

# GUIA I: Ley de Coulomb – Campo y Potencial Eléctrico

## Problema 1

¿Cuántos electrones,  $e^-$ , forman una carga  $Q = -20 \mu C$  ( $-20 \times 10^{-6} C$ )?

## Problema 2

Encontrar la fuerza eléctrica de repulsión entre dos protones en una molécula de hidrógeno, siendo la separación entre ellos de  $0.74 \times 10^{-10} m$ . Compararla con la fuerza de atracción gravitacional correspondiente.

- ¿Qué masa deberían tener los protones para balancear las fuerzas?
- ¿Qué evita la explosión Coulombiana?

## Problema 3

Si se dijera que en la fórmula de la fuerza de Coulomb, debe reemplazarse el producto de las cargas por su suma, ¿Qué hechos experimentales refutarían esa afirmación?

## Problema 4

Encontrar la fuerza de atracción eléctrica entre el protón y el electrón de un átomo de hidrógeno, suponiendo que el electrón describe una órbita circular de  $0.53 \times 10^{-10} m$  de radio. Compararla con su atracción gravitacional. Calcule la velocidad con que se mueve el electrón. ¿Por qué el sistema no colapsa?

## Problema 5

Si se deja en libertad, a partir del reposo, una carga puntual  $q$  de masa  $m$ , ¿Se moverá a lo largo de una línea de fuerza?

## Problema 6

Considere una carga puntual de carga  $2C$  situada en el origen de coordenadas  $(0, 0, 0)$ .

- Calcule el vector campo eléctrico en los puntos  $(0.5, 0, 0)$ ,  $(0.10, 0, 0)$  y  $(0.20, 0, 0)$  con la distancia calculada en  $m$ .

- b) Grafique la intensidad y dirección del vector campo eléctrico a lo largo del eje  $x$  ( $\mathbf{E}(x, 0)$ ) considerando que la intensidad es positiva cuando el campo eléctrico está dirigido hacia la derecha de la carga y negativa cuando está dirigido hacia la izquierda de la misma.
- c) Calcule la fuerza (vector) experimentada por una carga de  $-0.5C$  ubicada en los puntos requeridos en el inciso a.
- d) Grafique dicha fuerza a lo largo del eje  $x$ .

## Problema 7

Tres cargas iguales se ubican en el vértice de un triángulo equilátero. ¿Qué carga  $q$  de signo opuesto debe ubicarse en el centro de modo que la resultante de las fuerzas sobre cada carga sea nula?

## Problema 8

Teniendo en cuenta la cuantización de la carga eléctrica; ¿Cómo puede justificarse la siguiente definición de campo eléctrico?

$$\lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{\mathbf{F}}{q_0} = \mathbf{E}.$$

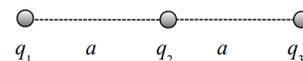
## Problema 9

Un dipolo formado por un electrón y un protón, separados por una distancia de  $4 \times 10^{-8} \text{ cm}$ , está colocado de modo que su punto medio coincide con el origen, su eje contra el eje  $x$  y el electrón queda a la izquierda del origen. Calcule y represente gráficamente las componentes  $E_r$  y  $E_\theta$  del campo eléctrico creado por el dipolo en los siguientes puntos:

- a)  $r = 10^{-6} \text{ cm}$  y  $\theta = 0$ .
- b)  $r = 10^{-6} \text{ cm}$  y  $\theta = \pi/2$ .
- c)  $r = 10^{-6} \text{ cm}$  y  $\theta = \pi/6$ .

## Problema 10

Tres cargas puntuales están alineadas y separadas entre sí por una distancia  $a = 10 \text{ cm}$ . Si  $q_1 = -2q_2$ ,



- a) ¿Cuál deberá ser  $q_3$  para que la fuerza total sobre  $q_1$  sea nula?
- b) ¿Cuál es el campo eléctrico en el punto en el que se halla situada  $q_3$  debido a  $q_1$  y  $q_2$ ?. Realice un gráfico para la intensidad campo eléctrico a lo largo del eje  $x$ .

## Problema 11

Tres cargas puntuales están ubicadas en los vértices de un triángulo equilátero separadas entre sí por una distancia de  $5 \text{ cm}$ . Si  $q_1 = 2q_2$ . ¿Existe algún valor de  $q_3$  para el cual la fuerza total sobre  $q_1$  sea nula?

## Problema 12

Considere la siguiente configuración de cargas: una carga positiva en el centro de una circunferencia, y  $N$  cargas iguales negativas equidistantes entre sí sobre la circunferencia. Si deja las cargas libres, ¿se moverán hacia afuera o hacia adentro de la circunferencia? Realice el cálculo para  $N = 2, 3, 4$  y 5.

## Problema 13

Un modelo simple para el electrón en un átomo de hidrógeno es considerar una distribución de carga  $\rho(r) = Ce^{-2r/a_0}$ , donde  $a_0$  se denomina radio de Bohr y es igual a  $0.53 \times 10^{-10} m$ .

- Hallar la constante  $C$  de modo que la carga total sea  $e^-$
- Determinar la carga total dentro de una esfera de radio  $a_0$ .
- Obtener el campo eléctrico en función de  $r$   $\mathbf{E}(r)$ .
- ¿A qué distancia difiere el campo eléctrico en 1% de  $-e^-/(4\pi\epsilon_0 r^2)$

## Problema 14

El objetivo de este ejercicio es utilizar una simulación para investigar la fuerza eléctrica y el campo eléctrico. En la computadora, abrir un navegador de internet (G. Chrome, Mozilla F., IExplorer, etc) y acceder a:

[http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html). Luego de cargada la simulación, seleccionar las opciones (haciendo “click” en el cuadrado): “Show E-field”, “grid” y “Show numbers”. Luego de familiarizarse con el modo en que opera la simulación (lleva unos pocos minutos comprender cómo funciona), realizar la siguiente ejercitación. Sea  $\vec{r}$  el vector que une dos puntos fijos, de  $(x', y', z')$  a  $(x, y, z)$  y  $r$  su longitud. Mostrar que,

**Parte 1:** Colocar una carga de  $+1nC$  en la región de estudio (se recomienda colocarla en la intersección de dos líneas gruesas para mayor facilidad en el análisis). Colocar una carga de prueba (E-field Sensor) en cada una de las siguientes localizaciones, completando los datos de la tabla. (Nota:  $1V/m = 1N/C$ ).

$x(m)$	$y(m)$	$r(m)$	Intensidad Campo ( $N/C$ )	Dirección ( <i>Grados</i> )
1	1			
2	2			
-1	1			
0.5	-1			

**Parte 2:** Reemplazar la carga positiva ( $+1nC$ ) por una de  $-1nC$ . Asegúrese de que la carga positiva ha sido removida por completo de la grilla, para no afectar los resultados del análisis. Completar la tabla de la nueva configuración:

$x(m)$	$y(m)$	$r(m)$	Intensidad Campo ( $N/C$ )	Dirección ( $Grados$ )
1	1			
2	2			
-1	1			
0.5	-1			

**Parte 3:** En esta sección se estudiará el campo eléctrico asociado a un arreglo de cargas múltiples. Colocar una carga de  $+1nC$  en un punto, y una carga negativa de  $-1nC$  a  $2 m$  a la derecha de la carga positiva. Para definir un punto de referencia, considere al punto medio de este arreglo como el origen de coordenadas, de modo que la carga positiva estará localizada en el punto  $(-1,0)$  y la carga negativa en el punto  $(1,0)$ . Colocar el sensor de campo eléctrico en cada uno de los siguientes puntos y completar la tabla:

$x(m)$	$y(m)$	$r(m)$	Intensidad Campo ( $N/C$ )	Dirección ( $Grados$ )
1	1			
2	2			
-1	1			
0.5	-1			

**Parte 4: (análisis)** a) Para la Parte 1, calcular cuál debería ser el campo eléctrico para una carga de  $+1nC$  a una distancia de  $1.414 m$  de la misma. Calcular el error porcentual entre el valor obtenido analíticamente y el valor obtenido en la simulación.

b) ¿Por qué considera que aparece este error?

c) En la Parte 3, ¿en qué lugar de la grilla el campo es más fuerte? Existe algún lugar en la grilla donde el campo es igual a cero?

## Problema 15

¿Pueden intersectarse dos líneas de campo eléctrico en un diagrama apropiado de campo? Explique.

## Problema 16

El experimento de Millikan consiste en dejar caer una gota de aceite de densidad  $\rho$  dentro de un condensador (capacitor) descargado y lleno de aire ( $\rho_a$ ), y medir su velocidad límite. A continuación se conecta un campo eléctrico de modo que la gota de aceite suba con velocidad constante. Midiendo estas velocidades puede encontrarse cuántos electrones en exceso tiene la gota debido a la fricción con el aire. Escriba las ecuaciones que permiten obtener esta información. (*Ayuda:* recordar que la fricción con el aire se traduce en una fuerza  $\mathbf{F} = -6\pi\eta r\mathbf{v}$ , donde  $\eta$  es el coeficiente de viscosidad y  $r$  el radio de la gota.) Particularizar para el caso de una gota que cae una distancia de  $1 mm$  en  $27.4 s$ . en ausencia de un campo eléctrico externo. La misma gota permanece estacionaria en un campo de  $2.37 \times 10^4 N/C$ . ¿Cuántos electrones en exceso ha adquirido la gota?. La viscosidad del aire es de  $1.8 \times 10^{-5} N.s/m^2$ . La densidad del aceite es  $800 kg/m^3$ , la densidad del aire es  $1.3 kg/m^3$  y el coeficiente de viscosidad del aire  $1.80 \times 10^{-5} N.s/m^2$ .

## Problema 17

Una gota de aceite cargada cae en el aire  $4.00 \text{ mm}$  en  $16.0 \text{ s}$  a velocidad constante, en ausencia de un campo eléctrico externo. La densidad del aceite es de  $800 \text{ kg/m}^3$ , la del aire es de  $1.30 \text{ kg/m}^3$ , y el coeficiente de viscosidad del aire  $1.80 \times 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$ .

- Calcular el radio y la masa de la gota.
- Si la gota lleva una unidad fundamental de carga y está en un campo eléctrico de  $2 \times 10^{-5} \text{ N/C}$ . ¿Cuál es el cociente entre la fuerza eléctrica sobre la gota y su peso?

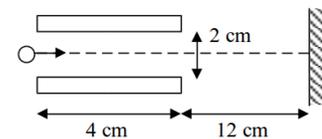
## Problema 18

Un electrón se acelera en un campo eléctrico uniforme de  $202 \times 10^4 \text{ N/C}$  entre dos placas paralelas cargadas. La separación de las placas es de  $1.2 \text{ cm}$ . El electrón sale del reposo cerca de la placa negativa y pasa por un agujero diminuto en la placa positiva.

- ¿Con qué velocidad sale del agujero?
- Demostrar que se puede pasar por alto la fuerza gravitacional.

## Problema 19

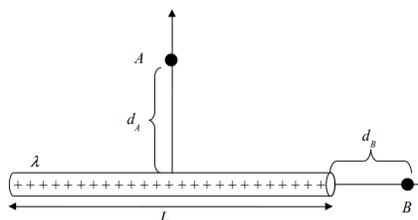
Se lanza un electrón con una velocidad inicial de  $2 \times 10^7 \text{ m/s}$  en la dirección de un eje equidistante de las placas de un tubo de rayos catódicos. El campo eléctrico uniforme entre las placas, tiene una intensidad de  $20000 \text{ N/C}$  y está dirigido hacia arriba.



- ¿Qué distancia perpendicular al eje ha recorrido el electrón cuando pasa por el extremo de las placas?
- ¿Qué ángulo con el eje forma su velocidad cuando abandona las placas?
- ¿A qué distancia por debajo del eje choca con la pantalla fluorescente?

## Problema 20

Calcule el campo eléctrico en los puntos  $A$  y  $B$  para el hilo cargado de longitud finita que se muestra en la figura.



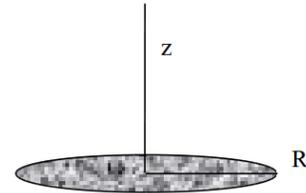
## Problema 21

Considere un anillo circular cargado. Obtenga una expresión para el valor del campo eléctrico sobre el eje de simetría.

## Problema 22

Considere un disco de radio  $R$  cargado con densidad superficial de carga  $\sigma$ .

- Obtenga una expresión para el valor del campo eléctrico sobre el eje de simetría.
- Verifique que en el límite  $z/R \rightarrow 0$ , se recupera el resultado para el plano infinito cargado.
- Verifique que en el límite  $z \rightarrow \infty$ , se recupera el resultado para una carga puntual.



*Ayuda:* generalice la expresión del campo eléctrico sobre el eje de simetría obtenida en el Problema 21.

## Problema 23

El campo eléctrico en el espacio comprendido entre dos láminas planas y paralelas, cargadas con cargas iguales y opuestas, es de  $10 \text{ N/C}$ , siendo  $100 \text{ cm}^2$  el área en cada lámina. Despreciando el efecto de los bordes, ¿cuál es la carga de cada una?

## Problema 24

Un plano, que coincide con el plano  $xy$ , tiene carga distribuida superficialmente, con densidad donde  $\alpha$  es una constante positiva.

$$\sigma(x, y) = -\frac{\alpha}{2\pi(d^2 + x^2 + y^2)^{3/2}},$$

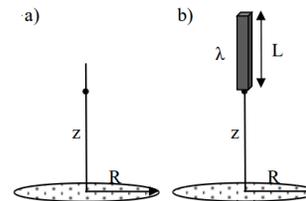
donde  $\alpha$  es una constante positiva.

- Determine la carga total contenida en el plano.
- Encuentre el campo eléctrico que la distribución anterior produce en el punto  $(0, 0, d)$ .
- Calcule la fuerza experimentada por una barra de densidad lineal de carga  $\lambda$  que se extiende entre  $(0, 0, d)$  y  $(0, 0, d + l)$ .

## Problema 25

Considere un disco de radio  $R$  con densidad superficial  $\sigma(r) = \sigma_0(1 + r/R)$ .

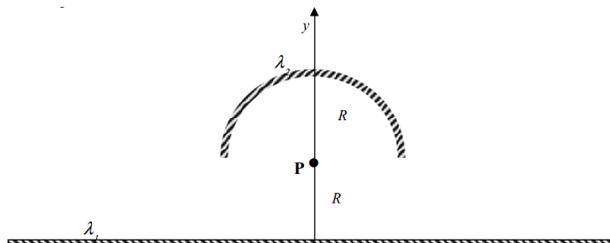
- Obtener una expresión para el valor del campo eléctrico a una distancia  $z$  sobre el eje de simetría.
- Determinar el potencial eléctrico sobre el mismo punto  $z$  en el eje de simetría.
- Si colocamos una barra de longitud  $L$  y densidad de carga lineal  $\lambda$ , a una distancia  $z$  del disco. Encontrar la fuerza que ejerce el disco sobre la barra.



## Problema 26

Un alambre infinito cargado con una densidad de carga lineal  $\lambda_1$  está enfrentado a un semi-anillo de radio  $R$  con densidad de carga  $\lambda_2$ , como se indica en la figura. Calcule:

- El *vector* campo eléctrico que generan el alambre y el semi-anillo en el punto  $P$ .
- El *vector* campo eléctrico que genera el alambre para cualquier punto que esté sobre el eje  $y$ .
- La fuerza que siente el semi-anillo a causa del campo eléctrico generado por el alambre infinito.

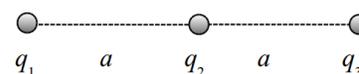


## Problema 27

Para el dipolo planteado en el Problema 9, calcule el potencial eléctrico en los puntos en cuestión.

## Problema 28

Tres cargas puntuales están alineadas y separadas entre sí por una distancia  $a = 10 \text{ cm}$ . Si  $q_1 = -2q_2$ , ¿Cuál es el potencial en el punto en el que se halla situada  $q_3$  debido a  $q_1$  y  $q_2$ ? Realice un gráfico para el potencial a lo largo del eje  $x$ .



## Problema 29

Tres cargas puntuales están ubicadas en los vértices de un triángulo equilátero separadas entre sí por una distancia de  $5\text{ cm}$ . Si  $q_1 = 2q_2$ . ¿Existe algún valor de  $q_3$  para el cual el campo eléctrico y el potencial en el punto en el que las tres bisectrices se cortan sea nulo?

## Problema 30

Dada una carga  $q > 0$  en el origen de coordenadas realizar un gráfico aproximado del potencial eléctrico a lo largo del eje  $x$ .

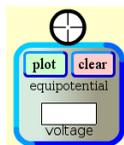
- Teniendo en cuenta que el campo eléctrico es  $\mathbf{E} = -\nabla V$ , graficar la intensidad del vector campo eléctrico a lo largo del eje  $x$  considerando que es positiva si el campo apunta a la derecha y que es negativa si apunta hacia la izquierda.
- Considerar la presencia de una segunda carga  $q > 0$  ubicada a una distancia  $d$  de la primera carga y graficar  $V(x)$  y  $E(x)$ . ¿Existe algún punto entre las cargas en el cual una carga de prueba no sentiría fuerza alguna? ¿Coincide este punto con el lugar en el que el potencial es nulo?
- Considerando ahora que esa segunda carga tiene signo negativo, graficar nuevamente  $V(x)$  y  $E(x)$ , y encontrar los puntos donde ambos se anulan.

## Problema 31

En este ejercicio se utiliza la simulación del problema anterior para analizar el potencial eléctrico y su relación con el campo eléctrico.

### Parte 1: Introducción

Sobre el lado derecho de la aplicación activar SOLAMENTE las opciones “show numbers” y “grid”. Colocar una carga positiva en el centro de la grilla. Haciendo uso del mouse mover el sensor de potencial (ver figura para referencia) en toda la región de estudio, observando qué sucede con el color dentro del círculo y los números en la celda inferior.

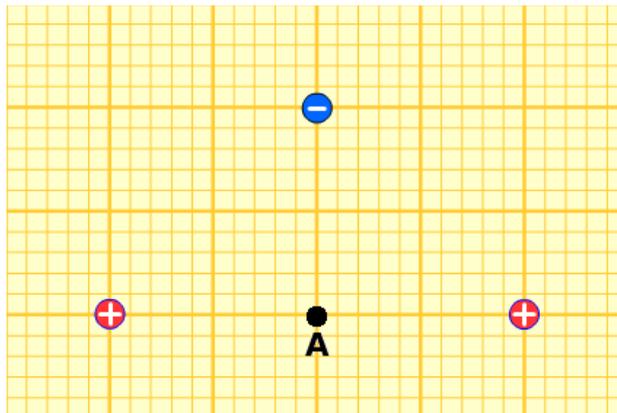
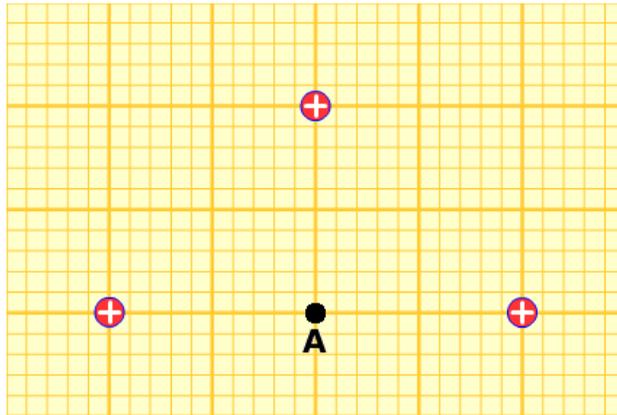


- Calcular analíticamente el potencial a un metro a la izquierda de la carga positiva. Comparar el resultado con el obtenido en la simulación (celda inferior del sensor).
- Sin cambiar la localización del sensor de potencial, hacer “click” en “plot”. ¿Qué indica el gráfico obtenido?
- Calcular analíticamente el potencial a  $2.0\text{ m}$  a la derecha de la carga. Comparar con el resultado del sensor.
- En base a los resultados del inciso  $c)$ , cuánto vale el potencial a  $2.0\text{ m}$  por debajo de la carga? ¿por qué?

- e) Eliminar la carga positiva y reemplazarla por una negativa. Nuevamente analizar el color y los valores que se obtienen moviendo el sensor de potencial en la región de estudio. Repetir los puntos a) a d) para esta situación.

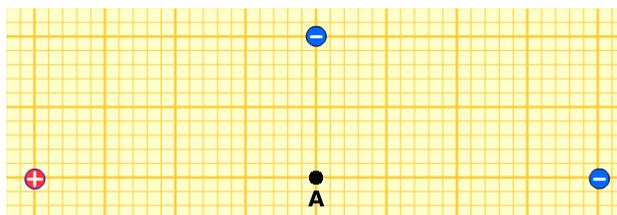
### Parte 2: Potencial Eléctrico y superposición

Para cada situación, calcular el potencial eléctrico en el punto A y comparar el cálculo con lo obtenido a partir del sensor de potencial.

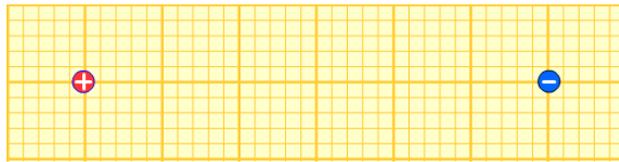


### Parte 3: Campo eléctrico y Potencial eléctrico

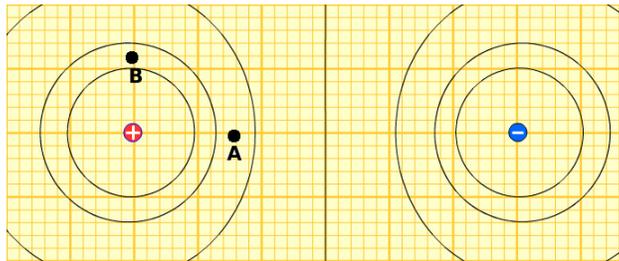
- a) Colocar dos cargas tal como se muestra en la figura y calcular analíticamente el campo eléctrico y el potencial en el punto medio entre las dos cargas. Comparar el valor obtenido con el que se obtiene de la simulación.



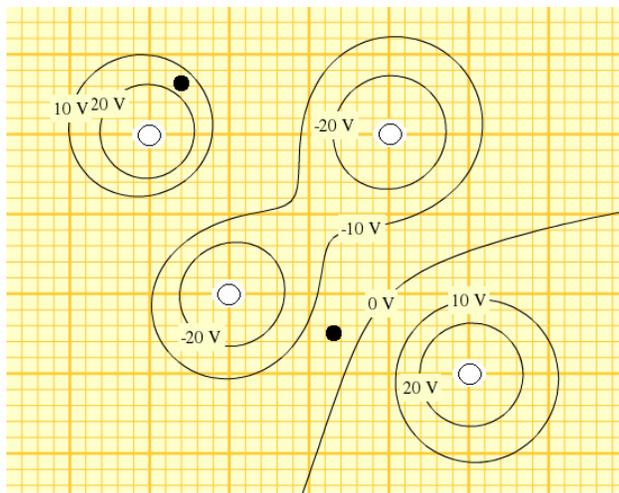
- b) Utilizar la herramienta para graficar equipotenciales y graficar las equipotenciales correspondientes a los siguientes valores:  $-15V$ ,  $-10V$ ,  $-5V$ ,  $0V$ ,  $+5V$ ,  $+10V$ ,  $+15V$ .
- c) ¿Por qué las líneas se acercan entre sí a medida que nos acercamos a las cargas?
- d) Mostrar el campo eléctrico de la configuración seleccionando “Show E-Field”. ¿Cómo se distingue la intensidad del campo eléctrico a partir del gráfico obtenido en la simulación?
- e) ¿Cómo se relaciona la dirección del campo eléctrico con las equipotenciales graficadas anteriormente? ¿cómo se relaciona la intensidad del campo eléctrico con las equipotenciales?
- f) Calcular la intensidad y dirección del campo eléctrico en los puntos  $A$  y  $B$  de la siguiente figura.



- g) Comparar los resultados obtenidos con los que surgen del sensor de campo eléctrico, para esto colocar un “E-Field Sensor” utilizando el mouse.



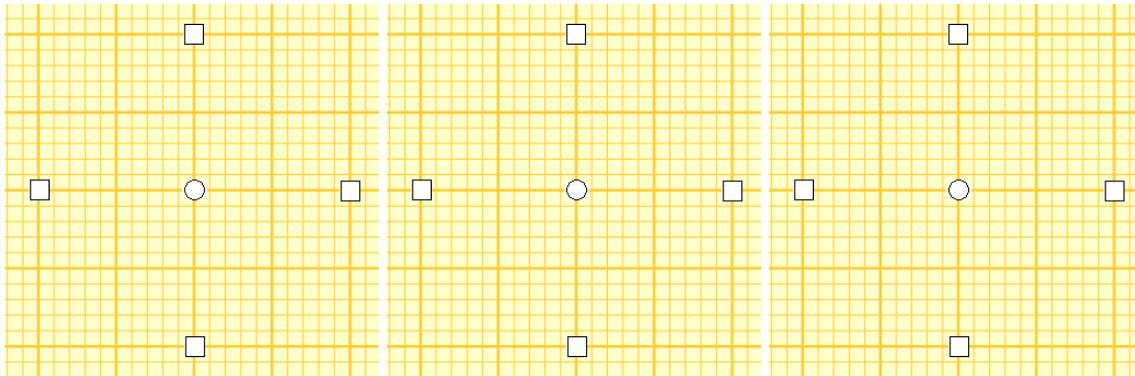
- h) Identificar los valores de las cargas, colocando + o - según corresponda, en la siguiente figura:



- i) Graficar las líneas de campo eléctrico para el diagrama anterior. ¿en qué punto el campo eléctrico es más intenso, en el círculo o en el cuadrado? ¿por qué?

#### Parte 4: Potencial eléctrico y cargas múltiples

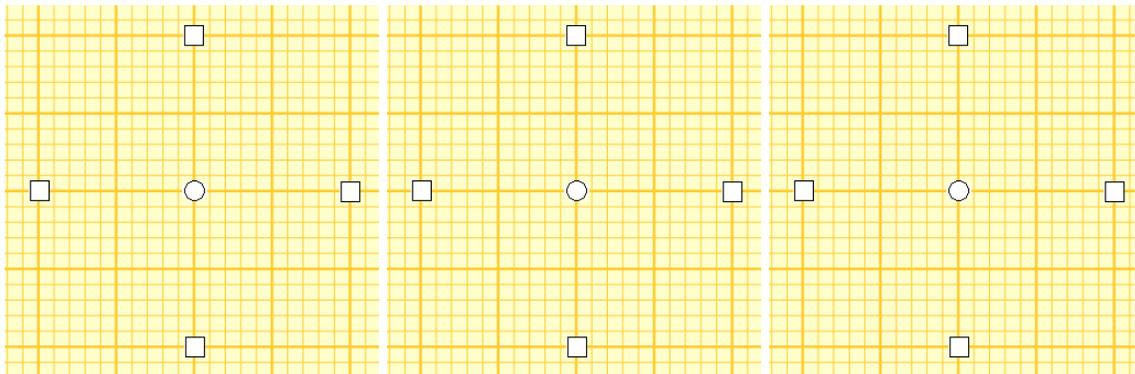
Generar el campo eléctrico y el potencial requeridos en cada caso, ubicando adecuadamente cargas (positiva o negativa, según corresponda) en los cuadrados blancos. En cada situación, todos los cuadrados deben tener una carga. Corroborar sus predicciones utilizando los sensores de potencial y de campo eléctrico.



(a) Campo eléctrico cero y potencial positivo.

(b) Campo eléctrico cero y potencial cero.

(c) Campo eléctrico dirigido a la derecha y potencial negativo.



(d) Campo eléctrico dirigido a 45 grados y potencial cero.

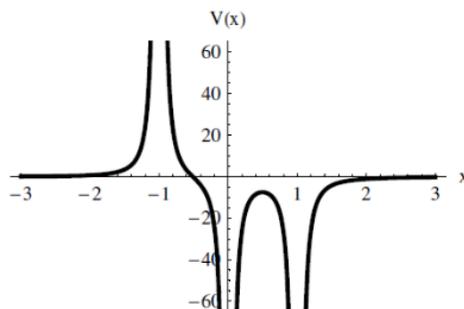
(e) Campo eléctrico dirigido a 315 grados y potencial cero.

(f) Campo eléctrico dirigido a 180 grados y potencial positivo.

### Problema 32

Considere la siguiente gráfica para el potencial a lo largo del eje  $x$ .

- Indique qué configuraciones de cargas da lugar a dicho potencial.
- Grafique el valor del campo eléctrico a lo largo del eje  $x$ .



### Problema 33

Considere dos cilindros huecos coaxiales cargados de radios  $a$  y  $b$  respectivamente, de longitud infinita.

- Obtener una expresión para el campo eléctrico entre los cilindros. (*Ayuda:* para  $r > a$  puede pensarse como un hilo con densidad lineal de carga  $\lambda$ ).
- Calcular el potencial  $V_r$  en el punto  $P$  como función de  $V_{ab}$ , donde  $V_a$  y  $V_b$  son los potenciales de los cilindros interior y exterior.
- Sean  $V_a = +400\text{ V}$  y  $V_b = -400\text{ V}$ ,  $a = 1\text{ cm}$  y  $b = 10\text{ cm}$ . Calcúlese los radios de las superficies equipotenciales correspondientes a  $+200\text{ V}$ ,  $0$  y  $-200\text{ V}$ . Dibujarlas.
- Graficar  $V(r)$  y  $E(r)$ .

