

Capítulo I

CAMPO ELECTROSTÁTICO EN EL VACÍO

- *Ley de Coulomb*
- *Campo eléctrico*
- *Ley de Gauss*
- *Conductores en equilibrio electrostático*
- *Potencial eléctrico*
- *Divergencia y rotacional del campo electrostático*

1. Ley de Coulomb

La fuerza que nos mantiene unidos a la Tierra es la fuerza gravitatoria, que denominamos *peso*. La fuerza atractiva que se produce entre los protones que forman nuestro cuerpo y los electrones que forman parte de nuestro planeta es miles de millones de veces superior en intensidad a la fuerza gravitatoria. Con esta fuerza, nuestros cuerpos serían aplastados contra la Tierra, convirtiéndonos en una mancha del grosor de una hoja de papel. Afortunadamente, también existe una fuerza repulsiva, de igual valor, entre nuestros protones y los protones de la Tierra, que compensa a la primera fuerza, haciendo inobservable el efecto de la interacción eléctrica entre nuestros cuerpos y nuestro planeta.

De acuerdo con el razonamiento expuesto, la interacción eléctrica entre los cuerpos proviene de las partículas elementales que los forman, los protones y los electrones. Siguiendo el modelo atómico propuesto por Rutherford y perfeccionado por Bohr, a comienzos del siglo XX, el átomo consiste en un núcleo donde coexisten protones y neutrones, rodeado por electrones que son mantenidos en órbitas a su alrededor,

de manera análoga a como el Sol mantiene a los planetas en órbitas. Mientras que los protones y los electrones ejercen fuerzas eléctricas atractivas entre sí, los protones se repelen eléctricamente entre sí, lo mismo que los electrones. Este comportamiento se atribuye a la

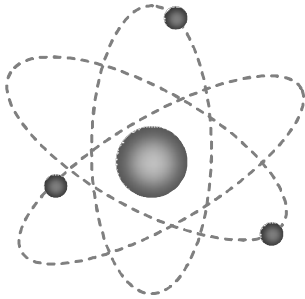


Figura I.1

propiedad denominada *carga eléctrica*, de forma análoga a como la interacción gravitatoria se atribuye a la propiedad denominada *masa gravitatoria*. Sin embargo, mientras que solo encontramos atracción gravitatoria, se observan tanto atracción como repulsión eléctrica. De este hecho se concluye que deben existir dos formas o tipos de carga eléctrica. Se convino en llamar positiva a la carga del protón y negativa a la del electrón (Figura I.1.).

✍ **Cuestión I.1.** *¿Por qué los electrones no caen en el núcleo por efecto de la atracción de los protones?*

✍ **Cuestión I.2.** *¿Por qué los protones del núcleo no se repelen mutuamente y no salen volando en todas direcciones?*

Los protones y los electrones poseen carga eléctrica. En un átomo neutro hay la misma cantidad de protones que de electrones. Concluimos así que la carga de un protón es igual, en valor absoluto, a la carga de un electrón. Si extraemos un electrón de un átomo provocamos un exceso de carga positiva, igual al valor de la carga de un protón. Análogamente, si añadimos un electrón a un átomo provocamos un exceso de carga negativa, igual al valor de la carga de un electrón. En el primer caso hemos creado un catión, en el segundo un anión. Este mecanismo de carga que, macroscópicamente, puede realizarse frotando dos cuerpos, pone claramente de manifiesto que la carga eléctrica se conserva, es decir, cuando cargamos eléctricamente un cuerpo, estamos transfiriendo electrones de dicho cuerpo a otro, o

estamos transfiriéndolos desde el segundo cuerpo al primero. El principio que acabamos de describir, es decir, el *principio de conservación de la carga eléctrica*, es una de las piedras angulares de la Física (junto con la conservación de la energía y la conservación de la cantidad de movimiento).

✍ **Cuestión I.3.** *¿Por qué es conveniente tocar la carrocería del coche antes de repostar combustible?*

✍ **Cuestión I.4.** *¿Por qué los técnicos en microelectrónica utilizan pulseras especiales conectadas a tierra?*

Existen tres formas distintas de conseguir que un cuerpo se cargue eléctricamente. En primer lugar, por *fricción*, cuando los electrones son arrancados de un cuerpo por otro que roza con él, que se queda con los electrones arrancados; en segundo lugar, por *contacto*, cuando se transfieren electrones desde un cuerpo cargado a otro por simple contacto entre ellos; finalmente, en tercer lugar, por *inducción*, cuando se hace que los electrones se reúnan en una zona de un cuerpo o se dispersen debido a la presencia de una carga cercana que no toca físicamente al cuerpo.

El físico norteamericano, B. Franklin, demostró que durante las tormentas eléctricas se producen procesos de carga por inducción. Concretamente, la parte inferior de las nubes, que posee carga negativa, induce una carga positiva en la superficie terrestre. Aunque la mayor parte de las descargas eléctricas (relámpagos) se producen entre dos regiones de una nube con cargas opuestas, a nosotros nos preocupan los que se producen entre las nubes y el suelo (rayos). Franklin descubrió también que la carga eléctrica fluye con facilidad hacia o desde objetos puntiagudos, lo que le llevó a construir el primer pararrayos. La punta del pararrayos recoge electrones del aire con la pretensión de neutralizar la carga positiva del edificio en el que está colocado, evitando así la descarga entre la parte inferior de la nube (negativa) y el

edificio (positivo). Sin embargo, el flujo de electrones puede no ser suficiente. Entonces, si cae un rayo, será atraído por el pararrayos, que conduce la carga a tierra evitando la destrucción del edificio.

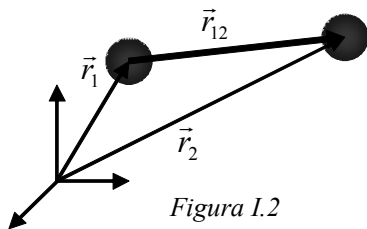


Figura I.2

✍ **Cuestión I.5.** Después de peinarse, preferiblemente en un ambiente seco, acerque el peine a unos trocitos de papel. ¿Qué observa? Acérquelo a un chorro delgado de agua, ¿hay alguna interacción entre el peine y el chorro de agua? ¿Tiene carga el chorro de agua?

Haciendo uso de una balanza de torsión, el físico francés C.A. Coulomb (1736-1806) estudió la fuerza entre dos cargas eléctricas en reposo. Sus resultados experimentales quedan expresados mediante la ecuación,

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} \quad [1]$$

De acuerdo con esta expresión (Figura I.2), la fuerza eléctrica entre dos cargas eléctricas *puntuales* que se encuentran en *reposo* respecto de un observador inercial, es directamente proporcional al producto de los valores de ambas cargas ($q_1 q_2$) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa ($1/r_{12}^2$). La constante de proporcionalidad ($1/4\pi\epsilon_0$) depende del sistema de unidades elegido y debe su forma a la conveniencia que resulta al tratar otras expresiones del Electromagnetismo. La constante ϵ_0 recibe el nombre de permitividad del vacío y su valor en el sistema internacional de unidades (S.I.) es $8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$. Es muy importante destacar que la fuerza que la carga q_1 ejerce sobre la carga q_2 está dirigida a lo largo de la línea que las une (fuerza central). Tiene la misma dirección que el vector unitario \hat{r}_{12} , el