

16. Supongamos una carga puntual  $Q$  creadora de un campo eléctrico. Se pide:

- Representad primero el campo eléctrico y luego sus líneas de fuerza suponiendo que  $Q$  sea positiva.
- Haced lo mismo suponiendo que  $Q$  sea negativa.
- Relacionad la densidad de las líneas de fuerza del campo con su intensidad.
- Dibujad las superficies equipotenciales que rodean a  $Q$ , suponiendo que  $Q$  sea positiva.
- Haced lo mismo suponiendo que  $Q$  sea negativa.
- Razonad hacia donde se movería espontáneamente una pequeña carga  $q$  positiva de prueba abandonada en un punto cualquiera del campo en los casos anteriores.
- Razonad hacia donde se movería espontáneamente una pequeña carga  $q$  negativa de prueba abandonada en un punto cualquiera del campo en los casos anteriores.
- ¿Cuánto valdría el trabajo realizado por el campo cuando  $q$  se desplazase a lo largo de una superficie equipotencial en cualquiera de los casos anteriores?

Cuestiones a), b) y c)

Para representar el campo eléctrico que produce una carga  $Q$  considerada como puntual, hemos de colocar en diversos puntos alrededor de ella a una pequeña carga testigo (positiva)  $q$ , identificar la fuerza eléctrica  $\vec{F}_e$  que se ejerce sobre ella, y, finalmente, representar el campo eléctrico  $\vec{E}$  con un vector paralelo a esa fuerza y cuyo módulo sea proporcional a ella ( $\vec{E} = \vec{F}_e / q$ )

Además de hacer esta representación usando papel y lápiz, se puede utilizar, si se desea, una animación informática *Modellus* que permite al usuario mover a la carga testigo (colocando el cursor encima de ella) alrededor de la carga  $Q$  y va dibujando los vectores intensidad de campo.



Las dos imágenes anteriores muestran el resultado que se obtiene con esta animación cuando la carga  $Q$  es positiva (dibujo situado a la izquierda) y cuando  $Q$  es negativa (dibujo situado a la derecha) La totalidad de los vectores que vemos es una representación del campo eléctrico en la región alrededor de la carga. La animación y el programa para hacerla correr en cualquier ordenador están disponibles en la página “Web de Materiales para la Enseñanza y la Divulgación de la Física”, de la Sección Local de Alicante de la RSEF: <http://rsefalicante.umh.es/fisica.htm>.

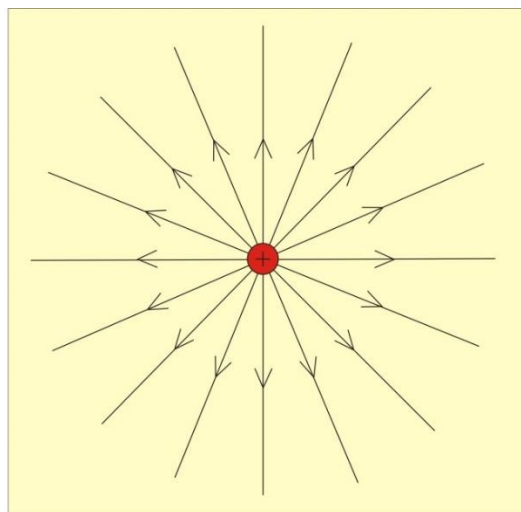
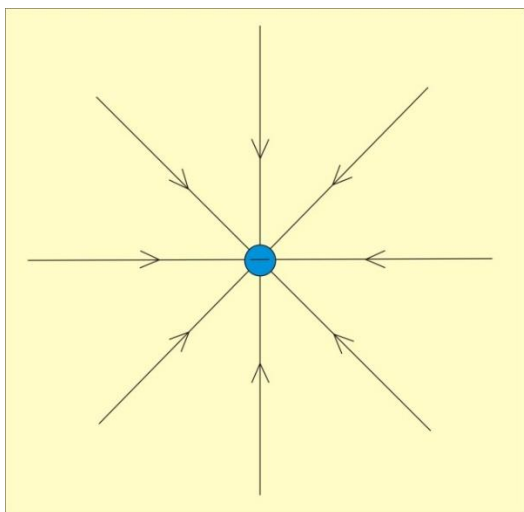
A partir de los vectores representativos del campo eléctrico pueden dibujarse las líneas de fuerza de dicho campo, que son líneas tangentes a esos vectores intensidad de campo y orientadas como ellos. Al hacer esta representación, vemos que el campo eléctrico producido por una carga puntual es radial, de modo que sus líneas de fuerza son abiertas y forman un haz centrado en la carga que lo crea,  $Q$ . Si  $Q$  es positiva las líneas "nacen" de ella y se dirigen hacia el infinito. Si  $Q$  es negativa las líneas vienen desde el infinito para "confluir" en ella.

Esta geometría radial que tienen las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por una carga puntual muestra también el hecho de que donde la densidad de líneas de fuerza es mayor (líneas más juntas) es también donde la intensidad del campo es mayor (en valor absoluto), ya que, evidentemente las líneas se aproximan cuanto más cerca nos situamos de la carga que produce el campo y se separan cuanto más lejos nos situemos de ella.

Este concepto de que la densidad de líneas de fuerza es mayor cuanto mayor sea la intensidad del campo, es aplicable a toda representación del mismo mediante líneas de fuerza.

*Representad las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por: a) Una carga  $Q$  negativa; b) Una carga  $2Q$  positiva.*

Las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por una carga  $Q$  negativa serán radiales y orientadas hacia dicha carga (ved esquema siguiente situado más a la izquierda). Por su parte, las líneas de fuerza del campo eléctrico producido por una carga positiva,  $2Q$ , también serán radiales, pero orientadas desde la carga hacia el infinito. Ahora bien, como esta carga tiene (en valor absoluto) valor doble que la anterior, también creará a la misma distancia un campo eléctrico de doble intensidad que aquella (también en valor absoluto). Por tanto, comparativamente representamos sus líneas de fuerza el doble de apretadas (esquema situado más a la derecha).



### Cuestiones d) y e)

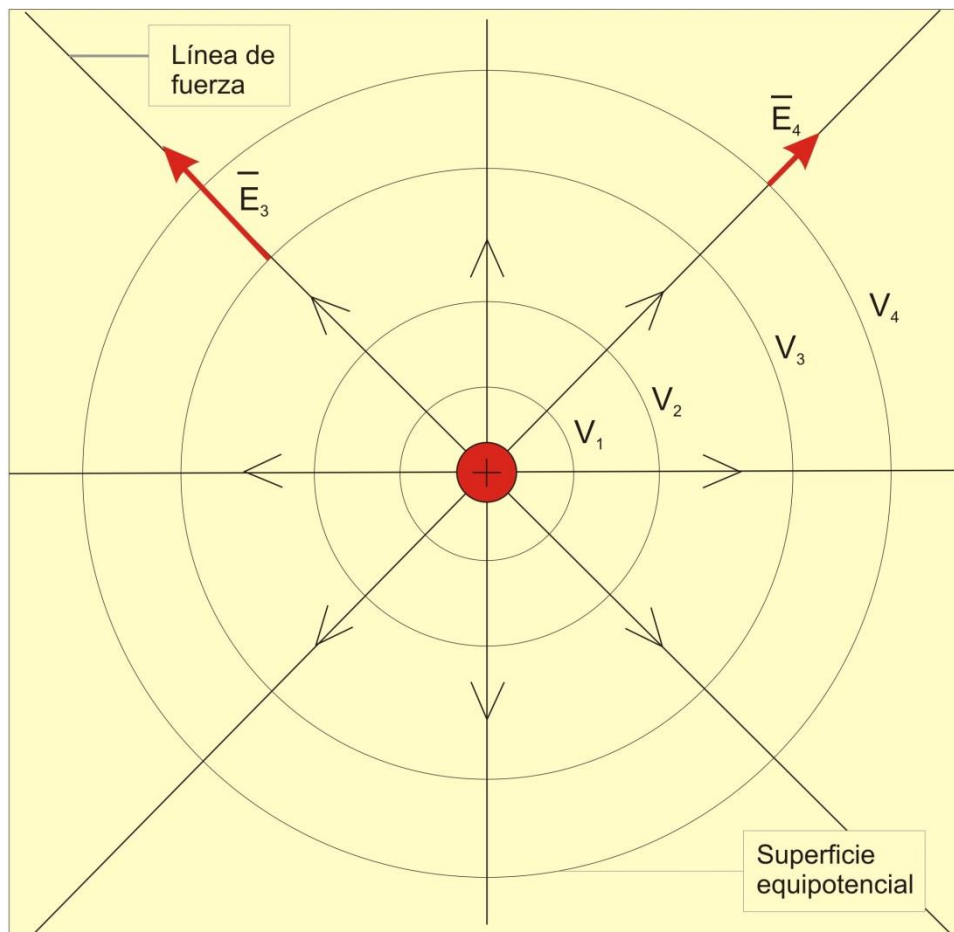
Partimos de la expresión del potencial producido por una carga  $Q$  puntual:

$$V = K \cdot \frac{Q}{r}$$

Analizando esta expresión, podemos darnos cuenta de que las superficies equipotenciales del campo eléctrico que genera una carga puntual  $Q$  serán esferas concéntricas alrededor de dicha carga. Para ver donde es mayor y donde es menor  $V$ , tenemos en cuenta que en valor absoluto  $V$  es tanto mayor cuanto menor sea la distancia,  $r$ , y también que  $V$  puede ser positivo o negativo en función del signo de la carga que genera el campo. En consecuencia, resulta que si la carga  $Q$  es positiva, el potencial eléctrico que produce también lo es y disminuye a medida que nos alejamos de dicha carga (hasta hacerse 0 para  $r = \infty$ ), mientras que si la carga  $Q$  es negativa, el potencial eléctrico también lo es y aumenta (se hace cada vez “menos negativo”) a medida que nos alejamos de la carga (hasta tomar su valor máximo  $V = 0$  para  $r = \infty$ ).

En el esquema siguiente se han dibujado arbitrariamente cuatro superficies equipotenciales (serían superficies esféricas) que rodean a una carga  $Q$  puntual y positiva. En este caso se cumplirá que:

$$V_1 > V_2 > V_3 > V_4 \dots$$

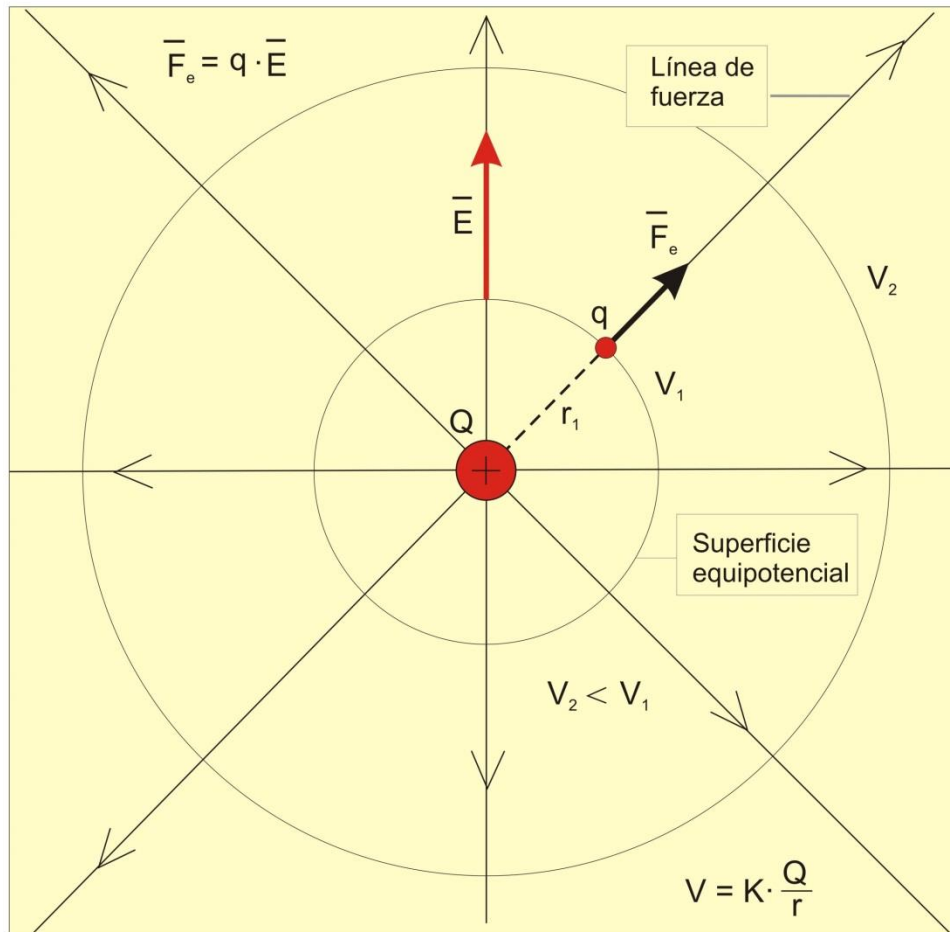


Como podemos ver, las líneas de fuerza del campo son perpendiculares a las superficies equipotenciales. En el esquema, también se ha incluido el vector intensidad del campo eléctrico en dos puntos diferentes del mismo y, como puede observarse, son tangentes a las líneas de fuerza y perpendiculares a las superficies equipotenciales.

**Cuestiones f) y g)**

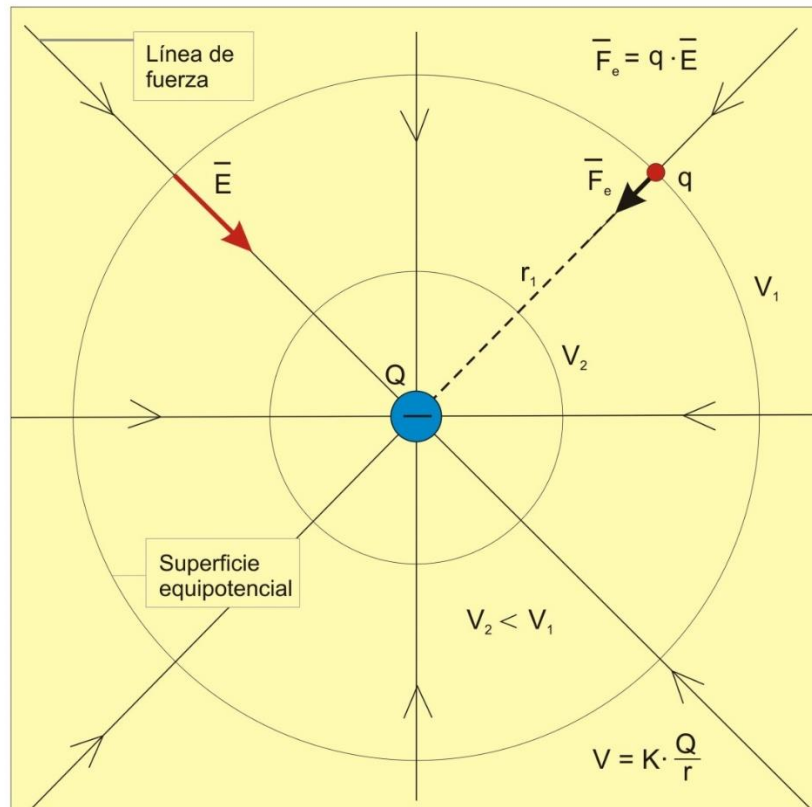
Tal y como se ha visto ya anteriormente, al abandonar cualquier carga  $q$  en un punto A en el que existe un campo eléctrico, las fuerzas de dicho campo la impulsan de tal modo que la energía potencial del sistema disminuye.

Si suponemos que el campo eléctrico es generado por una carga  $Q$  puntual y positiva, y que la carga  $q$  que abandonamos en él también lo es, la transformación en la que esa carga  $q$  se aleja de  $Q$  será espontánea, ya que es evidente que en este caso sobre  $q$  se ejerce continuamente una fuerza eléctrica radial y orientada desde  $Q$  hacia el infinito. Esta misma orientación tienen las líneas del campo eléctrico que, tal y como hemos visto, son perpendiculares a las superficies equipotenciales y las atraviesan dirigiéndose siempre de mayor a menor potencial.



En resumen, en este caso la carga  $q$  se moverá espontáneamente (impulsada por el campo eléctrico que crea  $Q$ ) en dirección radial y alejándose de  $Q$ .

Si la carga que genera el campo,  $Q$ , es negativa y la carga que abandonamos en él,  $q$ , sigue siendo positiva, será espontánea la transformación opuesta a la considerada en el caso anterior. Las líneas del campo eléctrico siguen siendo radiales, pero se orientan en el sentido opuesto (desde el infinito hacia la carga  $Q$ ), que también es el sentido en el que disminuye el potencial  $V$ , el cual es, ahora, negativo pero cada vez de mayor valor absoluto.



En resumen, en este segundo caso la carga  $q$  se moverá espontáneamente (impulsada por el campo eléctrico que crea  $Q$ ) en dirección radial, pero acercándose a  $Q$ .

Evidentemente, si la pequeña carga  $q$  que abandonamos en el campo eléctrico generado por  $Q$  fuera negativa, llegaríamos a las conclusiones opuestas a las que acabamos de relatar, probando que las cargas negativas se mueven espontáneamente (partiendo de una situación inicial de reposo) hacia potenciales crecientes.

### Cuestión h)

Hemos visto anteriormente que el trabajo realizado por el campo eléctrico cuando una carga  $q$  se desplaza en su seno desde un punto dado  $A$  hasta otro punto  $B$ , se puede expresar como:

$$W_{\text{elec}} = -q \cdot (V_B - V_A)$$

Si desplazamos una carga  $q$  a lo largo de una superficie equipotencial y, por tanto,  $V_A = V_B$ , el trabajo realizado por el campo, será 0:

$$W_{\text{elec}} = -q \cdot (V_B - V_A) = -q \cdot 0 = 0$$

*Esta conclusión, también se puede utilizar para demostrar, de nuevo, que las líneas de fuerza y la intensidad del campo eléctrico han de ser perpendiculares a la superficie equipotencial que atraviesen.*

En efecto: Si el trabajo eléctrico es nulo y ni la fuerza ni el desplazamiento desde  $A$  hasta  $B$  lo son, hemos de admitir que la fuerza eléctrica, y con ella el vector intensidad del campo eléctrico, ha de ser perpendicular a dicho desplazamiento.