

## Unidad 8 Cargas y fuerzas eléctricas

### EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Explica el significado del término *electricidad*.

El término *electricidad* deriva del término griego *elektron* (ámbar).

2. Investiga cuál es el destino de las pilas que se depositan en los puntos de recogida y valora si el uso responsable de estos dispositivos es o no imprescindible.

Las pilas usadas, especialmente las de botón, son muy contaminantes debido a los metales pesados que contienen. Nunca deben tirarse a la basura, sino que deben depositarse en los puntos de recogida establecidos. Las pilas usadas recogidas en los contenedores destinados a ello se reciclan; de 1 t de pilas usadas pueden obtenerse hasta 600 kg de metales pesados, como el cinc.

3. Realiza un eje temporal con los descubrimientos más importantes relacionados con la electricidad y que hayan tenido una gran repercusión social.

Respuesta libre.

4. Elabora una breve descripción de cómo sería un día en tu vida si no hubiera electricidad.

Respuesta libre.

5. Justifica el carácter eléctricamente neutro de la mayoría de los materiales. ¿Cómo es posible que pueda adquirir carga negativa un cuerpo eléctricamente neutro?

La carga eléctrica del protón y la carga eléctrica del electrón son iguales, pero de signo contrario. El número de electrones de un átomo es igual al número de protones; por tanto, el átomo es eléctricamente neutro y, en consecuencia, la materia, compuesta de átomos, también es neutra.

Un cuerpo eléctricamente neutro adquiere carga eléctrica negativa si gana electrones y queda entonces con un exceso de cargas negativas respecto a las cargas positivas.

6. ¿Por qué se conserva la carga eléctrica de un sistema aislado? ¿Se conservará también cuando se electriza un cuerpo neutro por contacto con otro cargado positivamente?

En un sistema material aislado formado por varios cuerpos, pueden trasladarse electrones de un cuerpo a otro, de forma que la carga eléctrica negativa que adquiere un cuerpo es igual a la carga eléctrica positiva que adquiere otro. Si se suman las cargas eléctricas teniendo en cuenta su signo, la carga eléctrica no ha variado: las cargas positivas adquiridas se cancelan con las cargas negativas y la carga total del sistema permanece constante.

Cuando se electriza un cuerpo neutro por contacto con otro cargado positivamente, pasan cargas eléctricas positivas del cuerpo cargado al inicialmente neutro, pero la carga eléctrica del conjunto se conserva.

7. Indica cuál es el valor en el SI de la unidad natural de carga eléctrica.

La unidad natural de carga eléctrica es el electrón. Su equivalencia en culombios es:  $1 e \Leftrightarrow -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

8. Cita los submúltiplos más utilizados de la unidad de carga eléctrica en el SI.

Los submúltiplos más utilizados del culombio son el miliculombio (mC) y el microculombio ( $\mu\text{C}$ ):

$$1 \text{ mC} = 10^{-3} \text{ C}$$

$$1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$$

9. Sabiendo que un núcleo de helio consta de 2 protones y 2 neutrones, expresa su carga eléctrica en culombios.

La carga eléctrica del protón es la misma que la del electrón, pero de signo positivo. Así, la carga de un núcleo de He es:

$$q = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

## 10. Describe el funcionamiento de un electrómetro.

La separación de las láminas metálicas en un electroscopio es mayor cuanto mayor sea la carga eléctrica detectada. Un electrómetro es un electroscopio que incorpora una escala graduada sobre la que se mide el valor de la carga.

## 11. Justifica cómo varía la fuerza eléctrica entre 2 cargas si la distancia entre ellas:

a) Se reduce a la mitad.

b) Aumenta al doble de su valor.

$$\text{a) Si } r' = \frac{r}{2} : F' = K \frac{q_1 q_2}{\left(\frac{r}{2}\right)^2} = K \frac{q_1 q_2}{\frac{r^2}{4}} = 4K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 4F \quad \text{La fuerza eléctrica se ha hecho cuatro veces mayor.}$$

$$\text{b) Si } r' = 2r : F' = K \frac{q_1 q_2}{(2r)^2} = K \frac{q_1 q_2}{4r^2} = \frac{1}{4} K \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{1}{4} F \quad \text{La fuerza eléctrica se ha hecho cuatro veces menor.}$$

12. Calcula la fuerza eléctrica con que se repelen 2 cargas eléctricas de  $+0,2 \mu\text{C}$  y  $+0,5 \mu\text{C}$  sumergidas en agua y separadas por una distancia de 3 cm. Indica si esta fuerza es mayor o menor que si estuviesen en el vacío.

La distancia entre las cargas es  $r = 3 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ . Como las cargas son del mismo signo, las fuerzas son de repulsión:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 1,12 \cdot 10^8 \cdot \frac{0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 0,01 \text{ N} \quad \text{En el vacío, donde el valor de } K \text{ es mayor, las fuerzas serán mayores.}$$

## 13. Halla la intensidad del campo eléctrico en un punto, sabiendo que actúa una fuerza de 0,02 N sobre una carga eléctrica de 0,4 mC situada en él.

$$E = \frac{F}{q'} = \frac{0,02}{0,4 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^4 \text{ NC}^{-1}$$

## 14. Explica la distribución de las cargas eléctricas en un conductor en equilibrio.

Las cargas en exceso en un conductor en equilibrio eléctrico se distribuyen en su superficie. No hay cargas en su interior.

## 15. ¿Por qué los rayos no afectan a los aviones?

La superficie metálica del avión actúa como una jaula de Faraday. Esto aísla eléctricamente al avión del exterior, por lo que no es afectado por los rayos ni por las variaciones del campo eléctrico exterior.

## 16. Cubre tu móvil con papel de aluminio. ¿Qué pasa con la cobertura? Explícalo.

El móvil queda aislado dentro de una jaula de Faraday que impide el paso de las ondas electromagnéticas a su interior; en consecuencia, el móvil queda fuera de cobertura.

## 17. WWW.LIBROSVIVOS.NET/U8/INTERACTIVOS/155

Después de ver este vídeo, describe con tus propias palabras el funcionamiento de una jaula de Faraday y explica por qué son necesarias las antenas de los coches.

Faraday demostró que en el interior de un conductor no existen cargas eléctricas. Para ello se introdujo en una jaula metálica cerrada (*jaula de Faraday*) a la que se aplicaron fuertes descargas eléctricas sin que se apreciara variación alguna en su interior. Un automóvil o un avión se comportan aproximadamente como jaulas de Faraday. Por ello, las antenas son necesarias para captar las ondas electromagnéticas y conducirlas hasta el aparato de radio del interior del automóvil.

## TRABAJO EN EL LABORATORIO

## 1. ¿Por qué el soporte sobre el que se apoyan los materiales debe ser aislante?

Para asegurar que el paso de la carga vaya al electroscopio y no a tierra.

## 2. ¿Por qué en los días tormentosos o con mucha humedad en el ambiente resulta más difícil realizar experiencias sobre fenómenos de electrización?

Porque el ambiente puede estar saturado de cargas eléctricas, lo que enmascara los resultados reales del experimento.

ACTIVIDADES

18. Justifica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- a) Una varilla de plástico con carga positiva aumenta su carga si pierde electrones.
  - b) Una varilla de vidrio frotada con un paño de seda adquiere una carga negativa de  $7,5 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .
  - c) Los cuerpos cargados positivamente carecen de electrones.
  - d) La carga eléctrica total de un sistema aislado no varía.
- a) Verdadera. Un cuerpo que cede electrones adquiere carga positiva; si ya tenía carga positiva, la aumentará.  
 b) Falsa. La unidad natural de carga eléctrica es la carga del electrón ( $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ). Una carga negativa de  $7,5 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  no es un múltiplo de la carga del electrón, por lo que no es posible.  
 c) Falsa. Un cuerpo cargado positivamente tiene un exceso de cargas positivas, pero puede tener, en menor número, cargas negativas, por lo que puede tener electrones.  
 d) Verdadera. Es el enunciado del principio de conservación de la carga.

19. Explica por qué se producen los siguientes fenómenos eléctricos:

- a) Al frotar una varilla de vidrio con un paño de lana, ambos se atraen.
  - b) Cuando se toca una varilla aislada con otra electrizada previamente, ambas varillas se repelen tras el contacto.
  - c) Al tocar con un dedo la parte superior de la barra metálica de un electroscopio cargado, las láminas de este caen a su posición vertical.
  - d) Al aproximar un cuerpo electrizado con carga positiva a un conductor neutro, las cargas positivas del conductor se concentran en la zona más alejada.
- a) Al pasar electrones del uno al otro, ambos cuerpos adquieren carga de distinto signo y se atraen.  
 b) Al pasar cargas de la varilla cargada a la varilla aislada, ambas quedan con cargas de igual signo y se repelen.  
 c) Las cargas de las láminas pasan a tierra a través del cuerpo y el electroscopio queda descargado.  
 d) Al aproximar un cuerpo con carga positiva a un conductor neutro, los electrones libres del conductor son atraídos por el cuerpo y se concentran en la zona del conductor más próxima a este, y las cargas positivas, en la zona más alejada.

20. Indica qué clase de carga eléctrica tienen las siguientes partículas atómicas: electrón, neutrón y protón.

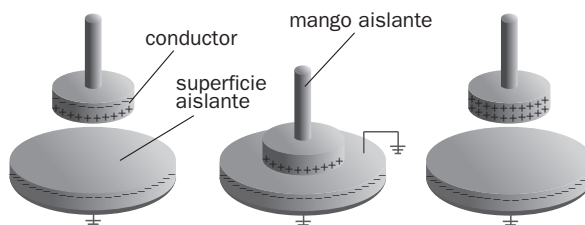
Un electrón tiene carga eléctrica negativa, un protón tiene carga eléctrica positiva y un neutrón carece de carga eléctrica.

21. Determina cuántos electrones han abandonado una varilla de plástico inicialmente descargada si, al frotarla con un trozo de seda, ha adquirido una carga de  $+0,5 \mu\text{C}$ .

$$\text{Número } N \text{ de electrones: } N = \frac{q}{e} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \text{ (C)}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (C / electrón)}} = 3 \cdot 10^{12} \text{ electrones}$$

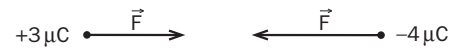
22. Un electróforo es un sencillo dispositivo que permite producir y transportar carga eléctrica. En la página web <http://www.e-sm.net/fq3eso58> puedes encontrar información sobre su funcionamiento.

- a) Describe las partes de las que consta un electróforo.
  - b) Dibuja un esquema del proceso de carga de un electróforo.
- a) Consta de dos partes: el platillo con mango aislante y una torta de resina. Para conseguir la carga se frota la resina con una piel de conejo (por ejemplo) y luego se apoya el platillo sobre esta. El platillo adquiere carga por inducción.  
 b) El proceso de carga del electróforo podría representarse así:



24. Calcula la fuerza eléctrica con que se atraen 2 cargas eléctricas de  $+3 \mu\text{C}$  y  $-4 \mu\text{C}$ , respectivamente, situadas en el vacío a 20 cm de distancia.

La distancia entre las cargas es  $r = 20 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-1} \text{ m}$ , por tanto:



$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9,0 \cdot 10^9 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 10^{-1})^2} = 3 \text{ N}$$

Como las cargas son de distinto signo, las fuerzas son de atracción.

25. Calcula la fuerza eléctrica con que se repelen 2 cargas eléctricas iguales de  $+0,8 \mu\text{C}$  situadas en el vidrio a 25 cm de distancia. La constante  $K$  del vidrio vale  $1,2 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$ .

La distancia entre las cargas es  $r = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$ , por tanto:



$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 1,2 \cdot 10^9 \cdot \frac{0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8 \cdot 10^{-6}}{(0,25)^2} = 0,01 \text{ N}$$

Como las cargas son del mismo signo, las fuerzas son de repulsión.

26. Calcula la fuerza de atracción eléctrica entre el protón y el electrón de un átomo de hidrógeno, sabiendo que la distancia entre ellos es  $5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ .

Las cargas del protón y del electrón son iguales aunque de signo opuesto. La fuerza de atracción entre ellos es:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9,0 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{(5,3 \cdot 10^{-11})^2} = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

27. Halla el valor de 2 cargas negativas iguales que se encuentran separadas en el vacío por una distancia de 12 cm y que se repelen con una fuerza de 0,02 N.

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = K \frac{q^2}{r^2} \Rightarrow q = r \sqrt{\frac{F}{K}} = 0,12 \cdot \sqrt{\frac{0,02}{9 \cdot 10^9}} = -1,8 \cdot 10^{-7} \text{ C} = -0,18 \cdot 10^{-6} \text{ C} = -0,18 \mu\text{C}$$

28. Calcula a qué distancia se encuentran en el vacío 2 cargas iguales de  $+1,5 \text{ mC}$  que se repelen con una fuerza de 1,5 N.

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = K \frac{q^2}{r^2} \Rightarrow r = q \sqrt{\frac{K}{F}} = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{9,0 \cdot 10^9}{1,5}} = 0,12 \text{ m}$$

29. Calcula la fuerza eléctrica con que se repelen los 2 protones del núcleo de helio, sabiendo que la distancia entre ellos es  $10^{-15} \text{ m}$ .

$$\text{De acuerdo con la ley de Coulomb: } F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{(10^{-15})^2} = 230 \text{ N}$$

30. Calcula la fuerza eléctrica con que se atraen 2 cargas de  $+1 \mu\text{C}$  y  $-6 \mu\text{C}$ , que distan 3 cm:

a) En el vacío.

b) En el agua.

c) En PVC.

Puedes consultar los datos necesarios en la tabla de la página 153.

La distancia entre las cargas es  $r = 3 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ , por tanto:

$$\text{a) En el vacío: } F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 60 \text{ N}$$

$$\text{b) En etanol: } F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 3,5 \cdot 10^8 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 2,3 \text{ N}$$

$$\text{c) En PVC: } F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 2,5 \cdot 10^9 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 17 \text{ N}$$

Como las cargas son de distinto signo, todas las fuerzas calculadas son de atracción.

31. Amplía en internet tus conocimientos sobre la vida y la obra de Coulomb: <http://www.e-sm.net/fq3eso59>. Enumera las aportaciones de Coulomb a la ciencia, además de sus famosas leyes sobre las fuerzas eléctricas.

Coulomb inventó la balanza de torsión para medir la fuerza de atracción o repulsión que ejercen entre sí dos cargas eléctricas, y estableció la función que liga esta fuerza con la distancia. Fue el primero en establecer las leyes cuantitativas de la electrostática, además de realizar muchas investigaciones sobre magnetismo, rozamiento y electricidad. Entre otras teorías y estudios se le debe la teoría de la torsión recta y un análisis del fallo del terreno dentro de la mecánica de suelos.

32. Completa el texto utilizando las siguientes palabras: *balanza, cargas eléctricas, constante de proporcionalidad, fuerzas eléctricas, inversamente proporcional y medio material.*

Para cuantificar las ....., el científico francés Coulomb utilizó una ..... de torsión. Comprobó que la fuerza entre dos ..... es directamente proporcional al valor de las cargas e ..... al cuadrado de la distancia entre ellas. La fuerza eléctrica varía con el tipo de ..... existente entre las cargas; el vacío es el medio que tiene el mayor valor de la .....

Fuerzas eléctricas; balanza; cargas eléctricas; inversamente proporcional; medio material; constante de proporcionalidad.

33. Dos cargas puntuales idénticas de  $-0,1 \text{ mC}$  se encuentran en el vacío a  $10 \text{ cm}$  de distancia. Halla:

- a) La fuerza de repulsión entre ellas.
- b) La distancia a la que deberían situarse en un medio acuoso para que la fuerza fuese la misma. En el agua,  $K = 1,12 \cdot 10^8 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$ .

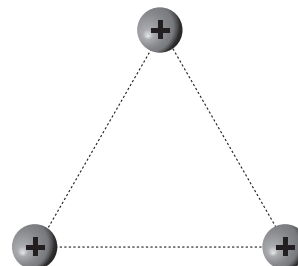
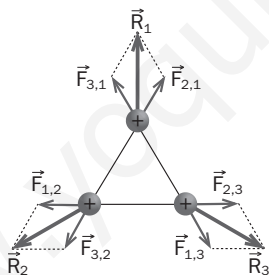
a) Distancia:  $r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m} \Rightarrow F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}{(0,1)^2} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ N}$

b)  $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = K \frac{q^2}{r^2} \Rightarrow r = q \sqrt{\frac{K}{F}} = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{1,12 \cdot 10^8}{9 \cdot 10^{-3}}} = 0,011 \text{ m} = 1,1 \text{ cm}$

34. Tres cargas  $+q$  iguales se encuentran situadas en los vértices de un triángulo equilátero.

Representa en un dibujo:

- a) Las fuerzas eléctricas que actúan sobre cada una de estas cargas.
- b) La fuerza resultante sobre cada una de ellas.



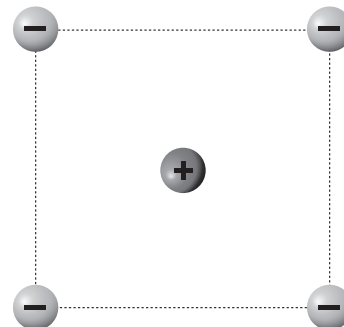
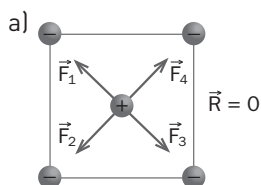
35. Cuatro cargas  $-q$  iguales están en los vértices de un cuadrado, y una quinta carga  $+q$ , en su centro.

Representa en un dibujo:

- a) Las fuerzas eléctricas que actúan sobre la carga eléctrica positiva.
- b) La fuerza resultante sobre ella.

Suponiendo que las 5 cargas hubieran sido iguales y positivas ( $+q$ ):

c) ¿Cuál hubiera sido la fuerza resultante sobre la carga situada en el centro del cuadrado?



- b) La fuerza es nula porque las cuatro fuerzas debidas a las cargas en los vértices se neutralizan dos a dos (tienen la misma intensidad y dirección, pero sentidos opuestos).
- c) También sería nula la fuerza resultante, por el mismo motivo que en el caso anterior.

36. Al situar una carga de  $+1,5 \mu\text{C}$  en un punto de un campo eléctrico, actúa sobre ella una fuerza de  $0,03 \text{ N}$ . Determina la intensidad del campo en ese punto.

$$E = \frac{F}{q'} = \frac{0,03}{1,5 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

37. Sobre una carga de  $1,25 \cdot 10^{11}$  electrones, situada en un punto de un campo eléctrico, actúa una fuerza de  $0,08 \text{ N}$ . Halla la intensidad del campo.

$$\text{Carga eléctrica: } q = 1,25 \cdot 10^{11} \text{ (electrones)} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (C/electrón)} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ C} \Rightarrow E = \frac{F}{q'} = \frac{0,08}{2 \cdot 10^{-8}} = 4 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

38. Halla la fuerza eléctrica sobre una carga de  $+2,5 \mu\text{C}$ , situada en un punto en el que la intensidad del campo eléctrico es  $3000 \text{ N/C}$ .

$$F = E \cdot q' = 3000 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

39. Justifica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- El electroscopio permite determinar el valor de la intensidad del campo eléctrico.
  - La fuerza que ejerce el campo eléctrico sobre una carga depende del valor de la carga.
  - La intensidad del campo eléctrico en un punto depende del valor de la carga eléctrica situada en ese punto.
  - La intensidad del campo eléctrico es nula en un punto en el que se cortan dos líneas de campo.
  - Las líneas de campo van desde las cargas eléctricas positivas a las cargas eléctricas negativas.
- Falsa. El electroscopio detecta la presencia de carga eléctrica, pero no determina la intensidad del campo eléctrico.
  - Verdadera. La fuerza  $F$  sobre una carga  $q'$  es  $F = E q'$ , siendo  $E$  la intensidad del campo.
  - Falsa. La intensidad del campo eléctrico en un punto es un valor característico de ese punto del campo y no depende del valor de la carga que se encuentre en él.
  - Falsa. Dos líneas del campo eléctrico nunca se cortan en un punto.
  - Verdadera. Las líneas de campo se dibujan con origen en las cargas positivas y finalizan en las cargas negativas.

40. Un campo eléctrico ejerce una fuerza de  $2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$  sobre una carga de  $+5 \mu\text{C}$  situada en un punto del campo:

- Calcula la intensidad del campo en ese punto.
- Calcula la fuerza que actuaría sobre una carga de  $+7,5 \mu\text{C}$  situada en él.

$$\text{a) } E = \frac{F}{q'} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-6}} = 400 \text{ N/C} \quad \text{b) } F = E q' = 400 \cdot 7,5 \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

41. El ion calcio (II) tiene una carga equivalente a 2 protones. Calcula la fuerza eléctrica sobre un ion cálcico situado en un campo eléctrico uniforme de  $20\,000 \text{ N/C}$ .

$$\text{Carga del ion calcio (II): } q = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C} \Rightarrow F = E q' = 20\,000 \cdot 3,2 \cdot 10^{-19} = 6,4 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

43. Una pequeña esfera de  $0,04 \text{ N}$  de peso se encuentra en equilibrio en un campo eléctrico de  $9000 \text{ N/C}$ , que produce sobre la esfera una fuerza vertical hacia arriba. Halla:

- La fuerza eléctrica sobre la esfera.
- La carga eléctrica de la esfera.
- Su masa.

a) El peso de la esfera se equilibra con la fuerza eléctrica:  $P = F$ . La fuerza tiene como módulo  $0,04 \text{ N}$ .

$$\text{b) } F = E q' \Rightarrow q' = \frac{F}{E} = \frac{0,04}{9000} = 4,4 \cdot 10^{-6} \text{ C} = 4,4 \mu\text{C}$$

$$\text{c) } m g = 0,04 \text{ N}; m \cdot 9,8 = 0,04; m = 4 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

44. Un campo eléctrico está creado por una carga de  $+40 \mu\text{C}$ . Calcula:

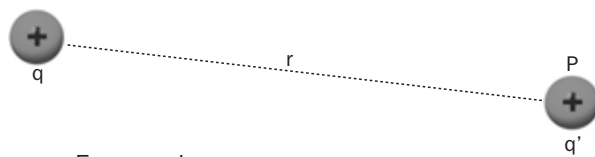
- El valor de la intensidad del campo a una distancia de  $6 \text{ mm}$  de la carga.
- La fuerza ejercida por el campo sobre una carga de  $+0,5 \mu\text{C}$  en ese mismo punto.

$$\text{a) } E = K \frac{q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{40 \cdot 10^{-6}}{(6 \cdot 10^{-3})^2} = 10^{10} \text{ N/C} \quad \text{b) } F = E q' = 10^{10} \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} = 5000 \text{ N}$$

46. Se sitúa una carga eléctrica  $q'$  en un punto  $P$  a una distancia  $r$  de otra carga  $q$ .

Escribe las expresiones matemáticas de:

- a) La fuerza eléctrica  $F$  sobre la carga  $q'$ .
- b) La intensidad  $E$  del campo eléctrico en el punto  $P$ .



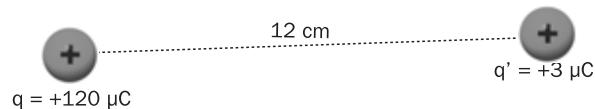
a) Según la ley de Coulomb:  $F = K \frac{qq'}{r^2}$

b)  $E = \frac{F}{q'} = K \frac{qq'}{q'r^2} = K \frac{q}{r^2}$

47. Observa esta distribución de cargas en el vacío.

Determina:

- a) La fuerza eléctrica  $F$  que actúa sobre  $q'$ .
- b) La intensidad en  $P$  del campo eléctrico generado por la carga  $q$ .
- c) La fuerza eléctrica que ejercería este campo sobre una carga eléctrica de  $+8 \mu\text{C}$  situada en el punto  $P$ .



a)  $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{120 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{(12 \cdot 10^{-2})^2} = 225 \text{ N}$

b)  $E = \frac{F}{q'} = \frac{225}{3 \cdot 10^{-6}} = 7,5 \cdot 10^7 \text{ N/C}$

c)  $F = E \cdot q' = 7,5 \cdot 10^7 \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 600 \text{ N}$

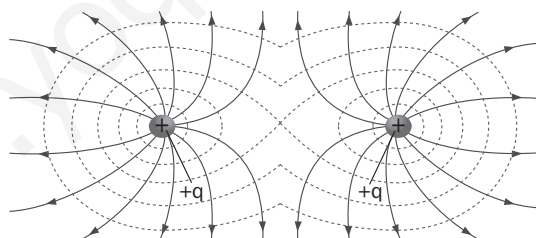
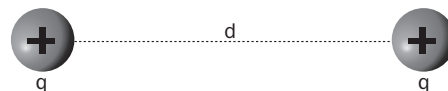
48. Elige la opción correcta sobre las líneas del campo eléctrico:

- a) Se cortan en los puntos en los que el campo eléctrico es nulo.
- b) Están más próximas donde el campo eléctrico es más intenso.
- c) Son circunferencias centradas en las cargas eléctricas positivas.
- d) Son líneas rectas que van desde las cargas positivas a las negativas.

La opción correcta es la *b*. Están más próximas donde el campo eléctrico es más intenso.

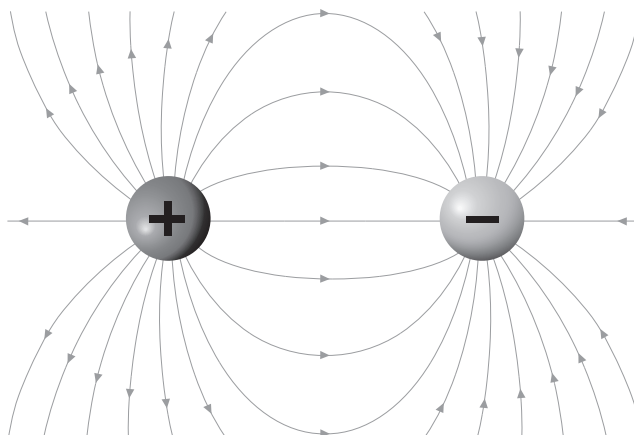
49. Dos cargas positivas iguales crean un campo eléctrico.

Dibuja las líneas del campo eléctrico debido a estas cargas.



50. La figura representa el campo eléctrico creado por 2 cargas iguales de distinto signo:  $+q$  y  $-q$ . Comenta los aspectos más destacables de la figura y responde a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Cuáles son las fuentes del campo (de dónde salen las líneas de campo)?
- b) ¿Cuáles son los sumideros del campo (dónde terminan las líneas de campo)?
- c) ¿En qué puntos se cortan las líneas del campo?
- d) ¿Dónde están más próximas las líneas del campo?
- e) ¿Cómo se movería una carga eléctrica positiva situada en el punto medio de las 2 cargas creadoras del campo,  $+q$  y  $-q$ ?
- f) ¿Y si la carga fuera negativa?



- a) Las líneas del campo salen de la carga positiva.
- b) Las líneas del campo terminan en la carga negativa.
- c) Las líneas del campo no se cortan en ningún punto.
- d) Las líneas del campo están más próximas en las zonas en las que el campo es más intenso; en este caso, en las proximidades de las cargas.
- e) Se movería hacia la carga negativa, atraída por esta y repelida por la carga positiva.
- f) Se movería hacia la carga positiva, atraída por esta y repelida por la carga negativa.

51. Indica si las siguientes afirmaciones son correctas o no. Justifica tus respuestas en todos los casos.

- a) Los metales son buenos conductores.
  - b) Los metales carecen de electrones libres que puedan moverse por ellos.
  - c) Los electrones se mueven con más facilidad en los metales que en los dieléctricos.
- a) Correcta. Los metales tienen electrones libres que permiten una fácil conducción de la electricidad.  
 b) Incorrecta. La existencia de electrones libres caracteriza a los materiales metálicos.  
 c) Correcta. En los dieléctricos los electrones están fuertemente ligados a átomos concretos.

52. Explica por qué durante una tormenta no es seguro refugiarse debajo de un árbol pero, sin embargo, sí es seguro permanecer en el interior de un automóvil.

Un árbol, debido al poder de las puntas, puede cargarse por influencia y servir de punto de descarga a los rayos. En cambio, un automóvil se comporta como una jaula de Faraday, por lo que en su interior no hay cargas eléctricas.

53. Amplía tus conocimientos sobre la jaula de Faraday en [www.e-sm.net/fq3eso60](http://www.e-sm.net/fq3eso60). ¿Por qué no se oye una radio introducida en una jaula de malla? ¿Por qué sí se oye un teléfono móvil?

La jaula aísla el campo electromagnético en su interior e impide que naveguen las ondas de radio y lleguen a su interior. Pero las ondas utilizadas por los teléfonos móviles tienen menor longitud de onda y pueden traspasar la malla de la jaula.

54. Completa el texto utilizando las siguientes palabras: *aislantes, atómica, átomos, conductores, dieléctricos, el grafito, electricidad, electrones libres y la porcelana*.

La madera, el vidrio y ..... son materiales .....; el cobre, el hierro y ..... son materiales .....  
 La diferencia de comportamiento entre conductores y aislantes se explica por su diferente estructura .....  
 Los ..... pueden moverse por los conductores, pero están ligados a ..... concretos en los ..... o aislantes. Pero en la práctica no hay conductores ni aislantes perfectos; es más correcto hablar de buenos conductores y de buenos aislantes; cualquier material puede conducir algo la .....

La madera, el vidrio y la *porcelana* son materiales *aislantes*; el cobre, el hierro y *el grafito* son materiales *conductores*. La diferencia de comportamiento entre conductores y aislantes se explica por su diferente estructura *atómica*. Los *electrones libres* pueden moverse por los conductores, pero están ligados a *átomos* concretos en los *dieléctricos* o *aislantes*. Pero en la práctica no hay conductores ni aislantes perfectos; es más correcto hablar de buenos conductores y de buenos aislantes; cualquier material puede conducir algo la *electricidad*.

55. Indica si las siguientes afirmaciones son correctas o no. Justifica tus respuestas en todos los casos.

- a) Un conductor está en equilibrio electrostático cuando no tiene carga eléctrica.
  - b) En un conductor que se encuentra en equilibrio electrostático las cargas en exceso están en continuo movimiento.
  - c) Las cargas eléctricas en exceso en un conductor se distribuyen por igual en todo su volumen.
  - d) Las cargas eléctricas en un conductor se sitúan preferentemente en las puntas.
- a) Incorrecta. Se debe hablar de conductor descargado; en él no hay cargas en equilibrio.  
 b) Incorrecta. En un conductor en equilibrio electrostático las cargas en exceso se sitúan en la superficie.  
 c) Incorrecta. Las cargas eléctricas en exceso en un conductor se distribuyen en la superficie; en el interior del conductor no hay cargas eléctricas.  
 d) Correcta. Las cargas eléctricas en un conductor se sitúan preferentemente en las puntas.



56. El científico estadounidense Robert A. Millikan realizó en 1909 el famoso *experimento de la gota de aceite*.

Dispuso dos láminas metálicas horizontales y paralelas. A continuación introdujo mediante un atomizador gotitas de aceite entre las placas por una abertura en la lámina superior. Las gotitas de aceite se electrizaran por fricción al salir del atomizador, por lo que cuando están entre las placas tienen carga eléctrica.

Con un microscopio observó el movimiento de caída de las gotitas.

Millikan midió que el radio de una de las gotitas esféricas era  $8,4 \cdot 10^{-7}$  m. Calcula:

- a) El volumen de esa gota de aceite.
- b) Su masa teniendo en cuenta que la densidad del aceite es  $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
- c) Su peso.

Millikan aplicó un campo eléctrico de 20 000 N/C entre las láminas metálicas. Algunas gotitas quedaban en equilibrio entre la fuerza eléctrica sobre ellas y su peso.

- d) Escribe la expresión matemática que indica que la fuerza total sobre la gotita en equilibrio es nula.
- e) Calcula la carga eléctrica de la gotita de  $8,4 \cdot 10^{-7}$  m de radio.
- f) Halla la relación entre esta carga y la cantidad  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C.
- g) Repite los apartados a, b, c, e y f para una gotita de aceite de  $1,08 \cdot 10^{-6}$  m de radio.

Millikan comprobó con cientos de gotas de aceite que la carga eléctrica  $q$  adquirida por ellas era:

$$q = n e$$

siendo  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C y  $n$  un número entero positivo.

- h) Señala cuáles de las siguientes conclusiones se extraen del experimento de la gota de aceite de Millikan y cuáles no:
  1. La carga del electrón es  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C.
  2. Las gotas de aceite flotan en el aire.
  3. Las gotas de aceite pesan muy poco.
  4. Las fuerzas que producen los campos eléctricos son verticales.
  5. La carga eléctrica está cuantizada: cualquier carga eléctrica es un múltiplo de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

Puedes ampliar la información sobre el experimento de la gota de aceite de Millikan en el vídeo [www.es-sm.net/fq3eso61](http://www.es-sm.net/fq3eso61).

- i) ¿Por qué caen las gotas de aceite lentamente entre las placas?
- j) Escribe la carga del electrón con 4 cifras significativas.
- k) Además de la determinación de la carga del electrón, ¿qué otras aportaciones científicas realizó Millikan?

$$a) V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot (8,4 \cdot 10^{-7})^3 = 2,48 \cdot 10^{-18} \text{ m}^3$$

$$b) m = Vd = 2,48 \cdot 10^{-18} \cdot 800 = 1,99 \cdot 10^{-15} \text{ kg}$$

$$c) P = mg = 1,99 \cdot 10^{-15} \cdot 9,8 = 1,95 \cdot 10^{-14} \text{ N}$$

d) Si la gota está en equilibrio, el peso de la gota es igual a la fuerza eléctrica pero de sentido contrario:  $mg = F_E$ .

$$e) \text{ Por tanto: } mg = F_E = Eq \Rightarrow 1,95 \cdot 10^{-14} = 20000q \Rightarrow q = 9,75 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$f) n = \frac{q}{e} = \frac{9,75 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 6,09 \approx 6$$

$$g) V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot (1,08 \cdot 10^{-6})^3 = 5,28 \cdot 10^{-18} \text{ m}^3$$

$$m = Vd = 5,28 \cdot 10^{-18} \cdot 800 = 4,22 \cdot 10^{-15} \text{ kg}$$

$$P = mg = 4,22 \cdot 10^{-15} \cdot 9,8 = 4,13 \cdot 10^{-14} \text{ N}$$

$$mg = F_E = Eq \Rightarrow 4,13 \cdot 10^{-14} = 20000q \Rightarrow q = 2,07 \cdot 10^{-18} \text{ C}$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{2,07 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 12,9 \approx 13$$

- h) La conclusión que se deriva del experimento de Millikan es que la carga eléctrica está cuantizada (cualquier carga eléctrica es un múltiplo de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C).
- i) Las gotas caen lentamente, con un movimiento uniforme, debido a la viscosidad del medio.
- j)  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C
- k) Investigó los rayos cósmicos, la radiactividad de los minerales de uranio, la descarga en gases y las radiaciones ultravioleta.

## PON A PRUEBA TUS COMPETENCIAS

## DESCUBRE TU ENTORNO

## Las tormentas y los pararrayos

1. Calcula cuántos rayos caen por término medio cada segundo sobre la Tierra.

Si cada año caen sobre la Tierra más de 3000 millones de rayos, cada segundo caerán:

$$\frac{3 \cdot 10^9 \text{ (rayos)}}{1 \text{ (año)}} \cdot \frac{1 \text{ (año)}}{365 \text{ (días)}} \cdot \frac{1 \text{ (día)}}{24 \text{ (h)}} \cdot \frac{1 \text{ (h)}}{60 \text{ (min)}} \cdot \frac{1 \text{ (min)}}{60 \text{ (s)}} = 95 \text{ rayos / s}$$

2. ¿Por qué las tormentas pueden provocar el incendio de los bosques?

Porque los árboles pueden actuar de pararrayos e incendiarse.

3. En este enlace: <http://www.e-sm.net/fq3eso62>, amplía tu información sobre las tormentas y los pararrayos.

a) Señala las diferencias entre *rayo*, *relámpago* y *trueno*.

b) Describe los distintos tipos de rayos.

c) Explica cómo se origina el trueno.

d) ¿Cómo se puede calcular la distancia a la que se encuentra una tormenta?

a) El rayo es una poderosa descarga electrostática natural, producida durante una tormenta eléctrica. El relámpago es la emisión de luz que acompaña al rayo y es causado por el paso de corriente eléctrica que ioniza las moléculas de aire. El trueno es el sonido desarrollado por la onda de choque del rayo.

b) Duendes: destellos luminosos que se producen desde por encima de la nube hasta la capa superior de la atmósfera. Intranubes: se producen entre una misma nube. Internubes: se producen entre varias nubes. Entre la nube y la tierra.

c) El trueno es el sonido de la onda de choque causada cuando un rayo calienta instantáneamente el aire a más de 28 000 °C. Este aire se expande a gran velocidad y al mezclarse con aire frío del entorno baja bruscamente su temperatura y se contrae. La rápida expansión y contracción genera ondas de choque que producen el sonido.

d) Se piensa erróneamente que, dada la velocidad del sonido en el aire (340 m/s), para determinar la distancia a la que caen los rayos, solo es necesario contar los segundos entre relámpago y trueno. Sin embargo, el trueno se desplaza por medio de ondas explosivas que son mucho más rápidas que las ondas acústicas ordinarias.

4. Si transcurren 6 s desde que se ve el relámpago hasta que se oye el trueno, ¿a qué distancia aproximada se encuentra la tormenta?

Suponiendo que el trueno se desplaza a la velocidad del sonido:  $6 \text{ (s)} \cdot \frac{340 \text{ (m)}}{1 \text{ (s)}} = 2040 \text{ m}$

5. Describe cómo funcionan los pararrayos y justifica por qué un pararrayos no puede fabricarse con material dieléctrico.

Un pararrayos es un mástil metálico terminado en punta, que se sitúa en la parte más alta de la estructura que se desea proteger (edificios, depósitos de combustible, estaciones eléctricas, etc.). Su extremo inferior se une mediante un conductor muy grueso a barras metálicas enterradas en el suelo. Cuando se produce la descarga, las cargas eléctricas se dirigen desde la nube hasta el extremo del pararrayos y pasan a tierra por el conductor.

No puede utilizarse material dieléctrico, porque no conduce la electricidad.

6. Señala cuál de las siguientes medidas de seguridad es procedente en una tormenta:

I. Caminar sobre suelo húmedo.

II. Refugiarse debajo de un árbol.

III. Tumbarse en el suelo si se está en campo abierto.

IV. Avisar de la tormenta con el teléfono móvil.

La medida de seguridad procedente en una tormenta es tumbarse en el suelo si se está en campo abierto.

## LEE Y COMPRENDE

## La pila eléctrica

1. ¿Qué condición deben tener los materiales que se intercalan entre los pares metálicos para construir la pila de Volta? ¿Con qué es mejor humedecerlos?

Deben ser capaces de absorber y conservar mucha agua o humedad, pues es necesario para que haya transferencia de electrones. Lo mejor es humedecerlas con agua salada.

2. ¿Se puede construir una pila de Volta con discos de cobre y estaño en lugar de plata y cinc? ¿Cuáles son preferibles?

Se puede construir de ambas maneras. Es preferible que sean de plata y cinc.

3. Si se construye una pila con discos de plata y cinc, ¿de qué material debe ser el disco que está más abajo de la columna? ¿Por qué?

Se ha de acoplar un disco de plata con uno de cinc, y siempre en el mismo sentido, es decir, la plata abajo y el cinc arriba, o viceversa, según como se haya comenzado, e intercalando entre cada uno de estos pares un disco mojado.

4. ¿Por qué el tamaño y la forma de las piezas no son factores importantes para construir la pila de Volta?

La precisión no es necesaria y, en general, el tamaño y la forma de las piezas metálicas es arbitrario. Todo lo que es necesario es que puedan ser dispuestas una encima de otra, en una columna.

5. ¿Volta consideraba que la construcción de una pila eléctrica era sencilla o complicada? ¿Por qué?

Consideraba que era un trabajo simple y fácil, pues no tenía más que acomodar los discos correctamente.

6. Explica, con ayuda del diccionario, el significado de *arbitrario*, *enjugado*, *viceversa* e *intercalar*.

Arbitrario: que depende de la decisión del árbitro. Enjugado: humedecido. Viceversa: Al contrario; cambiadas dos cosas recíprocamente. Intercalar: interponer o poner algo entre otras cosas.

7. ¿A qué se refiere Volta en el texto con el término *banco*?

Se refiere a un lugar de apoyo que fuera firme y plano.

8. En la web del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología puedes encontrar más información sobre la pila de Volta y otros dispositivos eléctricos. Entra, a través de este enlace: [www.e-sm.net/fq3eso64](http://www.e-sm.net/fq3eso64), y selecciona información que te sirva para completar la que ya tienes.

Realizad en grupo una presentación con diapositivas y exponedla al resto de la clase, incidiendo en la repercusión que ha tenido en nuestras vidas la invención de la pila eléctrica.

Respuesta libre.

Autoría: Mariano Remacha, Jesús A. Viguera, Antonio Fernández Roura, Alberto Sanmartín • Edición: Antonio Fernández-Roura • Corrección: David Blanco • Ilustración: Domingo Duque, Jurado y Rivas • Diseño: Pablo Canelas, Alfonso Ruano • Maquetación: Grafilia S.L. • Coordinación de diseño: José Luis Rodríguez • Coordinación editorial: Nuria Corredera • Dirección editorial: Aída Moya

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

© Ediciones SM: