

TEMAS 3. INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

1. CAMPO ELÉCTRICO

- 1.1.- Naturaleza eléctrica de la materia.
- 1.2.- La carga eléctrica: conservación y cuantización de la carga eléctrica.
- 1.3.- Ley de Coulomb. Interacción electrostática.
- 1.4.- Intensidad de campo eléctrico. Líneas de campo.
- 1.5.- Teorema de Gauss. Jaula de Faraday.
- 1.6.- Trabajo en el campo eléctrico. Energía potencial eléctrica. Potencial eléctrico. Superficies equipotenciales.
- 1.7.- Relación entre el campo y el potencial eléctricos.
- 1.8.- Movimiento de cargas en campos eléctricos uniformes.

1.1. Naturaleza eléctrica de la materia

Desde que el hombre es hombre conoce algunos fenómenos eléctricos como los rayos, si bien su estudio, como toda la ciencia occidental comienza en Grecia. En un principio se confundían los fenómenos eléctricos y los magnéticos, suponían que la fuerza con que un trozo de ámbar frotado en lana atrae pequeños trozos de hierba seca era semejante a la fuerza con que un trozo de magnetita atrae al hierro. Lo que quedó claro desde un principio es que hay dos clases de electricidad: la del vidrio cuando se frota y la del ámbar, a una se la llamó vitrea y a la otra resinosa... En el S.XVII comenzó un estudio serio de este tipo de interacción (Hasta entonces lo único que se habían construido eran máquinas eléctricas... Du Fay etc.), por iniciativa de B. Franklin a la electricidad vitrea se le llamó positiva y a la resinosa negativa. Franklin estudió la conductividad eléctrica. Intentaba explicarla mediante los fluidos ponderales y confundía las causas (Cargas eléctricas) con los efectos (La fuerza eléctrica).

1.2.- La carga eléctrica: conservación y cuantización de la carga eléctrica.

Se observa que dos cargas del mismo signo se repelen y dos cargas de diferente signo se atraen. Hoy sabemos que los átomos suelen ser neutros y están formados por tres tipos de partículas, los protones, neutrones y electrones. Decimos que un cuerpo está cargado positivamente cuando tiene un defecto de electrones y negativamente cuando tiene un exceso de electrones. La unidad de carga eléctrica es el Culombio, Como esta unidad es muy grande se suele utilizar el micro culombio $1\mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}$. La carga elemental es la del electrón que es la más pequeña que podemos encontrar y vale $1.6 \cdot 10^{-19}\text{C}$

$$1\text{ mol electrones} = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{C} \cdot 6,022 \cdot 10^{23}\text{ electrones/1 mol} = 96352\text{ C Unidad de Faraday}$$

De las cargas, no sabemos lo que son y si sabemos que se conservan, que son discretas y que el universo es neutro.

1.3 Ley de Coulomb. Interacción electrostática

La electrostática estudia cargas en posiciones fijas. Aunque Cavendish estuvo a punto de descubrir la ley que describe la fuerza con que se atraen o se repelen dos cuerpos cargados, el mérito se lo llevó Charles A. Coulomb, esta ley dice: ***"Dos cuerpos cargados se atraen o se repelen con una fuerza directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. La constante de proporcionalidad depende del medio"***



$$\vec{F} = k \frac{QQ'}{R^2} \vec{u}_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{QQ'}{R^2} \vec{u}_r$$

\vec{u}_r = Vector unitario con sentido hacia la separación de las cargas.
 $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ en el vacío
 ϵ_0 se le llama constante dieléctrica del vacío o permitividad del vacío = $8,9 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$

La fuerza electrostática es central, al igual que la fuerza gravitatoria por lo que es una fuerza conservativa.

El valor de esta fuerza depende del medio, a diferencia de lo que sucedía con la fuerza gravitatoria. El valor de la constante varía en función del medio.

Principio de superposición de fuerzas: "La fuerza que siente una carga q_2 debido a otra carga q_1 es independiente de que haya más cargas ejerciendo otras fuerzas" Esto en la práctica significa que cuando tenemos muchas cargas, las fuerzas se suman.

1.4.- Intensidad de campo eléctrico. Líneas de campo

a) Campo eléctrico: Región del espacio cuyas propiedades son alteradas por la presencia de una carga.

El campo se puede definir desde un punto de vista dinámico o energético con:

- Intensidad en cada punto (desde el punto de vista dinámico).
- Potencial en cada punto (desde un punto de vista energético).

Igualmente, el efecto del campo sobre una partícula se puede estudiar desde los dos puntos de vista:

- Fuerza que actúa sobre una partícula (Dinámico)
- Energía potencial asociada a la posición relativa de una partícula en el campo (enfoque energético).

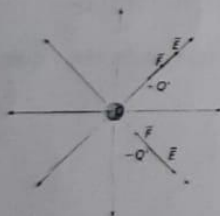
a) **Intensidad del campo eléctrico (E)** en un punto es la fuerza que actúa sobre la unidad de carga testigo positiva situada en dicho punto.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q'} = k \frac{Q}{R^2} \vec{u}_r$$

Unidades de E (N/C) También se utiliza V/m

Características de la intensidad de campo eléctrico E:

- Es un vector direccional radial.
- Si Q es positiva, el vector E irá hacia fuera, y si es negativa, irá hacia dentro.
- El sentido del campo es el mismo que tendrá una carga positiva en ese campo.



$$\vec{F} = Q'\vec{E}$$

Superposición del campo eléctrico. Si existen varias cargas, en un punto determinado existe un campo eléctrico debido a cada una de ellas.

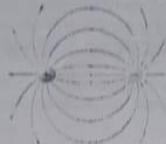
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i = k \left(\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{r_i^2} \vec{u}_{r_i} \right)$$

TEMA 3. INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA
b) Líneas de fuerza

Se trazan de modo que su dirección y sentido coinciden, en cada punto del espacio, con la fuerza que actúa sobre la carga testigo positiva.

Características:

- Radiales y simétricas. Salientes si es carga positiva, y entrantes si es una carga negativa.
- Su número es proporcional a la carga.
- Tangentes al vector campo.
- El número de líneas que atraviesa una superficie, es proporcional al valor del campo en ese punto.
- La densidad de carga, es mayor en las proximidades de la carga y disminuye a razón de $1/r^2$.
- A cada punto le corresponde una única línea (no se cortan)



1.5.- Teorema de Gauss

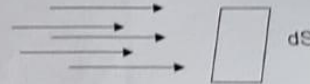
Hace uso del concepto de flujo y nos va a servir para calcular el campo eléctrico debido a cuerpos que presentan cierta simetría.

Para entender algo el teorema de Gauss, hay que entender primero el concepto de flujo Φ , se define el flujo electrostático a través de una superficie como el número de líneas de fuerza electrostática que atraviesan esa superficie.

Este flujo va a depender por tanto del tamaño de la superficie, del nº de líneas de campo y de la orientación de dicha S.

Formalmente el flujo se calcula: $\Phi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$ donde dS

es tan pequeña que la fuerza es constante en ese elemento.



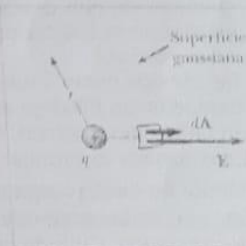
El **teorema de Gauss** dice que "el flujo del campo eléctrico a través de una superficie cerrada es proporcional a la carga que hay en su interior".

$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Demostración: Tomo superficie esférica que contiene una carga Q

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \oint dS = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2} \oint dS = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2} 4\pi R^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Este teorema se utiliza sobre todo para calcular el campo eléctrico en condiciones de simetría en lugar de utilizar la ecuación de Coulomb.



Campo eléctrico creado por un elemento continuo: esfera, hilo y placa.

a) Campo eléctrico creado por una esfera a una distancia R:

$$\Phi = \oint E \cdot dS = E \oint dS = ES = E4\pi R^2 = \frac{Q}{\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2}$$

b) Campo eléctrico creado por un hilo infinito a una distancia R

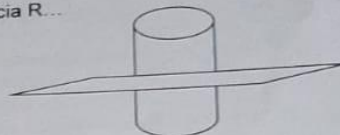
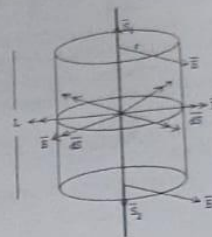
$$\Phi = \oint E \cdot dS = E \oint dS = ES = E2\pi RL = \frac{\lambda L}{\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 R}$$

Donde λ = densidad de carga lineal = $\frac{Q}{L}$

c) Campo eléctrico creado por una placa infinita a una distancia R...

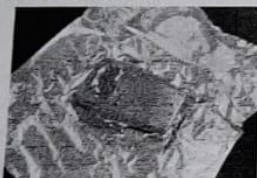
$$\Phi = \oint E \cdot dS = E \oint dS = E2A = \frac{\sigma A}{\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Donde σ = densidad de carga por área = $\frac{Q}{A}$



Jaula de Faraday

La Jaula de Faraday es un cuerpo cerrado que no permite la entrada de campos electromagnéticos dentro de ella.



Michael Faraday construyó la famosa jaula en 1836 para demostrar la ley de Gauss.

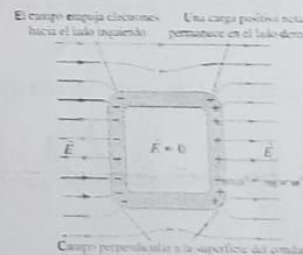
Para demostrar el postulado, construyó una habitación cubierta con una capa de metal, permitiendo que descargas de alto voltaje incidieran en la parte exterior de la habitación. En el interior de la habitación se introdujo un electroscopio, para mostrar que no había carga eléctrica en el interior.

Se conoce como Jaula de Faraday a un sistema cerrado, construido de un material conductor, formando un blindaje electrostático. Este sistema tiene la particularidad de que al estar inmerso en un campo eléctrico, en su interior el campo es nulo.

Esto explica lo propuesto por la Ley de Gauss: El flujo total en una superficie cerrada en cuyo interior no existe carga eléctrica es nulo. $\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$

Se basa en las propiedades de un conductor en equilibrio electrostático. Cuando la caja metálica se coloca en presencia de un campo eléctrico externo, las cargas positivas se quedan en las posiciones de la red; los electrones, sin embargo, que en un metal son libres, empiezan a moverse puesto que sobre ellos actúa una fuerza eléctrica.

Caja conductora inmersa en un campo eléctrico uniforme. El campo de las cargas inducidas en la caja se combina con el campo uniforme para dar un campo total de cero en el interior de la caja.



TEMA 3. INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Algunos ejemplos de jaula de Faraday sería el problema que tenemos de recibir las ondas electromagnéticas un teléfono en un ascensor o en algunos edificios. Otro ejemplo sería el hecho de que los pasajeros de un avión en el que impacte un rayo, no se vean afectados por este.



1.6.- Trabajo en el campo eléctrico. Energía potencial eléctrica. Potencial eléctrico. Superficies equipotenciales.

1.6.1.-Trabajo. Energía potencial

La interacción descrita por Coulomb, es conservativa ya que tiene carácter central. Por ello se puede asociar una energía potencial en función de la posición de una carga en un campo. Como valor 0, se tomará la energía de una carga a una distancia infinita del origen del campo. El signo de la energía potencial dependerá del signo de las cargas.

Vamos a suponer un campo creado por una carga puntual Q positiva.

Se calcula el trabajo necesario para acercar la carga positiva o negativa desde el infinito hasta una distancia r será de la forma:

$$W = \int_{\infty}^r \vec{F} \cdot d\vec{r}$$
$$W = -\Delta E_p = E_p(\infty) - E_p(r)$$

Si las cargas son de distinto signo: La fuerza será atractiva y su signo será negativo.

$$F = -k \frac{QQ'}{r^2}$$
$$W = -kQQ' \int_{\infty}^r \frac{1}{r^2} dr = -kQQ' \left(-\frac{1}{r} \right)_{\infty}^r = k \frac{QQ'}{r}$$
$$E_p(r) = -k \frac{QQ'}{r}$$

Por ello el trabajo realizado para acercar cargas de distinto signo es positivo.

Si las cargas son del mismo signo: La fuerza será repulsiva y su signo será positivo.

$$F = k \frac{QQ'}{r^2}$$
$$W = kQQ' \int_{\infty}^r \frac{1}{r^2} dr = kQQ' \left(-\frac{1}{r} \right)_{\infty}^r = -k \frac{QQ'}{r}$$
$$E_p(r) = k \frac{QQ'}{r}$$

Por ello el trabajo realizado para acercar cargas del mismo signo es negativo.

Si el trabajo es positivo, el trabajo será realizado por el campo, a costa de perder energía potencial almacenada.

Si el trabajo es negativo, el trabajo será realizado en contra del campo y la energía potencial del sistema se incrementa.

1.6.2.- Potencial eléctrico.

El potencial eléctrico V en el punto P es la energía potencial que corresponde a la unidad de carga testigo positiva colocada en ese punto.

$$V(r) = \frac{kQ}{r} = k \frac{Q}{r}$$

Q' = carga testigo

El potencial tendrá el mismo signo que la carga Q que lo origina.

Unidades: el Voltio (V) $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$

Si el potencial es generado por varias cargas:

$$V_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n V_i = k \left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} + \dots + \frac{Q_n}{r_n} \right) = k \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{r_i}$$

$$E_p = Q' V_{\text{total}}$$

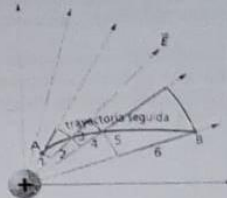
1.6.3- Diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico

Deseo trasladar una carga Q' desde el punto A al punto B en el seno de un campo eléctrico E .

$$W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = Q' \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$-\Delta E_p = Q' \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} \rightarrow \Delta E_p = -Q' \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$E_p(B) - E_p(A) = -Q' \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$



Por la definición de energía potencial.

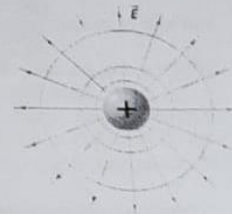
$$\frac{E_p(B) - E_p(A)}{Q'} = V_B - V_A = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$W_{AB} = -Q'(V_B - V_A) = -Q'\Delta V$$

La diferencia de potencial entre dos puntos A y B equivale al trabajo que debe realizarse contra el campo, para desplazar una unidad de carga testigo desde A hasta B, suponiendo que no varía su energía cinética.

Superficies equipotenciales: Son superficies formadas por puntos que tienen el mismo potencial eléctrico. Son perpendiculares al vector campo.

Cuando una carga se desplaza por una superficie equipotencial, el campo no realiza ningún trabajo sobre ella.

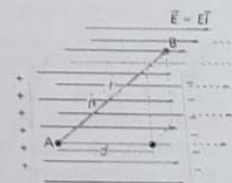


1.6.4- Diferencia de potencial en un campo eléctrico uniforme. Dos placas planas

Supongamos dos placas paralelas planas en la que se establece una diferencia de potencial.

Se generará un campo uniforme en el que las líneas de campo son paralelas entre sí.

$$V_B - V_A = -Q \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = \vec{E} \cdot (\vec{r}_B - \vec{r}_A)$$



$$(\vec{r}_B - \vec{r}_A) = (x_B - x_A)\vec{i} + (y_B - y_A)\vec{j} + (z_B - z_A)\vec{k}$$

$$\vec{E} = E\vec{i}$$

TEMA 3. INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Al hacer el producto escalar se obtiene que

$$V_B - V_A = E(x_B - x_A) = -E \cdot d$$

d = Distancia entre las dos placas / m.

El trabajo realizado para trasladar la carga Q de A a B será:

$$W_{AB} = -Q \Delta V = Q' E d$$

Cuando una carga Q se mueve por el campo uniforme su energía potencial variará:

$$W = -\Delta E_p = E_{pA} - E_{pB} = Q' \cdot E \cdot d$$

Si Q positiva, se moverá en el sentido del campo y disminuirá su E_p .

Si Q negativa, se moverá en el sentido contrario del campo y su E_p aumentará.

1.7. Relación entre campo y potencial

Dado el valor del potencial, podemos calcular el vector campo mediante el operador gradiente.

$$\vec{E} = -\nabla V = -\frac{\partial V}{\partial x} \hat{i} - \frac{\partial V}{\partial y} \hat{j} - \frac{\partial V}{\partial z} \hat{k}$$

Ejemplo: El potencial en cierta región varía según la expresión:

$$V(x,y,z) = 3x^2y + 2x^3yz - y^3z^2 \text{ V}$$

Deduce la expresión para el campo eléctrico en dicha región y calcula su valor en el punto (1, 1, 1)

1.8.- Movimiento de cargas en campos eléctricos uniformes.

1.8.1- Partículas que inciden en la dirección del campo

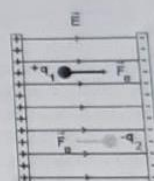
Vamos a combinar los conocimientos sobre campo eléctrico con los conocimientos sobre mecánica de una partícula.

Supongamos que una carga Q de masa m incide en una región donde existe un campo uniforme \vec{E} , con una velocidad \vec{v} , que tiene la dirección y sentido del campo.

Actuará una $\vec{F} = Q \cdot \vec{E}$. Sabemos que $W = Q \cdot E \cdot d$. Al aplicar el campo un trabajo sobre la carga, esta energía se transformará en energía cinética produciendo una variación en la velocidad de la carga Q .

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = Q \cdot E \cdot d \rightarrow v^2 = v_0^2 + \frac{2 \cdot Q \cdot E \cdot d}{m}$$

- Si Q negativa, su velocidad irá disminuyendo hasta invertir el movimiento.
- Si Q positiva, su velocidad irá aumentando.
- Cuanto más ligera sea la partícula, más variará la velocidad.

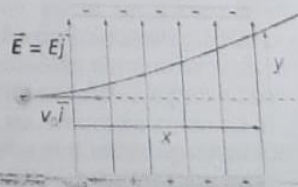


1.8.1- Partículas que inciden en dirección perpendicular al campo

Supongamos que una partícula positiva, incide con una velocidad v_{0i} en una región en la que existe un campo eléctrico uniforme E_j . Se producirá una aceleración en el eje y .

2ª Ley Newton: $F = Q \cdot E = ma \rightarrow a_y = \frac{Q \cdot E}{m}$

$$\text{Ejex: } x = v_{0i} t$$



$$\text{Eje } y: y = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{Q \cdot E}{2mv_0^2} x^2$$

- 1.- Explica de dónde procede la carga eléctrica de los cuerpos. ¿Por qué unos cuerpos se cargan positivamente y otros negativamente? ¿Qué significa que la carga esté "cuantizada"?
- 2.- Dos cargas puntuales de $3 \mu\text{C}$ y $12 \mu\text{C}$ están separadas 50 cm. Calcula la fuerza electrostática que se ejercen si: a) están situadas en el aire; b) están situadas en el agua ($\epsilon_r = 80$). Sol: a) $1,3 \text{ N}$; b) $1,6 \cdot 10^{-2} \text{ N}$.
- 3.- Dos cargas eléctricas puntuales, $Q_1 = 2 \mu\text{C}$ y $Q_2 = 4 \mu\text{C}$, están separadas 90 cm en el vacío. Calcula la fuerza eléctrica que actúa sobre una tercera carga $Q_3 = -3 \mu\text{C}$ situada sobre el segmento que une Q_1 y Q_2 y a 30 cm de Q_1 . Solución: $0,3 \text{ N}$.
- 4.- Dos cargas Q_1 y Q_2 de $+10 \text{ nC}$ se encuentran en los puntos (0,0) y (8,0) de un sistema de referencia XY medido en metros. Determina la fuerza neta que las cargas ejercen sobre una tercera Q_3 de $+5 \text{ nC}$ cuando esta se encuentra situado en los puntos; a) (4, 0) y b) (4, 4). Sol: 0 N, $2 \times 10^{-6} \text{ i}$.
- 5.- ¿Qué le ocurre a una partícula con carga negativa si se abandona en el punto B de la figura? ¿Y si es abandonada en el punto B?



- 6.- Calcula el campo eléctrico creado por una carga de $3,88 \mu\text{C}$ a una distancia de 50 cm si el medio exterior a la carga es el vacío. Sol: $1,4 \cdot 10^5 \text{ N/C}$.
- 7.- Calcula el campo eléctrico en un punto del segmento que une las cargas situado a 12 cm de Q_1 . Determina la fuerza que actúa sobre una carga $Q_3 = -0,5 \mu\text{C}$ situada en dicho punto. Solución: $2,2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$; $1,1 \text{ N}$.
- 8.- Una bolita de corcho de 2 g de masa pende de un hilo ligero que se halla en el seno de un campo eléctrico uniforme $E = 4\text{i} + 3\text{j} \times 10^5 \text{ N/C}$. En esa situación, el ángulo que forma el hilo con la vertical es de 30° . Determina: a) La carga de la bolita, b) La tensión del hilo. Sol: $1,97 \times 10^{-8} \text{ C}$, $0,016 \text{ N}$.
- 9.- Dos esferas de 5 g están suspendidas de sendos hilos de 20 cm de longitud. Si las esferas tienen cargas de $+3 \times 10^{-8} \text{ C}$ y $-3 \times 10^{-8} \text{ C}$, respectivamente y se hallan en el seno de un campo eléctrico uniforme en la dirección positiva del semieje X, determine la intensidad del campo eléctrico cuando el sistema queda en equilibrio y los hilos forman un ángulo de 15° con la vertical. Sol: 462817 N/C .
- 10.- Una carga eléctrica positiva se mueve en el interior de un campo eléctrico uniforme. Justifica cómo varía su energía potencial eléctrica en los casos siguientes:
 - a) La carga se mueve en la misma dirección y sentido que el campo eléctrico.
 - b) La carga se mueve en la dirección del campo eléctrico pero en sentido contrario.
 - c) La carga se mueve en dirección perpendicular al campo eléctrico.
 - d) La carga describe una circunferencia y vuelve al punto de partida.

TEMA 3. INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

- 11.- Cuatro cargas eléctricas puntuales de $5 \mu\text{C}$ están situadas en los cuatro vértices de un cuadrado de 40 cm de lado. Calcula el trabajo que debemos realizar para trasladar una de estas cargas desde la posición que ocupa hasta el centro del cuadrado. Solución: $0,88 \text{ J}$.
- 12.- Tenemos dos cargas de $+3 \mu\text{C}$ y $-2 \mu\text{C}$ inicialmente separadas 30 cm . Calcular el trabajo realizado para acercarlas 15 cm . Explica el significado del signo del trabajo. Sol: $0,18 \text{ J}$
- 13.- Cuanto vale la energía potencial del sistema formado por 4 cargas que se sitúan en los vértices de un cuadrado de lado 1 m , si el valor absoluto de las cargas es de $2 \mu\text{C}$ y dos son positivas (las de vértices opuestos) y las otras dos son negativas. Sol: $-0,093 \text{ J}$
- 14.- Tres puntos (A, B y C) están situados en la misma recta y tienen un potencial de 10 , 20 y 30 V , respectivamente. Si dejamos en libertad un electrón en el punto B ¿A dónde se desplazará, hacia el punto A o hacia C? ¿Por qué? Sol Hacia C
- 15.- Una carga puntual Q cuyo valor es $10 \mu\text{C}$ se encuentra situado en el punto 1 de coordenadas $(0, 0 \text{ cm})$ en el seno de un campo eléctrico uniforme de valor 500 V/m . Esta carga ha sido desplazada a velocidad constante desde el punto 1, al punto 2 $(4, 2 \text{ cm})$ y de aquí al punto 3 $(6, -1 \text{ cm})$. Calcular el trabajo realizado por el campo eléctrico en cada uno de los dos desplazamientos. Sol: $3 \times 10^{-4} \text{ J}$
- 16.- Un campo eléctrico uniforme de valor 200 N/C , tiene la dirección del eje X. Si se deja en libertad una carga de $+2 \mu\text{C}$, que se encuentra inicialmente en reposo en el origen de coordenadas.
- ¿Cuál será la variación de energía potencial cuando la carga se encuentra en el punto $(4, 0)$?
 - ¿Cuál será su energía cinética en ese punto?
 - Y la diferencia de potencial entre el origen y el punto $(4, 0)$?
- Sol: $-1,6 \times 10^{-3} \text{ J}$, $1,6 \times 10^{-3} \text{ J}$, -800 V
- 17.- Una esfera de 5 g , tiene una carga de $-4 \mu\text{C}$.
- ¿cuál es el campo eléctrico que deberíamos aplicar para que la esfera permaneciera en reposo sin caer al suelo.
 - Si dicho campo debe ser suministrado mediante una diferencia de potencial establecida entre dos placas metálicas planas y paralelas separadas una distancia de 5 cm ¿Cuál debe ser la diferencia de potencial que debe establecerse? Sol: -12250 J/C , $621,5 \text{ V}$.
- 18.- Dos esferas conductoras tienen por radio 90 cm y 45 cm respectivamente, y se hallan cargadas de modo que sus superficies están a un potencial, respecto al infinito de $V_1=10 \text{ V}$ y $V_2=20 \text{ V}$. Si se encuentran en una zona del espacio vacío y entre sus centros existe una distancia de 10 m , calcula:
- La fuerza que ejerce entre si ambas esferas.
 - El campo eléctrico en el punto medio de la recta que une sus centros.
 - La carga que quedará en cada esfera si ambas se unen con un cable conductor de capacidad despreciable. Sol: $9 \times 10^{-11} \text{ C}$, 0 , $Q_1=1,33 \times 10^{-9} \text{ C}$ y $Q_2=0,66 \times 10^{-9} \text{ C}$
- 19.- Un protón es abandonado en reposo, en una región donde existe un campo eléctrico uniforme de 400 V/m ¿Cuál será su velocidad después de recorrer 30 cm ? Sol: $1,52 \times 10^5 \text{ m/s}$
- 20.- Un electrón se proyecta en el interior de un campo eléctrico uniforme $E= -2000 \text{ J/C}$ con una velocidad $v_0=106 \text{ i}$
- Compara la fuerza gravitatoria que existe sobre el electrón, con la fuerza eléctrica ejercida sobre el.
 - Determina la desviación que sufre el electrón después de haber recorrido 5 cm en la dirección X, indicando la dirección y el sentido de dicha desviación.
- 9

Datos: $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ Sol: $F_g = 2.8 \times 10^{-14} \text{ N}$, $y = 8.8 \text{ J/m}$

21.- Dibuja las líneas de campo de las siguientes distribuciones de carga:

- a) una esfera cargada uniformemente;
- b) un plano infinito cargado uniformemente;
- c) un alambre muy largo cargado uniformemente.

22.- Contesta razonadamente a las siguientes preguntas:

- a) ¿Pueden cruzarse dos líneas de campo eléctrico?
- b) ¿Qué trabajo debemos realizar para trasladar una carga eléctrica a través de una superficie equipotencial?

23.- Calcula el trabajo necesario para trasladar una carga de 1 C :

- a) de un punto de potencial -25 V a un punto de potencial 25 V ;
- b) entre dos puntos de una superficie equipotencial. Solución: a) -50 J ; b) 0 J .

24.- Entre dos placas planas existe una diferencia de potencial de 15 V . Si la intensidad del campo eléctrico entre las placas es de 30 N/C , calcula:

- a) La separación entre las placas.
 - b) La aceleración que experimenta una partícula de 5 g de masa y carga eléctrica igual a $2.5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ situada entre las placas.
 - c) La variación de la energía potencial de la partícula al pasar de la placa negativa a la positiva.
- Sol: a) 0.5 m ; b) $1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$; c) $3.7 \cdot 10^{-8} \text{ J}$.

25.- Una carga puntual, positiva de 10^{-9} culombios está situada en el origen de un sistema de coordenadas ortogonales. Otra carga puntual, negativa de $2 \cdot 10^{-8}$ culombios está situada sobre el eje de ordenadas a 1 m del origen.

Determinar:

- a) Las intensidades de los campos eléctricos, creados por cada una de las cargas mencionadas en el punto A, situado a 2 metros del origen sobre el eje de las equis.
- b) Las componentes del campo total existente en A.
- c) El trabajo que es necesario realizar para trasladar tres culombios entre A y B, cuyas coordenadas son $(4,2)$ metros.

Sol: 2.25 N/C , 36 N/C ; 29.95 N/C , 15.98 N/C ; 104.76 J .

26.- Dos cargas iguales $q = 1 \text{ } \mu\text{C}$ se colocan en los vértices de un triángulo equilátero de lado 1 metro. Hallar:

- a) Qué carga se debe colocar sobre el tercer vértice para que el campo eléctrico sea nulo en el baricentro G del triángulo.
- b) El potencial creado por las tres cargas en G.
- c) Energía potencial de una carga $q_3 = 5 \text{ } \mu\text{C}$ colocada en G.
- d) Diferencia de potencial entre el punto G y el punto G', simétrico de G con respecto a un lado.
- e) Trabajo realizado por las fuerzas electrostáticas cuando la carga q_3 se desplaza de G a G'.

Sol: $1 \text{ } \mu\text{C}$; 46.765 V ; 0.233 J ; 7.794 V ; 0.0389 J .

27.- Dos cargas q_1 y q_2 se encuentran separadas una distancia d . Se aproximan las cargas hasta estar separadas $d/10$. Determinar en cuánto aumenta el valor de la fuerza entre cargas. Solución: 100 .

28.- Dos cargas idénticas, Q , se encuentran separadas una distancia vertical $2d$. En la mediatriz de la línea que une las dos cargas, pero alejada una distancia x de esta línea, se coloca una carga q , de signo contrario al de q .

- a) Determinar la fuerza aplicada sobre la carga q .
- b) Demostrar que si la carga q se desplaza una distancia $x \ll d$ y se la deja evolucionar libremente, describe un MAS.