

Física II

Guía de estudio n°2: Campo eléctrico

1er. Cuatrimestre 2020

Observaciones

Esta es una guía de referencia. Recuerda complementar estos materiales con la lectura de los temas en alguno de los libros citados en la bibliografía, que te ayudaran a comprender mejor los contenidos de esta unidad.

Cuando hayas entendido los conceptos trata de resolver los ejercicios propuestos, de no poder hacerlo consulta el solucionario.

Los ejercicios marcados revisten mayor dificultad. Si no puedes resolverlos consúltalo en la plataforma virtual con algún docente.

También tienes para resolver las guías teóricas y prácticas.

Bibliografía

“Física para Universitarios”. Vol. 2. Douglas C. Giancoli. Ed. Prentice Hall. México (2002)

“Física para la ciencia y la tecnología”. Vol. 2. P.A. Tipler y G. Mosca. Ed.: Reverté, Barcelona (2005).

“Física Universitaria”. Vol. 2. F.W. Sears, M.W. Zemanski, H.D. Young, R.A. Freedman. Ed: Pearson Educación, México (2005).

“Física para Ciencias e Ingenierías”. R.A: Serway y J.W. Jewett, Jr. Ed: Cengage, México (2015).

Campo eléctrico

Muchas fuerzas comunes pueden designarse como “fuerzas de contacto”; por ejemplo, sus manos empujando o tirando de un carrito, o una raqueta que golpea una pelota de tenis. En contraste, tanto la fuerza gravitacional como la fuerza eléctrica actúan a distancia. Hay una fuerza entre dos objetos aun cuando los objetos no se tocan.

Un concepto que ayuda a comprender esa situación es el concepto de **campo**.

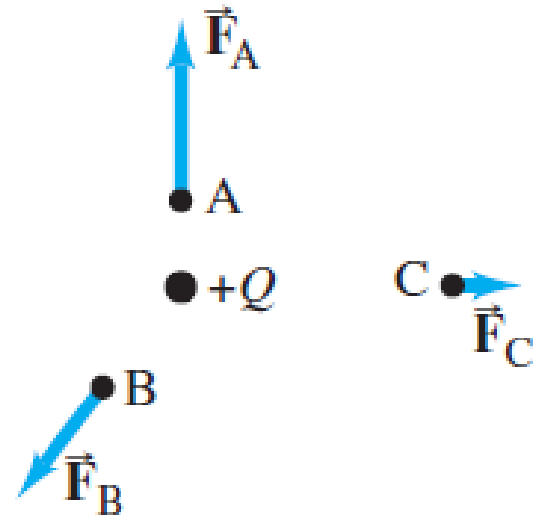
En el caso eléctrico, un *campo eléctrico* se extiende hacia fuera de cualquier carga y se extiende a su alrededor.

Si una segunda carga (llamada Q_2) se coloca cerca de la primera carga, siente una fuerza ejercida por el campo eléctrico que hay en ese punto dada por la ley de Coulomb.

De esta manera podemos investigar el campo eléctrico que rodea a una carga midiendo la fuerza que actúa sobre una **carga de prueba** positiva en reposo

Si se coloca una carga de prueba positiva pequeña q en varias posiciones (puntos A, B y C), alrededor de una carga positiva individual Q , como se muestra en la figura la fuerza ejercida sobre la carga q es como se indica en la figura. La fuerza en B es menor que la fuerza en A, porque la distancia de Q a B es mayor (ley de Coulomb), mientras que la fuerza en C es aun menor.

Pregunta: ¿Qué sucede si la carga Q es negativa?



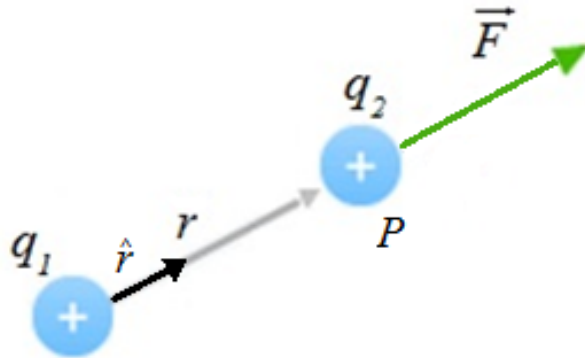
El campo eléctrico provocado por la carga fuente en la carga de prueba se define como la fuerza eléctrica sobre la carga de prueba *por carga unitaria*, o, para mayor claridad, **el vector campo eléctrico** en un punto en el espacio se define como la fuerza eléctrica $\mathbf{F}_E$, que actúa sobre una carga de prueba positiva q_0 colocada en ese punto, dividida la carga de prueba

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q} \quad \vec{E} \text{ está en unidades del SI (N/C)}$$

Para determinar la dirección que tiene un campo eléctrico, considere una carga puntual.

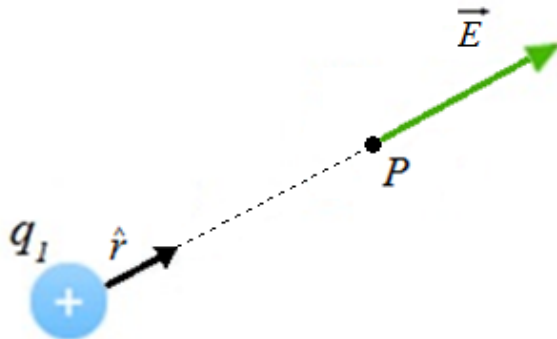
En el punto P , a una distancia r de la carga fuente, se coloca una carga de prueba q_0 , entonces sobre q_0 existirá una fuerza $\mathbf{F}_E$ como se muestra en la figura.

De acuerdo con la ley de Coulomb, la fuerza ejercida por q_1 sobre la carga de prueba q_2 es:



$$\vec{F}_E = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$$

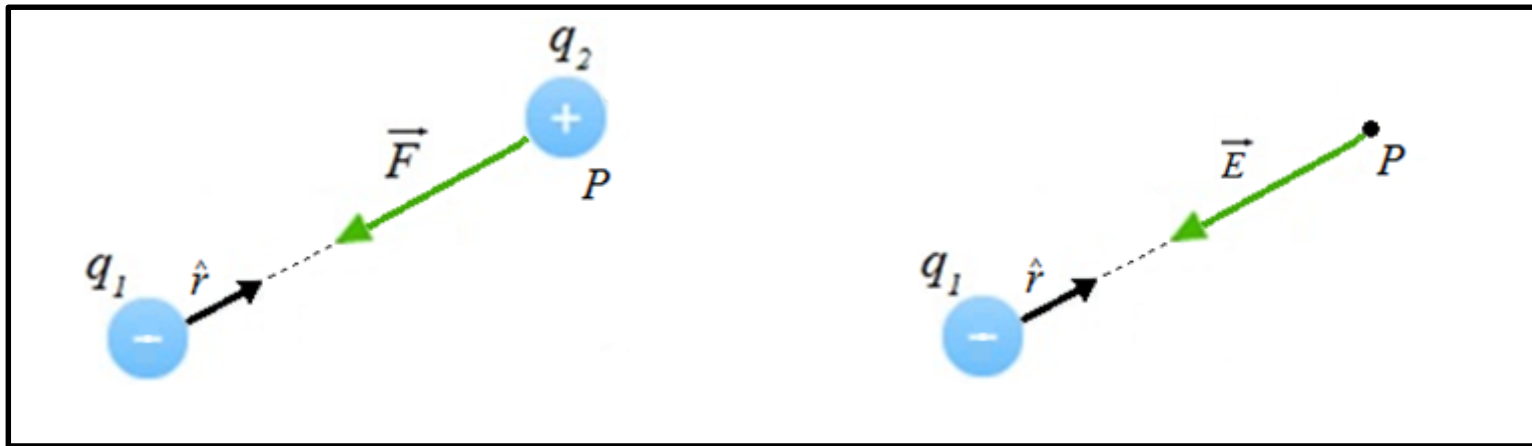
El campo eléctrico en P, creado por la carga q_1 de acuerdo a la definición es:



$$\vec{E} = k \cdot \frac{q_1}{r^2} \hat{r}$$

Importante: Vemos que el campo eléctrico en el punto P es independiente de q_2

Ejercicio: Analizar el campo alrededor de una carga negativa.



Consecuencia de la definición: Si se nos da el campo eléctrico en un punto dado del espacio, entonces podemos calcular la fuerza sobre cualquier carga q localizada en ese punto escribiendo:

$$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$$

Ejemplo y Problema

Ej1) Campo eléctrico de una carga puntual individual. Calcule la magnitud y la dirección del campo eléctrico en un punto P que está a 30 cm a la derecha de una carga puntual $Q = 3 \times 10^{-6} \text{ C}$.

$$E = k \cdot \frac{Q}{r^2} = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)(3.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.30 \text{ m})^2} = 3.0 \times 10^5 \text{ N/C}$$

La dirección del campo eléctrico es hacia *afuera* de la carga Q



PI) Repita lo anterior para una carga $Q = -3 \times 10^{-6} \text{ C}$.

*Ver solución
(slide n° 18)*

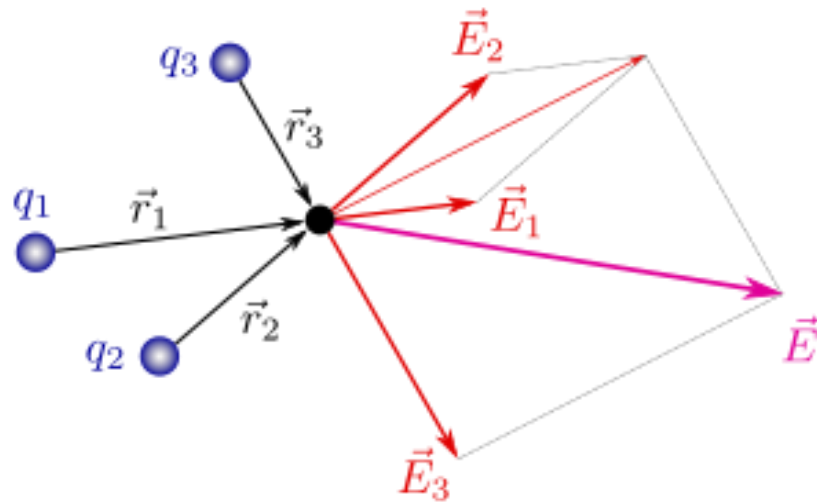


Campo Eléctrico creado por dos o más cargas

Cuando mas de una carga contribuye al campo, como en la figura el campo resultante es la suma vectorial de las contribuciones de cada carga consideradas independientemente.

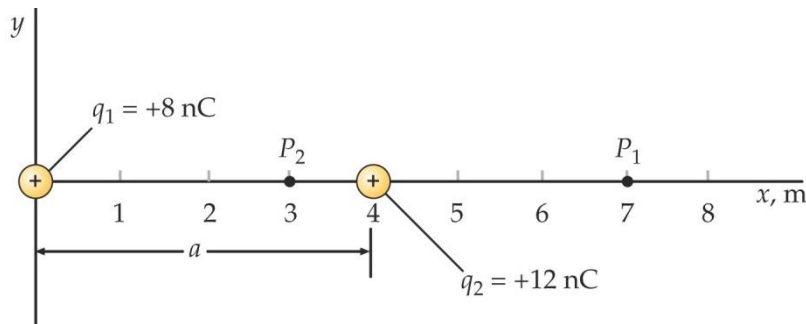
Suma vectorial

$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$



Problemas

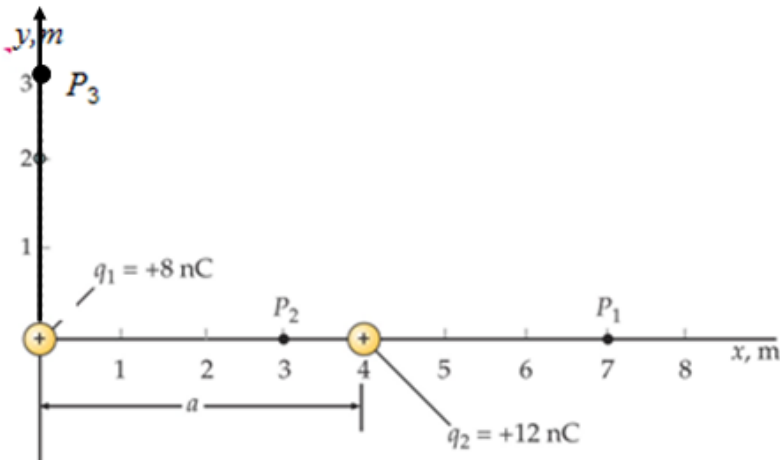
P2) Calcular el campo eléctrico en los puntos P_1 y P_2 de la figura



*Ver solución
(slide n° 19 y
slide n° 20)*



P3) Calcular el campo eléctrico en el punto P_3 de coordenadas (0,3) m de la figura

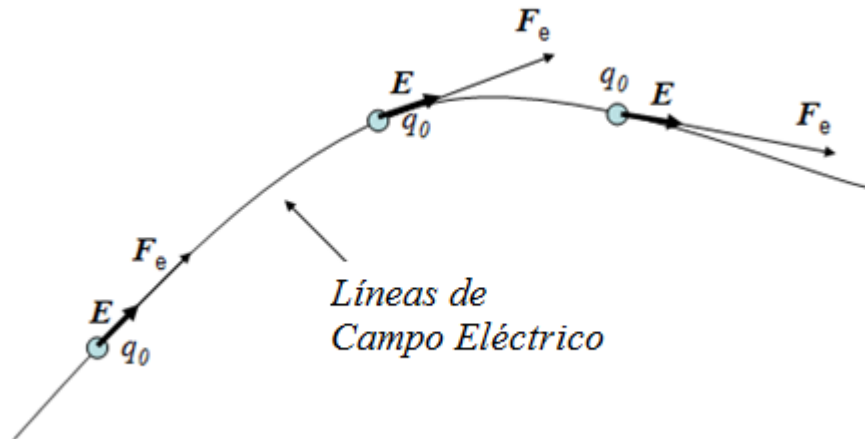


*Ver solución
(slide n° 21)*



Líneas de Campo Eléctrico

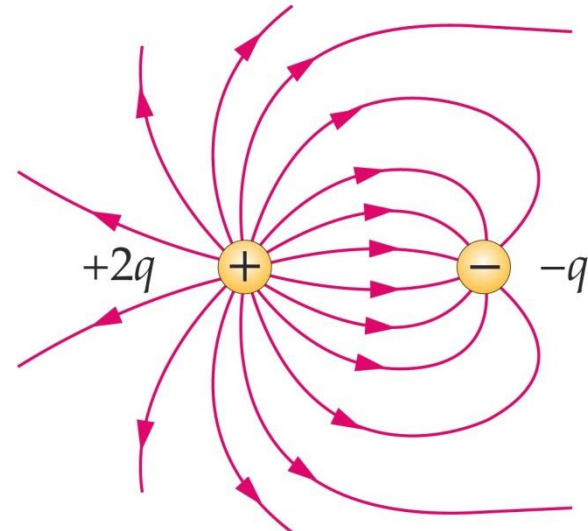
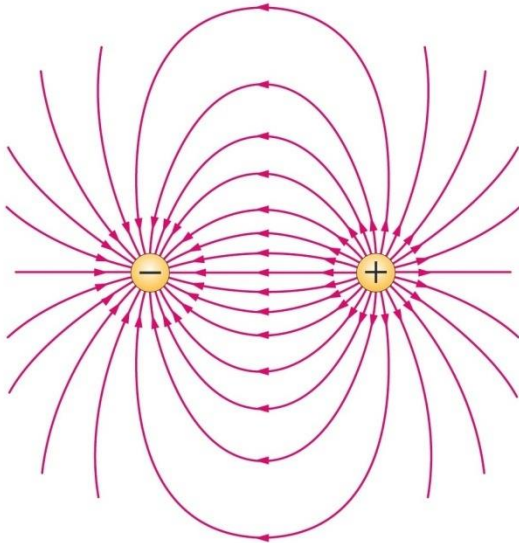
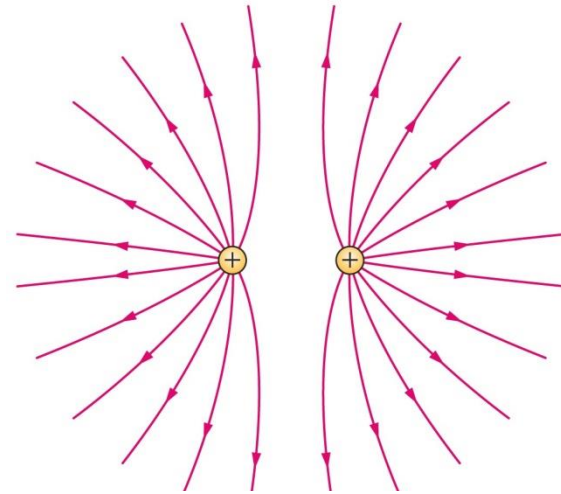
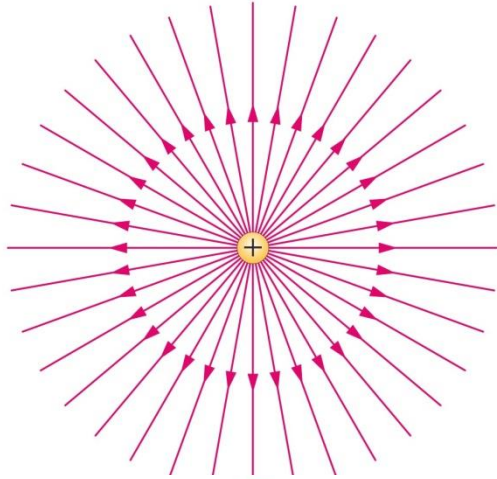
Para visualizar el campo eléctrico, dibujamos una serie de líneas para indicar la dirección del campo eléctrico en varios puntos del espacio. Estas **líneas de campo eléctrico** (también llamadas **líneas de fuerza**) se dibujan de manera que señalen la dirección de la fuerza debida al campo dado sobre una carga de prueba positiva.



Reglas para trazar Líneas de Campo Eléctrico

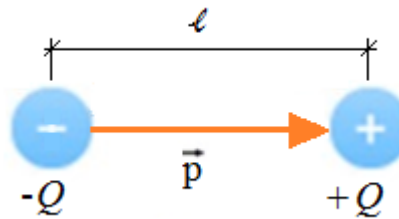
- En cada punto de la línea el campo eléctrico es tangente en dicho punto.
- Las líneas no pueden cruzarse en ningún punto.
- Las líneas de campo eléctrico se originan en las cargas positivas y terminan en las cargas negativas o en el infinito. Terminan en el infinito si la magnitud de la carga positiva es mayor que la magnitud de la carga negativa
- El número de líneas que salen o entran en la carga es proporcional al valor de esta (Cuanto más juntas estén las líneas, más intenso será el campo).
- En el caso en que la líneas de campo sean paralelas, el valor del campo eléctrico es constante.

Ejemplo de Líneas de Campo Eléctrico



Dipolos Eléctricos

La combinación de dos cargas de la misma magnitud, pero de signos opuestos, $+Q$ y $-Q$, separadas por una distancia l , se conoce como **dipolo eléctrico**. La cantidad Ql se llama **momento dipolar** y se representa con el símbolo $\mathbf{p}$. El momento dipolar puede considerarse como un vector de magnitud Ql , que apunta en la dirección que va de la carga negativa a la carga positiva, como se indica en la figura



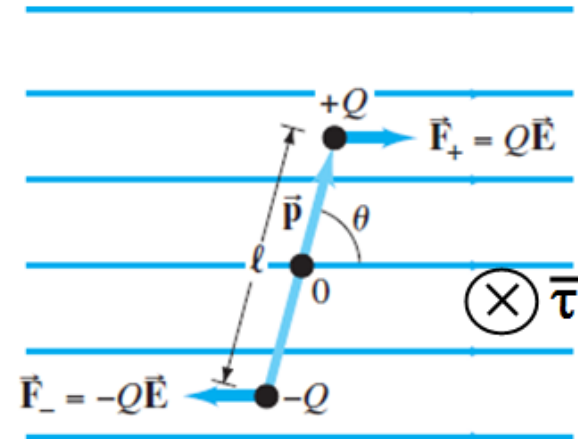
Muchas moléculas, como la molécula diatómica CO, tienen un momento dipolar y se les conoce como **moléculas polares**.

Busca ejemplos de moleculares polares.

Dipolo en un campo externo

Consideremos un dipolo, de momento dipolar p , dentro de un campo eléctrico uniforme como se muestra en la figura.

Si el campo es uniforme, la fuerza sobre la carga positiva y la fuerza sobre la carga negativa, dan por resultado una fuerza neta nula sobre el dipolo.



Sin embargo, habrá una *torca* (también llamada *torque* o *momento de torsión*) sobre el dipolo, con una magnitud (calculada con respecto al centro, 0, del dipolo)

$$\tau = QE \frac{l}{2} \sin \theta + QE \frac{l}{2} \sin \theta = pE \sin \theta$$

Lo anterior puede escribirse en notación vectorial como

$$\vec{\tau} = \vec{p} \wedge \vec{E}$$

Ejemplo y Problema

Ej2) Dipolo en un campo. El momento dipolar de la molécula de agua es 6.1×10^{-30} C.m. Se coloca una molécula de agua en un campo eléctrico uniforme de magnitud 2.0×10^5 N/C.

a) ¿Cuál es la magnitud de la torca máxima que puede ejercer el campo sobre la molécula?

Solución: De la ecuación anterior, vemos que τ se maximiza cuando θ es 90° . Por lo tanto:

$$\tau = pE = (6.1 \times 10^{-30} \text{ C.m}) (2.0 \times 10^5 \text{ N/C}) = 1.2 \times 10^{-24} \text{ N.m}$$

P4) La molécula HCl tiene un momento dipolar cercano a 3.4×10^{-30} Cm. Los dos átomos están separados por 1.0×10^{-10} m, aproximadamente.

a) ¿Cuál es la carga neta en cada átomo?

b) ¿Es ésta igual a un múltiplo entero de e ? Si no, explique

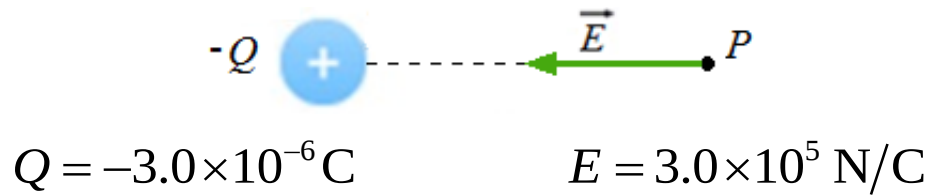
c) ¿Cuál es la torca sobre el dipolo cuando está a un ángulo de 45° del campo eléctrico?

Solución

P1)

$$E = k \cdot \frac{Q}{r^2} = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)(3.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.30 \text{ m})^2} = 3.0 \times 10^5 \text{ N/C}$$

La dirección del campo eléctrico es *hacia* la carga Q



*Volver
(Slide nº 9)*

Solución

P2)

El punto P_1 en $x = 7$ m está a la derecha de ambas cargas. El campo eléctrico en P_1 debido a cada carga está en la dirección x positiva. La distancia desde el punto del campo a la carga q_1 es $x = 7$ m, y la carga q_2 es $x - a = 7$ m $-$ 4 m $=$ 3 m. El campo eléctrico resultante en P_1 es, por tanto,

$$E = \frac{kq_1}{x^2} \hat{i} + \frac{kq_2}{(x-a)^2} \hat{i}$$

$$E = \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(8 \times 10^{-9} \text{ C})}{(7 \text{ m})^2} \hat{i} + \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(12 \times 10^{-9} \text{ C})}{(3 \text{ m})^2} \hat{i}$$

$$E = (1.47 \text{ N/C}) \hat{i} + (12.0 \text{ N/C}) \hat{i} = \boxed{(13.5 \text{ N/C}) \hat{i}}$$



Volver
(Slide nº 11)

Solución

P2)

El punto P_2 en $x = 3$ m está comprendido entre las cargas. Una carga testigo positiva situada en P_2 experimenta una fuerza repulsiva hacia la derecha debido a la carga $+8$ nC y una fuerza repulsiva hacia la izquierda debido a la carga $+12$ nC. La distancia a la carga $+8$ nC es $x = 3$ m y la carga $+12$ nC es a $x = 4$ m $- 3$ m = 1 m. El campo eléctrico resultante en P_2 será pues:

$$E = \frac{kq_1}{x^2} \hat{i} + \frac{kq_1}{(a-x)^2} \hat{i}$$

$$E = \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(8 \times 10^{-9} \text{ C})}{(3 \text{ m})^2} \hat{i} + \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(12 \times 10^{-9} \text{ C})}{(1 \text{ m})^2} \hat{i}$$

$$E = (7.99 \text{ N/C}) \hat{i} + (108 \text{ N/C}) \hat{i} = \boxed{(-100 \text{ N/C}) \hat{i}}$$

El campo eléctrico en el punto P_2 está en la dirección x negativa, ya que la contribución al campo debido a la carga $+12$ nC que está a 1 m de distancia es superior a la debida a la carga $+8$ nC que está a 3 m.



Volver
(Slide nº 11)

Solución

P3)

El punto P_3 está ubicado en $y = 3$ m, así, tenemos que determinar cuanto vale el campo creado por cada carga (q_1 y q_2) en ese punto. Para la carga q_1 , ubicada en el origen, el campo será dado por la carga $+8$ nC a la distancia de 3 m. Así:

$$E_1 = \frac{kq_1}{x^2} \hat{j} = \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(8 \times 10^{-9} \text{ C})}{(3 \text{ m})^2} \hat{j}$$

$$E_1 = (7.99 \text{ N/C}) \hat{j}$$

Para la carga q_2 , ubicada en $x = 4$ m, tenemos que determinar cuanto vale la distancia hasta el punto P_3 . Para eso, aplicaremos Pitágoras y determinaremos la hipotenusa del triángulo formado por los catetos $x = 4$ m e $y = 3$ m:

$$h^2 = c^2 + c^2 = 4^2 + 3^2$$

$$h = \sqrt{25} = 5$$

Esa es la distancia de la carga $+12$ nC hasta el punto P_3 . Ahora, aplicamos la ecuación de campo eléctrico para determinar su valor (continuación en el próximo slide):

Solución

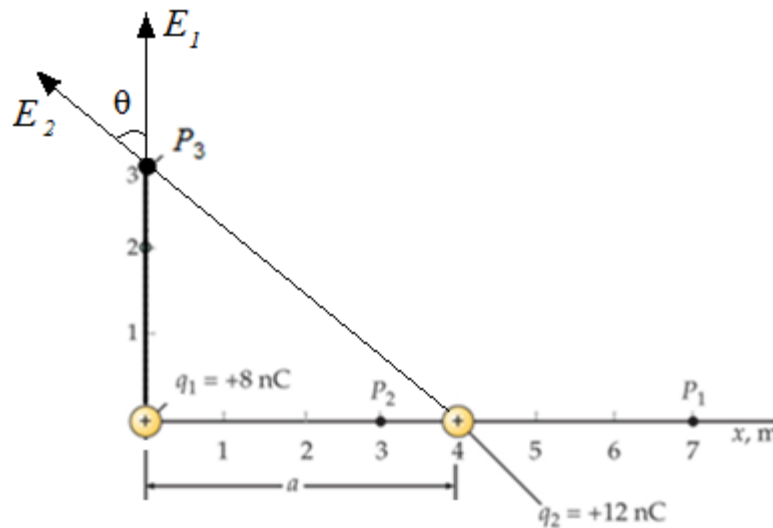
P3)

(continuación del problema P3). Aplicando la ecuación, tenemos Así:

$$E_2 = \frac{kq_2}{x^2} = \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)(12 \times 10^{-9} \text{ C})}{(5 \text{ m})^2}$$

$$E_2 = (4.32 \text{ N/C})$$

Ese valor encontrado del campo eléctrico está en el espacio, como se puede ver representado en la figura :



(continuación en el próximo slide):

Solución

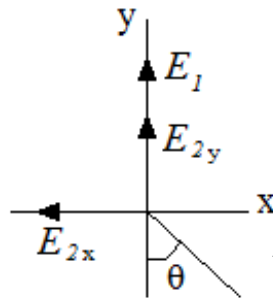
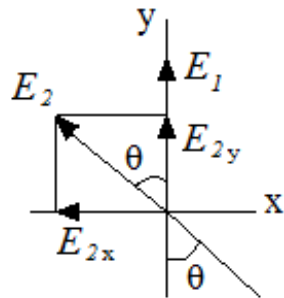
P3)

(continuación del problema P3). Para encontrar el campo eléctrico resultante debemos decomponerlo en los ejes:

Aplicando trigonometría, se puede encontrar el valor de θ :

$$\sin^{-1} \theta = \frac{4}{5} = 53.13^\circ$$

Ahora que tenemos el valor del ángulo θ , podemos encontrar las componentes E_{2x} y E_{2y} .



$$E_{2x} = E_2 \sin(53.13^\circ) = 4.32 \cdot 0.8 = (-3.46 \text{ N/C}) \hat{i}$$

$$E_{2y} = E_2 \cos(53.13^\circ) = 4.32 \cdot 0.6 = (+2.59 \text{ N/C}) \hat{j}$$

Una vez que encontramos las componentes del campo eléctrico E_2 y el campo eléctrico E_1 debemos ahora hacer la suma en cada eje. Para el eje x tenemos solamente la componente E_{2x} . Para el eje y tenemos dos componentes E_{2y} y el campo E_1 así:

Para x:

$$E_{2x} = (-3.46 \text{ N/C}) \hat{i}$$

Para y:

$$E_1 + E_{2y} = (7.99 \text{ N/C}) \hat{j} + (2.59 \text{ N/C}) \hat{j} = (10.58 \text{ N/C}) \hat{j}$$

(continuación en el próximo slide):

Solución

P3)

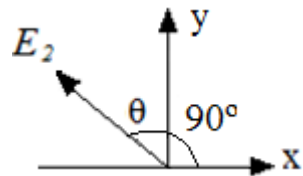
(continuación del problema P3). Vector campo eléctrico resultante es: $\vec{E} = (-3.46 \hat{i} + 10.58 \hat{j}) \text{ N/C}$

El módulo del campo eléctrico: $|E| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$

$$|E| = \sqrt{(-3.46)^2 + (10.58)^2}$$

$$|E| = 11.1 \text{ N/C}$$

El campo eléctrico resultante forma un ángulo θ con el eje x, dado por



$$\cos \theta = \frac{E_y}{|E|} = \frac{10.58}{11.1} = 0.95$$

$$\theta = 18^\circ + 90^\circ = 108^\circ$$



*Volver
(Slide n° 11)*