las cargas se encuentran fijas, es decir cada partícula con carga eléctrica se encuentra unida rígidamente al punto en que se la considera ubicada. Desde este punto de vista, la consideración de carga de prueba extremadamente pequeña no es necesaria.

Más información la encontrarás en albertoisidori.blogspot.com.ar



En un caso real cada partícula, formando parte de la materia, se ubica a partir de las fuerzas originadas por las demás partículas. Si se trata de un aislante, un campo eléctrico externo deformará los orbitales sin llegar a arrancar electrones del dieléctrico mientras que si se trata de un conductor, sus electrones libres indefectiblemente se moverán por efecto del campo externo, debiéndose considerar una carga de prueba prácticamente nula para que no exista redistribución de cargas en el material.