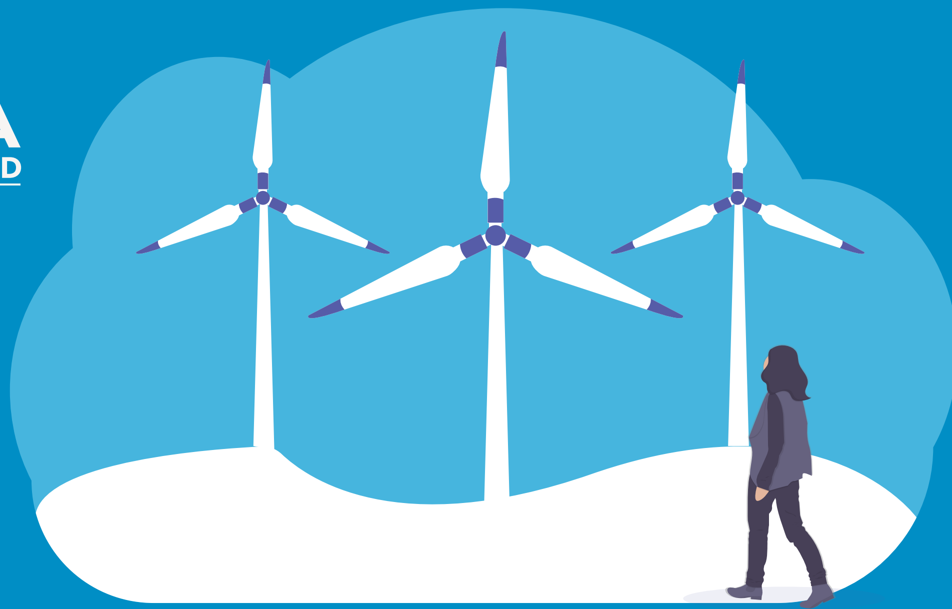
UNIVERSIDAD TALCA CHILE



Fuerza eléctrica y campo eléctrico

Física

Vicerrectoría de Pregrado
CIVE Dirección de Ciclo de Vida Estudiantil
CIMA Unidad de Acompañamiento Estudiantil
PACE Programa de Acceso a la Educación Superior
Ministerio de Educación

RUTA DE APRENDIZAJE

- Con este documento se espera reforzar los conceptos asociados a la fuerza eléctrica y al campo eléctrico.
- Este tema está inserto en la unidad de electricidad.

Cargas eléctricas y campo eléctrico → Corrientes eléctricas estacionarias → Inducción electromagnética

INDICE

INTRODUCCIÓN

Una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza es la electromagnética, la cual se da entre partículas con carga. En este documento se estudia el concepto de carga eléctrica y materiales, la ley de Coulomb y el campo eléctrico.
Existen diversos experimentos que permiten demostrar la existencia de las fuerzas eléctricas, por ejemplo, después de frotar un globo contra el cabello en un día seco, observarás que el globo atrae pequeños pedazos de papel (Serway & Jewett, 2008).
Esta fuerza eléctrica fue estudiada por Charles Coulomb, quien midió las magnitudes de las fuerzas eléctricas entre objetos con carga, y para hacerlo, utilizó una balanza de torsión que él mismo inventó. A partir de los experimentos de Coulomb, se generalizan las propiedades de la fuerza eléctrica entre dos partículas inmóviles con carga (Serway & Jewett, 2008).

La fuerza eléctrica es una fuerza de campo, que actúa a través del espacio y produce algún efecto, aun cuando no exista contacto físico entre los objetos que interactúan. El concepto de **campo fue desarrollado por Michael Faraday en relación con las fuerzas eléctricas**. Respecto de este planteamiento, existe un campo eléctrico en la región del espacio que rodea a un objeto con carga: la carga fuente. Cuando otro objeto con carga-la carga de prueba-entra en este campo eléctrico, una fuerza eléctrica actúa sobre él (Serway & Jewett, 2008).

Fuerza eléctrica y campo eléctrico

Cargas eléctricas

A partir de una serie de experimentos sencillos, **Benjamín Franklin determinó que existen dos tipos de cargas eléctricas, a las que dio el nombre de positiva y negativa. Los electrones tienen carga negativa y los protones positiva** (Serway & Jewett, 2008).
Otro aspecto importante de la electricidad que es evidente a partir de la observación experimental es que en un sistema aislado la **carga eléctrica siempre se conserva**. Es decir, cuando se frota un objeto contra otro, no se crea carga en este proceso. El estado de electrificación se debe a una transferencia de carga de uno de los objetos hacia el otro. Uno adquiere parte de la carga negativa en tanto que el otro adquiere la misma cantidad de carga, pero positiva (Serway & Jewett, 2008).
En 1909 Robert Millikan descubrió que las cargas eléctricas siempre se presentan como un entero múltiplo de una cantidad básica de carga e. En términos actuales se dice que la carga eléctrica q está cuantizada, y q es el símbolo de la variable para la carga; en otras palabras, la carga eléctrica existe en forma de "paquetes" discretos y se escribe $q=\pm Ne$, donde N es algún número entero. **Otros experimentos del mismo periodo demostraron que el electrón tiene una carga -*e* y el protón una carga de igual magnitud, pero de signo contrario, +*e*. Algunas partículas, como el neutrón, no poseen carga** (Serway & Jewett, 2008).

Las cargas eléctricas tienen las siguientes propiedades:
- Cargas de signos opuestos se atraen, y cargas del mismo signo se repelen.
- La carga total en un sistema aislado se conserva, lo que significa que la suma algebraica de todas las cargas eléctricas en cualquier sistema cerrado es constante.
- La carga está cuantizada.

Materiales conductores y aislantes

- Los **conductores son materiales donde los electrones se mueven libremente**, no están unidos a átomos y pueden moverse con libertad a través del material.

- Los **aislantes son materiales donde los electrones no se mueven con libertad** y los electrones están unidos a átomos.

- Los **semiconductores tiene comportamiento intermedio entre aislantes y conductores**. Sus propiedades eléctricas cambian, en varios órdenes de magnitud, a partir de la adición de cantidades controladas de ciertos átomos.

Ley de Coulomb (Fuerza eléctrica)

Charles Coulomb midió las magnitudes de las fuerzas eléctricas entre objetos con carga. Para hacerlo usó la balanza de torsión, que él mismo inventó. El principio de operación de la balanza de torsión es el mismo que el del aparato usado por Cavendish para medir la constante de la gravedad, con esferas eléctricamente neutras reemplazadas por esferas con carga (ver figura 1).

A partir de los experimentos de Coulomb, se generalizan las propiedades de la fuerza eléctrica entre dos partículas inmóviles con carga. Para ello se, usa el término **carga puntual que hace referencia a una partícula con carga de tamaño cero**. El comportamiento eléctrico de electrones y protones queda muy bien descrito si se representan como cargas puntuales. **Debido a observaciones experimentales, es posible encontrar la magnitud de una fuerza eléctrica** (a veces llamada fuerza de Coulomb) **entre dos cargas puntuales establecidas por la ley de Coulomb** (Serway & Jewett, 2008):

$$\vec{F}_e = k\,\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad 1.1$$

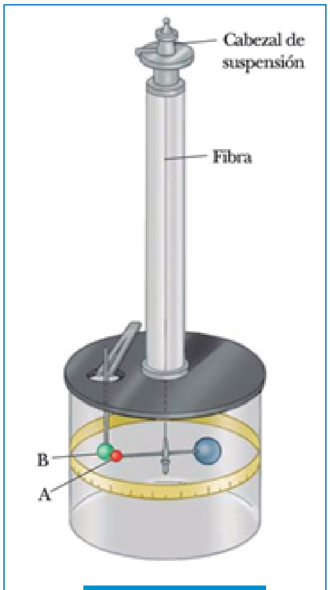


Figura 1

Figura 1. Balanza de torsión de Coulomb, utilizada para determinar la ley del cuadrado inverso para una fuerza eléctrica entre dos cargas.

donde

r: distancia entre las dos cargas [m]

q_1, q_2: cargas eléctricas [C]

k: constante de Coulomb ($k = 8.99x10^9 \left(\frac{Nm^2}{C^2}\right)$)

$\vec{F_e}$: fuerza [N]

Campo eléctrico

El concepto de campo eléctrico fue desarrollado por Michael Faraday en relación con las fuerzas eléctricas. Se plantea la existencia de un campo eléctrico en la región del espacio que rodea a un objeto con carga: la carga fuente. Cuando otro objeto con carga la carga de prueba entra en este campo eléctrico, una fuerza eléctrica actúa sobre él. **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 $\vec{E}$ del campo eléctrico en un punto en el espacio se define como la fuerza eléctrica $\vec{F_e}$ que actúa sobre una carga de prueba positiva colocada en ese punto, dividida entre la carga de prueba (Serway & Jewett, 2008):

$$\vec{E} = \frac{\vec{F_e}}{q_0} \qquad 1.2$$

La unidad de medida del campo eléctrico es Newton/Coulomb [N/C].

Observación

$\vec{E}$ es el campo producido por una carga o distribución de carga separada de la carga de prueba; no es el campo producido por la propia carga de prueba, además, observe que la existencia de un campo eléctrico es una propiedad de su fuente; la presencia de una carga de prueba no es necesaria para que el campo exista. La carga de prueba sirve como detector del campo eléctrico.

- A una distancia r de una carga puntual q, el campo eléctrico generado por la carga es

$$\vec{E} = k\frac{q}{r^2}\hat{r} \qquad 1.3$$

- Si la carga fuente q es positiva, el campo eléctrico se aleja de q. Si la carga fuente q es negativa, el campo eléctrico se dirige hacia q.

Campo eléctrico: cargas puntuales

El campo eléctrico generado por un grupo de cargas puntuales se puede calcular al usar el principio de sobreposición: **el campo eléctrico total en algún punto es igual a la suma vectorial de los campos eléctricos de todas las cargas**. Entonces:

$$\vec{E} = k \sum \frac{q}{r^2} \hat{r} \qquad 1.4$$

Con mucha frecuencia, en un grupo de cargas, **la distancia existente entre ellas es mucho más reducida que la distancia entre el grupo y el punto donde se desea calcular el campo eléctrico. En esta situación, el sistema de cargas se modela como si fuera continuo**. Es decir, el **sistema de cargas espaciadas en forma compacta es equivalente a una carga total que es distribuida de forma continua a lo largo de alguna línea**, sobre alguna superficie, o por todo el volumen.

Para establecer el proceso de evaluación del campo eléctrico producido por una distribución de carga continua, utiliza el **siguiente procedimiento: primero, divide la distribución de cargas en pequeños elementos, cada uno con una pequeña carga Δq,. Después, aplicar la ecuación (1.3) para calcular el campo eléctrico debido a uno de estos elementos en el punto P. Por último, evaluar el campo eléctrico total en P debido a la distribución de carga al sumar las contribuciones de todos elementos de carga** (es decir, aplicando el principio de superposición) (Serway & Jewett, 2008).

El campo eléctrico en algún punto generado por una distribución de carga continua es:

$$\vec{E} = k \int \frac{dq}{r^2} \hat{r} \qquad 1.5$$

donde dq es la carga en un elemento de la distribución de carga y r es la distancia desde el elemento hasta el punto en cuestión.

Recordando

Para evaluar el campo eléctrico en una distribución continua
- 1º divide la distribución de cargas
- 2º aplicar ecuación (1.3)
- 3º evaluar el campo eléctrico, sumando las contribuciones de todos los elementos

Para realizar los calculos es conveniente usar el concepto de **densidad de carga** junto a las siguientes observaciones (Serway & Jewett, 2008):

- Si una carga Q tiene una distribución uniforme en un **volumen** $\boldsymbol{V}$, la densidad de carga volumétrica ρ se define como

$$\rho = \frac{Q}{V}$$

Donde ρ está en coulombs por metro cúbico (C/m^3)

- Si una carga Q tiene una distribución uniforme sobre una superficie del **área** $\boldsymbol{A}$, la densidad de carga superficial σ (griega minúscula sigma) se define como:

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

Donde σ está en coulombs por metro cuadrado (C/m^2)

- Si una carga Q tene una distribución uniforme a lo largo de una **línea de longitud** $\boldsymbol{l}$, la densidad de carga lineal λ se define como:

$$\lambda = \frac{Q}{l}$$

Donde λ está en coulombs por metro (C/m)

- Si la carga no tiene distribución uniforme en un volumen, superficie o línea, las cantidades de cargas $\boldsymbol{dq}$ **en un elemento pequeño de volumen, superficie o longitud son:**

$$dq = \rho dV$$
$$dq = \sigma dA$$
$$dq = \lambda dl$$

LEE Y ANALIZA LOS SIGUIENTES PROBLEMAS

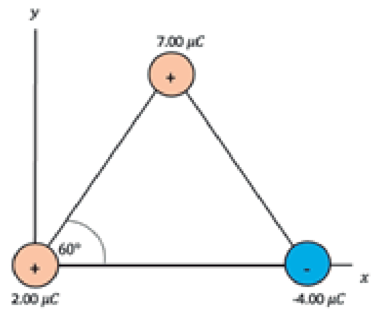
Problemas resueltos

A continuación, se presentan tres problemas resueltos con sus procedimientos, en estos problemas se sugiere hacer lo siguiente:

- Lee comprensivamente.
- Revisa el paso a paso.
- Destaca lo que te resulte importante.
- Destaca lo que te genere dudas y luego consulta al tutor.

Problema 1

En las esquinas de un triángulo equilátero existen tres cargas puntuales, como se ve en la figura. Si la distancia de separación entre las cargas es de 0.500 m, calcule la fuerza eléctrica total sobre la carga de valor 7.00 μC (Serway & Jewett, 2008).



Solución

Paso 1: registrar los datos.

$$q_1 = 2.00\ \mu C$$
$$q_2 = -4.00\ \mu C$$
$$q_3 = 7.00\ \mu C$$
$$r = 0.500\ m$$

Paso 2: calcular la fuerza sobre la carga 3.

$$F_1 = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = (8.99x10^9)\frac{(7x10^{-6})(2x10^{-6})}{(0.5)^2} = 0.503\ N$$
$$F_2 = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = (8.99x10^9)\frac{(7x10^{-6})(4x10^{-6})}{(0.5)^2} = 1.01\ N$$

Paso 3: realizar la sumatoria de fuerzas en el eje x e y. Luego la resultante de la fuerza.

$$F_x = (0.503 + 1.01)cos60° = 0.755\ N$$
$$F_y = (0.503 - 1.01)sin60° = -0.436\ N$$
$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$
$$F_R = \sqrt{0.755^2 + (-0.436)^2}$$

$$F_R = 0{,}872\ N$$

Dirección

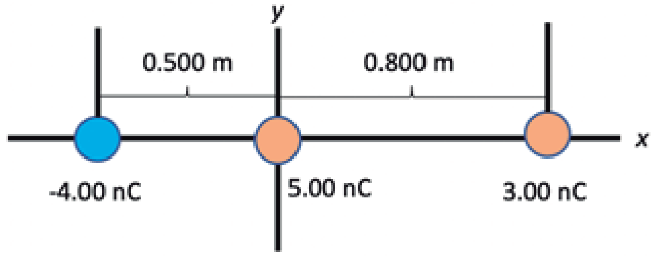
$$tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$$
$$tan\theta = \frac{-0.436}{0.755}$$
$$\theta = Arctan\,(\frac{-0.436}{0.755})$$
$$\theta = -30°$$

Este valor representa un ángulo de 30° bajo el eje x. También se puede expresar como θ=330° (360°-30°)

Problema 2

Tres partículas con carga están alineadas a lo largo del eje x, según se muestra en la figura. Determine el campo eléctrico en (Serway & Jewett, 2008).

a) La posición (2.00, 0)
b) La posición (0, 2.00)

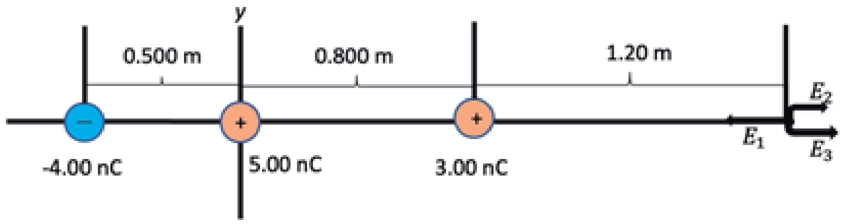


Solución letra a (En la posición 2.00, 0)

Paso 1: registrar los datos.

$q_1 = -4.00\ nC = -4\ x\ 10^{-9}C$
$q_2 = 5.00\ nC = 5\ x\ 10^{-9}C$
$q_3 = 3.00\ nC = 3\ x\ 10^{-9}C$
$r_1 = 0.500\ m$
$r_2 = 0.800\ m$

Paso 2: calcular el campo eléctrico sobre las tres cargas.



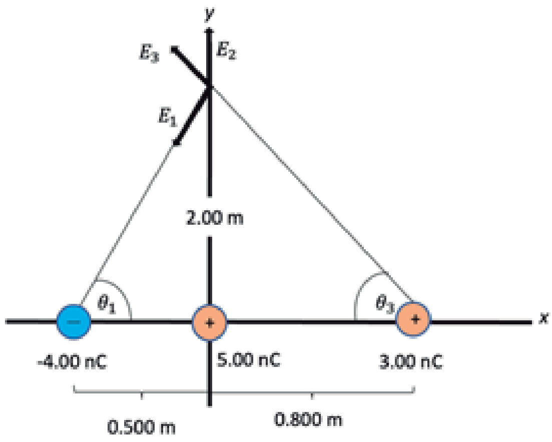
$$E_1 = k\frac{q}{r^2} = (8.99x10^9)\frac{(-4x10^{-9})}{(2.50)^2} = -5.75\,\hat{\imath}\,N/C$$
$$E_2 = k\frac{q}{r^2} = (8.99x10^9)\frac{(5x10^{-9})}{(2.00)^2} = 11.2\,\hat{\imath}\,N/C$$
$$E_3 = k\frac{q}{r^2} = (8.99x10^9)\frac{(3x10^{-9})}{(1.20)^2} = 18.7\,\hat{\imath}\,N/C$$

Paso 3: sumar los campos eléctricos.

$$E_R = E_1 + E_2 + E_3 = -5.75 + 11.2 + 18.7$$
$$E_R = 24.2\frac{N}{C}\ en\ la\ dirección\ del\ eje\ x$$

Solución letra b (En la posición 0, 2.00)

Paso 1: realizar un esquema.



Paso 2: calcular el campo eléctrico en cada carga.

$$E_1 = k\frac{q}{r^2} = (-8.46)(0.243\hat{\imath} + 0.970\hat{\jmath})$$
$$E_2 = k\frac{q}{r^2} = (-8.46)(0.243\hat{\imath} + 0.970\hat{\jmath})$$
$$E_3 = k\frac{q}{r^2} = (5.81)(-0.371\hat{\imath} + 0.928\hat{\jmath})$$

Paso 3: Realizar la sumatoria de campo eléctrico en el eje x e y.

$$E_x = E_{1x} + E_{3x} = -4.21\,\hat{\imath}\,\frac{N}{C}$$
$$E_y = E_{1y} + E_{2y} + E_{3y} = 8.43\,\hat{\jmath}\,N/C$$

$$E_R = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$
$$E_R = \sqrt{(-4.21)^2 + (8.43)^2}$$

$$E_R = 9.42\,\frac{N}{C}$$

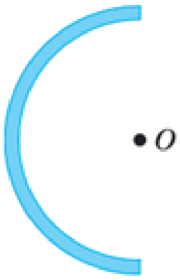
Paso 4: cálculo de la dirección.

$$tan\theta = \frac{E_y}{E_x}$$
$$tan\theta = \frac{8.43}{4.21}$$
$$\theta = arctan\frac{8.43}{4.21}$$

$$\theta = 63{,}4°\ sobre\ el\ eje\ x$$

Problema 3

Una barra aisladora uniformemente cargada, de 14.0 cm de longitud, se dobla en la forma de un semicírculo, como se muestra en la figura. La barra tiene una carga total de -7.50 μC. Encuentre la magnitud y dirección del campo eléctrico en O, en el centro del semicírculo (Serway & Jewett, 2008).

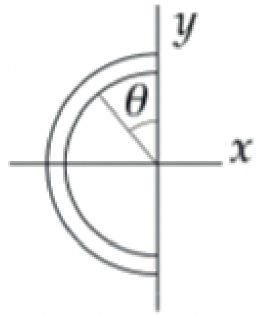


Solución

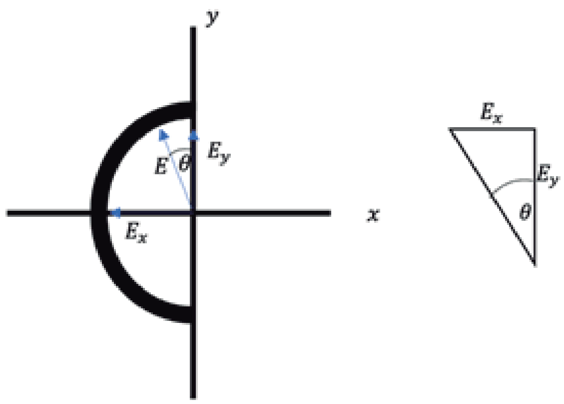
Paso 1: identificar los datos

$$L = 14.0\ cm = 0.140\ m$$
$$q = -7.50\ \mu C = -7.50\ x\ 10^{-6}\ C$$

Paso 2: elaborar esquema y aplicar simetría.



Debido a la simetría



Para descomponer E_x, se utiliza trigonometría, quedando

$$E_y = \int dE_y = 0$$

$$E_x = \int dE sin\theta = k_e \int \frac{dq sin\theta}{r^2}$$

Recordando

$$E = k \int \frac{dq}{r^2}$$

donde

$$dq = \lambda dA = \lambda r d\theta$$

Recordando

$$dA = r d\theta$$

que sería área

de modo que al reemplazar dq en E_x

$$E_x = k_e \int \frac{\lambda r d\theta sin\theta}{r^2}$$

Simplificar los r y reordenar la ecuación. Como se trata de media circunferencia, entonces los límites de integración van de 0 a π.

$$E_x = \frac{k_e \lambda}{r} \int_0^{\pi} sin\theta d\theta$$

Recordando

Recordar regla de integración

$$\int sin\theta = -cos\theta$$

Resolver la integral,

$$E_x = \frac{k_e \lambda}{r} (-cos\theta)|_0^{\pi} = \frac{2k_e \lambda}{r}$$

$$E_x = \frac{2k_e \lambda}{r}$$

Recordando

$$cos\pi = -1$$

$$cos0 = 1$$

donde

$$\lambda = \frac{q}{L} \text{ y } r = \frac{L}{\pi}$$

de este modo

$$E_x = \frac{2k_e q\pi}{L^2}$$
$$E_x = \frac{2(8.99\ x\ 10^9)(-7.50\ x\ 10^{-6})\pi}{(0.140)^2}$$
$$E_x = -2.16\ x\ 10^7\ N/C$$

como el campo actúa en el eje x, se puede escribir como:

$$E_x = -2.16\ x\ 10^7\ \hat{\imath}\ N/C$$

PON A PRUEBA TUS CONOCIMIENTOS

Problemas propuestos

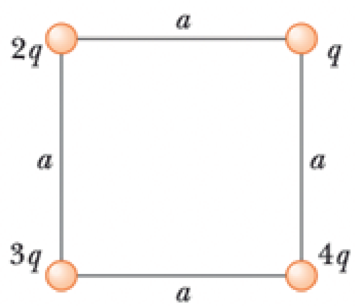
A continuación, se presentan tres problemas propuestos para que puedas resolver y practicar, recuerda hacer lo siguiente:

• Resuélvelos siguiendo los pasos utilizados en los problemas resueltos.
• Si es necesario, apóyate con los apuntes.
• Si surgen dudas, registrarlas para luego consultar con el tutor.
• ¡Buen trabajo!

1. Dos pequeñas esferas conductoras idénticas se colocan de forma que sus centros se encuentren separados 0.300 m. A una se le da una carga de 12.0 nC y a la otra una carga de -18.0 nC.

a) Determine la fuerza eléctrica que ejerce una esfera sobre la otra.
b) Si las esferas están conectadas mediante un alambre conductor, determine la fuerza eléctrica entre ellas una vez que alcanzan el equilibrio (Serway & Jewett, 2008).

2. En las esquinas de un cuadrado de lado a, como se muestra en la figura, existen cuatro partículas con carga.



a) Determine la magnitud y dirección del campo eléctrico en la ubicación de la carga q.
b) ¿Cuál es la fuerza eléctrica total ejercida sobre q? (Serway & Jewett, 2008).

3. Un anillo con un radio de 10.0 cm con carga uniforme tiene una carga total igual a 75.0 µC. Determine el campo eléctrico sobre el eje del anillo a las siguientes distancias del centro del mismo:

a) 1.00 cm
b) 5.00 cm
c) 30.0 cm
d) 100 cm

Soluciones

1.a) $2.16 \ x \ 10^{-5} \ N$ hacia el otro.
1.b) $8.99 \ x \ 10^{-7} \ N$ alejándose de la otra.
2.a) $5.91 \ \frac{k_e q}{a^2}$ a 58.8°
2.b) $5.91 \ \frac{k_e q^2}{a^2}$ a 58.8°
3.a) $6.64 \ x \ 10^6 \ \hat{\imath} \ N/C$
3.b) $2.41 \ x \ 10^7 \hat{\imath} \ N/C$
3.c) $6.40 \ x \ 10^6 \hat{\imath} \ N/C$
3.d) $6.6 \ x \ 10^5 \ N/C$, si se toma el eje del anillo como el eje x.

Síntesis

Se generalizan las propiedades de la fuerza eléctrica entre dos partículas inmóviles con carga. Para ello se usa el término carga puntual que hace referencia a una partícula con carga de tamaño cero. Debido a observaciones experimentales, es posible encontrar la magnitud de una fuerza eléctrica.	$\vec{F_e} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$
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.	$\vec{E} = k\sum\frac{q}{r^2}\hat{r}$
El sistema de cargas se modela como si fuera continuo. Es decir, el sistema de cargas espaciadas en forma compacta es equivalente a una carga total que es distribuida de forma continua a lo largo de alguna línea.	$\vec{E} = k\int\frac{dq}{r^2}\hat{r}$

Referencias bibliográficas

• Serway, R & Jewett, J. (2008). Física para ciencias e ingeniería volumen 2. México: Cengage Learning.

¿Quieres recibir orientación para optimizar tu estudio en la universidad?

CONTAMOS CON PROFESIONALES EXPERTOS EN
EL APRENDIZAJE QUE TE PUEDEN ORIENTAR

SOLICITA NUESTRO APOYO

Sitio Web de CIMA

Ver más fichas

Solicita más información

TALCA UNIVERSIDAD CHILE

CIMA UNIDAD DE ACOMPAÑAMIENTO ESTUDIANTIL