



Escuela Politécnica Superior

FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA INFORMÁTICA

Curso : 2022/2023

1er curso Grado en Ingeniería Informática

Tema 1a

Tema 1a

1a. CAMPO ELECTROSTÁTICO EN EL VACÍO

1a.1. Introducción

1a.2. Ley de Coulomb

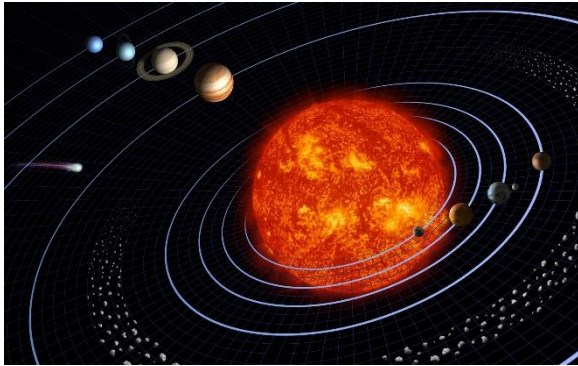
1a.3. Campo eléctrico

1a.4. Potencial electrostático

1a.1- INTRODUCCIÓN

Interacciones fundamentales en la Naturaleza

Fuerza gravitatoria: todos los cuerpos ejercen entre sí una fuerza de atracción por tener una masa distinta de cero

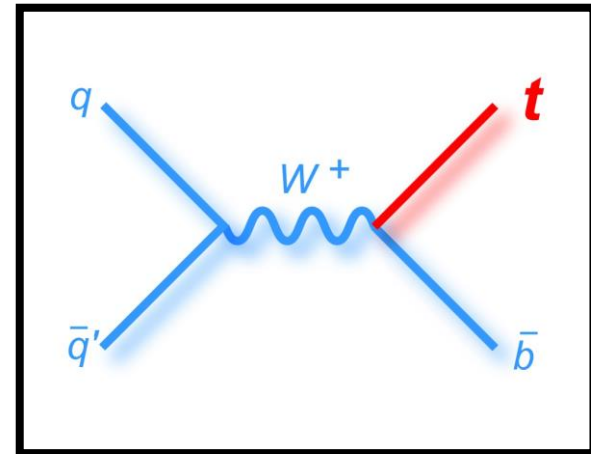


Fuerza electromagnética: Incluye las fuerzas eléctrica y magnética (Ecuaciones de Maxwell)



Fuerzas de la naturaleza

*Todas las fuerzas observadas pueden explicarse en función de **cuatro interacciones básicas***



Fuerza nuclear fuerte: entre las partículas elementales llamadas hadrones, entre los que están los protones y neutrones, en los núcleos atómicos

Fuerza nuclear débil - desintegración de los núcleos radiactivos y de la producción de radiación y energía calorífica en el sol fusión nuclear

Gravedad vs Electromagnetismo

En la siguiente tabla las vamos a comparar. Si a la gravedad le asignamos el valor de “1”, observad la diferencia entre los valores de intensidad y de alcance

Fuerza	Intensidad relativa	Alcance
Gravitatoria	1	Infinito
Nuclear débil	10^{24}	10^{-18} m
Electromagnética	10^{36}	Infinito
Nuclear fuerte	10^{38}	10^{-15} m

Atención a los alcances!!

Gravedad vs Electromagnetismo

Una característica importante es que todas las fuerzas que están presentes en la naturaleza actúan entre partículas separadas en el espacio: ACCIÓN A DISTANCIA

El alcance es muy grande tanto en la fuerza gravitatoria (obviamente, pensad en los objetos planetarios) como en la electromagnética.

Por tanto hemos visto que es la **fuerza electromagnética** es mucho más intensa que la gravitatoria y con mucho alcance también.

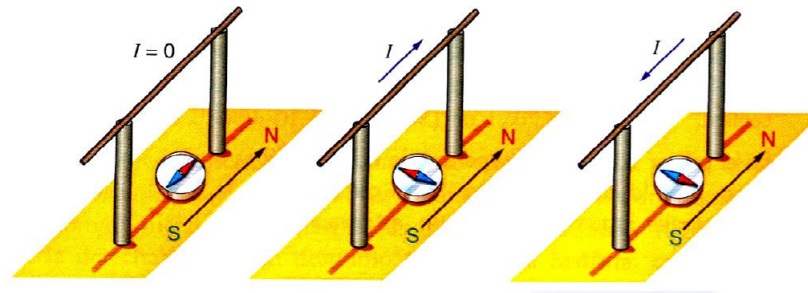
Para entender esto de la acción a distancia se introduce el concepto de **CAMPO** que veremos más adelante

Electromagnetismo: evolución histórica

- Año **600 A.C.** → **Tales de Mileto** observó que un pedazo de ámbar frotado era capaz de atraer trozos de paja o plumas → **Electrostática**
- Magnetismo → se descubrió en la región de Magnesia, Grecia al observar que pedazos de una roca natural llamada magnetita (Fe_3O_4) atraía el hierro.

Estas dos ciencias se estudiaron y desarrollaron por separado durante siglos. Leyes y ecuaciones empíricas.

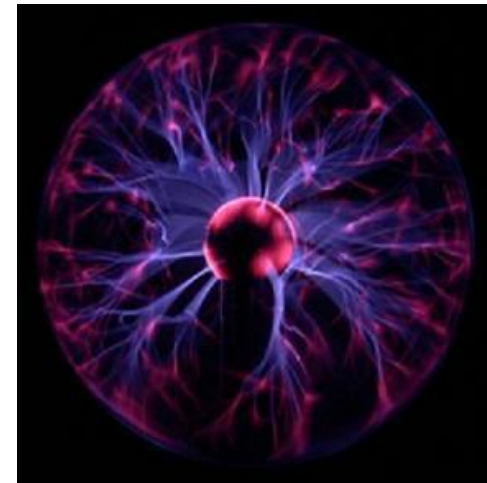
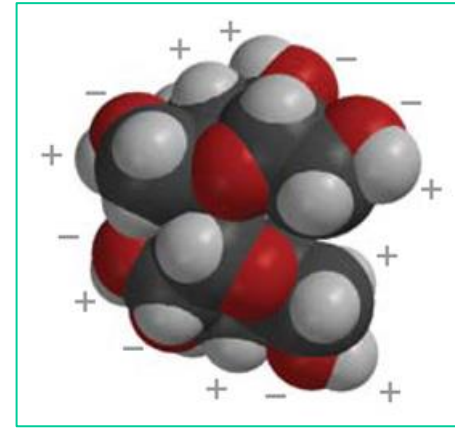
- En 1785 Charles Coulomb confirmó mediante sus experimentos la ley a la cual le dio nombre y es la base de la electrostática (Ley de Coulomb)
- El experimento que unió electricidad y magnetismo fue realizado el **1820** por **Hans Christian Oersted** (1777-1851).



- 1826, **Ley de Ampère** → teoría que permaneció durante ~ 50 años.
- 1831, **Michael Faraday** → observó que si un imán se mueve cerca de un alambre, se observa una corriente eléctrica en este.
- **1873, James Clerk Maxwell** gracias a diferentes observaciones experimentales formuló la teoría electromagnética → ecuaciones de Maxwell. **H. Hertz** alrededor de **1888** verificó ésta teoría produciendo ondas electromagnéticas en el laboratorio.

Interacción electromagnética:

- **DEFINICIÓN:**
cargas eléctricas, que se manifiesta por medio de campos eléctricos y de campos magnéticos, relacionados entre sí. Es una fuerza de largo alcance (teóricamente infinito), mucho más intensa que la gravedad.
- Es la responsable de fenómenos como:
 - la cohesión y estructura de la materia,
 - la conducción eléctrica,
 - la radiación EM (luz),
 - ...



ELECTRICIDAD Y ELECTROSTÁTICA



Electricidad → algo cotidiano
¿Sabemos en qué consiste?
SON CARGAS EN MOVIMIENTO



Organismos complejos (animales) están controlados por señales eléctricas derivadas de sensores que responden a cambios en el entorno

ELECTRICIDAD Y ELECTROSTÁTICA

Vamos a empezar por los conceptos más sencillos:

- DEFINICIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS
- ELECTROSTÁTICA: cargas **en reposo** (nada cambia con el tiempo)
- Trabajaremos **en vacío** (en ausencia de material)

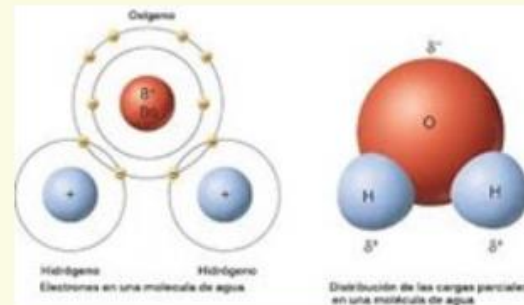
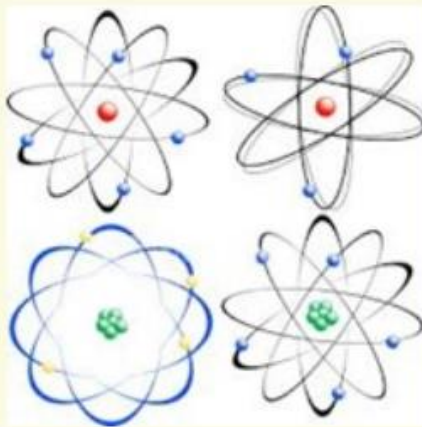
Concepto de carga. Influencia en el medio. Campo eléctrico que sufren otras cargas cercanas.

- **Franklin-1750** → Existen q positivas y negativas y Fuerzas de atracción o repulsión.
- **Coulomb - 1785** → Ley de Coulomb es la base de la electrostática.
- **Thompson - 1897** → Existen rayos $+$ y $-$ corpusculares . Relación q/m
- **Millikan - 1909** → midió valor de e . Cuantificación q eléctrica $q=ne$.

CARGA ELÉCTRICA

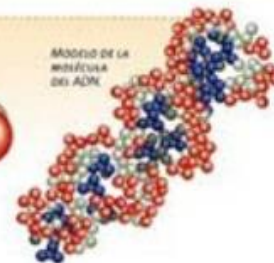
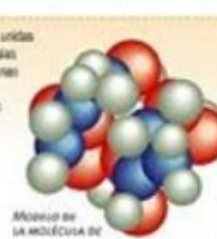
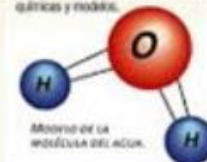
- La **carga eléctrica** es una propiedad fundamental de la materia.
- Una determinada partícula posee carga o es neutra, pero no se puede describir qué es la carga eléctrica. El **electromagnetismo es una interacción entre partículas cargadas y una partícula posee carga cuando interacciona electromagnéticamente**.
- Aunque no se pueda decir qué es la carga, sí se pueden caracterizar sus propiedades principales

Los átomos están compuestos de partículas, unas sin carga, neutras (**neutrones**) y otras cargadas eléctricamente (**protones** y **electrones**).

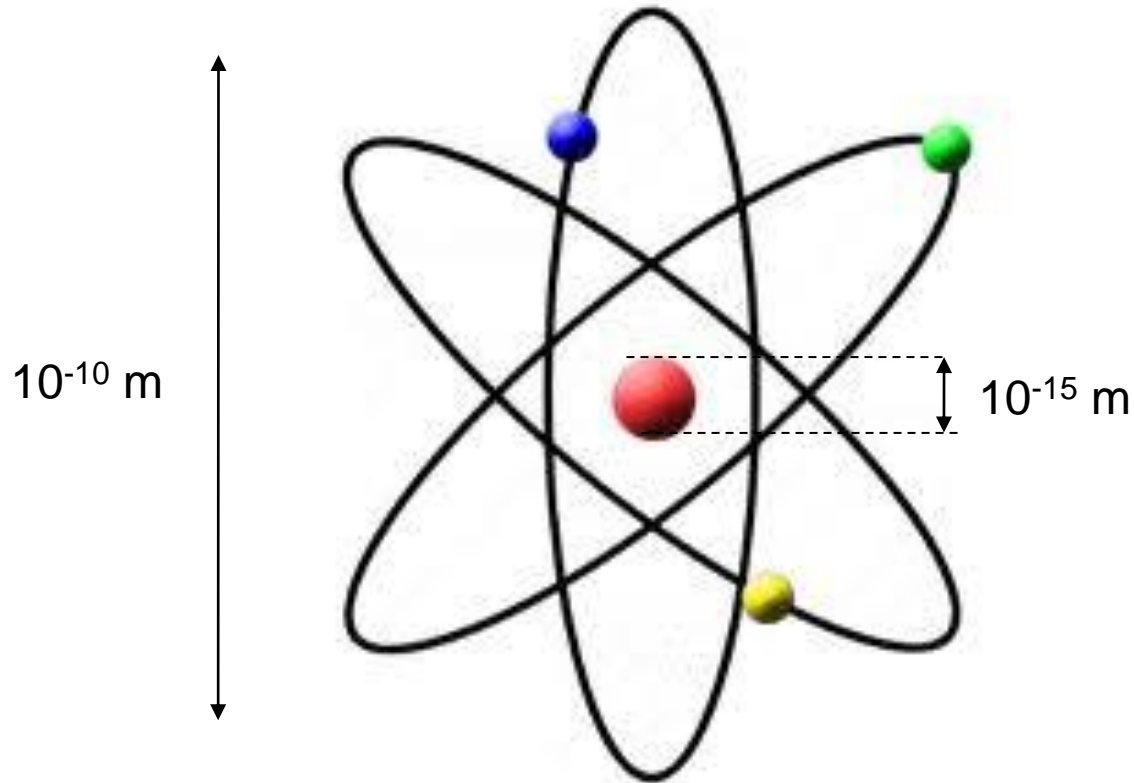


Las moléculas

Son agrupaciones estables de átomos que están unidos por un enlace químico. Generalmente, las moléculas están formadas por dos o más átomos, pero algunas llegan a contener miles de átomos. Las moléculas se representan mediante fórmulas químicas y modelos.



Estructura del átomo



Z: número atómico

Neutralidad eléctrica: Z electrones (-) y Z protones (+)

[Q]=Culombio (C)

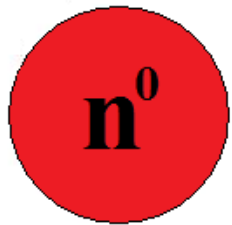
$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

CARGA ELÉCTRICA

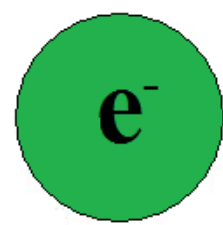
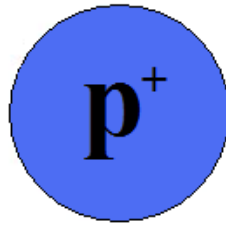
Existen dos variedades de carga eléctrica. A diferencia de la masa, que es solo de un tipo, la carga eléctrica se presenta en dos tipos diferentes, denominados por convenio **carga positiva** (que representamos con el signo +) y **carga negativa** (representada por el signo -). La carga positiva es la que es del mismo tipo que la del protón y la negativa la que es del mismo tipo que la del electrón.

El que haya solo dos tipos de carga permite sumarlas como números ordinarios, de manera que si se unen dos partículas de cargas q_1 y q_2 , la carga del conjunto es $q_1 + q_2$ (esto también se puede hacer con la masa)

Neutrón
Carga Neutra



Protón
Carga Positiva



Electrón
Carga Negativa

Partícula	Símbolo	Masa (kg)	Energía (MeV)	Carga
Protón	p	1.672×10^{-27}	938.2	+
Neutrón	n	1.675×10^{-27}	939.2	0
Electrón	e	0.911×10^{-30}	0.511	-

CARGA ELÉCTRICA

propiedades

- La carga *se conserva* en todo tipo de procesos conocidos: reacciones químicas, nucleares, etc. En cualquier punto del espacio, la carga no se crea ni se destruye.
- La carga de un sistema es una *propiedad escalar*, caracterizada por una magnitud y un signo, pero no tiene dirección ni sentido.
- Se mide en el SI en un culombio (C)
- La carga está *cuantizada* en la Naturaleza: Aparece *siempre* en *múltiplos enteros* de la *carga elemental del electrón* e :
$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Ejemplos:

- $q_{\text{protón}} = + e$
- $q_{\text{electrón}} = - e$
- $Q = n \cdot e$ siendo Q la carga total del cuerpo y n el número de cargas

UNIDAD DE CARGA EN EL SISTEMA INTERNACIONAL

Culombio

$$1\text{C} = 1\text{A}\cdot\text{s}$$

La unidad con que se mide la carga eléctrica es el coulomb (C), en honor a Charles Coulomb, Se define como la cantidad de carga transportada en un segundo por una corriente de un amperio de intensidad de corriente eléctrica, y que corresponde a lo siguiente:

1 Coulomb = 6.25×10^{18} electrones.

Por lo que la carga del electrón es de 1.6×10^{-19} C.

$$e = 1.602177 \times 10^{-19} \text{ C} \approx 1.60 \times 10^{-19} e$$

21-1

EJEMPLO

Un cuerpo tiene una carga eléctrica negativa de 2,5 mC. ¿Cuántos electrones de sobra tiene el cuerpo?

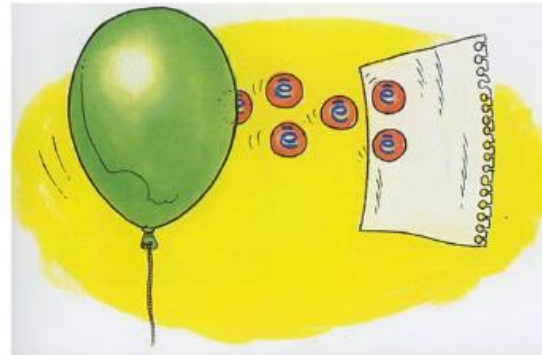
Por lo tanto tiene 15625×10^{12} de exceso

$$Q = ne$$

$$\frac{Q}{e} = n$$

$$\frac{2,5 \times 10^{-3}}{1,6 \times 10^{-19}} = n$$

$$n = 1,5625 \times 10^{16}$$

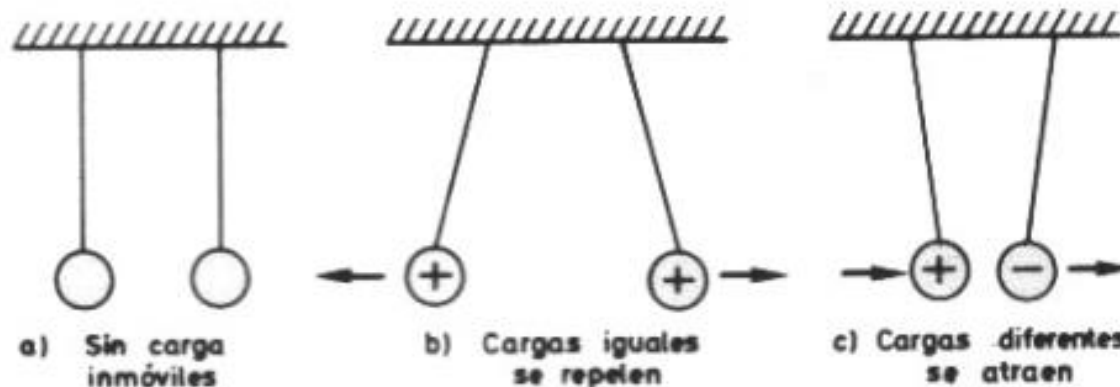
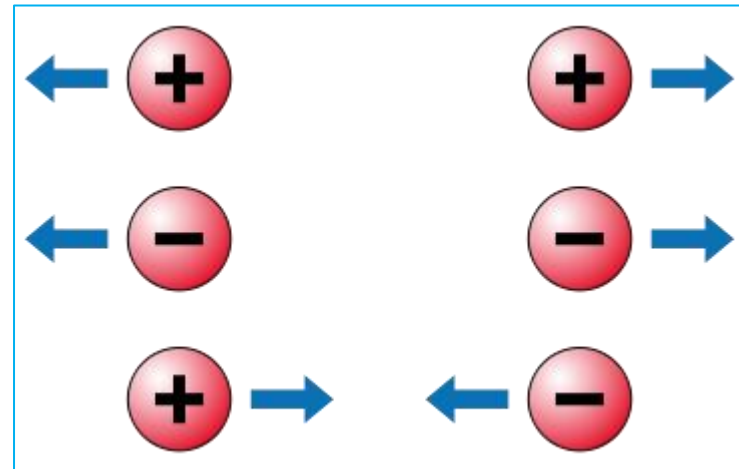


CARGA ELÉCTRICA

Observación *experimental*: Hay dos tipos de “cargas” en la naturaleza: “**positiva**” (**+**) y “**negativa**” (**-**):

Mismo signo: *repulsión*

Distinto signo: *atracción*



1a.2- FUERZA ELECTROSTÁTICA Y LEY DE COULOMB

- Comenzaremos con el estudio de la Electrostática mediante la **ley de Coulomb**, ley experimental que describe la interacción entre dos cargas puntuales en reposo en el vacío (esto es, no existe ningún medio material entre ellas).
- El concepto de carga puntual es una idealización por la que se considerará que *cierta carga está localizada estrictamente en un punto*. Puede que esta idealización parezca poco realista pero la experiencia demuestra que es una aproximación muy precisa en múltiples situaciones (por ejemplo, la carga uniformemente distribuida de cuerpos esféricos o incluso cuerpos cargados considerados a distancias lejanas se comportan muy aproximadamente como cargas puntuales)

Ley de Coulomb

Si las cargas eléctricas sienten esa atracción o repulsión es porque hay una fuerza actuando entre ellas.

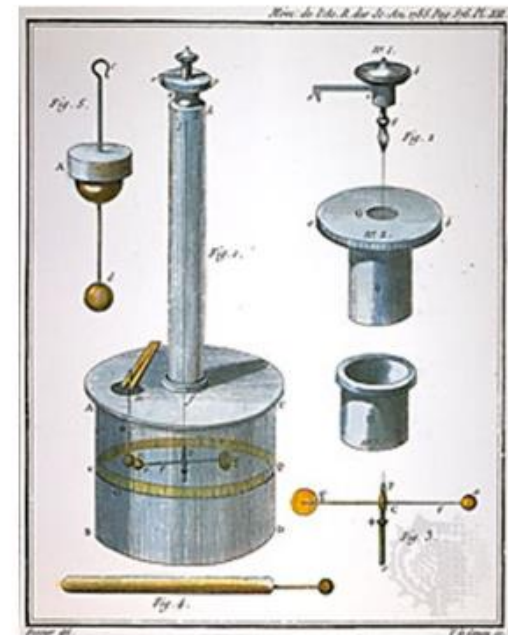
La Ley de Coulomb (~1785) establece que la fuerza **de atracción o repulsión** entre **dos cargas puntuales** (cuerpos cargados cuyas dimensiones son despreciables comparadas con la distancia r que las separa) es **inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa y directamente proporcional al producto de las cargas** .

Ley de Coulomb



Charles-Augustin de Coulomb Angulema, Francia, 14 de junio de 1736 - París, 23 de agosto de 1806) fue un físico e ingeniero francés.

En 1777 inventó la balanza de torsión para medir la fuerza de atracción o repulsión que ejercen entre sí dos cargas eléctricas, y estableció la función que liga esta fuerza con la distancia.



Ley de Coulomb

La Ley de Coulomb viene dada por la siguiente expresión:

$$\mathbf{F}_{1,2} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{u}}_{12}$$

Fuerza $\mathbf{F}_{1,2}$ que la carga q_1 ejerce sobre q_2
Fuerza entre cargas eléctricas *puntuales* q_1 y q_2
separadas por una distancia $r_{1,2}$ (es un vector)

unidades: N, Newtons

donde k es una constante de proporcionalidad: El valor de la constante de proporcionalidad k depende de las unidades en las que se exprese F , q_1 , q_2 y r_{12} .
En unidades del SISTEMA INTERNACIONAL:

$$k = 8.99 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2 \sim 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$$

donde \mathbf{u}_{12} es un vector unitario en la dirección que une q_1 con q_2 $\hat{\mathbf{u}}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$

Ley de Coulomb

Podemos relacionar la constante de proporcionalidad k con la permitividad dieléctrica del vacío ϵ_0 :

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N m}^2 \rightarrow k = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2 = 1 / (4 \pi \epsilon_0);$$

Por ello es equivalente escribir la ley de Coulomb de esta forma:

$$\mathbf{F}_{1,2} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{u}}_{12}$$

unidades: N, Newtons

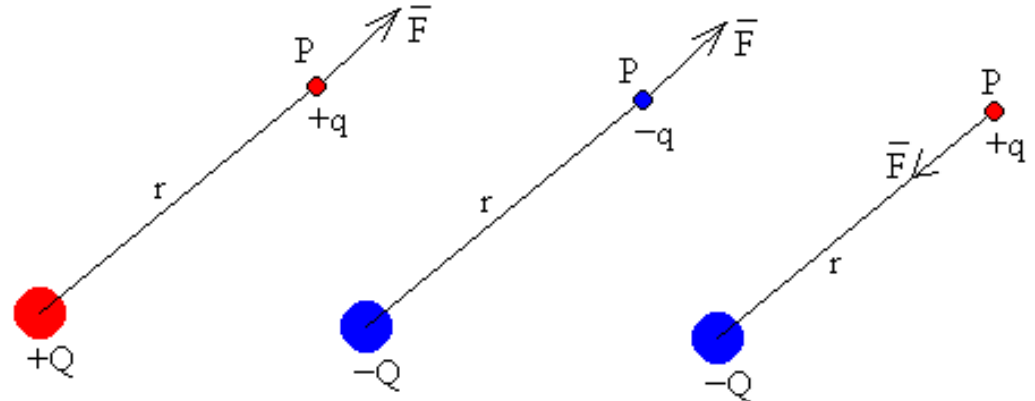
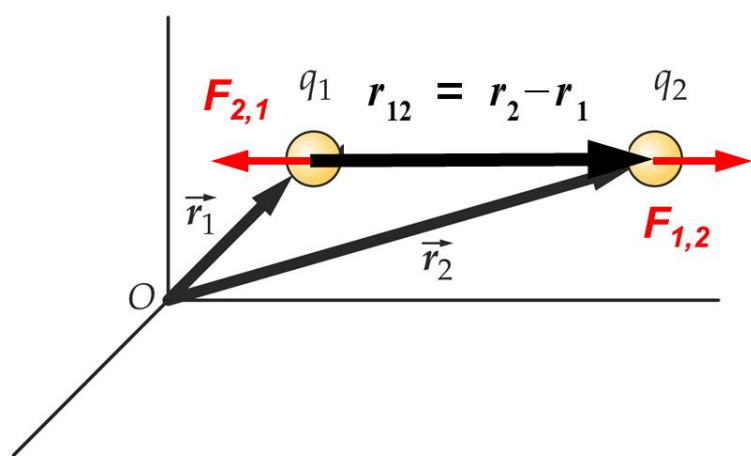
siendo \mathbf{u}_{12} es un vector unitario en la dirección que une q_1 con q_2 $\hat{\mathbf{u}}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$

Ley de Coulomb

Algunas propiedades destacables de la ley de Coulomb

$$\mathbf{F}_{1,2} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{u}}_{12}$$

- La fuerza es un vector y va dirigida según la línea que une las dos cargas (fuerza central).
- Su sentido determinado por el signo del producto $q_1 \cdot q_2$.
- La fuerza entre dos cargas será atractiva para cargas de signo opuesto o bien repulsiva para cargas del mismo signo.



- La fuerza decrece con el cuadrado de la distancia
- Principio de Acción y Reacción $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$

Ley de Coulomb. Principio de Superposición

¿Qué sucede si tenemos más de dos cargas? **Principio de Superposición**. Este principio de superposición establece que la interacción entre dos cargas es completamente independiente de la presencia de otras cargas.

- Las fuerzas son *aditivas*
- Las fuerzas son *vectores*

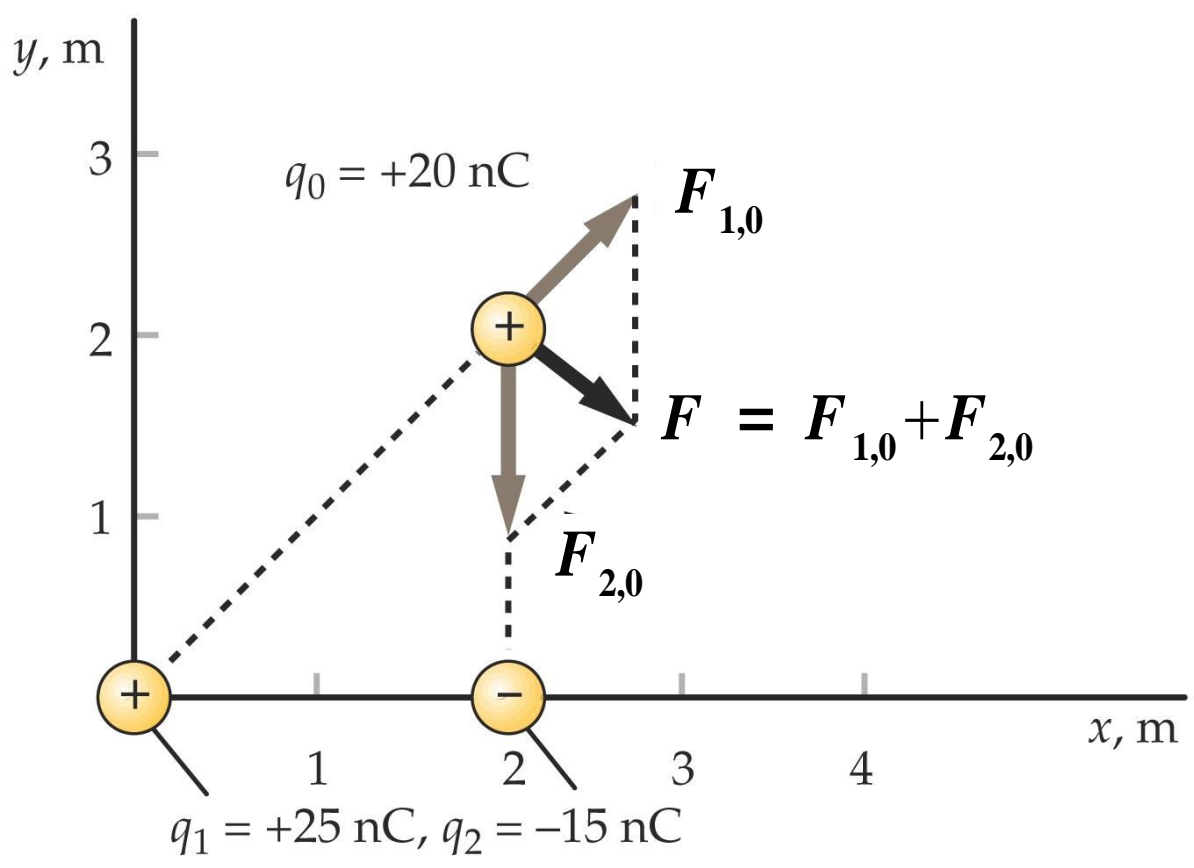


$$\mathbf{F} = \sum_i \mathbf{F}_i$$

Fuerza neta \mathbf{F} ejercida por las cargas q_1 y q_2 sobre q_0 :

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{1,0} + \mathbf{F}_{2,0}$$

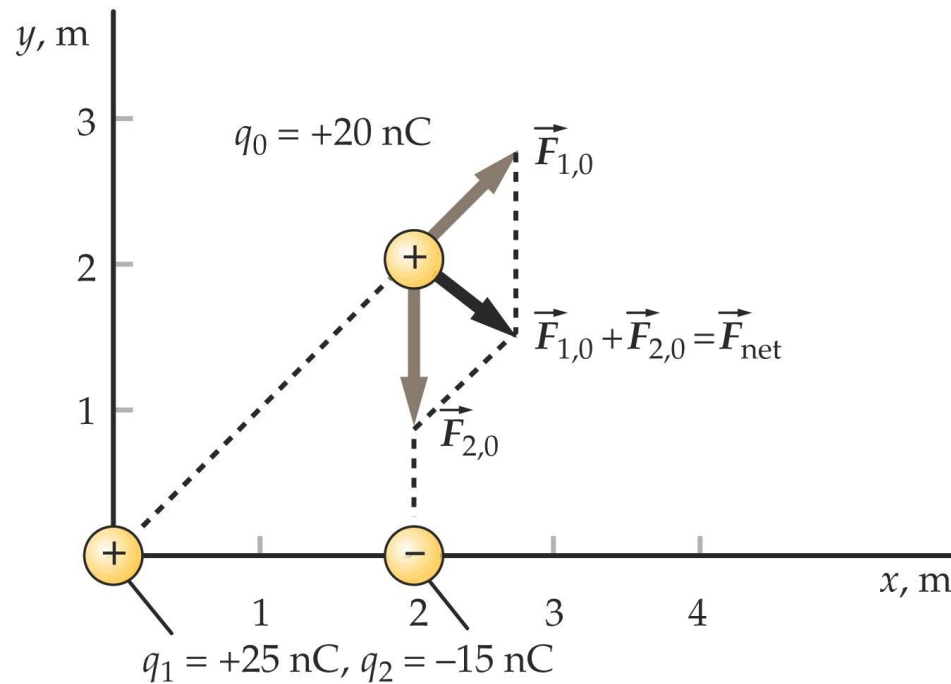
¡¡ Suma vectorial !!



Ley de Coulomb

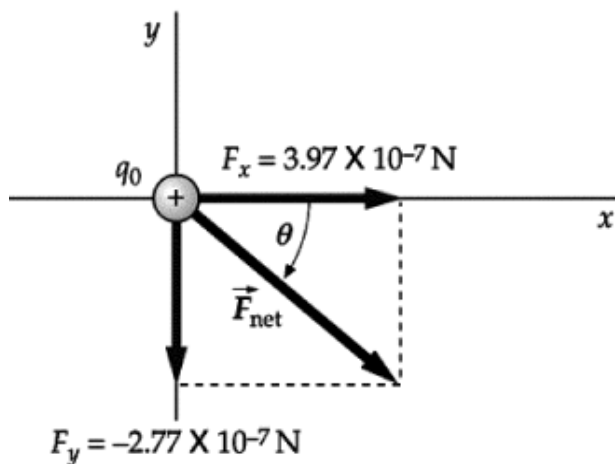
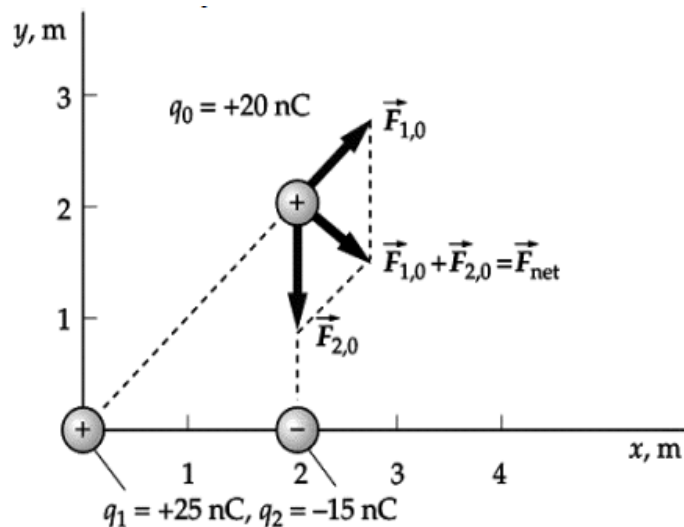
Ejemplo T1

La carga $q_1 = +25 \text{ nC}$ está situada en el origen, la carga $q_2 = -15 \text{ nC}$ está en el eje X en $x = 2 \text{ m}$, y la carga $q_0 = +20 \text{ nC}$ está en el punto $(x = 2 \text{ m}, y = 2 \text{ m})$ (Ver figura). Calcular la Fuerza resultante sobre q_0



Solución: Ejemplo T1

La fuerza neta \mathbf{F} ejercida por las cargas q_1 y q_2 sobre q_0 será la suma vectorial: $\mathbf{F} = \mathbf{F}_{1,0} + \mathbf{F}_{2,0}$



(b)

1. The resultant force $\Sigma \vec{F}$ on q_0 is the sum of the individual forces:

$$\Sigma \vec{F} = \vec{F}_{1,0} + \vec{F}_{2,0}$$

$$\Sigma F_x = F_{1,0x} + F_{2,0x}$$

$$\Sigma F_y = F_{1,0y} + F_{2,0y}$$

2. The force $\vec{F}_{1,0}$ is directed along the line from q_1 to q_0 . Use $\frac{1}{r_{1,0}^2}$ for the distance between q_1 and q_0 to calculate its magnitude:

$$F_{1,0} = \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(25 \times 10^{-9} \text{ C})(20 \times 10^{-9} \text{ C})}{(2\sqrt{2} \text{ m})^2} = 5.62 \times 10^{-7} \text{ N}$$

3. Since $\vec{F}_{1,0}$ makes an angle of 45° with the x and y axes, its x and y components are equal to each other:

$$F_{1,0x} = F_{1,0y} = \frac{F_{1,0}}{\sqrt{2}} = \frac{5.62 \times 10^{-7} \text{ N}}{\sqrt{2}} = 3.97 \times 10^{-7}$$

4. The force $\vec{F}_{2,0}$ exerted by q_2 on q_0 is attractive and in the negative y direction as shown in Figure 22-9a:

$$\begin{aligned} \vec{F}_{2,0} &= \frac{kq_2q_0}{r_{2,0}^2} \hat{r}_{2,0} \\ &= \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(-15 \times 10^{-9} \text{ C})(20 \times 10^{-9} \text{ C})}{(2 \text{ m})^2} \hat{j} \\ &= (-6.74 \times 10^{-7} \text{ N}) \hat{j} \end{aligned}$$

5. Calculate the components of the resultant force:

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= F_{1,0x} + F_{2,0x} = (3.97 \times 10^{-7} \text{ N}) + 0 = 3.97 \times 10^{-7} \text{ N} \\ \Sigma F_y &= F_{1,0y} + F_{2,0y} = (3.97 \times 10^{-7} \text{ N}) + (-6.74 \times 10^{-7} \text{ N}) \\ &= -2.77 \times 10^{-7} \text{ N} \end{aligned}$$

6. The magnitude of the resultant force is found from its components:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(3.97 \times 10^{-7} \text{ N})^2 + (-2.77 \times 10^{-7} \text{ N})^2} = 4.84 \times 10^{-7} \text{ N}$$

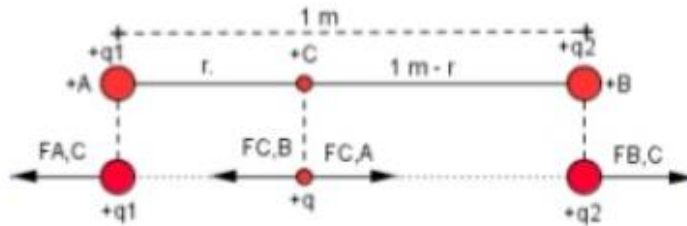
7. The resultant force points to the right and downward as shown in Figure 22-9b, making an angle θ with the x axis given by:

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{F_y}{F_x} = \frac{-2.77}{3.97} = -0.698 \\ \theta &= -34.9^\circ \end{aligned}$$

Ejemplo T2

Sobre los extremos de un segmento AB de 1m de longitud se fijan dos cargas. La carga $q_1 = +4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ está situada en el punto A y la carga $q_2 = +1 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ sobre el punto B. Ubicar una tercera carga $q = +2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ sobre el segmento AB de modo que quede en equilibrio bajo la acción simultánea de las dos cargas dadas.

Solución:



Para obtener la posición o lugar donde se debe ubicar la carga q suponemos que sea el punto C de tal manera modo que se encuentre en equilibrio, para ello se debe cumplir que la fuerza total en el punto C es nula, es decir que la interacción entre la carga q_1q y q_2q deben ser fuerzas de igual módulo y sentidos opuestos.

Para que la suma de las fuerzas de sentido contrario sea cero sus módulos deben ser iguales.

Se ha llamado r a la distancia entre las cargas q_1 y q y como la distancia total entre q_1 y q_2 es de 1 m, entonces la distancia entre las cargas q y q_2 será igual a $(1\text{m} - r)$

$$\begin{aligned} F_{CA} &= F_{CB} \\ \frac{Kq_1q}{r^2} &= \frac{Kq_2q}{(1-r)^2} \\ \frac{(1-r)^2}{r^2} &= \frac{q_2}{q_1} \\ \frac{(1-r)^2}{r^2} &= \frac{1 \times 10^{-6} \text{ C}}{4 \times 10^{-6} \text{ C}} \end{aligned}$$

$$4(1-r)^2 = r^2$$

$$3r^2 - 8r + 4 = 0$$

Resolviendo la ecuación cuadrática se tiene que $r_1 = 2\text{m}$ y $r_2 = 0,66\text{ m}$

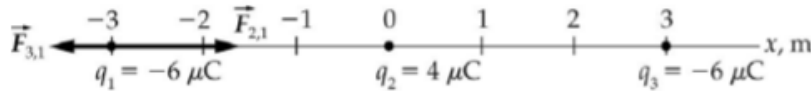
Por lo tanto la solución buscada es $r = 0,66\text{ m}$ con relación a la carga que se encuentra en el punto A y a $0,34\text{ m}$ con relación a la carga que se ubica en el punto B.

Ejemplo T3

Tenemos tres cargas puntuales en el eje X: $q_1 = -6.0 \mu\text{C}$ en $x = -3.0 \text{ m}$, $q_2 = 4.0 \mu\text{C}$ en el origen y $q_3 = -6.0 \mu\text{C}$ en $x = 3.0 \text{ m}$. Encontrar la fuerza total sobre q_1 .

Picture the Problem q_2 exerts an attractive force $\vec{F}_{2,1}$ on q_1 and q_3 a repulsive force $\vec{F}_{3,1}$.

We can find the net force on q_1 by adding these forces.



Express the net force acting on q_1 :

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{2,1} + \vec{F}_{3,1}$$

Express the force that q_2 exerts on q_1 :

$$\vec{F}_{2,1} = \frac{k|q_1||q_2|}{r_{2,1}^2} \hat{i}$$

Fijarse: las cargas se han puesto en la expresión en valor absoluto y los signos vienen dados por los vectores unitarios \hat{i} y $-\hat{i}$

Express the force that q_3 exerts on q_1 :

$$\vec{F}_{3,1} = \frac{k|q_1||q_3|}{r_{3,1}^2} (-\hat{i})$$

Substitute and simplify to obtain:

$$\begin{aligned} \vec{F}_1 &= \frac{k|q_1||q_2|}{r_{2,1}^2} \hat{i} - \frac{k|q_1||q_3|}{r_{3,1}^2} \hat{i} \\ &= k|q_1| \left(\frac{|q_2|}{r_{2,1}^2} - \frac{|q_3|}{r_{3,1}^2} \right) \hat{i} \end{aligned}$$

Substitute numerical values and evaluate \vec{F}_1 :

$$\vec{F}_1 = (8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(6 \mu\text{C}) \left(\frac{4 \mu\text{C}}{(3 \text{ m})^2} - \frac{6 \mu\text{C}}{(6 \text{ m})^2} \right) \hat{i} = \boxed{(1.50 \times 10^{-2} \text{ N}) \hat{i}}$$

1a.3- CAMPO ELÉCTRICO

CONCEPTO DE CAMPO

- En física, un **campo representa la distribución de “algo”** es decir, es una propiedad que puede medirse en el entorno de cada punto de una región del espacio para cada instante del tiempo.
- Matemáticamente, los campos se representan mediante una función definida sobre una cierta región.

Campo escalar

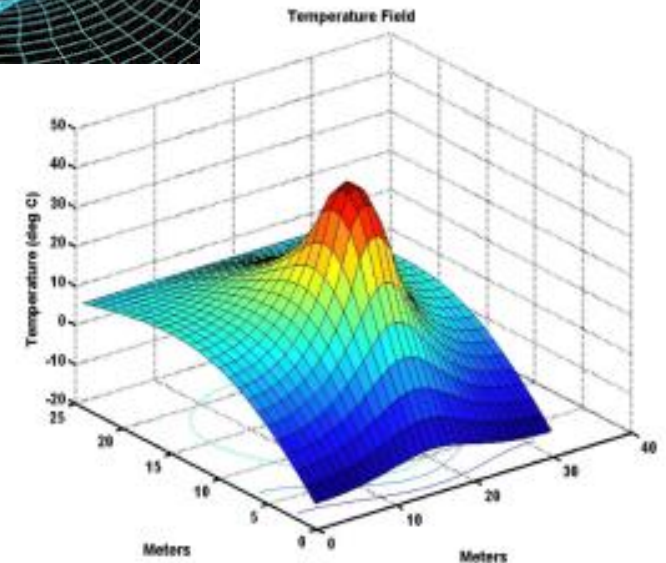
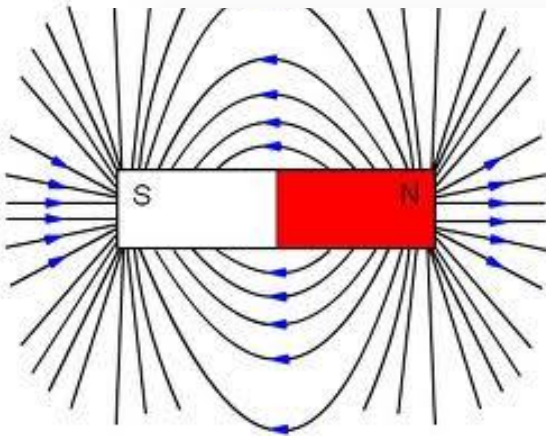
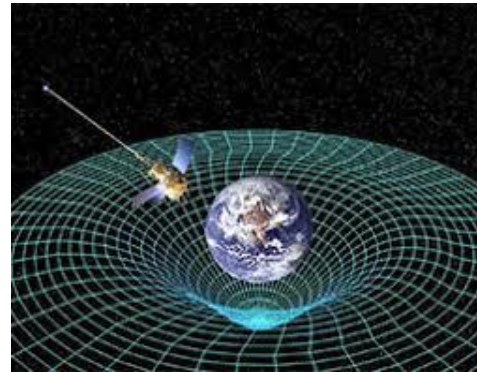
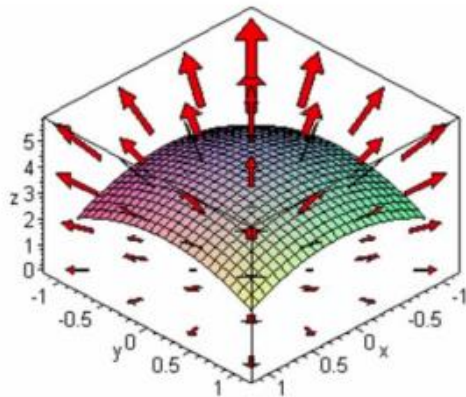
Un campo escalar representa la distribución espacial de una magnitud escalar, asociando un valor a cada punto del espacio.

Campo vectorial

Suponga que a cada punto (x, y, z) de una región en el espacio, le corresponde un vector $\mathbf{V}(x, y, z)$. Entonces \mathbf{V} se llama función vectorial de posición, y decimos que se ha definido un campo vectorial \mathbf{V} .

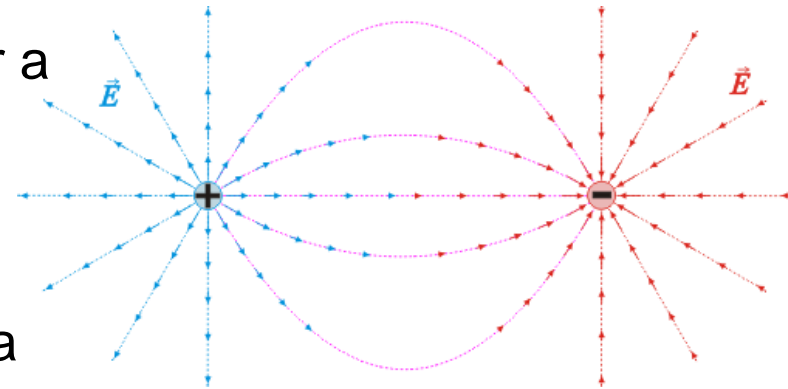
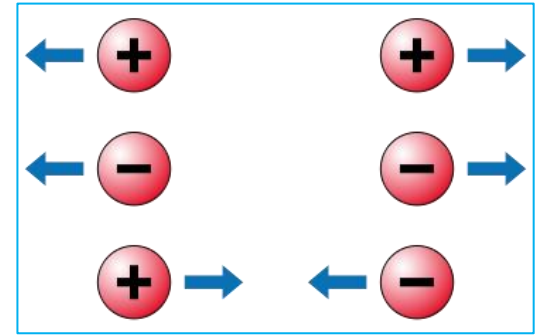
CONCEPTO DE CAMPO

- Gráficamente, se suelen representar mediante líneas o superficies de igual magnitud.



¿qué hemos visto hasta ahora?

- Dos cargas puntuales sienten una **FUERZA** (de atracción o repulsión según su signo)
- Como bien sabemos las FUERZAS son **vectores**, así que la distribución de dichas fuerzas en el espacio dará lugar a un **CAMPO VECTORIAL: EL CAMPO ELÉCTRICO**
- El concepto de campo se introdujo para explicar el hecho de la interacción a distancia.



CAMPO ELÉCTRICO DE CARGAS PUNTUALES

Campo eléctrico: describe un “estado del espacio” en el que se ejercen fuerzas sobre cargas eléctricas. La presencia de una carga “fuente” q_f perturba el espacio que la rodea: *crea un campo eléctrico E* , de manera que otra carga “de prueba” q_p situada en el punto r *sufre una fuerza eléctrica F*

Habíamos visto la expresión de la fuerza \mathbf{F} que ejerce una carga fuente q_f sobre una carga prueba q_p (Ley de Coulomb)

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_f \cdot q_p}{r^2} \vec{u}_r$$

Esta expresión de la fuerza \mathbf{F} la podemos reescribir de la siguiente manera

$$\vec{F}(P) = q_p \vec{E}(P)$$

donde el vector $\vec{E}(P)$ se denomina campo eléctrico producido por la carga fuente q_f en el punto P.

Por tanto el campo eléctrico viene dado por:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_f}{r^2} \vec{u}_r$$

CAMPO ELÉCTRICO DE CARGAS PUNTUALES

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{u}_r$$

$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \vec{u}_r$$

Unidades: N / C

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$$

La introducción de este vector **E** permite definir una **magnitud vectorial** que varía punto a punto y que sólo depende de las cargas fuentes. De este modo se consigue dotar a cada punto del espacio de una propiedad vectorial tal que el producto del valor de una carga prueba situada en ese punto por el valor de dicho vector en ese punto **proporciona la fuerza** que ejercerá la configuración de cargas fuentes sobre dicha carga prueba. En este sentido, el campo eléctrico, **E**, puede, por tanto, definirse como *la fuerza por unidad de carga* y sus unidades son consecuentemente N/C.

LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO

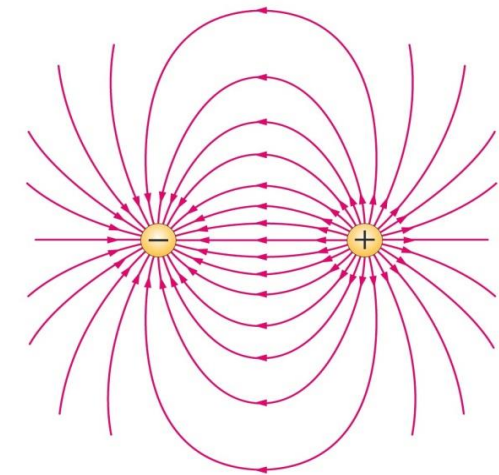
Una forma gráfica de visualizar el campo eléctrico es dibujando el vector \mathbf{E} en ciertos puntos del espacio. No obstante, es más conveniente describir el campo mediante las **líneas de campo**.

Las líneas de campo son aquellas líneas tangentes en cada uno de sus puntos al vector campo.

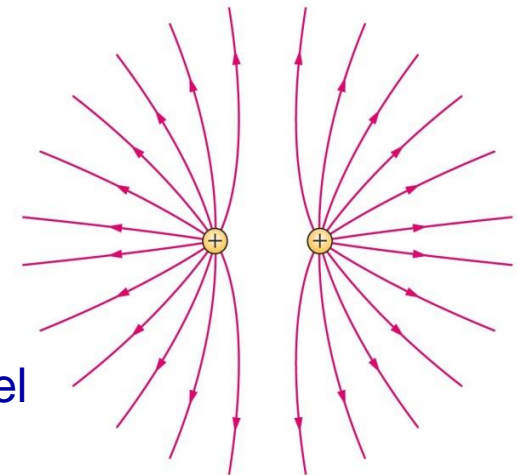
Para un sistema de dos cargas idénticas en magnitud, una positiva y otra negativa, las líneas de campo salen de la carga positiva y acaban en la carga negativa según el patrón que se muestra en la figura.

Este hecho particular es una propiedad del campo electrostático, esto es, las **líneas de campo salen de las cargas positivas y acaban en las negativas o van al infinito**.

Dado que las cargas eléctricas son las únicas fuentes del campo electrostático, siempre que existan cargas eléctricas descompensadas espacialmente (cuando no se anulen unas a otras en cada punto), existirá campo electrostático



Dos cargas de
signos opuestos



Dos cargas del
mismo signo

LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO

Las propiedades de las líneas de campo se pueden resumir en:

- El vector campo eléctrico es tangente a las líneas de campo en cada punto.
- Las líneas de campo eléctrico son abiertas; salen siempre de las cargas positivas o del infinito y terminan en el infinito o en las cargas negativas.
- El número de líneas que salen de una carga positiva o entran en una carga negativa es proporcional a dicha carga.
- La densidad de líneas de campo en un punto es proporcional al valor del campo eléctrico en dicho punto.
- Las líneas de campo no pueden cortarse. De lo contrario en el punto de corte existirían dos vectores campo eléctrico distintos.
- A grandes distancias de un sistema de cargas, las líneas están igualmente espaciadas y son radiales, comportándose el sistema como una carga puntual.

Principio de Superposición para el campo eléctrico

Campo eléctrico creado por un conjunto *discreto* de cargas puntuales q_i

- Las fuerzas son *aditivas* → el campo \mathbf{E} es *aditivo*
- La fuerza y el campo son *vectores*

→ *Principio de superposición*

$$\mathbf{E}_P(\mathbf{r}) = \sum_i \mathbf{E}_{i,P} = \sum_i \frac{k q_i}{r_{i,P}^2} \hat{\mathbf{u}}_{i,P} = \sum_i \frac{k q_i}{(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i)^2} \hat{\mathbf{u}}_{i,P}$$

Campo eléctrico \mathbf{E} en el punto P (en \mathbf{r}) producido por un conjunto de cargas *puntuales* q_i situadas en \mathbf{r}_i .

\mathbf{E} es el resultante de la *suma vectorial* de los campos \mathbf{E}_i creados por cada una de las cargas q_i

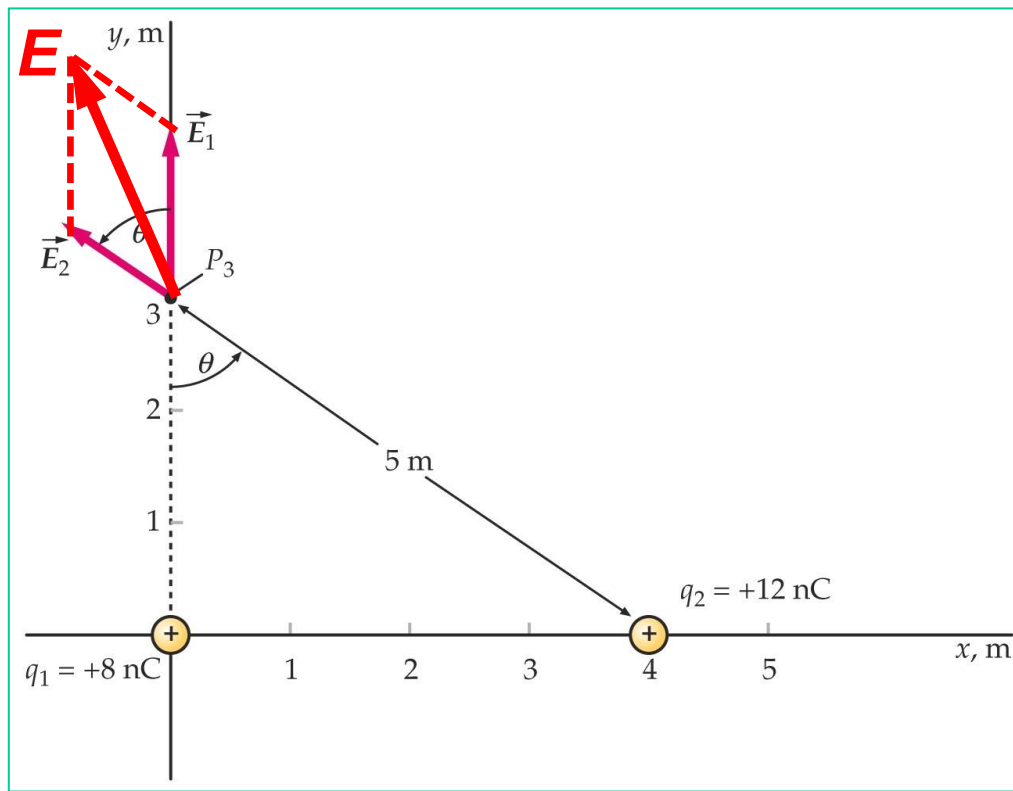
Principio de Superposición para el campo eléctrico

Ejemplo T4: Calcular el campo \mathbf{E} creado por las cargas q_1 y q_2 (situadas sobre el eje x) en un punto P_3 (sobre el eje y):

$$\mathbf{E} = \sum_i \mathbf{E}_i$$

campo
creado por q_1

campo
creado por q_2

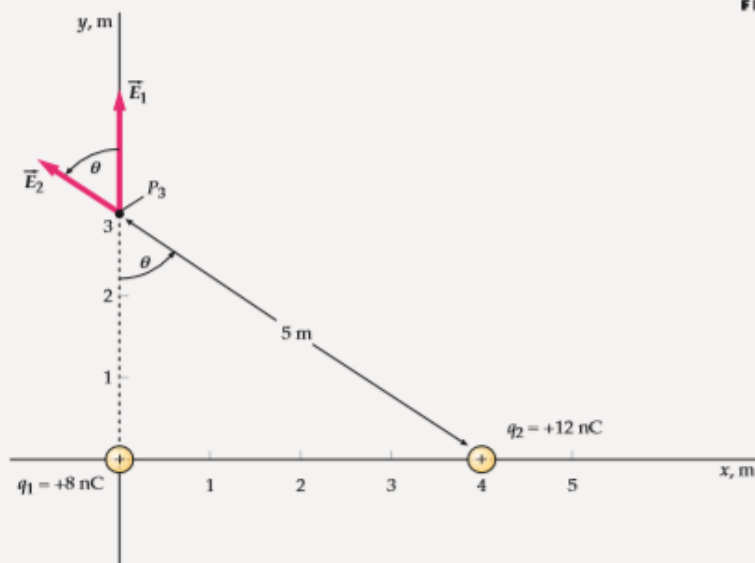


$$\begin{aligned}\mathbf{E} &= \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 \\ E_x &= 0 + E_{2x} \\ E_y &= E_{1y} + E_{2y}\end{aligned}$$

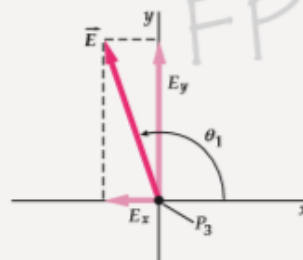
¡¡ Suma vectorial !!

- Tenemos que calcular el campo en P3. Lo primero dibujamos nuestros vectores \vec{E} , los campos que crean las cargas 1 y 2 en el punto P3.
- Sabemos que las líneas de campo **salen de las cargas +** y van en la dirección de la recta que une la carga y el punto, luego para el caso de q_1 el campo va en el eje Y, sentido +j mientras que para la carga 2 tenemos componentes en el eje Y (+j) y en el eje X (-i)
- Usamos nuestra fórmula de campo eléctrico creado por una carga puntual
- Tenemos mucho cuidado para ver las componentes de cada vector

FIGURE 21-15



(a)



(b)

Cover the column to the right and try these on your own before looking at the answers.

Steps

1. Calculate the magnitude of the field \vec{E}_1 due to q_1 . Find the x and y components of \vec{E}_1 .
2. Calculate the magnitude of the field \vec{E}_2 due to q_2 .
3. Write the x and y components of \vec{E}_2 in terms of the angle θ .
4. Compute $\sin \theta$ and $\cos \theta$.
5. Calculate E_{2x} and E_{2y} .
6. Find the x and y components of the resultant field \vec{E} .
7. Calculate the magnitude of \vec{E} from its components.
8. Find the angle θ_1 made by \vec{E} with the x axis.

Answers

$$E_1 = kq_1/y_2 = 7.99 \text{ N/C}$$

$$E_{1x} = 0, E_{1y} = 7.99 \text{ N/C}$$

$$E_2 = 4.32 \text{ N/C}$$

$$E_x = -E_2 \sin \theta; E_y = E_2 \cos \theta$$

$$\sin \theta = 0.8; \cos \theta = 0.6$$

$$E_{2x} = -3.46 \text{ N/C}; E_{2y} = 2.59 \text{ N/C}$$

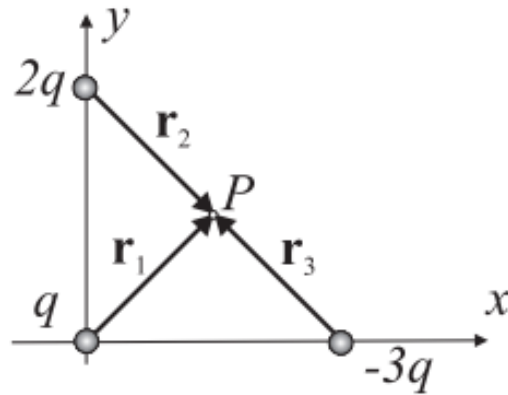
$$E_x = -3.46 \text{ N/C}; E_y = 10.6 \text{ N/C}$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \boxed{11.2 \text{ N/C}}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{E_y}{E_x}\right) = \boxed{108^\circ}$$

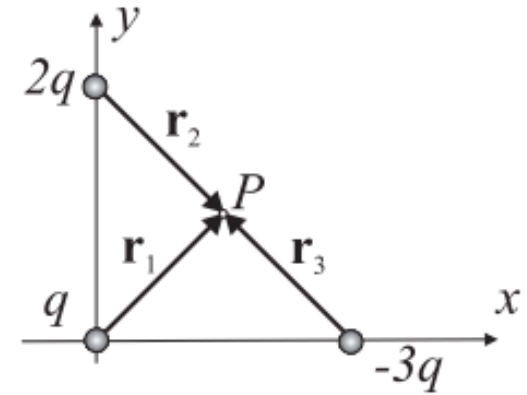
Solución T4

Ejemplo T5: Calcular el campo en el punto P debido al efecto de las tres cargas señaladas en el dibujo



Solución T5

Para calcular el campo eléctrico en el punto P aplicaremos el principio de superposición, por lo que primero debemos obtener el campo producido por cada una de las cargas. Antes de calcular este campo, debemos identificar el vector que va desde cada una de las cargas hasta el punto de observación P . Según el dibujo adjunto tendremos que



$$\vec{r}_1 = \frac{1}{2}\hat{x} + \frac{1}{2}\hat{y} \quad , \quad \vec{r}_2 = \frac{1}{2}\hat{x} - \frac{1}{2}\hat{y} \quad , \quad \vec{r}_3 = -\frac{1}{2}\hat{x} + \frac{1}{2}\hat{y} \quad ,$$

siendo el módulo de los tres anteriores vectores idéntico y de valor

$$r_i \equiv D = \sqrt{1/2} \quad .$$

El campo en P viene dado por

$$\vec{E}(P) = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r}_i \quad ,$$

por lo que tras sustituir el valor de \vec{r}_i obtenido anteriormente tenemos que

$$\begin{aligned} \vec{E}(P) &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{D^3} \left[\left(\frac{1}{2}\hat{x} + \frac{1}{2}\hat{y} \right) + 2\left(\frac{1}{2}\hat{x} - \frac{1}{2}\hat{y} \right) - 3\left(-\frac{1}{2}\hat{x} + \frac{1}{2}\hat{y} \right) \right] \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{D^3} (3\hat{x} - 2\hat{y}) = \frac{2\sqrt{2}q}{4\pi\epsilon_0} (3\hat{x} - 2\hat{y}) \quad . \end{aligned}$$

1a.4- POTENCIAL ELECTROSTÁTICO

Potencial eléctrico

El **campo eléctrico es conservativo** por lo tanto lo podemos definir como el **gradiente** de una función escalar V que se denominará **potencial eléctrico**

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V$$

Las **unidades del potencial eléctrico** reciben el nombre de **voltio (V)**.
Usualmente, **la unidad de campo eléctrico se expresa como V/m**.

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

El signo menos en la definición del potencial eléctrico se introduce simplemente para que el campo “apunte” desde puntos de mayor a menor potencial

El potencial eléctrico en un punto del espacio es una **magnitud escalar** que nos permite obtener una medida del **campo eléctrico** en dicho punto a través de la **energía potencial electrostática** que adquiriría una carga si la situásemos en ese punto.

Potencial $V \longleftrightarrow$ Campo E

Relación en forma *diferencial*:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = -\nabla V(\mathbf{r})$$

Relación en forma *integral*:

$$V(\mathbf{r}) = -\int_{r_0}^{\mathbf{r}} \mathbf{E} d\mathbf{r}$$

En componentes:

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}$$

$$E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}$$

$$E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

- \mathbf{E} se obtiene de V por *derivación*
- V se obtiene de \mathbf{E} por *integración*
- V es un *escalar*, \mathbf{E} es un *vector*

Potencial eléctrico

Para calcular el **potencial en un punto generado por varias cargas** fuente se **suman** los potenciales creados por cada una de ellas, teniendo en cuenta que es una **magnitud escalar** y que será **positivo o negativo** dependiendo del signo de la carga fuente.

*Principio de **superposición** para el potencial V :*

$$V = \sum_i V_i$$

V es el resultante de la *suma* (*algebraica: el potencial es un escalar!*) de los potenciales V_i creados por cada una de las cargas q_i

$$V(\mathbf{r}) = \sum_i k \frac{q_i}{r_{i,P}} = \sum_i k \frac{q_i}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|}$$

Potencial eléctrico

→ V se puede calcular como:

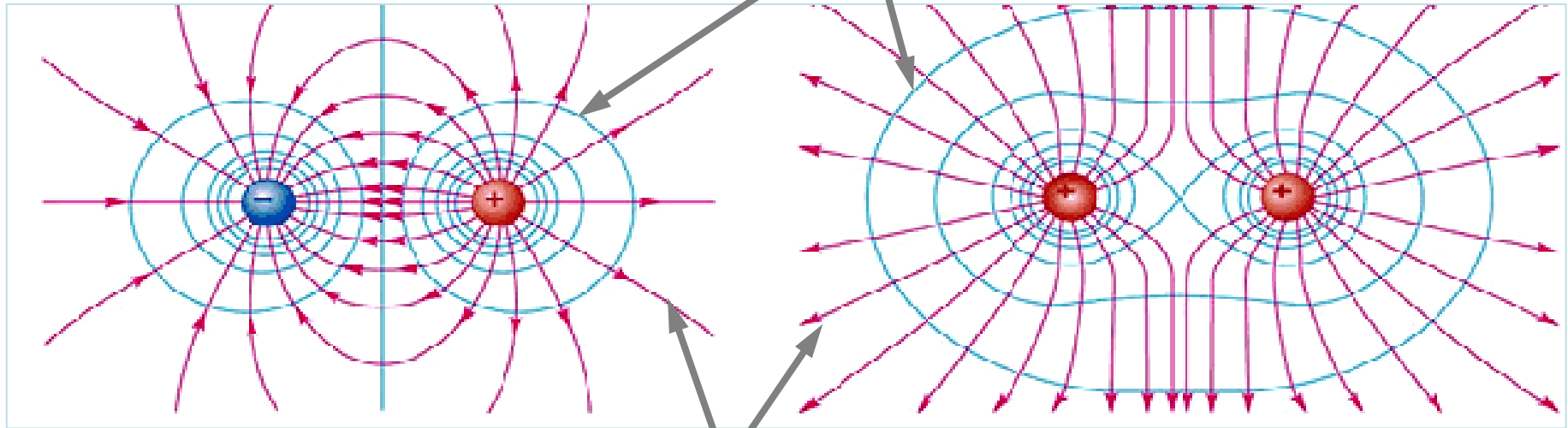
$$V(\mathbf{r}) = - \int_{r_0}^{\mathbf{r}} \mathbf{E} d\mathbf{r}$$

- El *potencial* en \mathbf{r} , $V(\mathbf{r})$, es la integral de línea *del campo eléctrico* \mathbf{E} (cambiado de signo) desde algún lugar de referencia \mathbf{r}_0 (donde decidimos que $V(\mathbf{r}_0) = 0$, el origen de potencial) hasta \mathbf{r} .
- En muchas ocasiones definimos que $V = 0$ en $r_0 = \infty$ dependiendo de la configuración del sistema

Superficies equipotenciales

Campo eléctrico y potencial creados por *dos* cargas puntuales

Superficies equipotenciales $V = \text{cte.}$



Dos cargas de
signos opuestos

Líneas de campo E

Dos cargas del
mismo signo

E es SIEMPRE *perpendicular* a las
superficies equipotenciales ($V = \text{cte.}$)

Diferencia de Potencial Eléctrico

- Si dos puntos de un campo eléctrico poseen distinto potencial eléctrico, entre ambos puntos existe lo que se denomina una **diferencia de potencial o tensión**, ΔV .
- Este valor se encuentra íntimamente relacionado con el [trabajo eléctrico](#).

El trabajo que debe realizar un campo eléctrico para trasladar una carga q desde un punto A a otro B dentro del campo se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$W_e(A \rightarrow B) = q \cdot (V_A - V_B)$$

Ejemplo T6

El potencial y el campo eléctrico a cierta distancia de una carga puntual valen 600 V y 200 N/C , respectivamente. ¿Cuál es la distancia a la carga puntual? ¿Cuál es el valor de la carga?

Aplicamos las fórmulas del campo eléctrico y del potencial para el caso de una carga puntual, de modo que podamos plantear un sistema de ecuaciones:

$$V = K \frac{Q}{r} ; \quad E = K \frac{Q}{r^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} 600 = 9 \cdot 10^9 \frac{Q}{r} \\ 200 = 9 \cdot 10^9 \frac{Q}{r^2} \end{array} \right\} \frac{600}{200} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{Q}{r}}{9 \cdot 10^9 \frac{Q}{r^2}} = r \quad r = 3\text{ m}$$

Sustituyendo en cualquiera de las ecuaciones dadas:

$$V = K \frac{Q}{r} \Rightarrow Q = \frac{Vr}{K} = \frac{600 \cdot 3}{9 \cdot 10^9} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

Vídeos:

Ley de Coulomb

<https://tv.urjc.es/video/5b486fb7d68b14072d8b456b>

Campo Eléctrico

<https://tv.urjc.es/video/5b487a38d68b1469418b4581>

Vídeos de ejercicios:

Ejemplos resueltos de Campo Eléctrico y potencial

<https://youtu.be/xVMIGRcp54U>

https://youtu.be/Obh1NVyz_No

Ejemplo dos cargas donde se anulan campo E y V

<https://youtu.be/mIEKYQrb9Ng>

<https://youtu.be/QB0tb8RRoSg>

Vídeos divulgativos

https://www.youtube.com/watch?v=QBTgzYmkC_I&ab_channel=QuantumFracture

https://www.youtube.com/watch?v=IEP5IM4N7GE&t=23s&ab_channel=QuantumFracture

BIBLIOGRAFÍA:

- "Physics for scientists and engineers" (5th edition), P.A. Tipler, G. Mosca
- Apuntes equipo docente asignatura Electromagnetismo para el Grado de Ingeniería Informática (J.E. Prieto, C. Gómez- Navarro, P. Segovia, M. Jaafar, UAM)
- Página web EUIT Forestal - Universidad Politécnica de Madrid - realizada por Teresa Martín Blas y Ana Serrano Fernández.
- Vídeos: Clase On line Universidad Rey Juan Carlos