Módulo 1: Electrostática
Campo eléctrico

1

Campo eléctrico

- ¿Cómo puede ejercerse una fuerza a distancia?
- Para explicarlo se introduce el concepto de campo eléctrico
- Una carga crea un campo eléctrico E en todo el espacio, y este campo ejerce una fuerza sobre la otra carga
- Es decir, la fuerza la ejerce el campo eléctrico E existente en la posición de la segunda carga, más que por la propia primera carga que está a cierta distancia

2

Campo eléctrico

- Supongamos que tenemos 3 cargas dispuestas arbitrariamante en el espacio.
- Si colocamos una carga $+q_o$ en las cercanías, se verá sometida a una fuerza neta resultante debida a las tres cargas
- Como cada una de estas fuerzas es proporcional a q_o, la fuerza neta será proporcional a q_o

Campo eléctrico

- El campo eléctrico E en un punto se define por esta fuerza dividida por q_o

$$\mathbf{E}=\mathbf{F}/q_o$$

- ¡Ojo que es un vector!
- La dirección viene dada por el mismo vector fuerza

Ejemplo

- ¿Cuál es la fuerza que actúa sobre un electrón situado en un punto donde hay un campo eléctrico

E=(4·10⁴ N/C) **i**?

  - Sol: -6.4·10⁻¹⁵ N **i**

5

Ley de Coulomb

- La ley de Coulomb para el campo E creado por una carga puntual q_i es

$$\vec{E}_i = k\frac{q_i}{r_{i,0}^2}\vec{r_{i,0}}$$

- Siendo $\mathbf{r}_{i,o}$ un vector unitario que apunta desde el punto de la fuente I al punto de observación del campo eléctrico o punto del campo P
- Si hubiese campos debidos a otras cargas se sumarían todos ellos.

6

Ley de Coulomb

- Método para calcular el campo eléctrico en un punto:
- 1. Suponer que en ese punto hay una carga positiva q_o
- 2. Calcular el campo debido E_i a todas las cargas q_i de alrededor (cada una de ellas ejerce una fuerza F_i)
- 3. Sumar todos los campos E_i debidos a todas las fuerzas

7

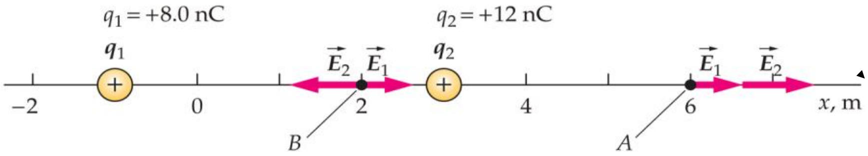
Ejemplo

- Una carga positiva q_1=8 nC se encuentra en x=-1 y una segunda carga positiva q_2=12 nC está sobre el eje x a una distancia a=3 m.
- a) Determinar el campo eléctrico resultante sobre el punto A, que está sobre el eje x en x=6 m.

8

Ejemplo

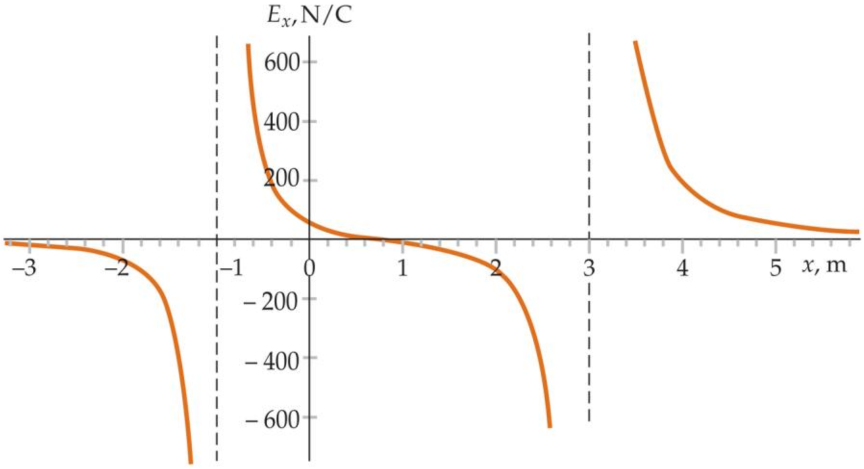
- Sol: 13,5 N/C **i**



Ejemplo

- b) Determinar el punto del eje B, que está sobre el eje x en x=2.
  - Sol: x=13 N/C **i**.
- c) Determinar el punto del eje x donde el campo eléctrico es cero
  - Sol: x=0.80 m.

Ejemplo



Movimiento en campos eléctricos

- Cuando una partícula con carga q_o se coloca en un campo eléctrico **E**, experimenta la acción de una fuerza q**E**
- Y por lo tanto sufrirá una aceleración dada por:

$$a = \frac{\sum \vec{F}}{m} = \frac{q}{m}\vec{E}$$

Movimiento en campos eléctricos

- Si se conoce el campo eléctrico, la relación carga masa de la partícula puede determinarse midiendo su aceleración
- Esto es lo que hizo J. J. Thompson en 1897 para demostrar la existencia de los electrones y medir su relación carga-masa

13

Ejemplo

- Un electrón se mueve en un campo eléctrico uniforme E= (1000 N/C)**i** con una velocidad inicial

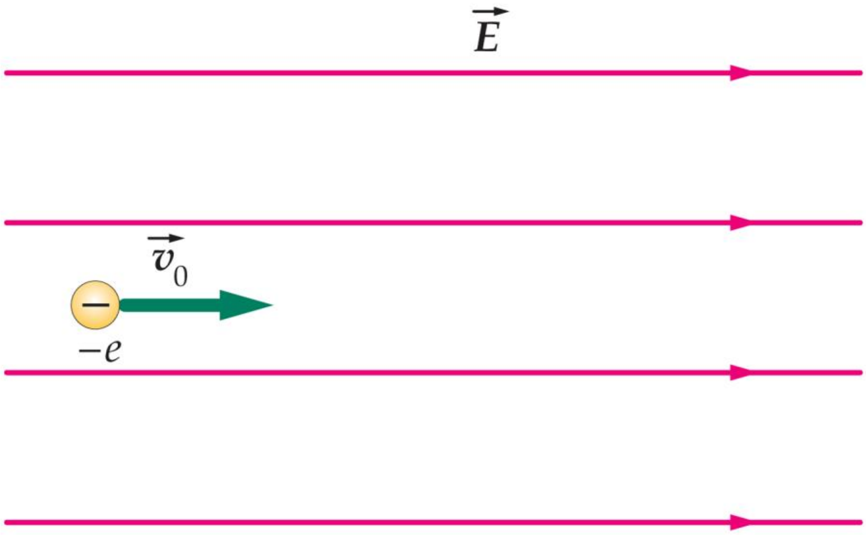
$\mathbf{v}_o$=($2\cdot10^6$ m/s)**i**, es decir, en la dirección del campo.

- ¿Qué distancia recorrerá el electrón antes de que momentáneamente quede en reposo?

14

Ejemplo

- Sol: 1.14 cm



15

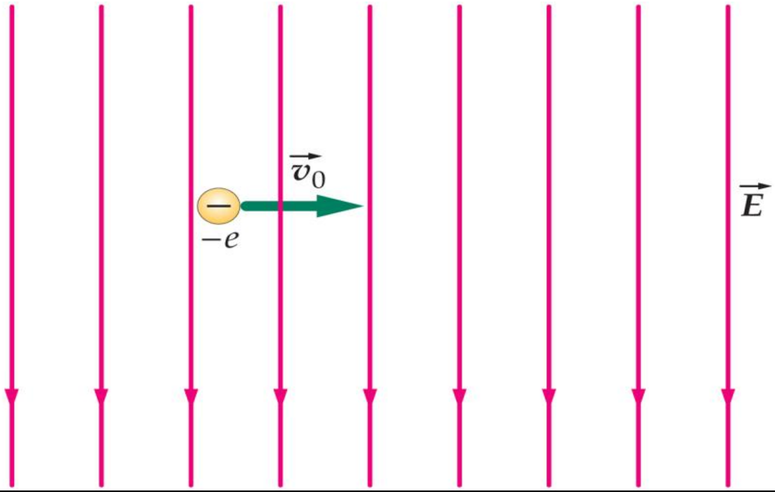
Ejemplo

- Hoja 2. Ejercicio 2. Un electrón entra en el interior de una región donde hay un campo eléctrico uniforme **E** = -2000 N/C **j** con una velocidad inicial $\mathbf{v_{ox}}$ = $1{\cdot}10^6$ m/s **i** perpendicular al campo.
  - a) Comparar la fuerza gravitatoria que existe sobre el electrón con la fuerza eléctrica ejercida sobre él.
  - b) ¿Cuánto se habrá desviado el electrón si ha recorrido 1 cm en la dirección X?

16

Ejemplo

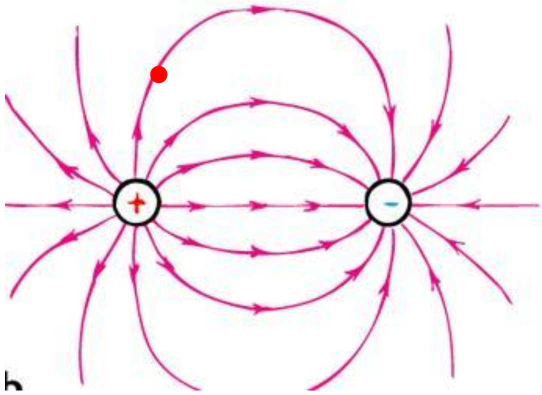
- Solución: $3{,}6 \cdot 10^{13}$ m/s
- Solución: y=1,8 cm.



17

Lineas de campo

Las líneas del campo eléctrico indican la dirección de la fuerza eléctrica si se sitúa una carga positiva en dicho campo eléctrico.



18

Características

- Las líneas del campo eléctrico comienzan en las cargas positivas o en el infinito, y terminan en las cargas negativas o en el infinito
- Las líneas se dibujan simétricamente saliendo de la carga (si es +) o entrando en la carga (si es -)
- El número de líneas que abandonan una carga positiva o entran en una carga negativa es proporcional a la magnitud de la carga

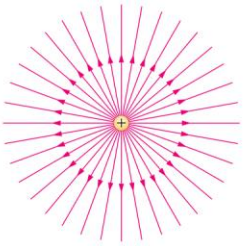
19

Características

- La densidad de líneas (número de ellas por unidad de área perpendicular a las mismas) es proporcional al valor del campo en dicha carga.
- A grandes distancias de un sistema de cargas, las líneas de campo están igualmente espaciadas y son radiales, como si procediesen de una sola carga puntual igual a la carga neta del sistema.
- Nunca pueden cortarse dos líneas de campo.

20

Lineas de campo de una carga puntual +

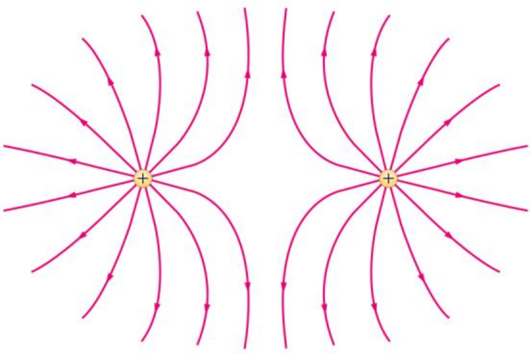


(a)

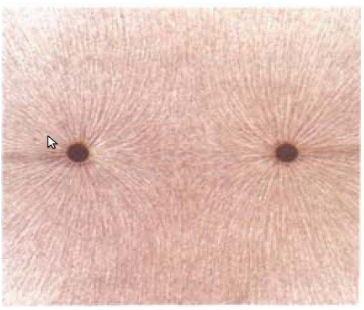
(b)

21

Lineas de campo de dos cargas putuales +



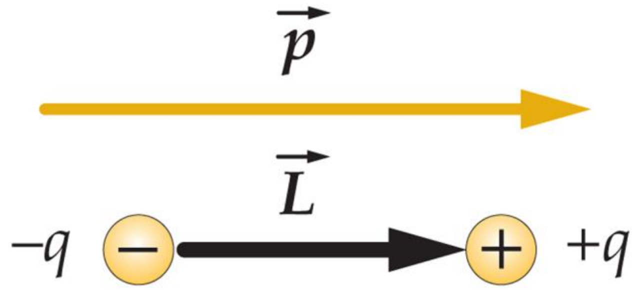
(a)



(b)

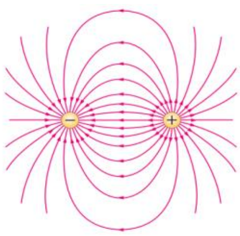
22

Dipolo eléctrico



$$\vec{p} = q\vec{L}$$

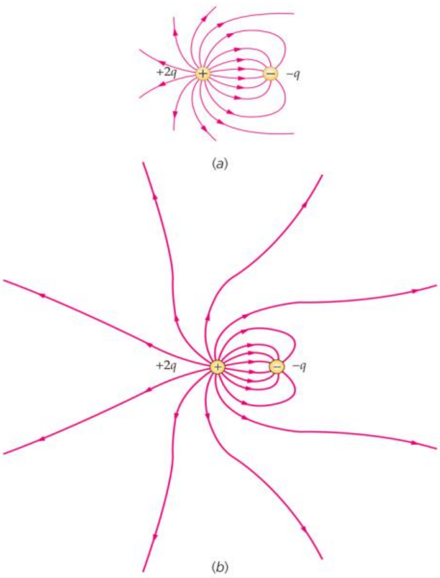
Lineas de campo en un dipolo eléctrico



(a)

(b)

Lineas de campo para una carga puntual +2q y otra -q



25

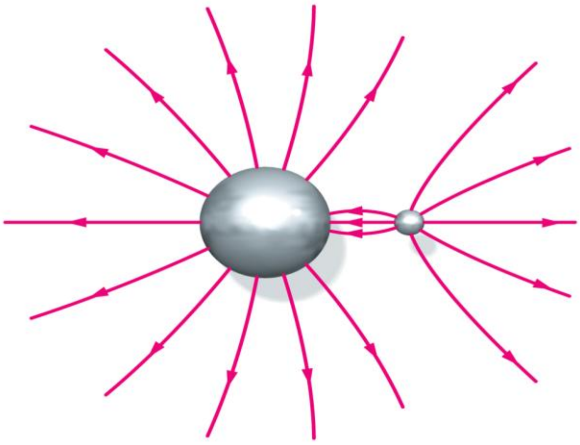
Lineas de campo para dos esferas conductoras

- La carga sobre una esfera es positiva si salen más líneas que entran, y negativa si entran más líneas que salen.
- La relación de los módulos de las cargas es igual a la relación del número **neto** de líneas que entran o salen.

26

Lineas de campo para dos esferas conductoras

- En la figura siguiente se muestran las líneas de campo correspondientes a dos esferas conductoras. ¿Cuál es el signo y el valor relativo de las cargas de las dos esferas?



27

Lineas de campo para dos esferas conductoras

- Procedimiento:
- Contar el número de líneas que salen de la esfera grande.
- Contar el número de líneas que salen de la esfera pequeña
- Determinar el signo de la carga de cada esfera
- Determinar el valor absoluto de la carga de las dos esferas

28

Lineas de campo para dos esferas conductoras

- Procedimiento:
- Contar el número de líneas que salen de la esfera grande
  - *11 salen -3 entran = 8*
- Contar el número de líneas que salen de la esfera pequeña
  - *8 salen – 0 entran = 8*

29

Lineas de campo para dos esferas conductoras

- Determinar el signo de la carga de cada esfera
  - *Dado que de ambas esferas salen más lineas que entran, ambas están cargadas positivamente.*
- Determinar el valor absoluto de la carga de las dos esferas
  - Como de ambas esferas salen el mismo número total de líneas, los valores absolutos de las cargas de las dos esferas son iguales.

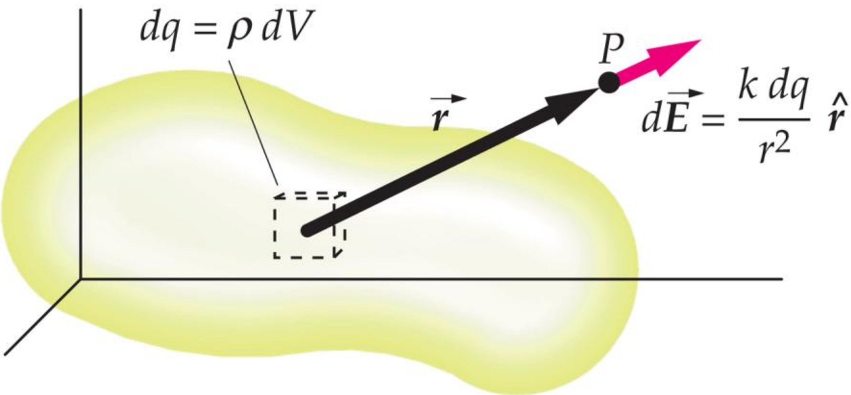
30

Campo eléctrico en distribuciones continuas de carga

- Densidad lineal de carga.
  - λ=dq/dL → $\overrightarrow{\mathbf{dE}}$=k(dq/r²)$\overrightarrow{\mathbf{r}}_{\mathbf{1,2}}$
- Densidad superficial de carga
  - σ=dq/dL → $\overrightarrow{\mathbf{dE}}$=k(dq/r²)$\overrightarrow{\mathbf{r}}_{\mathbf{1,2}}$
- Densidad volumétrica de carga
  - ρ=dq/dL → $\overrightarrow{\mathbf{dE}}$=k(dq/r²)$\overrightarrow{\mathbf{r}}_{\mathbf{1,2}}$

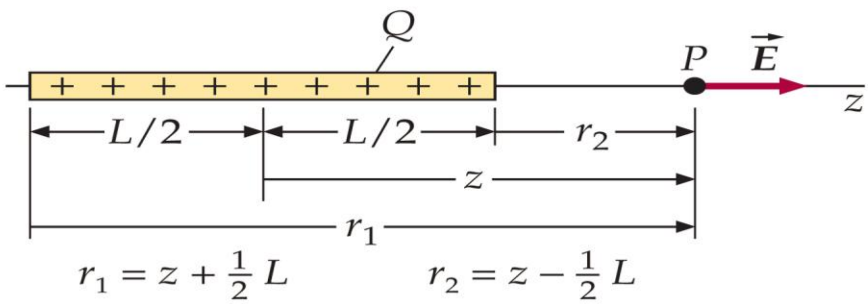
31

Campo eléctrica en distribuciones continuas de carga



Ejemplo

- Hoja 2, ejercicio 5. Calcular el campo eléctrico que ejerce una varilla de longitud **L** cargada con una densidad lineal de carga λ, sobre un punto de su eje situado a una distancia $\mathbf{x_o}$ de su origen.



33

Ejemplo

- Hoja 2, ejercicio 8. Un hilo delgado posee una densidad de carga uniforme **λ** y está doblado en forma de semicircunferencia de radio **R.** Calcular el módulo, dirección y sentido del campo eléctrico en el centro de la semicircunferencia y en un punto del eje perpendicular al plano que contiene a la misma.

34

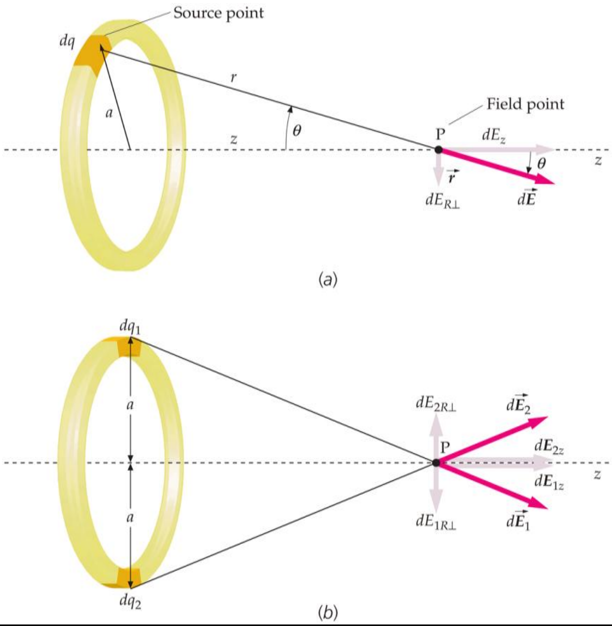
Ejemplo

- Hoja 2, ejercicio 6. Calcular el campo eléctrico que ejerce una varilla de longitud **L** cargada con una densidad lineal de carga **λ,** sobre un punto situado fuera del eje de la varilla y a una distancia **a** de la misma. Utilice Coulomb y Gauss.

Ejemplo

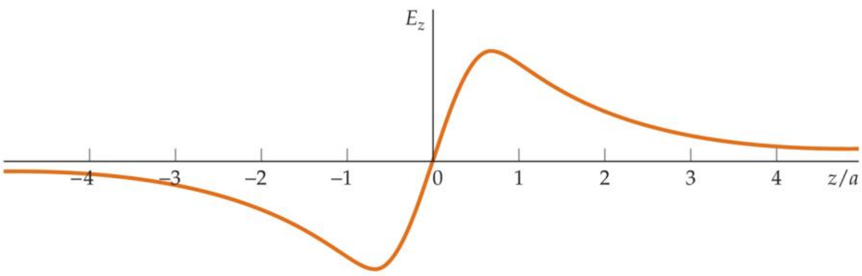
- Hoja 2, ejercicio 7. Un anillo de radio **a** está cargado con una densidad lineal de carga uniforme **λ.** Calcular el campo eléctrico en un punto de su eje, y a una distancia **b** del plano que lo contiene.

Ejemplo



37

Ejemplo

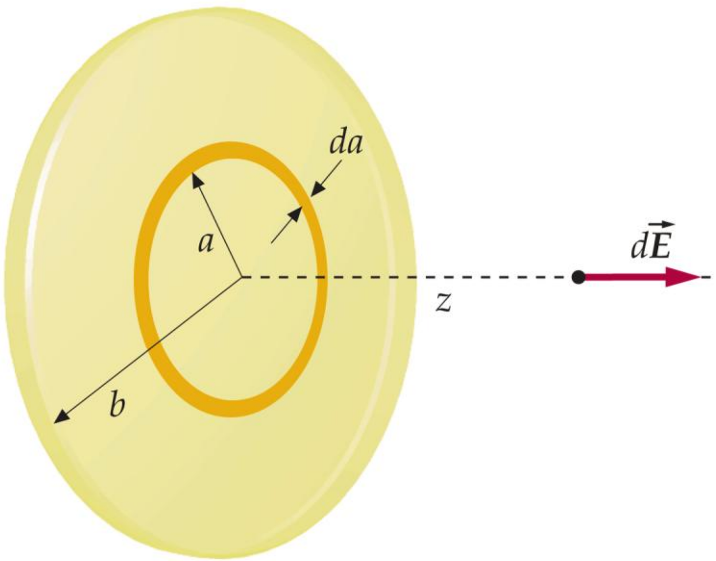


38

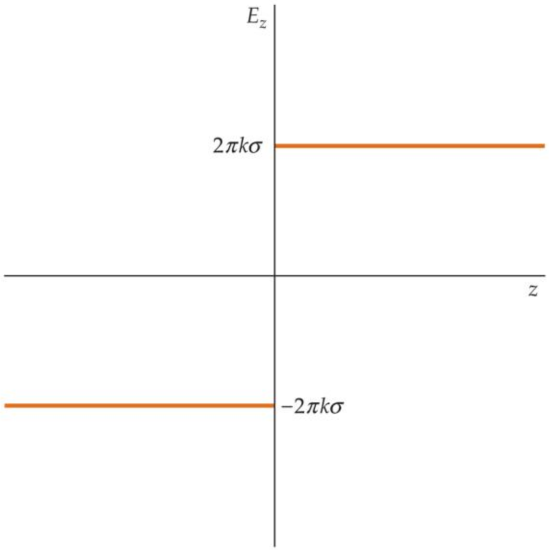
Ejemplo

- Calcular el campo eléctrico creado por un disco de radio **R** que está cargado con una densidad superficial de carga **σ** (C/m²) distribuida uniformemente en su superficie. Calcule el campo eléctrico en un punto del eje del disco situado a una distancia **b**.

Ejemplo

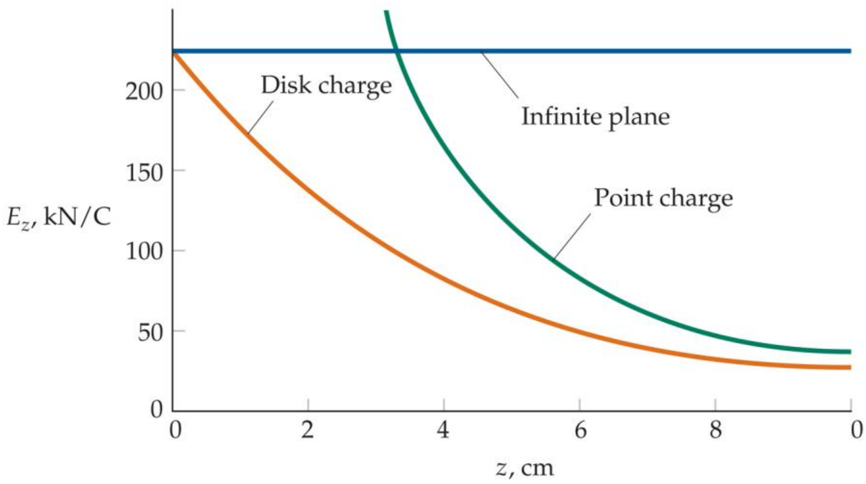


Ejemplo



41

Ejemplo



42

Ejemplo

- Hoja 2, ejercicio 9. Un anillo de radio **R** está situado en el plano XY con su centro en el origen y está cargado con una densidad lineal de carga no uniforme $\boldsymbol{\lambda = \lambda_0}$ **sen** $\boldsymbol{\varphi}$**,** en el punto P(R, 0) vale $\lambda = 0$**.** Calcular el módulo, dirección y sentido del campo eléctrico en el centro del anillo y en un punto del eje perpendicular al plano que contiene al mismo.