

## BLOQUE 2.1 CAMPO ELÉCTRICO



La electricidad, en una forma u otra, se encuentra en casi todo lo que nos rodea: se encuentra en los relámpagos que se producen durante las tormentas, en la chispa que salta bajo los pies cuando los arrastras sobre una alfombra y en la fuerza que mantiene unidos los átomos en forma de moléculas.

### 1.- ELECTROSTÁTICA

La interacción eléctrica guarda sorprendentes similitudes con la interacción gravitatoria.

Sin embargo, aunque los efectos eléctricos y magnéticos son producidos por la misma propiedad de la materia, la CARGA ELÉCTRICA, el estudio de ambos fenómenos se hace por separado, dependiendo de si la carga eléctrica está en reposo o en movimiento.

Una carga en reposo sólo origina efectos eléctricos y su estudio constituye la ELECTROSTÁTICA.

La ELECTROSTÁTICA estudia las cargas eléctricas en reposo, las fuerzas que se ejercen entre ellas y su comportamiento en los materiales

### 2.- ¿QUÉ SABEMOS DE LA CARGA ELÉCTRICA?

#### 2.1-Conservación de la carga eléctrica

La naturaleza real de la carga eléctrica sólo fue revelada con el entendimiento de la estructura atómica de la materia. En un átomo neutro hay el mismo número de protones que de electrones, así que la carga neta es cero. Si un átomo pierde un electrón, pierde una carga negativa y se convierte en un ion positivo, por el contrario, si gana un electrón se convierte en ion negativo. Si en un objeto, el número de electrones y protones de sus átomos no están equilibrados, estará cargado. Aunque los electrones internos de un átomo están fuertemente unidos al núcleo, los electrones externos de muchos átomos están unidos muy débilmente y es fácil extraerlos. Por ejemplo, los electrones están unidos con más fuerza en el caucho que en la piel de un animal. Por tanto, al frotar una barra de caucho con un trozo de piel habrá una transferencia de electrones de la piel a la barra.

- ✓ Los electrones se transfieren de un material a otro. LA CARGA SE CONSERVA.
- ✓ Todo objeto con carga eléctrica tiene un exceso o una deficiencia de electrones. Por tanto, la carga del objeto será un múltiplo entero de la carga del electrón  $\Rightarrow q = N \cdot e^-$  (CARGA CUANTIZADA)
- ✓ La interacción entre cargas del mismo signo es REPULSIVA y ATRACTIVA cuando son opuestas

Carga del electrón:  $e^- = 4,77 \cdot 10^{-10} u.e.s = 1,6 \cdot 10^{-19} C$

## 2.2-CONDUCTORES Y AISLANTES

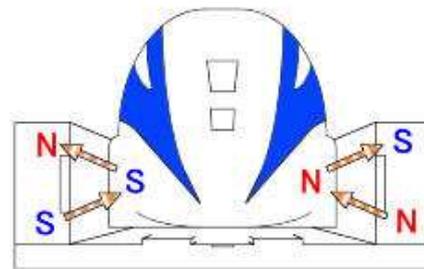
Los electrones se mueven con más facilidad en unos materiales que en otros. Los electrones externos de los átomos de un metal no están anclados a núcleos de átomos específicos, sino que pueden desplazarse libremente en el material. Por esta razón, los metales son buenos **CONDUCTORES DE LA ELECTRICIDAD**.

Otros materiales, como el caucho o el vidrio, tienen electrones que están fuertemente ligados a átomos específicos y no pueden desplazarse con libertad. Decimos que estos materiales son buenos **AISLANTES**

**La clasificación de una sustancia como conductor o como aislante depende de la firmeza con la que los átomos de la sustancia retienen sus electrones más externos**

## **SUPERCONDUCTORES**

A temperaturas cercanas al cero absoluto, ciertos metales adquieren una conductividad infinita, es decir, la resistencia al flujo de cargas se hace cero de modo que los electrones fluyen por tiempo indefinido a su través. Se trata de los materiales **SUPERCONDUCTORES**. A partir de 1987 se han encontrado fenómenos de superconductividad a "altas" temperaturas (por encima de 100 K) en diversos compuestos. La aplicación más curiosa la encontramos en el transporte por levitación magnética o **TRENES MAGLEV**, los cuales se desplazan varios centímetros sobre el rail. El vehículo tiene bobinas superconductoras en la parte inferior. Conforme se desplaza estas bobinas inducen corrientes en otras bobinas de alambre fijas en el carril, que actúan como imanes y hacen levitar el vehículo. La rapidez de estos trenes está limitada solamente por la fricción con el aire y por la comodidad de los pasajeros. Puede alcanzar hasta 650 km/h. Como inconveniente destaca el alto coste de sus líneas lo cual ha limitado su uso comercial. Hasta 2005 la única línea en funcionamiento es la que une Shanghai con su aeropuerto tardando 7 min 20 s en recorrer 30 km a una velocidad máxima de 431 km/h y una media de 250 km/h. Otros recorridos los encontramos en Japón a nivel experimental.



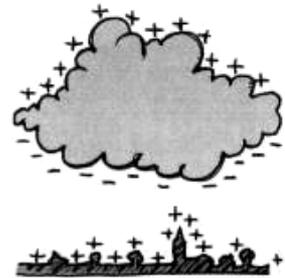
## 2.3-CARGA POR FRICCIÓN Y POR CONTACTO

Existen numerosos ejemplos cotidianos en los que se pone de manifiesto los efectos eléctricos de la fricción. Al acariciar el pelaje de un gato oímos las chispas que se producen, al peinarnos frente a un espejo en una habitación a oscuras vemos y oímos las chispas eléctricas, al arrastrar los zapatos sobre una alfombra etc...

Hoy en día los técnicos en electrónica de las empresas de alta tecnología siguen procedimientos con el fin de evitar la acumulación estática de carga evitando los daños a los delicados circuitos que se pudieran producir con cualquier chispa. Para ello usan ropas de telas especiales, con cables de conexión a tierra entre las mangas y calcetines, algunos usan pulseras especiales sujetas a una superficie puesta a tierra.

### TORMENTAS ELÉCTRICAS ( CARGA POR INDUCCIÓN)

Durante las tormentas eléctricas se llevan a cabo procesos de carga por inducción. La parte inferior de las nubes, de carga negativa, induce una carga positiva en la superficie terrestre y en la parte superior de la nube. Los rayos o relámpagos son descargas eléctricas entre dos regiones de una nube con cargas contrarias, y entre las nubes y el suelo. Franklin también descubrió que la carga fluye con facilidad hacia o desde los objetos puntiagudos, y así construyó el primer pararrayos. Si se coloca uno en lo alto de una estructura conectada a Tierra, la punta recoge los electrones del aire e impide que se acumule una gran cantidad de carga positiva en el edificio por inducción reduciendo la posibilidad de que ocurra una descarga eléctrica. De todas formas, si la descarga se produce y cae un rayo, éste puede ser atraído por el pararrayos, que conduce la carga a tierra y evita así que se dañe la estructura.



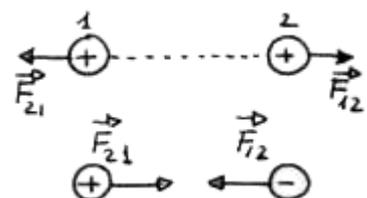
### 3. - LEY DE COULOMB

A finales del siglo XVIII se conocían las propiedades macroscópicas de la fuerza eléctrica y las propiedades eléctricas de los materiales usados más comúnmente. La atracción de la gravedad servía como modelo para establecer relaciones cuantitativas en los fenómenos eléctricos, pues gravedad y electricidad tenían suficientes semejanzas para permitirlo.

En base a esto, Priestley y Cavendish demostraron que la atracción eléctrica era inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa las cargas. No obstante fue Coulomb quien realizando múltiples experimentos demostró que la fuerza entre dos cargas era **inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas y proporcional a la carga eléctrica de cada una.**

### LEY DE COULOMB

LA FUERZA EJERCIDA POR UNA CARGA PUNTUAL SOBRE OTRA ESTÁ DIRIGIDA A LO LARGO DE LA LÍNEA RECTA QUE LAS UNE. DICHA FUERZA ES INVERSAMENTE PROPORCIONAL AL CUADRADO DE LA DISTANCIA ENTRE LAS CARGAS Y ES PROPORCIONAL AL PRODUCTO DE AMBAS CARGAS. LA FUERZA ES REPULSIVA SI LAS CARGAS TIENEN EL MISMO SIGNO Y ATRACTIVA SI



TIENEN SIGNOS OPUESTOS.

Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$\vec{F}_{12} = K \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}$$

donde

$\vec{F}$  → Fuerza que la carga 1 ejerce sobre la 2.  
 $\vec{u}$  → Vector unitario en la dirección que las une  $\frac{\vec{r}}{r}$   
 $r$  → es la distancia entre ellas

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}. \text{ Así } \vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u} \quad \vec{F}_{21} = k \frac{q_2 q_1}{r^2} \vec{u}' \quad \text{donde, } \vec{u} = -\vec{u}' \Rightarrow \vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (3^{\text{a}} \text{ Ley de Newton})$$

Si tuviésemos definida la unidad de carga entonces la constante de proporcionalidad K se determinaría experimentalmente como ocurría en el caso de  $\mathcal{G}$ . Pero, como no es así, se procede de forma contraria. Se fija un valor para la constante K y a partir de ella se determina la unidad de carga:

✓ En el sistema CGS se utiliza como unidad de carga la u.e.s. (unidad electrostática de carga) en donde se tomó  $k = 1$ . ( $K = \text{dina} \cdot \text{Ac} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{u.e.s.}^2$ ). Esta unidad de carga así definida es tal que dos cargas de ese valor (1 u.e.s), separadas un centímetro, se repelen con una fuerza de una "dina".

✓ En el S.I. se utiliza el **Culombio (C)**. Si en la expresión de la ley de Coulomb tomamos la carga en coulomb y la distancia en metros, la fuerza viene expresada en N y el valor de K en el vacío es de  $K = 8'9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

✓ Normalmente K se suele escribir como  $K = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}$  en donde  $\epsilon_0$  se denomina permitividad del

vacío. Si el medio es otro diferente al vacío entonces utilizaremos la expresión  $K = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon}$

Donde  $\epsilon$  es la permitividad del medio.

¿Qué significa que la constante dieléctrica ( $\epsilon$ ) de un medio dado sea muy grande?

Como dicha constante se encuentra en el denominador, el que un medio dado tenga una constante dieléctrica más alta que otro significa que, a igualdad de los restantes factores, la interacción eléctrica entre dos cargas será más intensa en el segundo que en primero. Es decir, un medio con constante dieléctrica alta transmite mal la interacción eléctrica..

El menor valor posible de la constante dieléctrica pertenece al vacío lo cual significa que es aquí donde la interacción eléctrica entre cargas se ejerce con mayor intensidad

#### 4. - COMPARACIÓN ENTRE LA FUERZA ELÉCTRICA Y LA FUERZA GRAVITATORIA

SÓLO DE ATRACCIÓN

PRODUCTO DE LAS MASAS

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

MÁGNITUD PEQUEÑA

DE ATRACCIÓN O DE REPULSIÓN

PRODUCTO DE LAS CARGAS

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

MÁGNITUD GRANDE

AMBAS SON LEYES DEL INVERSO DEL CUADRADO

1. Ambas tienen la misma forma matemática: el producto de una constante por una propiedad general de la materia (las masas o las cargas) correspondientes a dos objetos que pueden considerarse puntuales, divididas por el cuadrado de la distancia de separación.
2. Vectorialmente, ambas fuerzas se orientan en la dirección de la recta que une las partículas u objetos que interactúan
3. Ambas son fuerzas centrales y conservativas
4. La fuerza gravitatoria entre dos objetos es siempre atractiva mientras que entre dos cuerpos cargados puede ser atractiva o repulsiva
5. El medio existente entre dos objetos cargados tiene una influencia relevante sobre la fuerza eléctrica entre ellos y en consecuencia la constante  $K$  que aparece en la Ley de Coulomb tiene un valor diferente en cada medio. En cambio, la constante  $G$  que aparece en la Ley de Gravitación universal es única.
6. La intensidad de la fuerza electrostática es mayor que la de la fuerza gravitatoria tal y como se pone de manifiesto al comparar los valores de  $K$  y  $G$ .

#### 5. - CAMPO ELÉCTRICO

El hecho de que la fuerza eléctrica actúe entre partículas que se encuentran separadas en el espacio hace que debamos considerar algún mecanismo de propagación de la interacción. La interpretación de la interacción eléctrica mediante el concepto de campo consiste en suponer que *la presencia de una carga  $Q$  en una determinada región del espacio provoca una modificación de las propiedades de dicho espacio, creando una situación física que denominamos CAMPO ELÉCTRICO y que rodea a la carga.*

Este campo se reconoce porque al colocar en dicha región una segunda carga  $q$ , ésta experimentará una fuerza de atracción o repulsión eléctrica.

El caso más simple de campo eléctrico es el creado por una sola carga puntual  $q_1$ . Si consideramos otra carga positiva  $q_2$  situada a una distancia  $r$  de  $q_1$ , el valor de la fuerza ejercida por  $q_1$  sobre la carga  $q_2$ ,

viene dada por la ley de Coulomb: 
$$\vec{F} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{u}_r$$

### INTENSIDAD DEL CAMPO ELÉCTRICO

Dado que sólo se puede detectar el campo eléctrico en un punto colocando en él una carga y comprobando si sobre ella actúa o no una fuerza, definimos la intensidad del campo eléctrico en un punto de forma parecida a como hicimos con la intensidad del campo gravitatorio. Dado que la carga puede ser positiva o negativa, arbitrariamente se escogió la unidad de carga positiva.

**La intensidad del campo eléctrico en un punto es una magnitud cuyo valor coincide con el de la fuerza que actuaría sobre la unidad de carga positiva si se colocase en dicho punto. Operativamente**

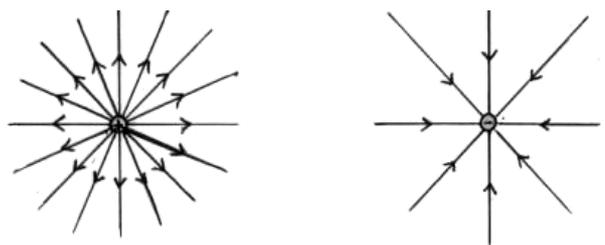
**la definición anterior se expresa como:** 
$$\vec{E} = K \cdot \frac{Q}{r^2} \Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \text{ (N/C)}$$

Según la definición anterior, la intensidad del campo eléctrico en un punto no depende de la carga que pueda colocarse en dicho punto, podríamos incluso no poner ninguna carga y seguiría valiendo lo mismo.

*“No debemos confundir la carga (o cargas) que crean el campo con la carga testigo (o de prueba) que nos permite detectarlo”*

### REPRESENTACIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO MEDIANTE LÍNEAS DE FUERZA

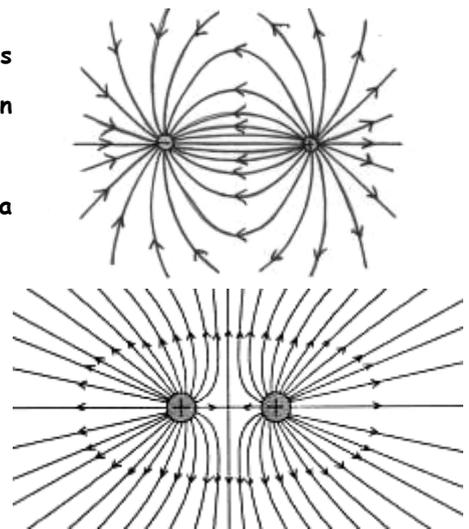
Puesto que un campo eléctrico es una magnitud vectorial, se representa por medio de vectores mediante **LÍNEAS DE CAMPO** también llamadas **LÍNEAS DE FUERZA** trazadas de manera que nos indican la dirección del campo en cada punto (coincide con la dirección y el sentido de la fuerza eléctrica que se ejercería sobre una carga positiva). En el caso del campo creado por una carga positiva las líneas de campo llevan dirección radial y se alejan de la carga que provoca el campo (divergen). En el caso de una carga negativa las líneas de campo convergen hacia el punto ocupado por la carga negativa.



**T** Según nos alejamos de la carga puntual, las líneas de campo están más separadas. El campo es más débil en los puntos donde las líneas están más separadas y más intenso donde están más juntas.

**T** Por otra parte, el número de líneas de campo que salen de una carga puntual es proporcional al valor de dicha carga.

**T** Las líneas correspondientes a una sola carga se prolongan hasta el infinito, mientras que las de dos o más cargas opuestas emanan de una carga positiva y terminan en



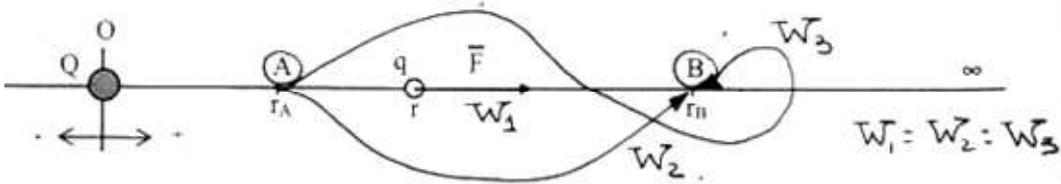
una negativa. A continuación se muestran algunas configuraciones de campos eléctricos.

## 6. - ESTUDIO ENERGÉTICO DEL CAMPO ELÉCTRICO

### 6.1- FUERZAS CONSERVATIVAS

La fuerza eléctrica es una FUERZA CONSERVATIVA, y como tal, se caracteriza por:

- T Ser fuerzas bajo cuya acción SE CONSERVA LA ENERGÍA MECÁNICA del sistema
- T Realizan un trabajo que sólo depende de la posición inicial y final, pero no de la trayectoria seguida. Esto implica que el trabajo realizado por la fuerza eléctrica para llevar una carga  $q$  desde una posición (a) hasta otra posición (b) en el seno del campo eléctrico creado por otra carga  $Q$ , no dependerá del camino seguido



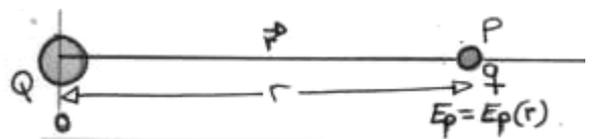
- T Análogamente al campo gravitatorio, un objeto con carga puede tener energía potencial en virtud de su posición en el campo eléctrico y de la misma forma que se requiere un trabajo para levantar un objeto contra el campo gravitacional de la tierra, se necesitará trabajo para empujar una partícula con carga contra el campo eléctrico de un cuerpo cargado. Puesto que la realización de un trabajo equivale a una variación de energía, y que la energía potencial depende sólo de la posición podemos escribir:

$$W_A^B = -\Delta E_p = E_p(A) - E_p(B)$$

### 6.2 - ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA

Al definir la energía potencial en términos de trabajo, está claro que necesitamos dos puntos puesto que lo que realmente tiene sentido físico es la variación de energía potencial. Por esta razón, para definirla en un punto concreto hay que establecer un origen de Energía potencial. Fijaremos como valor cero de  $E_p$  aquel en el que la fuerza eléctrica es nula lo cual sucede en el infinito.

El valor de la ENERGÍA POTENCIAL de la carga  $q$ , situada a una distancia  $r$  de la carga  $Q$  coincide con el trabajo realizado por la fuerza eléctrica para trasladar a  $q$  desde el infinito hasta dicho punto:



$$E_p = K \cdot \frac{Q \cdot q}{r} \quad (\text{Julios})$$

En la ecuación anterior,  $K$  es la cte de proporcionalidad de la Ley de Coulomb y  $r$  la distancia entre ellas. Conviene tener en cuenta que las cargas van acompañadas de sus correspondientes signos, de modo que la energía potencial podrá ser negativa si las cargas son de distinto signo o positiva si son del mismo signo.

### 6.3 - POTENCIAL ELÉCTRICO

El trabajo realizado por el campo eléctrico cuando una carga  $q$  pasa de la posición (a) de un campo eléctrico a la posición (b), dependerá del valor que tenga la carga  $q$ . por lo tanto no nos da ninguna información respecto a la intensidad del campo. Para ello se define otra magnitud, el **POTENCIAL ELÉCTRICO (V)** :

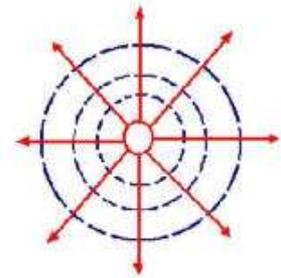
El potencial del campo eléctrico en un punto se define como una magnitud cuyo valor coincide con el de la energía potencial que tendría una partícula  $q=+1C$  (unidad de carga positiva) si se colocara en dicho punto. Su valor coincide con el trabajo realizado por la fuerza eléctrica para llevar a dicha carga de 1 C desde el infinito hasta el punto considerado.

$$V = K \cdot \frac{Q}{r} \text{ (J / C)}$$

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

#### REPRESENTACIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO MEDIANTE SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES

Un campo escalar, como el campo de potenciales eléctricos, puede representarse gráficamente mediante las denominadas **SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES**, que son los *lugares geométricos de los puntos del espacio en los que el potencial toma el mismo valor*.



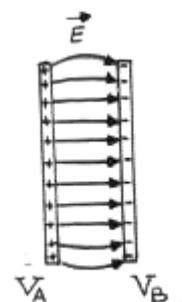
### 7.- CAMPO ELÉCTRICO UNIFORME

Hasta ahora hemos visto el campo eléctrico creado por cargas puntuales, en este caso la intensidad del campo depende de la distancia entre el punto considerado y la carga creadora del campo.

Un caso especialmente interesante se produce cuando el **CAMPO ELÉCTRICO ES UNIFORME**, es decir, cuando la intensidad del campo es constante. Esto es lo que ocurre por ejemplo entre dos placas metálicas planas con cargas iguales y de signo opuesto. Las **líneas de fuerza en este caso son paralelas y dirigidas siempre desde la placa positiva a la negativa**, y las superficies equipotenciales serán planos paralelos a las placas.

Dos placas conductoras planas y paralelas con cargas iguales y opuestas separadas una

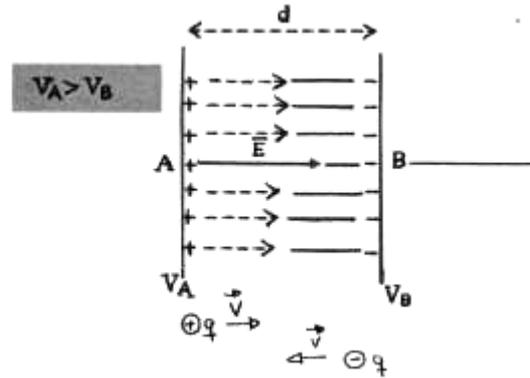
distancia  $d$  generan un campo eléctrico uniforme cuya intensidad será:  $E = \frac{V_A - V_B}{d}$



En la expresión anterior  $V_A > V_B$  y  $d$  es la distancia de separación entre las dos placas.

### MOVIMIENTO DE CARGAS EN UN CAMPO ELÉCTRICO UNIFORME

Cuando una partícula con carga  $q$  y masa  $m$  se introduce en el seno de un campo eléctrico uniforme experimentará una fuerza  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$  y tendrá una energía potencial  $E_p = q \cdot V$



- ✓ Si la partícula tiene carga positiva, la fuerza eléctrica que sufre tiene la misma dirección y el mismo sentido que el campo y la partícula seguirá un movimiento rectilíneo y uniformemente acelerado.
- ✓ Si la partícula tiene carga negativa, la fuerza eléctrica que sufre tiene la misma dirección y sentido opuesto al campo y la partícula seguirá un movimiento rectilíneo y uniformemente acelerado en sentido contrario
- ✓ En cualquiera de los dos casos el movimiento de  $q$  es uniformemente acelerado y por lo tanto el

valor de la aceleración será:

$$F = q \cdot E = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{q \cdot E}{m} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

- ✓ Puesto que se trata de un **M.R.U.A** las ecuaciones siguientes definirán el movimiento de  $q$ :

$$e = v_o \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad v = v_o + a \cdot t \quad v^2 = v_o^2 + 2 \cdot a \cdot e$$

- ✓ Como el sistema es conservativo la energía mecánica es constante

$$E_m = E_c + E_p \quad \Delta E_c + \Delta E_p = 0 \Rightarrow \Delta E_c = -\Delta E_p$$

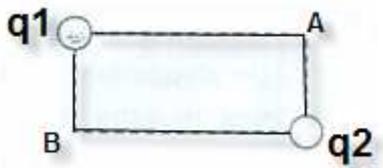
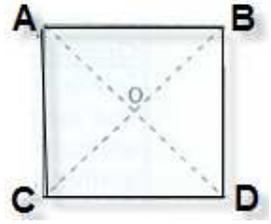
- ✓ La variación de Energía potencial será  $\Delta E_p = q \cdot (V_{final} - V_{inicial})$  y el movimiento de la carga se producirá siempre de mayor a menor energía potencial.

- ✓ Por lo tanto, la variación de energía cinética será:  $\Delta E_c = q \cdot (V_{inicial} - V_{final})$

## PROBLEMAS DE ELECTROESTÁTICA

1. Se sitúan tres cargas eléctricas  $q_1=0,1\text{ C}$ ,  $q_2=-0,4\text{ C}$  y  $q_3=0,2\text{ C}$  en los puntos  $A(0,0,0)\text{m}$ ,  $B(0,4,0)\text{m}$  y  $C(0,4,3)\text{m}$  respectivamente. Calculad el trabajo realizado por el campo debido a estas tres cargas cuando una carga unitaria y positiva se traslade desde el infinito hasta el punto  $P(0,0,3)$ . Decid si sería una transformación espontánea o forzada **S:  $W= -3 \times 10^7\text{ J}$  y el proceso es forzado**
  
2. Una carga  $q_1=1\text{nC}$  se encuentra en el origen de coordenadas y otra  $q_2=-20\text{ nC}$  en  $A(0,1)\text{m}$ . Determinad:
  - a) Punto si existe en el que la intensidad del campo generado por ambas cargas sea nulo
  - b) Potencial e intensidad del campo en el punto  $B(2,0)\text{ m}$
  - c) Trabajo realizado por el campo al situar una carga  $q_3=1\text{pC}$  en el punto  $B$  (se supone que parte de un punto situado a una distancia "infinita" de  $B$ ). ¿Se trata de un proceso espontáneo?**S: a) a  $0,29\text{ m}$  de  $q_1$ ; b)  $V=-76\text{ V}$ ,  $E= (-30, 16, 1, 0)\text{ N/C}$ ;  $W= 7,6 \times 10^{-11}\text{ J}$ , espontánea**
  
3. Cuando se conectan los bornes de una batería de  $400\text{V}$  a dos láminas paralelas, separadas una distancia de  $2\text{cm}$ , aparece un campo eléctrico uniforme entre ellas.
  - a) ¿Cuánto vale la intensidad de ese campo? **S:  $E= 2 \times 10^4\text{ N/C}$**
  - b) ¿Qué fuerza ejerce el campo anterior sobre un electrón ( $e=1,6 \times 10^{-19}\text{ C}$ )? **S:  $F=3,2 \times 10^{-15}\text{ N}$**
  
4. ¿Qué velocidad adquirirá el electrón del ejercicio anterior cuando haya recorrido  $1\text{ cm}$ , si partió del reposo? ¿Cuánto tiempo necesita para recorrer esa distancia? (masa del electrón= $9,1 \times 10^{-31}\text{ kg}$ )  
**S:  $v=8,4 \times 10^6\text{ m/s}$ ;  $t=2,4 \times 10^{-9}\text{ s}$**
  
5. Un campo uniforme vale  $6000\text{ N/C}$ . Un protón ( $q=1,6 \times 10^{-19}$ ,  $m=1,67 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ) se libera en la placa positiva. ¿Con qué velocidad llegará a la placa negativa si la separación entre placas es  $0,2\text{cm}$ ? **S:  $v=4,8 \times 10^4\text{ m/s}$**
  
6. Dos esferas de  $5\text{gramos}$  están suspendidas de sendos hilos de  $20\text{cm}$  de longitud. Si las esferas tienen cargas de  $+3 \times 10^{-8}\text{ C}$  y  $-3 \times 10^{-8}\text{ C}$ , respectivamente, y se hallan en el seno de un campo eléctrico uniforme en la dirección del eje positivo de las  $x$ ; determina la intensidad del campo eléctrico cuando el sistema queda en equilibrio y los hilos forman un ángulo de  $15^\circ$  con la vertical. **S :  $E=462817\text{ N/C}$**
  
7. En los puntos  $(1,0)$  y  $(0,1)$  de un sistema cartesiano plano cuyas dimensiones se expresan en metros existen dos cargas fijas de  $+1/9$  y  $-1/3\ \mu\text{C}$ , respectivamente. Determina el trabajo necesario para trasladar una carga de  $+3\ \mu\text{C}$  desde el origen de coordenadas hasta el punto  $(1,1)$  **S:  $0\text{ J}$**
  
8. Entre dos placas planas y paralelas, separadas  $40\text{ cm}$  entre sí, con cargas iguales y de signo opuesto, existe un campo eléctrico uniforme de  $4000\text{ N/C}$ . Si un electrón se libera de la placa negativa
  - d) ¿Cuánto tarda dicho electrón en chocar contra la carga positiva? **a)  $3,3 \times 10^{-8}\text{ s}$**
  - b) ¿Qué velocidad llevará al impactar? **b)  $2,3 \times 10^7\text{ m/s}$**
  
9. Un campo eléctrico uniforme de valor  $200\text{ N/C}$  tiene la dirección del eje  $X$ . Si se deja en libertad una carga de  $+2\ \mu\text{C}$  que se encuentra inicialmente en reposo en el origen de coordenadas :
  - a) ¿Cuál será la variación de energía potencial cuando la carga se encuentre en el punto  $(4,0)$ ?
  - b) ¿Cuál será su energía cinética en ese punto?
  - c) ¿Y la diferencia de potencial entre el origen y el punto  $(4,0)$ ?**S: a)  $-1,6 \times 10^{-3}\text{ J}$ ; b)  $1,6 \times 10^{-3}\text{ J}$ ; c)  $-800\text{V}$**
  
10. Una pequeña esfera de masa  $m=0,5\text{g}$  y carga eléctrica  $q=-3,6 \times 10^{-6}\text{ C}$  cuelga de un hilo. La esfera está situada en una región del espacio donde hay un campo eléctrico horizontal de intensidad  $E=800\text{ N/C}$ , el hilo forma un ángulo  $\beta$  respecto a la vertical.
  - a) Hacer un esquema de todas las fuerzas que actúan sobre el campo eléctrico.
  - b) ¿Cuánto vale el ángulo  $\beta$ ?  **$\beta= 30,4$**

c) ¿Cuál será la velocidad de la esfera 2 segundos después de haberse roto el hilo?  $v = 22,7 \text{ m/s}$

11. Dos partículas con cargas eléctricas  $+q$  y  $+2q$  están separadas una distancia de  $1\text{m}$ :
- ¿En qué punto de la recta que pasa por las dos cargas el campo eléctrico es 0? ( $x = 0,41 \text{ m}$ )
  - Dibuja esquemáticamente las líneas de campo eléctrico para el sistema formado por las dos
  - Y si en lugar de una partícula  $+q$  tuviéramos una  $-q$ , ¿Cómo serían las líneas de campo?
12. Dos cargas puntuales fijas  $Q_1 = 20 \times 10^{-9} \text{ C}$  y  $Q_2 = -12 \times 10^{-9} \text{ C}$ , distan  $5 \text{ cm}$ . Sobre el segmento que las une, a un centímetro de la carga negativa, se abandona sin velocidad inicial un electrón. Averigua la velocidad del electrón cuando se encuentra a un centímetro de la carga positiva  
Datos:  $q_e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ;  $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $S = 8,6 \times 10^7 \text{ m/s}$
13. Un dipolo eléctrico está formado por dos cargas puntuales de  $2\mu\text{C}$  y  $-2\mu\text{C}$ , distantes entre sí  $6 \text{ cm}$ . Calcular el campo y el potencial eléctrico :
- En un punto de la mediatriz del segmento que las une, distante  $5 \text{ cm}$  de cada carga
  - En un punto situado en la prolongación del segmento que las une y a  $2 \text{ cm}$  de la carga positiva
- Datos:  $K = 9 \times 10^9 \text{ SI}$  (Junio 2000)
14. Una carga de  $-3\mu\text{C}$  está localizada en el origen de coordenadas; una segunda carga de  $4\mu\text{C}$  está localizada a  $20 \text{ cm}$  de la primera, sobre el eje  $OX$  positivo, y una tercera carga  $Q$  está situada a  $32 \text{ cm}$  de la primera sobre el eje  $OX$  positivo. La fuerza total que actúa sobre la carga de  $4\mu\text{C}$  es de  $120 \text{ N}$  en la dirección positiva del eje  $OX$ . Determinar el valor de  $Q$ . Datos:  $K = 9 \times 10^9 \text{ SI}$  (Septiembre 2001)
15. En el rectángulo de la figura los lados tienen una longitud de  $5 \text{ cm}$  y  $15 \text{ cm}$ , las cargas son  $q_1 = -5\mu\text{C}$  y  $q_2 = +2\mu\text{C}$ .
- Calcula el módulo, dirección y sentido del campo en  $A$  y  $B$
  - Calcula el potencial eléctrico en los vértices  $A$  y  $B$
  - Determina el trabajo que realiza la fuerza del campo eléctrico para trasladar a una tercera carga de  $3\mu\text{C}$  desde  $A$  hasta  $B$
- Datos:  $K = 9 \times 10^9 \text{ SI}$  (Junio 2003)
- 
16. Dos cargas puntuales de  $3\mu\text{C}$  y  $-5\mu\text{C}$  se hallan situadas, respectivamente, en los puntos  $A(1,0)$  y  $B(0,3)$ , con las distancias expresadas en metros. Se pide:
- El módulo, dirección y sentido del campo eléctrico en el punto  $P(4,0)$
  - Trabajo realizado por la fuerza eléctrica para trasladar una carga de  $2\mu\text{C}$ , desde el punto  $P$  al punto  $R(5,3)$
- Datos:  $K = 9 \times 10^9 \text{ SI}$  (Septiembre 2003)
17. Se colocan 4 cargas puntuales en los vértices de un cuadrado de lado  $a = 1\text{m}$ . Calcula el módulo, dirección y el sentido del campo eléctrico en el centro del cuadrado,  $O$ , en los siguientes casos:
- Las cuatro cargas son iguales y valen  $3\mu\text{C}$
  - Las cargas situadas en  $A$  y  $B$  son de  $2\mu\text{C}$ , y las situadas en  $C$  y  $D$  de  $-2\mu\text{C}$
  - Las cargas situadas en  $A$ ,  $B$  y  $C$  son iguales a  $1\mu\text{C}$  y la situada en  $D$  vale  $-1\mu\text{C}$
- Datos:  $K = 9 \times 10^9 \text{ SI}$  (Septiembre 2003)
- 
18. En un relámpago típico, la diferencia de potencial entre la nube y la tierra es  $10^9 \text{ V}$  y la cantidad de carga transferida vale  $30\text{C}$ . ¿Cuánta energía se libera?. Suponiendo que el campo eléctrico entre la nube y la Tierra es uniforme y perpendicular a la tierra, y que la nube se encuentra a  $500 \text{ m}$  sobre el suelo, calcula la intensidad del campo eléctrico (Junio 2004)

19. El potencial y el campo eléctrico a cierta distancia de una carga puntual valen 600 V y 200 N/kg respectivamente. ¿Cuál es la distancia a la carga puntual? ¿Cuál es el valor de la carga?  
**Datos:  $K=9 \times 10^9 \text{ SI}$  (Septiembre 2004)**

20. Una partícula con carga  $q_1=10^{-6} \text{ C}$  se fija en el origen de coordenadas.  
a. ¿Qué trabajo será necesario realizar para colocar una segunda partícula con carga  $q_2=10^{-8} \text{ C}$ , que está inicialmente en el infinito, en un punto P situado en la parte positiva del eje Y a una distancia de 30 cm del origen de coordenadas?  
b. La partícula de carga  $q_2$  tiene 2 mg de masa. Esta partícula se deja libre en el punto P, ¿qué velocidad tendrá cuando se encuentre a 1,5 m de distancia de  $q_1$ ? (suponer despreciables los efectos gravitatorios)  
**Datos:  $K=9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  (Junio 2005)**

21. Disponemos de un campo eléctrico uniforme  $E=-100 \text{ k N/C}$   
a. Indica cómo son las superficies equipotenciales de este campo  
b. Calcula el trabajo que realiza el campo para llevar una carga  $q=-5 \mu\text{C}$  desde  $P_1(1,2,3)\text{m}$  hasta  $P_2(2,0,4)\text{m}$   
c. Si liberamos la carga  $q$  en el punto  $P_2$  y la única fuerza que actúa es la del campo eléctrico, ¿en qué dirección y sentido se moverá? **(Septiembre 2005)**

22. ¿Qué relación hay entre el potencial y el campo eléctricos? ¿Cómo se expresa matemáticamente esa relación en el caso un campo eléctrico uniforme? **(Junio 2006)**

23. Un modelo eléctrico simple para la molécula de cloruro de sodio consiste en considerar a los átomos de sodio y cloro como sendas cargas eléctricas puntuales de valor  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  y  $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , respectivamente. Ambas cargas se encuentran separadas una distancia  $d=1,2 \times 10^{-10} \text{ m}$ . Calcula:  
a. El potencial eléctrico originado por la molécula en un punto O localizado a lo largo de la recta que une a ambas cargas y a una distancia  $50d$  de su punto medio. Considera el caso en que el punto O se encuentra más próximo a la carga positiva.  
b. El potencial eléctrico originado por la molécula en un punto P localizado a lo largo de la recta mediatriz del segmento que une las cargas y a una distancia  $50d$  de su punto medio  
c. El trabajo necesario para desplazar a un electrón desde el punto O hasta el punto P

**Datos:  $K=9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  ,  $e^- = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  (Septiembre 2006)**

24. Una carga  $q > 0$  se encuentra bajo la acción de un campo eléctrico uniforme  $\vec{E}$ . Si la carga se desplaza en la misma dirección y sentido que el campo eléctrico, ¿qué ocurre con su energía potencial eléctrica? ¿Y si movemos la carga en dirección perpendicular al campo? Justifica ambas respuestas. **(Junio 2006)**

25. Se tiene un campo eléctrico uniforme  $\vec{E}_o = 3000 \hat{i} \text{ (V/m)}$  que se extiende por todo el espacio. Seguidamente se introduce una carga  $Q=4 \mu\text{C}$  que se sitúa en el punto (0,2) m.

- Calcula el vector campo eléctrico resultante en el punto P (2,3) y su módulo
- A continuación se añade una segunda carga  $Q'$  en el punto (0,3) m. ¿Qué valor ha de tener  $Q'$  para que el campo eléctrico resultante en el punto P no tenga componente X.

**Datos:  $K=9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  (Septiembre 2007)**

26. Dos cargas puntuales de  $3 \mu\text{C}$  están situadas en el eje Y, una se encuentra en el punto (0, -d) y la otra en el punto (0, d), siendo  $d = 6 \text{ m}$ . Una tercera carga de  $2 \mu\text{C}$  se sitúa sobre el eje X en  $x = 8 \text{ m}$ . Encuentra la fuerza ejercida sobre esta última carga.

**Datos:  $K=9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  (Junio 2009)**