

Capítulo 1. Carga y Campo eléctricos.

INTRODUCCIÓN

Todos estamos familiarizados con los efectos de la electricidad estática, incluso algunas personas son más susceptibles que otras a su influencia. Ciertos usuarios de automóviles sienten sus efectos al cerrar con la llave (un objeto metálico puntiagudo) o al tocar la chapa del coche.

El término eléctrico, y todos sus derivados, tiene su origen en las experiencias realizadas por Tales de Mileto, un filósofo griego que vivió en el siglo sexto antes de Cristo. Tales estudió el comportamiento de una resina fósil, el ámbar -en griego *elektron*-, observando que cuando era frotada con un paño de lana adquiría la propiedad de atraer hacia sí pequeños cuerpos ligeros; los fenómenos análogos a los producidos por Tales con el ámbar o *elektron* se denominaron fenómenos eléctricos y más recientemente fenómenos electrostáticos.

La electrostática es la parte de la física que estudia este tipo de comportamiento de la materia, se preocupa de la medida de la carga eléctrica o cantidad de electricidad presente en los cuerpos y, en general, de los fenómenos asociados a las cargas eléctricas en reposo.

Creamos electricidad estática, cuando frotamos una un bolígrafo con nuestra ropa. A continuación, comprobamos que el bolígrafo atrae pequeños trozos de papel. Lo mismo podemos decir cuando frotamos vidrio con seda o ámbar con lana.

QUÉ ES LA ELECTRIZACIÓN

Cuando a un cuerpo se le dota de propiedades eléctricas, es decir, adquiere cargas eléctricas, se dice que ha sido electrizado.

La electrización es uno de los fenómenos que estudia la electrostática.

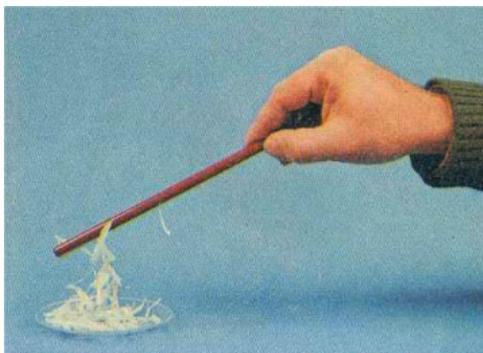
Para explicar como se origina la electricidad estática, hemos de considerar que la materia está hecha de átomos, y los átomos de partículas cargadas, un núcleo rodeado de una nube de electrones. Normalmente, la materia es neutra (no electrizada), tiene el mismo número des cargas positivas y negativas.

Algunos átomos tienen más facilidad para perder sus electrones que otros. Si un material tiende a perder algunos de sus electrones cuando entra en contacto con otro, se dice que es más positivo en la serie Triboeléctrica. Si un material tiende a capturar electrones cuando entra en contacto con otro material, dicho material es más negativo en la serie triboeléctrica.

Un ejemplo de materiales ordenados de más positivo a más negativa es el siguiente:

Piel de conejo, vidrio, pelo humano, nylon, lana, seda, papel, algodón, madera, ámbar, polyester, poliuretano, vinilo (PVC), teflón.

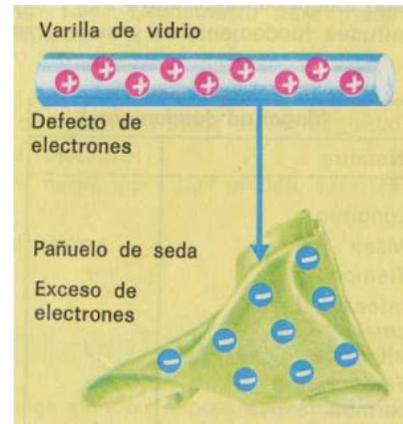
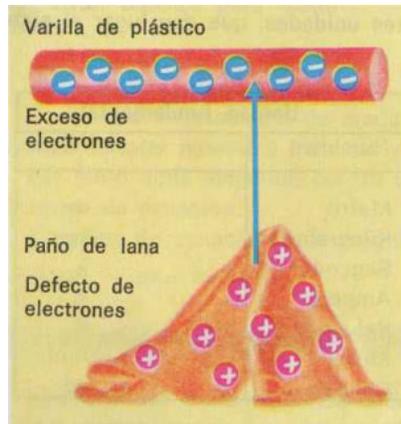
El vidrio frotado con seda provoca una separación de las cargas por que ambos materiales ocupan posiciones distintas en la serie triboeléctrica, lo mismo se puede decir del ámbar y del vidrio. Cuando dos materiales no conductores entran en contacto uno de los materiales puede capturar electrones del otro material. La cantidad de carga depende de la naturaleza de los materiales (de su separación en la serie triboeléctrica), y del área de la superficie que entra en contacto. Otro de los factores que intervienen es el estado de las superficies, si son lisas o rugosas (entonces, la superficie de contacto es pequeña). La humedad o impurezas que contengan las superficies proporcionan un camino para que se recombinen las cargas. La presencia de impurezas en el aire tiene el mismo efecto que la humedad.



En la escuela hemos frotado el bolígrafo con nuestra ropa y hemos visto como atrae a trocitos de papeles. En las experiencias de aula, se frota diversos materiales, vidrio con seda, cuero, etc... Se emplean bolitas de saúco electrizadas para mostrar las dos clases de cargas y sus interacciones.

De estos experimentos se concluye que:

1. La materia contiene dos tipos de cargas eléctricas denominadas positivas y negativas. Los objetos no cargados poseen cantidades iguales de cada tipo de carga.
2. Cuando un cuerpo se frota la carga se transfiere de un cuerpo al otro, uno de los cuerpos adquiere un exceso de carga positiva y el otro un exceso de carga negativa. En cualquier proceso que ocurra en un sistema aislado la carga total o neta no cambia.
3. Los objetos cargados con carga del mismo signo, se repelen.
4. Los objetos cargados con cargas de distinto signo, se atraen.

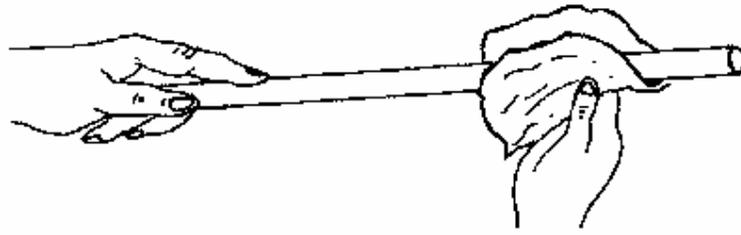


FORMAS DE ELECTRIZACIÓN

Cuando un cuerpo cargado eléctricamente se pone en contacto con otro inicialmente neutro, puede transmitirle sus propiedades eléctricas. Este tipo de electrización denominada por contacto se caracteriza porque es permanente y se produce tras un reparto de carga eléctrica que se efectúa en una proporción que depende de la geometría de los cuerpos y de su composición. Existe, no obstante, la posibilidad de electrizar un cuerpo neutro mediante otro cargado sin ponerlo en **contacto** con él. Se trata, en este caso, de una electrización a distancia o por **inducción** o influencia. Si el cuerpo cargado lo está positivamente la parte del cuerpo neutro más próximo se cargará con electricidad negativa y la opuesta con electricidad positiva. La formación de estas dos regiones o polos de características eléctricas opuestas hace que a la electrización por influencia se la denomine también polarización eléctrica. A diferencia de la anterior este tipo de electrización es transitoria y dura mientras el cuerpo cargado se mantenga suficientemente próximo al neutro. Finalmente, un cuerpo puede ser electrizado por **frotamiento** con otro cuerpo, como aprecio Tales de Mileto en el siglo sexto antes de Cristo

Electrización por frotamiento

La electrización por frotamiento se explica del siguiente modo. Por efecto de la fricción, los electrones externos de los átomos del paño de lana son liberados y cedidos a la barra de ámbar, con lo cual ésta queda cargada negativamente y aquél positivamente. En términos análogos puede explicarse la electrización del vidrio por la seda. En cualquiera de estos fenómenos se pierden o se ganan electrones, pero el número de electrones cedidos por uno de los cuerpos en contacto es igual al número de electrones aceptado por el otro, de ahí que en conjunto no hay producción ni destrucción de carga eléctrica. Esta es la explicación, desde la teoría atómica, del principio de conservación de la carga eléctrica formulado por Franklin con anterioridad a dicha teoría sobre la base de observaciones sencillas.



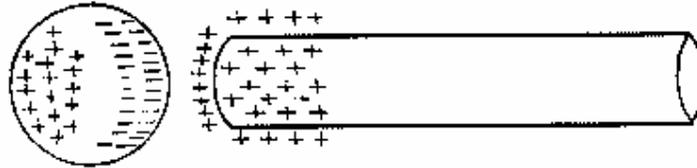
Electrización por frotamiento

Electrización por contacto

La electrización por contacto es considerada como la consecuencia de un flujo de cargas negativas de un cuerpo a otro. Si el cuerpo cargado es positivo es porque sus correspondientes átomos poseen un defecto de electrones, que se verá en parte compensado por la aportación del cuerpo neutro cuando ambos entran en contacto. El resultado final es que el cuerpo cargado se hace menos positivo y el neutro adquiere carga eléctrica positiva. Aun cuando en realidad se hayan transferido electrones del cuerpo neutro al cargado positivamente, todo sucede como si el segundo hubiese cedido parte de su carga positiva al primero. En el caso de que el cuerpo cargado inicialmente sea negativo, la transferencia de carga negativa de uno a otro corresponde, en este caso, a una cesión de electrones.

Electrización por inducción

La electrización por influencia o inducción es un efecto de las fuerzas eléctricas. Debido a que éstas se ejercen a distancia, un cuerpo cargado positivamente en las proximidades de otro neutro atraerá hacia sí a las cargas negativas, con lo que la región próxima queda cargada negativamente. Si el cuerpo cargado es negativo entonces el efecto de repulsión sobre los electrones atómicos convertirá esa zona en positiva. En ambos casos, la separación de cargas inducida por las fuerzas eléctricas es transitoria y desaparece cuando el agente responsable se aleja suficientemente del cuerpo neutro.



Electrización por inducción

Conductores, aisladores y semiconductores

Cuando un cuerpo neutro es electrizado, sus cargas eléctricas, bajo la acción de las fuerzas correspondientes, se redistribuyen hasta alcanzar una situación de equilibrio. Algunos cuerpos, sin embargo, ponen muchas dificultades a este movimiento de las cargas eléctricas por su interior y sólo permanece cargado el lugar en donde se depositó la carga neta. Otros, por el contrario, facilitan tal redistribución de modo que la electricidad afecta finalmente a todo el cuerpo. Los primeros se denominan aisladores y los segundos conductores.

Esta diferencia de comportamiento de las sustancias respecto del desplazamiento de las cargas en su interior depende de su naturaleza íntima. Así, los átomos de las sustancias conductoras poseen electrones externos muy débilmente ligados al núcleo en un estado de semilibertad que les otorga una gran movilidad, tal es el caso de los metales. En las sustancias aisladoras, sin embargo, los núcleos atómicos retienen con fuerza todos sus electrones, lo que hace que su movilidad sea escasa.

Entre los buenos conductores y los aisladores existe una gran variedad de situaciones intermedias. Es de destacar entre ellas la de los materiales semiconductores por su importancia en la fabricación de dispositivos electrónicos que son la base de la actual revolución tecnológica. En condiciones ordinarias se comportan como malos conductores, pero desde un punto de vista físico su interés radica en que se pueden alterar sus propiedades conductoras con cierta facilidad, ya sea mediante pequeños cambios en su composición, ya sea sometidos a condiciones especiales, como elevada temperatura o intensa iluminación.

CARGA ELÉCTRICA.

Los átomos están constituidos por un núcleo y una corteza (órbitas) En el núcleo se encuentran muy firmemente unidos los protones y los neutrones. Los protones tienen carga positiva y los neutrones no tienen carga. Alrededor del núcleo se encuentran las órbitas donde se encuentran girando sobre ellas los electrones. Los electrones tienen carga negativa.

Ambas cargas la de los protones (positiva) y la de los electrones (negativa) son iguales, aunque de signo contrario.

La carga eléctrica elemental es la del electrón. El electrón es la partícula elemental que lleva la menor carga eléctrica negativa que se puede aislar. Como la carga de un electrón resulta extremadamente pequeña se toma en el S.I. (Sistema Internacional) para la unidad de Carga eléctrica el **Culombio** que equivale a $6,24 \cdot 10^{18}$ electrones.

Para denominar la carga se utiliza la letra Q y para su unidad la C.

Ejemplo: $Q = 5 \text{ C}$

En la tabla adjunta se muestra la masa y la carga de las partículas elementales.

Partícula	Masa	Carga eléctrica
Protón	$1,6725 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$	$+1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Neutrón	$1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$	0 C
Electrón	$9,1091 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$	$-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Para el estudio de la electricidad nos basta con este modelo aproximado del átomo, con sus partículas elementales (electrón, protón y neutrón). Los protones son de carga eléctrica positiva y se repelen entre sí. Los electrones son de carga eléctrica negativa y se repelen entre sí. Los neutrones no tienen carga eléctrica.

Entre los electrones y los protones se ejercen fuerzas de atracción. Puesto que los electrones giran a gran velocidad alrededor del núcleo existe también una fuerza centrípeta que tiende a alejar del núcleo a los electrones. Entre dichas fuerzas se establece un equilibrio, de tal manera que los electrones giran en las órbitas y no son atraídos por los protones del núcleo y tampoco se salen de sus órbitas.

Los protones son de carga eléctrica positiva y se repelen entre sí.
 Los electrones son de carga eléctrica negativa y se repelen entre sí.
 Los neutrones no tienen carga eléctrica.
 Cargas del mismo signo se repelen y cargas de signo contrario se atraen.

LEY DE COULOMB.

Como ya se ha dicho cargas del mismo signo se repelen y cargas de signo contrario se atraen.

Coulomb en 1777 enunció la ley de la Electrostática (electricidad estática) que lleva su nombre (Ley de Coulomb):

La intensidad de la fuerza (F) con la cual dos cargas eléctricas puntuales se atraen o se repelen, es directamente proporcional al producto de sus cargas (Q_1 y Q_2) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (r) que las separan.

$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Donde:

F: Fuerza expresada en Newtons [N]

Q_1 y Q_2 : Cargas expresadas en Culombios [C]

r: Distancia de separación entre las cargas expresada en metros [m]

K: Constante= $9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ para el aire o vacío.

La intensidad de la fuerza con la cual dos cargas eléctricas puntuales se atraen o se repelen, es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separan.

Ejemplo 1:

Dos cargas puntuales de $+50 \mu\text{C}$ y $+40 \mu\text{C}$ se encuentran en el vacío separadas 2 metros. Obtener la fuerza que se ejercen sobre ambas cargas.

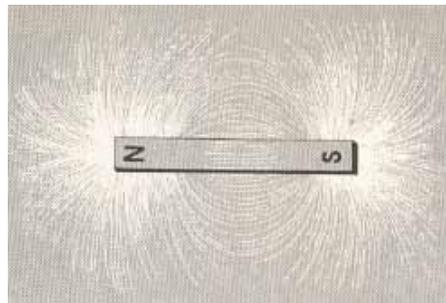
Puesto que las cargas son ambas positivas la fuerza será de repulsión.

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{2^2} = 4,5 \text{ N}$$

CAMPO ELÉCTRICO.**El concepto de campo.**

A Michael Faraday la idea de que las cargas o los imanes actuasen a distancia a través del espacio vacío no le convencía, de modo que para explicar las fuerzas que actúan entre las cargas o los polos de los imanes tuvo que inventar "algo" que llenase el espacio y que conectase de algún modo una carga con otra o un polo del imán con el otro; Faraday pensaba en una especie de tubos de goma o algo así, quizá animado al ver cómo las limaduras de hierro se ordenan al colocar cerca un imán.

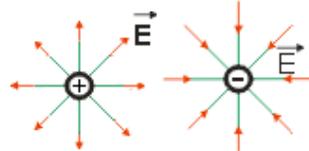
Así nació el concepto de campo de fuerzas, en general.

**¿Qué significa campo eléctrico?**

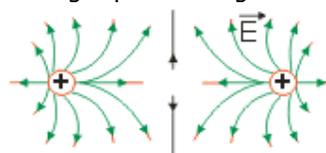
- Una propiedad del espacio mediante la cual "se propaga" la interacción entre cargas.
- Una región del espacio donde existe una perturbación tal que a cada punto de dicha región le podemos asignar una magnitud vectorial, llamada intensidad de campo eléctrico \mathbf{E} .

Representación del campo.

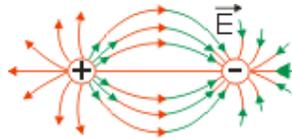
Un campo se representa dibujando las llamadas líneas de campo. Para el campo creado por una carga puntual, las líneas de campo son radiales.



Para el caso de un campo creado por dos cargas puntuales iguales del mismo signo:

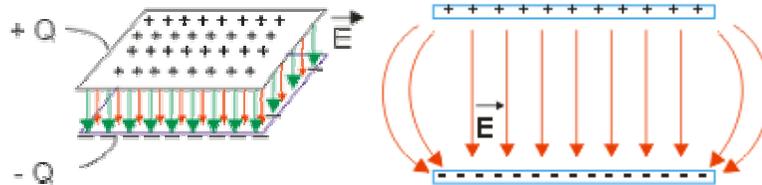


Para el caso de un campo creado por dos cargas puntuales iguales de distinto signo:



Las líneas de campo no se pueden cortar, porque si lo hicieran en un punto habría dos valores distintos de intensidad de campo E .

Un campo eléctrico muy útil es el que se crea entre dos placas metálicas y paralelas (*CONDENSADOR*) conectadas a un generador de corriente continua; de ese modo las placas adquieren carga igual pero de signo contrario y en la zona que existe entre ellas se crea un **campo uniforme**.



Intensidad de campo eléctrico.

La región del espacio situada en las proximidades de un cuerpo cargado posee unas propiedades especiales. Si se coloca en cualquier punto de dicha región una carga eléctrica de prueba, se observa que se encuentra sometida a la acción de una fuerza. Este hecho se expresa diciendo que el cuerpo cargado ha creado un campo eléctrico. La intensidad de campo eléctrico en un punto se define como la fuerza que actúa sobre la unidad de carga situada en él. Si E es la intensidad de campo, sobre una carga Q actuará una fuerza

$$F = q \cdot E$$

$$E = \frac{F}{q} = \frac{1}{q} K \frac{Q \cdot q}{r^2} = K \frac{Q}{r^2}$$

$$E = K \frac{Q}{r^2} \text{ [N/C]}$$

Ejemplo 1:

Halla el módulo de la intensidad del campo eléctrico creado por una carga positiva de $1\mu\text{C}$ a 1m, 2m, 3m y 4m de distancia, en el vacío.

Solución:

$$E = K \frac{Q}{r^2}$$

$$E = 9 \cdot 10^9 \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1^2} = 9600 \text{ [N/C]}$$

Si el valor de r se duplica, el valor de E se reduce a la cuarta parte, es decir

$$E_2 = 2250 \text{ N/C}$$

$$E_3 = 1000 \text{ N/C}$$

$$E_4 = 562,5 \text{ N/C}$$

Ejemplo 2:

Hallar: a) la intensidad de campo eléctrico E , en el aire, a una distancia de 30 cm de la carga $q_1 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$, b) la fuerza F que actúa sobre una carga $q_2 = 4 \cdot 10^{-10} \text{ C}$ situada a 30 cm de q_1 .

Solución:

$$\text{a) } E = K \frac{Q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{5 \cdot 10^{-9}}{(3 \cdot 10^{-1})^2} = 5 \cdot 10^2 \text{ [N/C]}$$

$$\text{b) } F = q \cdot E = (5 \cdot 10^2) \cdot (4 \cdot 10^{-10}) = 2 \cdot 10^{-7} \text{ [N]}$$

POTENCIAL ELÉCTRICO

Hemos visto que si en el seno de un campo eléctrico E , situamos una carga de prueba positiva $q+$ que no introduzca modificaciones en el campo; ésta es repelida con una fuerza según la ley de Coulomb

$$F = K \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

obligándola a un desplazamiento, que indica un trabajo realizado sobre ella. Este desplazamiento sería hasta los límites del campo, que teóricamente están en el infinito.

De la misma forma podemos pensar que si queremos llevar una carga $q+$ desde el infinito hasta un punto en el seno del campo, en contra de las líneas de fuerza, debemos de ejercer un trabajo; lo que se traduce en la adquisición de una energía potencial que suponemos concentrada en ese punto.

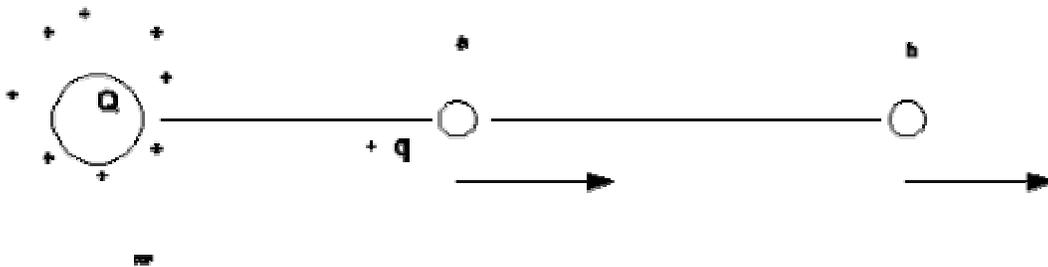
Llamamos potencial eléctrico V en un punto, al trabajo necesario para traer una carga unidad positiva desde el infinito a ese punto. (Trabajo entre carga).

$$V = \frac{T}{q}$$

Se mide en **voltios [V]**; un voltio es el trabajo de un julio sobre la carga de un culombio, es decir, **1 V = 1 J/1 C**.

Diferencia de potencial entre dos puntos de un campo

Si tenemos una carga de prueba $q+$ en el punto **a** de la fig. ¿qué trabajo realiza para pasar a otro punto **b**?



Siendo V_a el potencial en el punto **a**, y T' el trabajo necesario para traer la carga desde el infinito hasta ese punto **a**, podemos decir que

$$T' = V_a \cdot q$$

de la misma forma para el punto **b**

$$T'' = V_b \cdot q$$

luego el **trabajo** necesario para llevar la carga q desde el punto **a** hasta el **b** será

$$T' - T'' = (V_a - V_b) \cdot q$$

o sea

$$V_a - V_b = \frac{T' - T''}{q}$$

haciendo $T' - T'' = T$ queda

$$V_a - V_b = \frac{T}{q}$$

La diferencia $V_a - V_b$ es la diferencia de potencial entre los puntos a y b, y mide el trabajo necesario para llevar la carga de prueba desde el punto a hasta el b.

Capítulo 1 Ejercicios.

1. Dos cargas puntuales de $+0,25 \text{ mC}$ y $+300 \text{ } \mu\text{C}$ se encuentran en el vacío separadas $3,4 \text{ metros}$. Obtener la fuerza que se ejercen sobre ambas cargas.

Solución: $58,39 \text{ N}$.

2. Hallar la intensidad del campo eléctrico y el potencial en un punto del aire situado a 3 cm de una carga de $5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$.

Solución: $5 \cdot 10^5 \text{ N/C}$; $1,5 \cdot 10^4 \text{ V}$

3. Calcular la intensidad del campo eléctrico y el potencial del punto medio entre dos cargas separadas 6 m en el aire cuando las cargas son: a) $+10^8$ y -10^8 C ; b) $+10^8$ y $+10^8 \text{ C}$; c) $+10^8$ y -10^9 C ; d) hallar la fuerza ejercida sobre una carga de -10^8 C situada en el punto medio de las cargas del apartado a).

Solución: a) 20 N/C , 0 V ; b) 0 N/C , 60 V ; c) 11 N/C , 27 V ; d) $2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ hacia la carga de $+10^8 \text{ C}$.

4. Hallar el trabajo necesario para trasladar una carga de $2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ desde un punto a 30 cm de una carga de $3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ hasta otro a 12 cm de la misma, suponiendo que el medio es el vacío.

Solución: $2,7 \cdot 10^{-2} \text{ J}$

5. Calcular el trabajo que realiza un campo eléctrico al desplazar un electrón entre una diferencia de potencial de 6 V .

Solución: $9,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$