

## SESIÓN 2

### ELECTROSTÁTICA II

#### I. CONTENIDOS:

1. Campo eléctrico.
2. Potencial eléctrico.

#### II. OBJETIVOS:

Al término de la Sesión, el alumno:

- Definirá el campo eléctrico y explicará qué factores determinan su magnitud y su dirección.
- Calculará el campo eléctrico producido por una carga.
- Calculará el potencial eléctrico en cualquier punto de la vecindad de cierto número de cargas conocidas.

#### III. PROBLEMATIZACIÓN:

*Comenta las preguntas con tu asesor y selecciona las ideas más significativas.*

- ¿De qué manera la presencia de una masa altera el espacio que le rodea?
- ¿Qué cambios puede experimentar una carga en movimiento en términos de energía?

#### IV. TEXTO INFORMATIVO-FORMATIVO:

##### **1.1. Campo eléctrico**

Las cargas eléctricas crean una zona de influencia en sus alrededores. El campo eléctrico es un conjunto de fuerzas en el espacio alrededor de una carga eléctrica, causadas por la influencia de la carga en su entorno. Cualquier carga eléctrica en medio de un campo eléctrico, se ve afectada sufriendo una fuerza de atracción o de repulsión según el signo de su carga.

Se tiene una manera para medir el campo eléctrico y es a través de la intensidad de campo eléctrico. Esta magnitud se simboliza con la letra E, y corresponde a la fuerza de atracción o repulsión que tendría una carga de prueba “q<sub>o</sub>”, en una posición específica en un campo eléctrico generado por una carga “q”, dividida entre la magnitud de la carga “q<sub>o</sub>”.

$$E = \frac{F}{q_o} \qquad F = Eq_o \qquad q_o = \frac{F}{E}$$

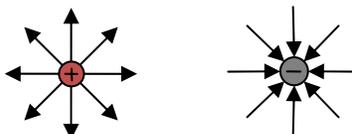
Como podemos apreciar en las fórmulas, la fuerza que experimenta una carga de prueba “q<sub>o</sub>”, es directamente proporcional al campo eléctrico donde se encuentra. De este modo, si una carga eléctrica no experimenta fuerza de atracción o repulsión entonces, en la posición donde se encuentra no hay campo eléctrico.

La intensidad del campo eléctrico aumenta en la proximidad de la carga que lo genera “q”; es inversamente proporcional con el cuadrado de la distancia desde la carga “q” hasta la carga “q<sub>o</sub>”, y es directamente proporcional a la magnitud de la carga “q”. El campo eléctrico también se puede calcular con la siguiente fórmula, además se agregan los despejes de los otros parámetros:

$$E = \frac{kq}{d^2} \qquad d = \sqrt{\frac{qk}{E}} \qquad q = \frac{Ed^2}{k}$$

La dirección del campo eléctrico se determina a partir del concepto de líneas de fuerza eléctricas. Las líneas de fuerza de un campo eléctrico se definen como las líneas rectas o curvas que son

tangentes a la dirección del campo eléctrico. Si pensamos en una carga eléctrica que ocupe un lugar en el espacio muy pequeño, estamos ante el concepto de carga puntual “ $q$ ”; ahora imaginemos que se coloca en diversas posiciones alrededor de “ $q$ ” otra carga eléctrica “ $q_0$ ”, llamada carga de prueba, de menor magnitud, ésta carga será atraída o rechazada por la carga “ $q$ ” siguiendo una determinada trayectoria, la dirección de esa trayectoria es la orientación del campo eléctrico en cada punto alrededor de la carga “ $q$ ”. Entendido esto, pensemos en un conjunto de puntos que siguen una determinada trayectoria desde la carga “ $q$ ” y que en cada punto se determinó la dirección del campo eléctrico producido; tenemos así una serie de líneas, si disponemos una curva que sea tangente a esas líneas, la curva será una de las líneas de fuerza de campo eléctrico generado por la carga “ $q$ ” en interacción con otra u otras cargas eléctricas.



Las figuras anteriores representan las líneas de fuerza de campo eléctrico en cargas eléctricas de diferente signo, como se puede ver en las cargas positivas las líneas emergen de la carga, y en las cargas negativas las líneas se dirigen hacia la carga. Se dice que las cargas positivas son fuentes y las negativas sumideros.

Una línea de fuerza de campo eléctrico tienen las siguientes características:

1. La magnitud de la carga eléctrica “ $q$ ” determina el número de líneas de fuerza que surgen o llegan a ella, entre mayor sea la magnitud mayor será el número de líneas.
2. Una carga eléctrica de prueba, seguirá la trayectoria de una línea de fuerza del campo eléctrico dónde se encuentra.
3. Una línea de fuerza debe ser perpendicular a la superficie de un cuerpo cargado en el punto de contacto, pues es la orientación que seguiría la carga de prueba en su desplazamiento acercándose o alejándose de la carga que produce el campo eléctrico.
4. Una línea de fuerza sólo puede comenzar o terminar en una carga eléctrica pues ésta es la que le da origen.
5. Las líneas de fuerza representan la dirección del campo eléctrico, la magnitud del campo eléctrico es directamente proporcional al número de líneas de fuerza que cruzan la unidad de área perpendicular al campo eléctrico. Cuando se localizan regiones que tienen la misma cantidad de líneas de fuerza por unidad de área, entonces se tiene un campo eléctrico uniforme. Un campo eléctrico uniforme se puede generar con dos placas paralelas con cargas eléctricas opuestas, esto ocurre porque las líneas de fuerza son perpendiculares a las superficies de las placas, y como las placas son paralelas las líneas también lo son entre sí, permitiendo que haya igual separación entre líneas de fuerza en cualquier punto del campo eléctrico.
6. Las líneas de fuerza del campo eléctrico son curvas tangentes a los vectores de las intensidades de campo eléctrico en cada punto alrededor de una carga eléctrica, por esta razón las líneas de fuerza son radiales respecto de una carga eléctrica; si se trata de una carga puntual entonces la dirección de los vectores de la intensidad de campo eléctrico será siempre perpendicular a la superficie.
7. Cuando interactúan dos o más cargas eléctricas se establece un campo eléctrico conjunto, que depende de la posición relativa de las cargas y de su magnitud. Este campo eléctrico conjunto forma un diseño específico de líneas de fuerza, estas líneas de fuerza no se pueden cortar, pues corresponden a un campo eléctrico único.
8. Para un conductor aislado, que tenga carga eléctrica, las líneas de fuerza surgen de él o se dirigen a él. No pueden comenzar y terminar en el mismo conductor porque éste tiene sólo un tipo de carga eléctrica, positiva o negativa.

**Ejemplo 1** Calcula la intensidad de campo eléctrico en el punto donde se encuentra una carga de 8 nC, que experimenta una fuerza de repulsión hacia arriba de 2 N. Para resolver el problema, se consideran los datos y se busca una fórmula que permita calcular la intensidad de campo eléctrico, la fórmula y sustitución son:

$$E = \frac{F}{q_o} = \frac{2}{8 \times 10^{-9}} = 250000000 \frac{N}{C}$$

**Ejemplo 2** Un punto dentro de un campo eléctrico está a 3 cm. de la carga que produce el campo, cuya magnitud es de 5 mC. Calcula la intensidad de campo eléctrico en ese punto, además calcula la magnitud de la fuerza que actuará sobre una carga de prueba de 7 nC en dicho punto.

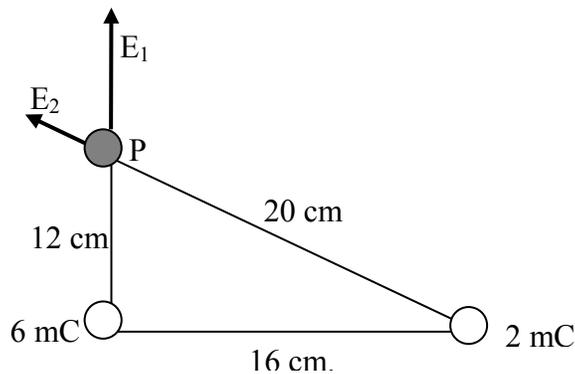
Para resolver el problema se considera la carga "q" de 5 mC, y la distancia "d" de 3 cm. para calcular la intensidad de campo eléctrico en esa posición:

$$E = \frac{kq}{d^2} = \frac{(9 \times 10^9)(5 \times 10^{-3})}{(3 \times 10^{-2})^2} = \frac{4.5 \times 10^7}{9 \times 10^{-4}} = 5 \times 10^{10} = 50000000000 \frac{N}{C}$$

Después, se determina la magnitud de la fuerza "F", que experimenta la carga "q<sub>o</sub>" de 7 nC, con el campo eléctrico calculado:

$$F = Eq_o = (50000000000)(7 \times 10^{-9}) = 350 N$$

**Ejemplo 3** Calcula la intensidad de campo eléctrico en el punto "P" de la figura:



Para comenzar, se calculan los campos eléctricos  $E_1$  y  $E_2$

$$E_1 = \frac{kq}{d^2} = \frac{(9 \times 10^9)(6 \times 10^{-3})}{(12 \times 10^{-2})^2} = \frac{5.4 \times 10^7}{1.44 \times 10^{-2}} = 3.75 \times 10^9 = 3750000000 \frac{N}{C}$$

$$E_2 = \frac{kq}{d^2} = \frac{(9 \times 10^9)(2 \times 10^{-3})}{(20 \times 10^{-2})^2} = \frac{1.8 \times 10^7}{4 \times 10^{-2}} = 4.5 \times 10^8 = 450000000 \frac{N}{C}$$

Finalmente se utiliza la fórmula antes vista para vectores no colineales:

$$E_R = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}$$

Dónde el ángulo entre vectores tiene una medida, según las funciones trigonométricas de:

$$\alpha = \arcsen\left(\frac{16}{20}\right) = 53.13^\circ \quad \text{Sustituyendo en la fórmula:}$$

$$E_R = \sqrt{(3.75 \times 10^9)^2 + (4.5 \times 10^8)^2 + (2)(3.75 \times 10^9)(4.5 \times 10^8)(\cos 53.13^\circ)}$$

$$E_R = 4036087812 \frac{N}{C}$$

## 2.1. Potencial eléctrico

El potencial eléctrico, en una posición en un campo eléctrico, se puede definir como el trabajo necesario para mover una unidad de carga desde la referencia hasta ese punto. Para comprender esto es necesario recordar el concepto de trabajo. En física I, estudiaste que el trabajo es la aplicación de una fuerza para que un objeto se desplace una determinada distancia; sin fuerza aplicada o sin desplazamiento no hay trabajo realizado. Ahora bien, consideremos una carga eléctrica de prueba dispuesta en un campo eléctrico generado por otra carga eléctrica. Si la carga de prueba se mueve a consecuencia de las fuerzas del campo, entonces el campo realizó un trabajo sobre la carga de prueba; pero si una fuerza externa mueve a la carga de prueba en contra de la influencia del campo eléctrico, entonces se ha realizado un trabajo sobre la carga de prueba empleando una energía externa que se almacena en la carga de prueba. La energía que almacena se llama energía potencial eléctrica, es la energía que posee una partícula en virtud de su posición en un campo eléctrico; esta energía es una propiedad del espacio y de la carga eléctrica de prueba en un campo eléctrico, se calcula con la fórmula:

$$U = \frac{kqq_o}{d}$$

La energía que se ha descrito anteriormente es energía potencial, tal como estudiaste también en física I; esta energía se describe usando como referencia la superficie de la tierra. Ahora en el ámbito de la electrostática, la referencia será el potencial de la tierra que es una fuente inagotable de electrones y se considera con potencial eléctrico de cero. Cada posición de la carga de prueba, en un campo eléctrico, tiene un determinado potencial eléctrico. El potencial eléctrico  $V$  es la energía potencial eléctrica dividida entre la magnitud de la carga de prueba. Se mide en voltios.

$$V = \frac{qk}{d} \quad d = \frac{qk}{V} \quad q = \frac{Vd}{k}$$

En un campo eléctrico uniforme, como el que hay entre dos placas paralelas, donde  $d$  es la distancia entre las placas y  $E$  es el campo eléctrico, se cumple:

$$V = Ed \quad E = \frac{V}{d} \quad d = \frac{V}{E}$$

Dos posiciones en un campo eléctrico pueden tener diferente potencial eléctrico, conociendo éstos se puede calcular el trabajo necesario para mover una carga desde un punto hasta otro. De este modo ya se puede decir que el potencial eléctrico es una propiedad del espacio en un campo eléctrico y el campo eléctrico es un conjunto de propiedades del espacio que rodea una carga eléctrica. La diferencia de potencial o voltaje, entre dos puntos en un campo eléctrico, es el trabajo realizado para mover la unidad de carga eléctrica entre esas dos posiciones. Se mide en voltios. Y se representa con el símbolo  $V$ . De este modo, si un conductor está en contacto con la tierra, tiene el mismo potencial que la tierra: cero, en estas condiciones se dice de manera coloquial que el conductor está "haciendo tierra" o está "aterrizado".

$$\Delta V = \frac{W_{ab}}{q_o} \quad W_{ab} = \Delta V q_o \quad q_o = \frac{W_{ab}}{\Delta V}$$

Donde  $W_{ab}$  es el trabajo necesario para mover la carga  $q_o$  con la energía de la diferencia de potencial  $\Delta V$  desde el punto "a" hasta el punto "b".

Un conductor esférico aislado presenta una superficie equipotencial debido a que las cargas, todas del mismo signo se rechazan y se disponen en la superficie, el significado de esto es que regiones concéntricas del espacio que rodea al conductor tienen el mismo potencial eléctrico. En el centro del conductor no hay campo eléctrico debido a que las cargas equidistantes producen fuerzas de la misma naturaleza que se anulan entre sí, al no haber campo eléctrico tampoco hay

potencial eléctrico. Tampoco hay diferencia de potencial en la superficie del conductor esférico cargado, debido a que en cada punto existe el mismo potencial. En una superficie equipotencial no se realiza trabajo al mover cargas eléctricas debido a que la diferencia de potencial es cero. Las líneas de fuerza del campo magnético son perpendiculares a las superficies equipotenciales; como las líneas de fuerza indican la dirección en que actúa la fuerza asociada a un punto en el campo eléctrico y en la dirección perpendicular es cero su componente, entonces no se realiza trabajo al mover una carga eléctrica en una superficie equipotencial. Por otra parte como la superficie es equipotencial entonces las líneas de fuerza deben ser perpendiculares a la superficie, y por lo mismo las líneas de fuerza no pueden empezar y terminar en el mismo conductor.

**Ejemplo 4** ¿Cuál es el potencial eléctrico a 10 cm de la superficie de una esfera metálica con radio de 2 que tiene una carga de 4 nC? ¿Cuál es el potencial en la superficie de la esfera?

Datos	Fórmula	Sustitución	Resultado
$q = 4 \times 10^{-9} \text{ C}$ $d = 12 \times 10^{-2} \text{ m}$	$V = \frac{qk}{d}$	$V = \frac{(4 \times 10^{-9})(9 \times 10^9)}{12 \times 10^{-2}}$	El potencial eléctrico a 10 cm de la superficie de la esfera es 300 V
$q = 4 \times 10^{-9} \text{ C}$ $d = 2 \times 10^{-2} \text{ m}$	$V = \frac{qk}{d}$	$V = \frac{(4 \times 10^{-9})(9 \times 10^9)}{2 \times 10^{-2}}$	El potencial eléctrico en la superficie de la esfera es 1800 V

**Ejemplo 5** ¿Cuál es el trabajo realizado para mover una carga de -7 nC desde una posición a 20 cm de una carga de 8 mC hasta otra posición a sólo 5 cm de la misma carga?

Primero calculamos el potencial eléctrico en cada posición:

$$V_a = \frac{qk}{d} = \frac{(8 \times 10^{-3})(9 \times 10^9)}{20 \times 10^{-2}} = 360000000 \text{ V}$$

$$V_b = \frac{qk}{d} = \frac{(8 \times 10^{-3})(9 \times 10^9)}{5 \times 10^{-2}} = 1440000000 \text{ V}$$

$$\text{Luego la diferencia de potencial } \Delta V = 360000000 - 1440000000 = -1080000000$$

Finalmente, la fórmula para el cálculo del trabajo, sustituyendo:

$$W_{ab} = \Delta V q_o = (-1080000000)(-7 \times 10^{-9}) = 7.56 \text{ J}$$

El resultado anterior significa que el campo eléctrico, producido por la carga de 8 mC, ejerció un trabajo de 7.56 Joules sobre la carga de -7 nC

**Ejemplo 6** Una carga eléctrica de 6 nC está a la izquierda de otra carga de -7 nC, la distancia entre las cargas es de 30 cm. ¿Cuál es el potencial eléctrico a 10 cm a la derecha de la primera carga?

Para resolver el problema, calculamos los potenciales eléctricos para cada carga y luego los sumamos, debido a que presentan las cargas signos diferentes:

$$V_a = \frac{qk}{d} = \frac{(6 \times 10^{-9})(9 \times 10^9)}{10 \times 10^{-2}} = 540 \text{ V}$$

$$V_b = \frac{qk}{d} = \frac{(7 \times 10^{-9})(9 \times 10^9)}{20 \times 10^{-2}} = 315 \text{ V}$$

Finalmente sumamos los potenciales y el resultado es 815 voltios.