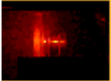


A
J
B

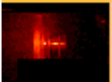


L
e
c
c
i
o
n
e
s

d
e

F
í
s
i
c
a

CAMPO ELÉCTRICO Y POTENCIAL



CARGA ELÉCTRICA

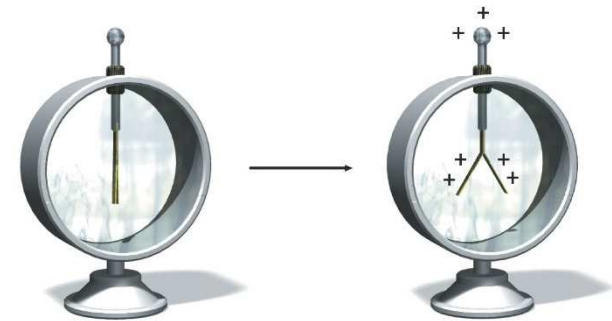
La carga eléctrica es una propiedad intrínseca de la materia que se manifiesta a través de fuerzas de atracción o repulsión que determinan las interacciones electromagnéticas (relacionadas con campos eléctricos y magnéticos).

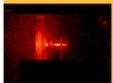
Existen dos tipos de carga: la carga positiva y la carga negativa. Los átomos están formados por un núcleo donde se concentra la carga positiva (protones) y una corteza donde reside la carga negativa (electrones). La materia ordinaria es neutra: el número de cargas positivas coincide con el de cargas negativas, pero la existencia de las cargas puede ponerse de manifiesto con algunos experimentos sencillos (aparición de cargas por frotamiento, electroscopio...).

La unidad de carga en el sistema internacional es el Culombio (C).

La carga eléctrica está cuantizada: se presenta en la naturaleza en múltiplos de la unidad fundamental de carga, la más pequeña carga libre que puede medirse, que corresponde a la carga de un electrón $-e$ o de un protón $+e$,

$$e = 1.602177 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$



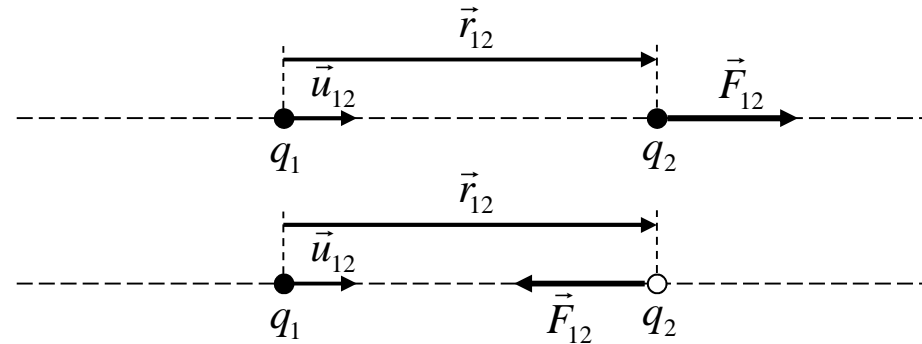


LEY DE COULOMB

La fuerza ejercida por una carga puntual sobre otra actúa a lo largo de la línea que las une. Esta fuerza varía inversamente con el cuadrado de la distancia que las separa y es proporcional al producto de las cargas. La fuerza es repulsiva si las cargas son del mismo signo y atractiva en caso contrario.

$$\vec{F}_{12} = \frac{k q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{u}_{12}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$



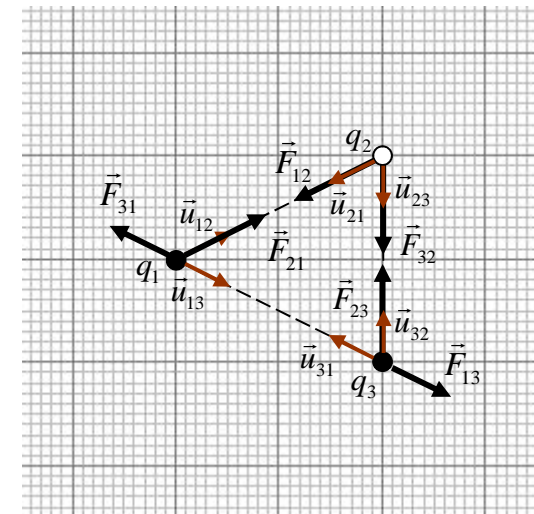
Observación: cuando $\text{signo}(q_1) = \text{signo}(q_2) \Rightarrow \vec{u}_{12}$ y \vec{F}_{12} tienen el mismo sentido

Sistemas de cargas

Se aplica el principio de superposición:

La fuerza sobre cada carga es la suma (vectorial) de las fuerzas ejercidas sobre ella por el resto de las cargas.

Sumando los términos de esta columna se obtiene la fuerza sobre la carga 1	$\vec{F}_{12} = \frac{k q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{u}_{12}$	$\vec{F}_{13} = \frac{k q_1 q_3}{r_{13}^2} \vec{u}_{13}$
$\vec{F}_{21} = \frac{k q_1 q_2}{r_{21}^2} \vec{u}_{21}$	Sumando los términos de esta columna se obtiene la fuerza sobre la carga 2	$\vec{F}_{23} = \frac{k q_1 q_3}{r_{23}^2} \vec{u}_{23}$
$\vec{F}_{31} = \frac{k q_1 q_2}{r_{31}^2} \vec{u}_{31}$	$\vec{F}_{32} = \frac{k q_1 q_3}{r_{32}^2} \vec{u}_{32}$	Sumando los términos de esta columna se obtiene la fuerza sobre la carga 3



CAMPO ELÉCTRICO

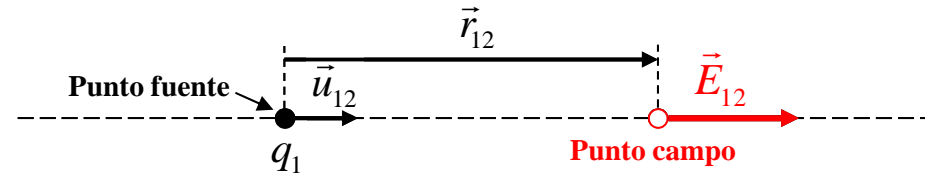
Ley de Coulomb

$$\vec{F}_{12} = \frac{k q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{u}_{12}$$

$$\vec{E}_{12} = \frac{\vec{F}_{12}}{q_2} = \frac{k q_1}{r_{12}^2} \vec{u}_{12}$$

Fuerza por
unidad de
carga (N/C)

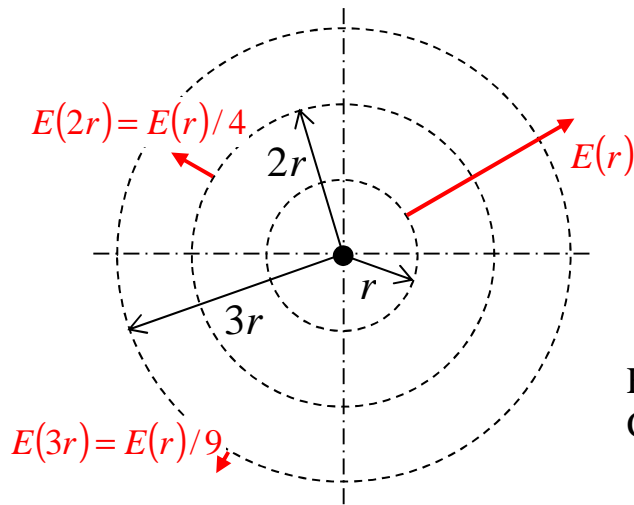
El campo creado por una
carga puntual es radial e
inversamente proporcional
al cuadrado de la distancia



Si una carga positiva muy pequeña (carga de prueba) se abandona libremente en un campo eléctrico, seguiría una trayectoria denominada línea de campo. La dirección tangente a esta línea en cada punto es la del campo eléctrico, ya que es la dirección de la fuerza ejercida sobre la carga de prueba.

Las líneas de campo se llaman también líneas de fuerza porque su tangente muestra la dirección de la fuerza ejercida sobre una pequeña carga positiva de prueba.

La densidad de líneas en cualquier punto (número de líneas por unidad de área perpendicular a las líneas) es proporcional a la magnitud del campo en dicho punto.

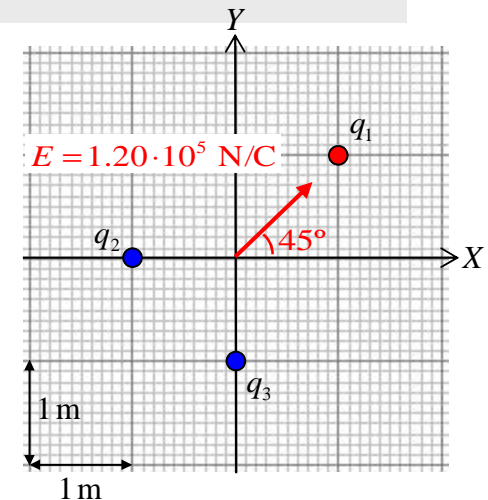


Ejemplo: sistema de cargas de la figura.
Cálculo del campo en origen coordenadas.

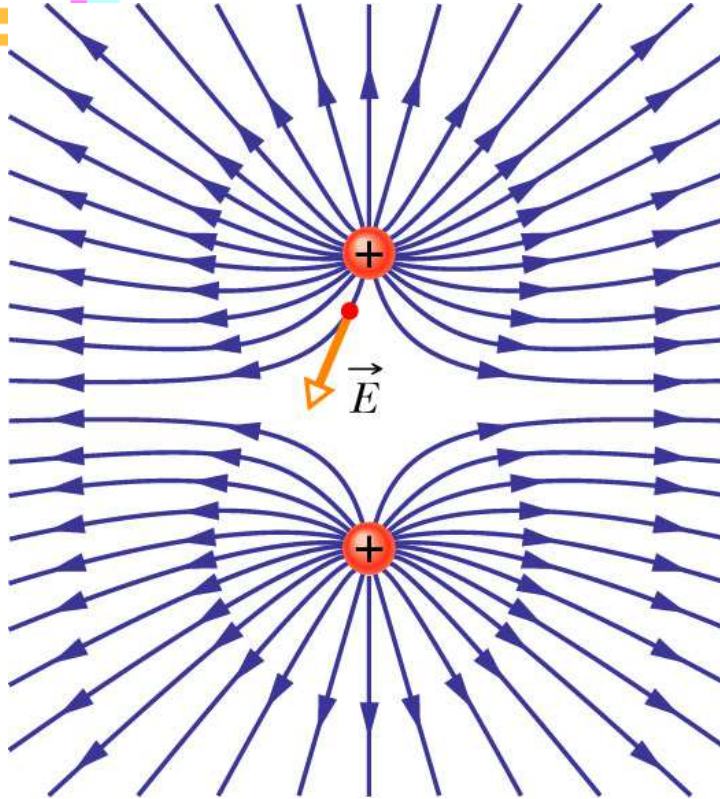
Cargas	X (m)	Y (m)	Culombios
1	1	1	-1,25E-05
2	-1	0	5,00E-06
3	0	-1	5,00E-06

Cálculo del campo eléctrico debido a un
grupo de cargas puntuales en posiciones fijas

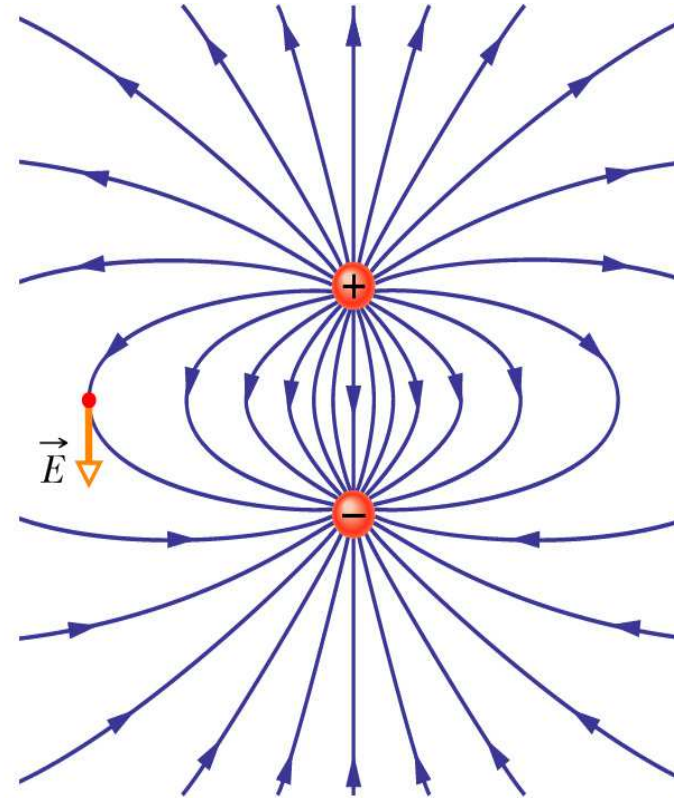
Principio de
superposición



LÍNEAS DE CAMPO



Dos cargas positivas de igual magnitud. Líneas de campo. El campo eléctrico en cualquier punto es tangente a la línea de campo correspondiente.



Dos cargas de igual magnitud, una positiva y otra negativa (dipolo eléctrico). Líneas de campo. El campo eléctrico en cualquier punto es tangente a la línea de campo correspondiente.

Las líneas de campo o bien nacen en las cargas positivas y mueren en las cargas negativas, o bien nacen en las cargas positivas y van al infinito, o bien vienen del infinito y mueren en las cargas negativas.

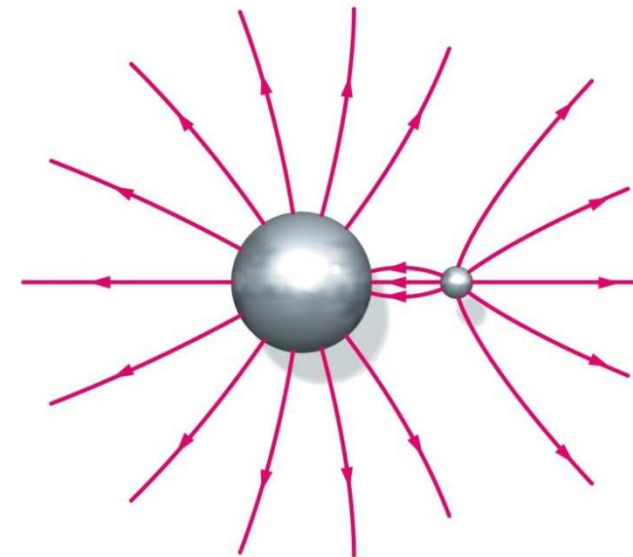
Cargas positivas: fuentes de campo
Cargas negativas: sumideros de campo

LÍNEAS DE CAMPO

Reglas para trazar las líneas de campo eléctrico

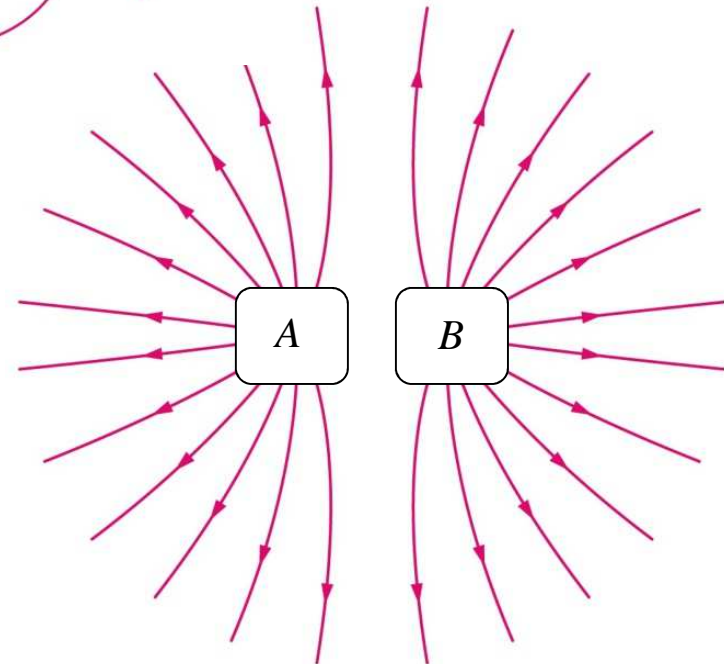
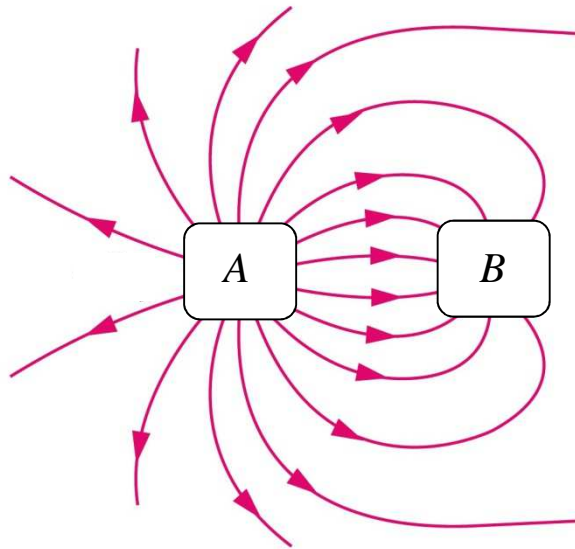
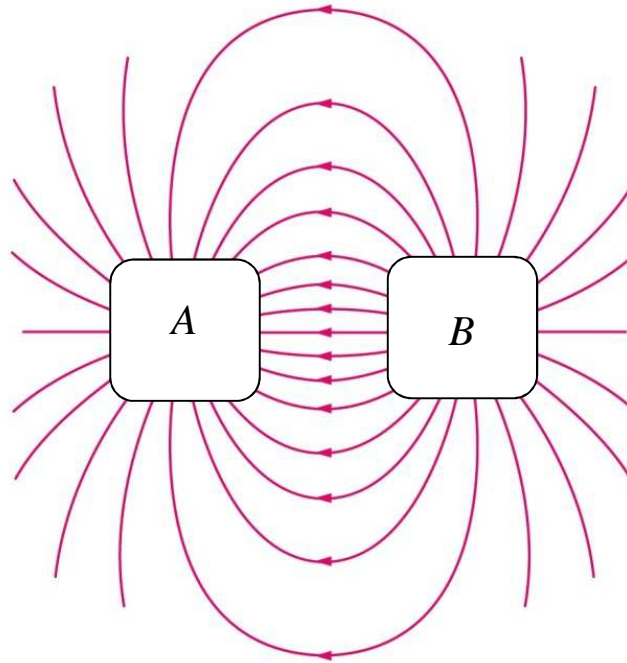
1. Las líneas de campo eléctrico empiezan en las cargas positivas (o en el infinito) y terminan en las cargas negativas (o en el infinito). Las cargas positivas se denominan por esta razón fuentes de campo, y las cargas negativas son sumideros de campo.
2. Las líneas deben dibujarse espaciadas uniformemente entrando a o saliendo de cada carga puntual.
3. El número de líneas entrantes o salientes de una carga negativa o positiva debe ser proporcional a la magnitud de la carga.
4. La densidad de líneas (número de líneas por unidad de área perpendicular a las líneas) en cualquier punto debe ser proporcional al valor del campo en ese punto.
5. A grandes distancias de un sistema de cargas dotado de carga neta las líneas de campo deben dibujarse radiales e igualmente espaciadas, como si proviniesen de un único punto donde estuviese concentrada la carga neta del sistema.
6. Dos líneas de campo no pueden cruzarse, puesto que si lo hicieran esto indicaría que en el punto de intersección el campo eléctrico tiene dos direcciones diferentes (recordemos que la dirección del campo en cada punto es tangente a la línea de campo que pasa por allí).

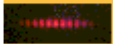
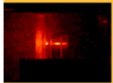
En la figura se muestran las líneas de campo eléctrico para dos esferas conductoras. ¿Cuál es el signo y la magnitud relativa de las cargas en ambas esferas?



LÍNEAS DE CAMPO

¿Qué hay dentro de la caja A
y qué hay dentro de la caja B?

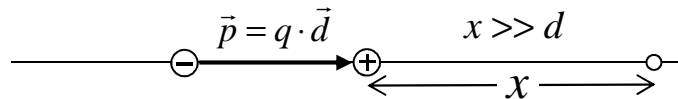




DIPOLO ELÉCTRICO

Es una configuración de dos cargas de igual magnitud q y signos contrarios separadas por una distancia d . Denominamos momento dipolar eléctrico p al producto de la magnitud de la carga q por la distancia d , y asignamos carácter vectorial a esta magnitud denominando \vec{p} al vector de módulo p cuyo origen es la carga negativa y cuyo extremo es la carga positiva.

¿Cuánto vale el campo de un dipolo en un punto lejano medido sobre la línea que definen las dos cargas?



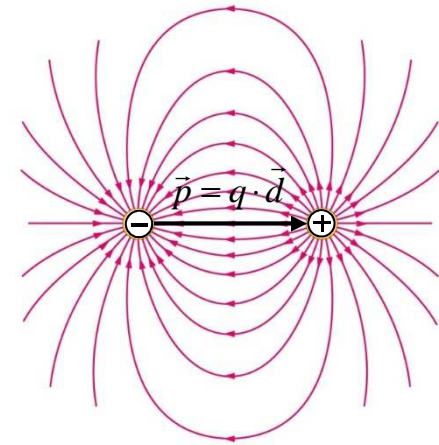
$$E = k \frac{q}{x^2} + k \frac{-q}{(x+d)^2} = k q \left(\frac{1}{x^2} - \frac{1}{(x+d)^2} \right) = k q \left(\frac{\cancel{x^2} + d^2 + 2x d - \cancel{x^2}}{x^2(x+d)^2} \right) = k q d \left(\frac{d+2x}{x^2(x+d)^2} \right)$$

$$E \approx 2k \frac{q d}{x^3}$$

$$\vec{E} \approx 2k \frac{\vec{p}}{x^3}$$

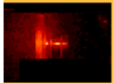
$$x+d \approx x$$

$$x^2(x+d)^2 \approx x^4$$



$$d+2x \approx 2x$$

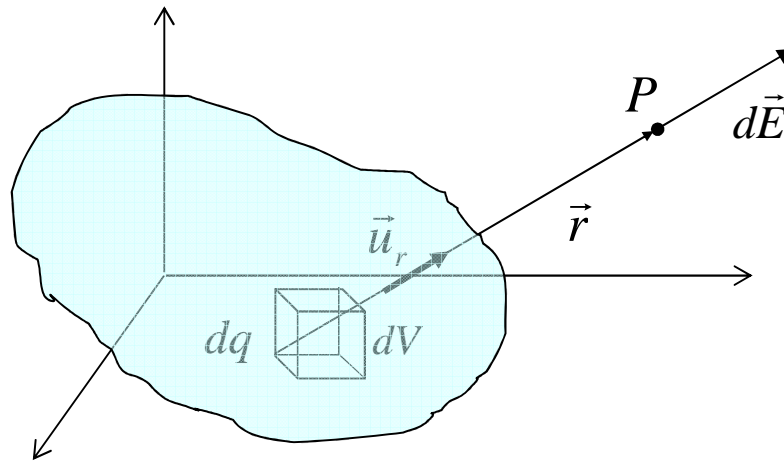
El campo eléctrico en presencia de dipolos varía de forma inversamente proporcional al **cubo** de la distancia



CAMPO ELÉCTRICO EN DISTRIBUCIONES CONTINUAS DE CARGA

Determinar el campo eléctrico producido en un punto por una distribución continua de cargas requiere dividir la distribución en un gran número de partes elementales, determinar el campo asociado a cada una de esas partes y luego sumar las contribuciones de todas ellas.

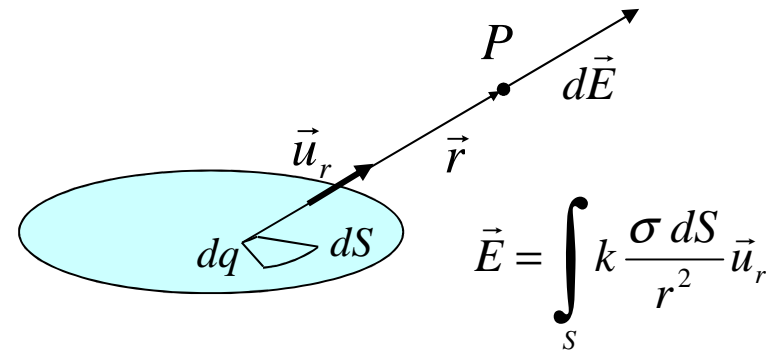
Densidad volumétrica de carga (C/m³) $\rho = \frac{dq}{dV}$



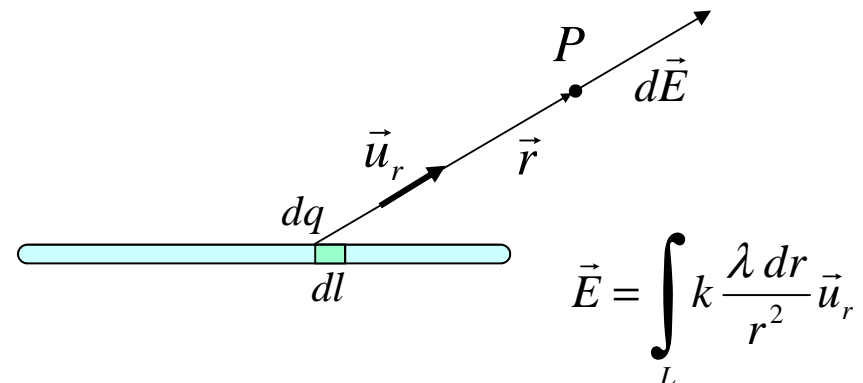
$$d\vec{E} = k \frac{dq}{r^2} \vec{u}_r$$

$$d\vec{E} = k \frac{\rho dV}{r^2} \vec{u}_r \quad \vec{E} = \int_V k \frac{\rho dV}{r^2} \vec{u}_r$$

Densidad superficial de carga (C/m²) $\sigma = \frac{dq}{dS}$

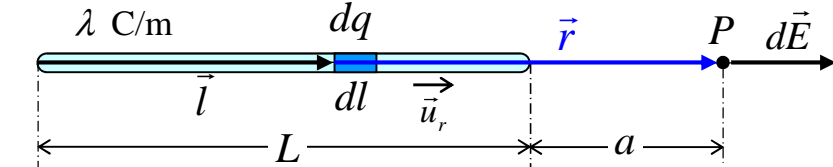


Densidad lineal de carga (C/m) $\lambda = \frac{dq}{dr}$



CAMPO ELÉCTRICO EN DISTRIBUCIONES CONTINUAS DE CARGA

Ejemplo. Calcular el campo eléctrico producido por una barra de longitud L que contiene una distribución de carga lineal uniforme de λ C/m en un punto alineado con la barra y situado a la distancia a de su extremo.



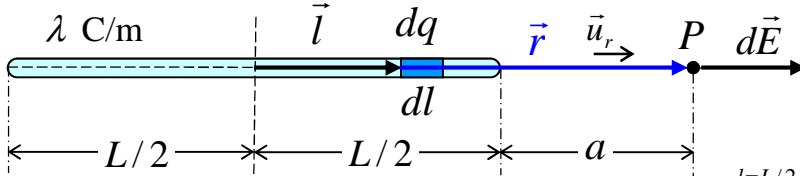
$$d\vec{E} = k \frac{dq}{r^2} \vec{u}_r \quad \vec{E} = \int_L k \frac{\lambda dl}{r^2} \vec{u}_r$$

$$\lambda = \frac{dq}{dl} \quad r = (L+a)-l \quad \vec{E} = \int_{l=0}^{l=L} k \frac{\lambda dl}{(L+a-l)^2} \vec{u}_r = k \lambda \vec{u}_r \int_{l=0}^{l=L} \frac{dl}{(L+a-l)^2} = \lambda k \vec{u}_r \left[\frac{1}{L+a-l} \right]_{l=0}^{l=L}$$

$$\vec{E} = \lambda k \vec{u}_r \left[\frac{1}{a} - \frac{1}{L+a} \right]$$

$$\vec{E} = \lambda k \frac{L}{a(L+a)} \vec{u}_r = \frac{k q}{a(L+a)} \vec{u}_r$$

Alternativa



$$\vec{E} = \int_{l=-L/2}^{l=L/2} k \frac{\lambda dl}{(L/2+a-l)^2} \vec{u}_r = k \lambda \vec{u}_r \int_{l=-L/2}^{l=L/2} \frac{dl}{(L/2+a-l)^2}$$

$$\vec{E} = \lambda k \vec{u}_r \left[\frac{1}{L/2+a-l} \right]_{l=-L/2}^{l=L/2} = \lambda k \vec{u}_r \left[\frac{1}{a} - \frac{1}{L+a} \right]$$

$$\vec{E} = \lambda k \frac{L}{a(L+a)} \vec{u}_r = \frac{k q}{a(L+a)} \vec{u}_r$$

Resolución de la integral

Cambio de variable:

$$L+a-l = z$$

$$dz = -dl$$

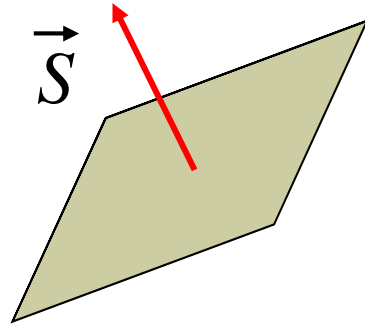
$$\int \frac{dl}{(L+a-l)^2} = - \int \frac{dz}{z^2} = - \left(-\frac{1}{z} \right) = \frac{1}{L+a-l}$$

CONCEPTO DE FLUJO DE UN CAMPO VECTORIAL

Una magnitud física...

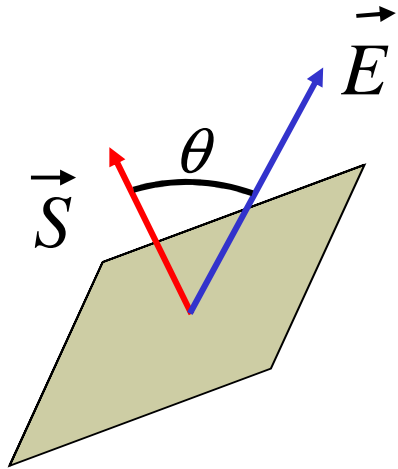
\vec{E}

Una superficie...



Carácter vectorial...

Flujo de \vec{E} a través de la superficie



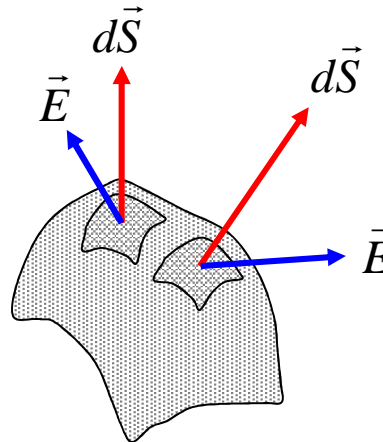
$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S}$$

\longrightarrow

$$\Phi = E \cdot S \cdot \cos \theta$$

CANTIDAD
ESCALAR

Definición integral

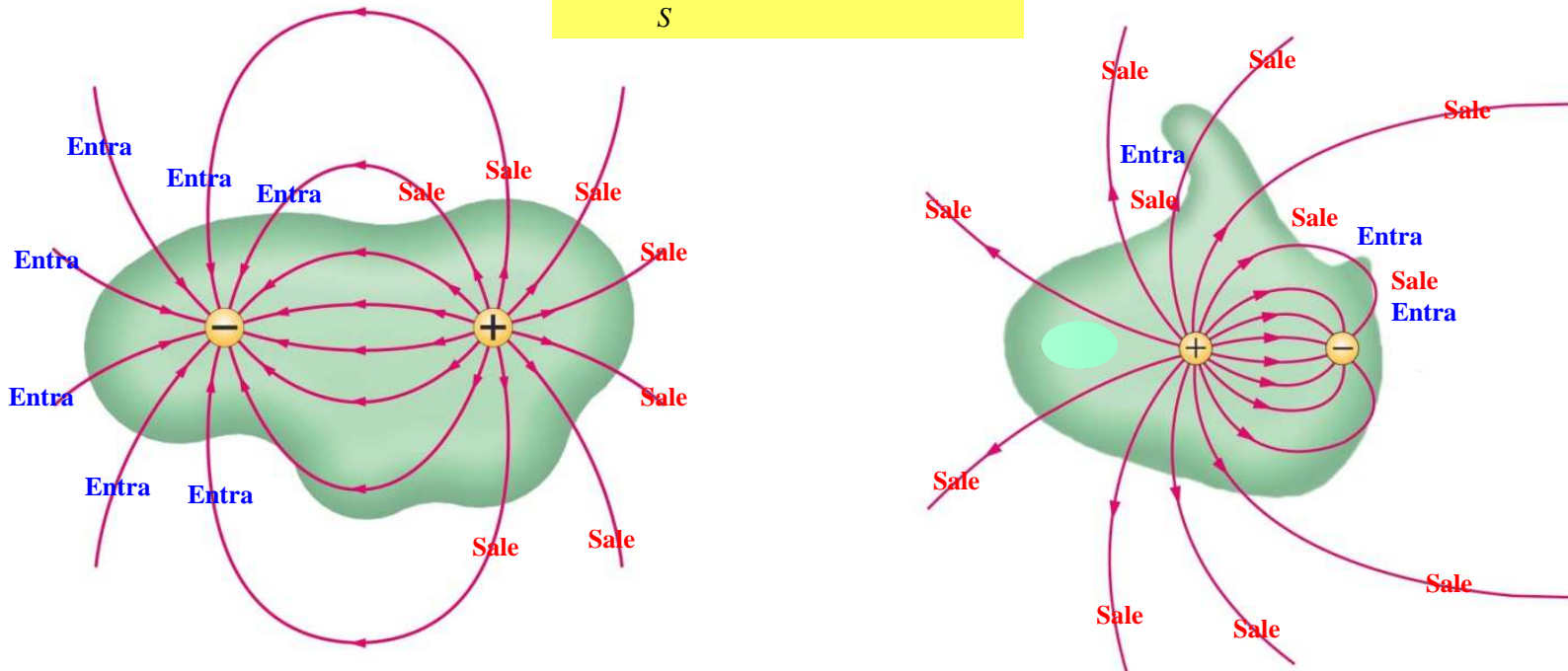


$$\Phi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

LEY DE GAUSS

El flujo neto del campo eléctrico estático a través de cualquier superficie **cerrada** es igual a $4\pi k$ veces el valor de la carga neta encerrada por dicha superficie.

Flujo neto $\rightarrow \Phi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 4\pi \cdot k \cdot Q \leftarrow$ Carga neta



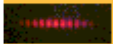
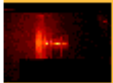
Reformulación de la ley de Gauss en términos de la **permitividad** del vacío ϵ_0

$$k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \Rightarrow \Phi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

APLICACIONES DE LA LEY DE GAUSS

La ley de Gauss es muy útil para determinar el campo eléctrico en situaciones de alta simetría.

- * Campo eléctrico de una carga puntual
- * Campo eléctrico de una distribución superficial de carga sobre un plano indefinido
- * Campo eléctrico de una distribución lineal indefinida de carga
- * Campo eléctrico de una esfera dieléctrica cargada con densidad uniforme
- * Campo eléctrico de una corteza conductora cargada
- * Campo eléctrico en la vecindad de la superficie de un conductor



* Cálculo del campo eléctrico en la vecindad de la superficie de un **conductor en equilibrio** ■

Conductor cargado con una carga total Q . Su forma es arbitraria.

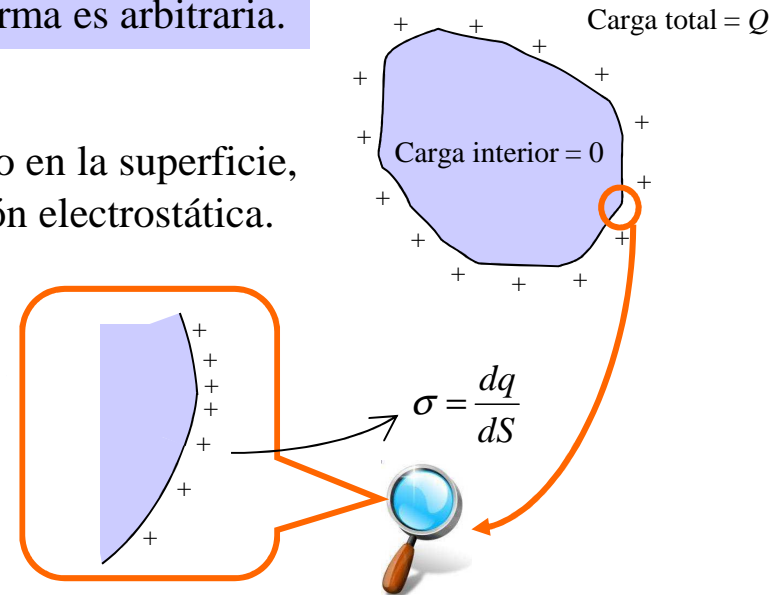
1. ¿Dónde se encuentra la carga?

Respuesta: la carga está en la superficie y solo en la superficie, pues esta es la forma de minimizar la repulsión electrostática.

2. ¿Cómo está repartida la carga?

Respuesta: La carga está repartida en forma desigual, de un modo que depende de las características de curvatura de la superficie en cada punto.

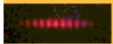
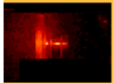
Esto implica que en cada punto la densidad superficial de carga será en general distinta.



3. ¿Qué dirección tiene el campo eléctrico creado por esta carga en la inmediata vecindad de la superficie del conductor?

Respuesta: La dirección del campo eléctrico en todo punto de la superficie es **siempre perpendicular** a ella, **independientemente de la forma** que tenga el conductor.

Explicación: como el conductor está en equilibrio (es decir, las cargas situadas en la superficie no se desplazan), el campo eléctrico en la superficie no puede tener ninguna componente paralela a la misma, pues en este caso las cargas se desplazarían arrastradas por dicha componente del campo, en contra de la hipótesis de conductor en equilibrio.



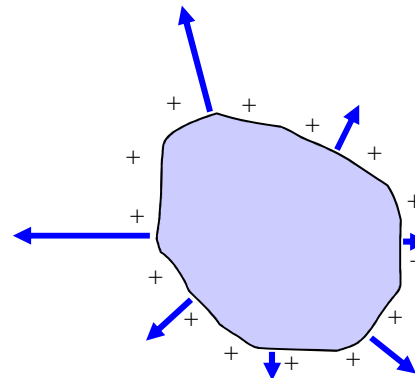
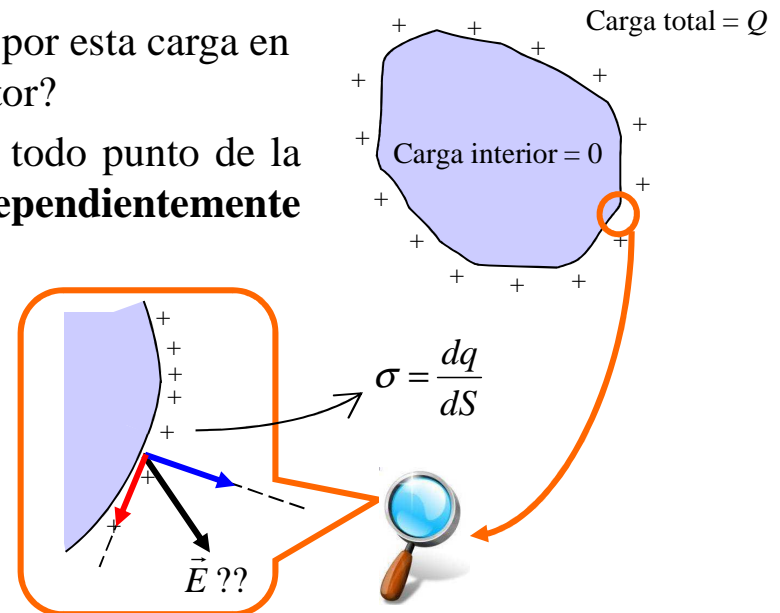
* Cálculo del campo eléctrico en la vecindad de la superficie de un **conductor en equilibrio**

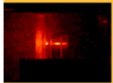
Conductor cargado con una carga total Q . Su forma es arbitraria.

3. ¿Qué dirección tiene el campo eléctrico creado por esta carga en la inmediata vecindad de la superficie del conductor?

Respuesta: La dirección del campo eléctrico en todo punto de la superficie es **siempre perpendicular** a ella, **independientemente de la forma** que tenga el conductor.

Explicación: como el conductor está en equilibrio (es decir, las cargas situadas en la superficie no se desplazan), el campo eléctrico en la superficie no puede tener ninguna componente paralela a la misma, pues en este caso las cargas se desplazarían arrastradas por dicha componente del campo, en contra de la hipótesis de conductor en equilibrio.



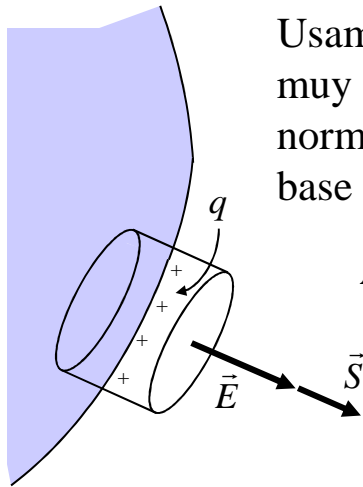


* Cálculo del campo eléctrico en la vecindad de la superficie de un **conductor en equilibrio**

Conductor cargado con una carga total Q . Su forma es arbitraria.

Cálculo del campo: aplicaremos el teorema de Gauss

Usamos como gaussiana un cilindro cerrado muy estrecho (bases muy pequeñas) y normal a la superficie conductora, con su base exterior muy ceñida a dicha superficie.



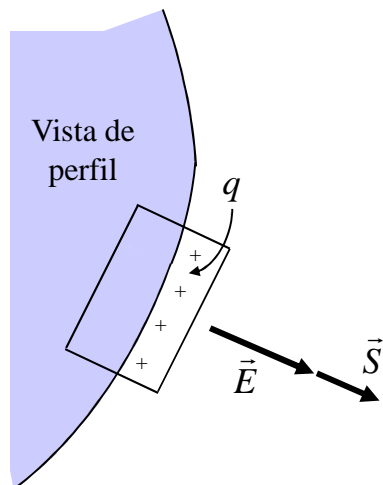
Argumentos para la aplicación del teorema de Gauss

1. No hay flujo a través de la superficie lateral del cilindro porque el campo es perpendicular a la superficie.
2. No hay flujo a través de la base interior del cilindro porque el campo dentro del conductor es cero.

$$\Phi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 4\pi \cdot k \cdot q$$

$$E \cdot S = 4\pi \cdot k \cdot q$$

$$E = 4\pi \cdot k \cdot \frac{q}{S} = 4\pi \cdot k \cdot \sigma$$

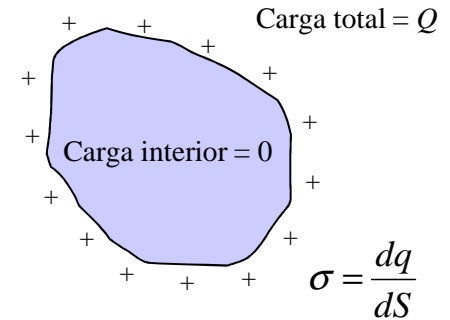


$$\int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_{\text{Base exterior}} E \cdot dS = E \int_{\text{Base exterior}} dS = E \cdot S$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{u}_n$$

Vector normal a la superficie en cada punto



POTENCIAL ELÉCTRICO

Calculemos el trabajo necesario para trasladar a lo largo de un camino arbitrario una pequeña carga q entre dos puntos A y B situados en el seno del campo eléctrico creado por la carga puntual Q .

Trabajo cuando la carga q se desplaza $d\vec{l}$

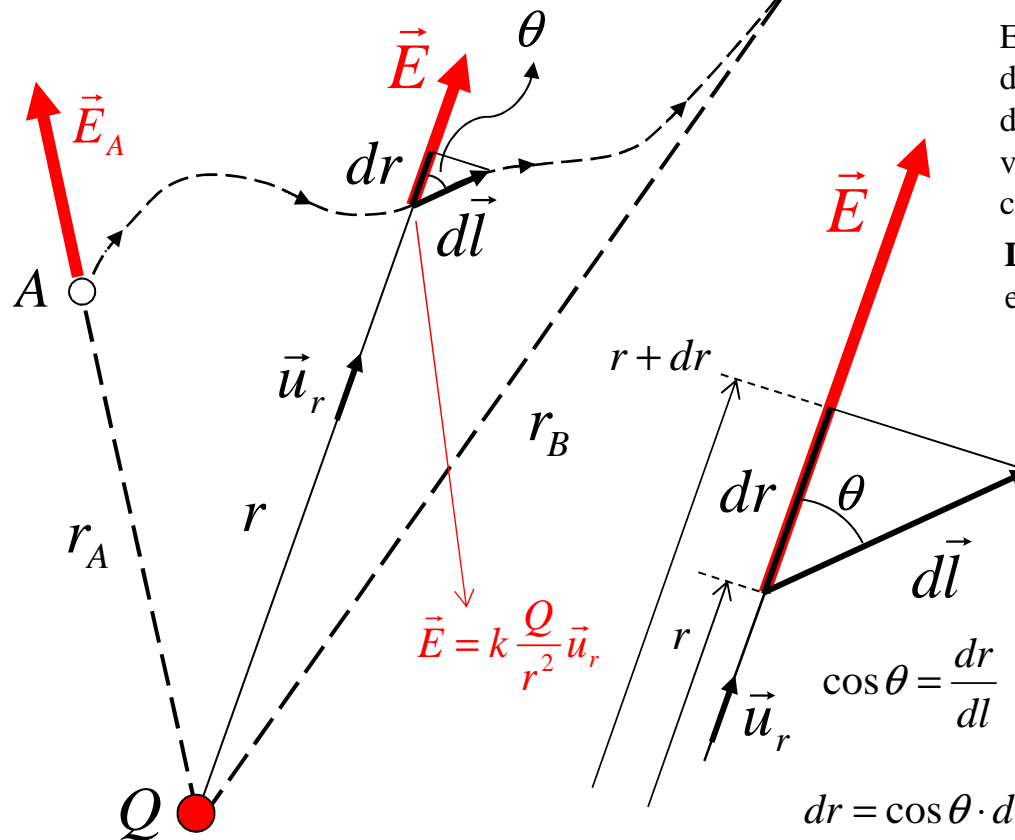
$$dW = q\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Trabajo por unidad de carga asociado al desplazamiento $d\vec{l}$

$$\frac{dW}{q} = \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\frac{dW}{q} = \vec{E} \cdot d\vec{l} = k \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r \cdot d\vec{l} = k \frac{Q}{r^2} \cdot \overbrace{1 \cdot dl \cdot \cos \theta}^{\vec{u}_r \cdot d\vec{l}}$$

$$\frac{dW}{q} = k \frac{Q}{r^2} \cdot dr$$



El trabajo elemental por unidad de carga sólo depende de la carga que crea el campo (Q) y de la variación en la posición dr , pero no del valor de la carga que se mueve en el seno del campo (q) ni de la trayectoria $d\vec{l}$.

Definimos la variación elemental de potencial eléctrico dV asociada con dr como:

$$-\frac{dW}{q} = dV = -k \frac{Q}{r^2} \cdot dr$$

El signo $-$ se explica después

Diferencia de potencial entre B y A

$$V_{BA} = V_B - V_A$$

$$V_{BA} = - \int_{r_A}^{r_B} k \frac{Q}{r^2} \cdot dr = k Q \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

POTENCIAL ELÉCTRICO / 2

Diferencia de potencial entre B y A

$$V_{BA} = V_B - V_A$$

$$V_{BA} = - \int_{r_A}^{r_B} k \frac{Q}{r^2} \cdot dr = k Q \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

Nótese que cuando la distancia $r_B > r_A$, el término $\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right) < 0$

En consecuencia, la diferencia de potencial $V_{BA} = V_B - V_A$ es negativa cuando $Q > 0$ y positiva en caso contrario.

Esto significa que el potencial decrece a medida que nos alejamos de una carga positiva y crece según nos alejamos de una carga negativa: la razón de que se haya definido anteriormente la variación elemental de potencial con el signo negativo es precisamente para que esto sea así.

$$dV = - \frac{dW}{q} = -k \frac{Q}{r^2} \cdot dr$$

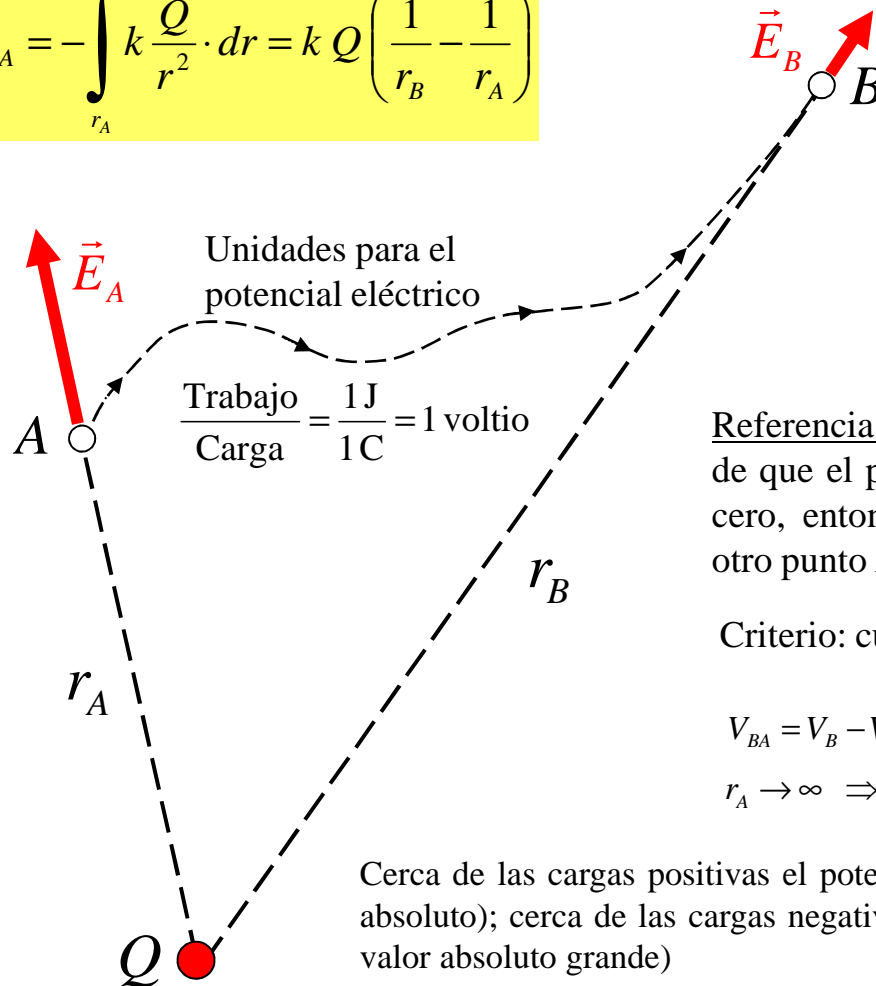
Referencia para potencial cero. Si adoptamos el convenio de que el potencial en un determinado punto A sea igual a cero, entonces podemos definir el potencial en cualquier otro punto B con arreglo a esa referencia.

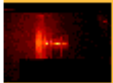
Criterio: cuando $r_A \rightarrow \infty$ entonces $V_A = 0$

$$V_{BA} = V_B - V_A = k Q \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right) \Rightarrow V_B = k \frac{Q}{r_B}$$

$$r_A \rightarrow \infty \Rightarrow V_A = 0$$

Cerca de las cargas positivas el potencial es alto (r_B pequeño, V_B positivo de gran valor absoluto); cerca de las cargas negativas el potencial es bajo (r_B pequeño, V_B negativo de valor absoluto grande)



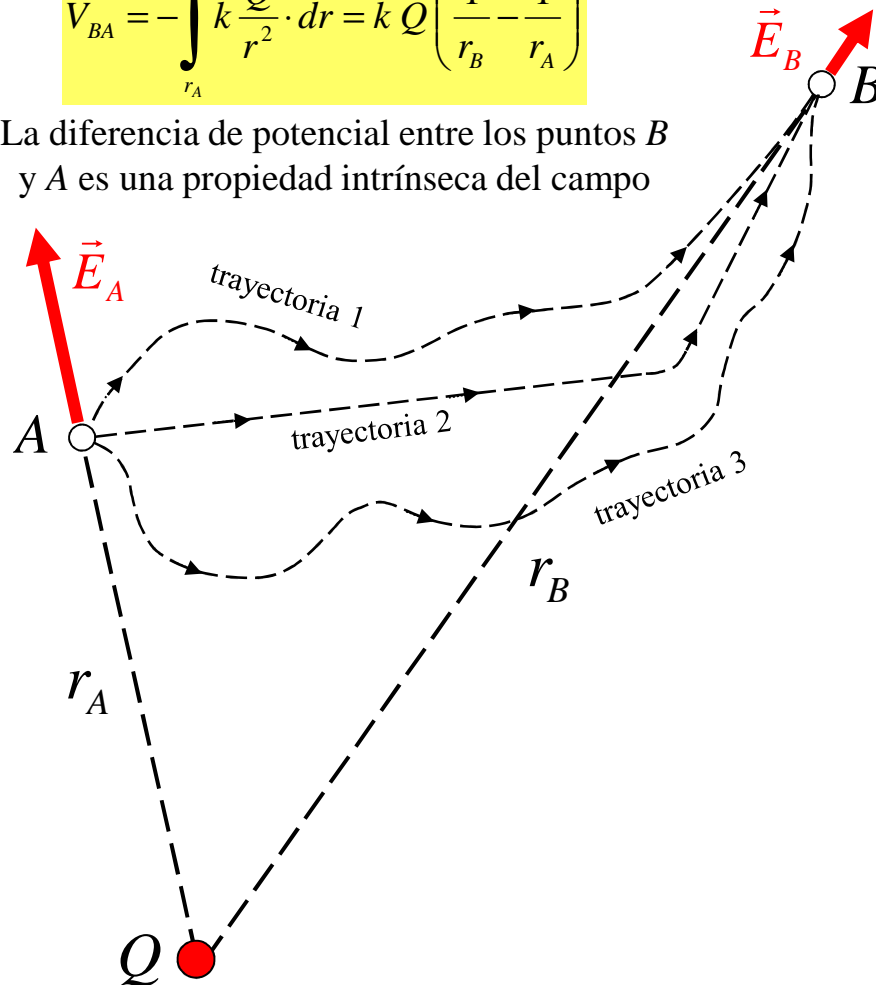


POTENCIAL ELÉCTRICO / 3

El trabajo por unidad de carga para trasladar cualquier carga entre dos puntos cualesquiera A y B de un campo eléctrico estático no depende de los detalles de la trayectoria seguida, sólo es función de los puntos inicial y final. Por eso, la diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico estático sólo es función de los puntos considerados: no depende de la trayectoria que los une.

$$V_{BA} = - \int_{r_A}^{r_B} k \frac{Q}{r^2} \cdot dr = k Q \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

La diferencia de potencial entre los puntos B y A es una propiedad intrínseca del campo



$$\left(\frac{W}{q} \right)_{\text{tray1}} = \left(\frac{W}{q} \right)_{\text{tray2}} = \left(\frac{W}{q} \right)_{\text{tray2}} = \dots = V_B - V_A = V_{BA}$$

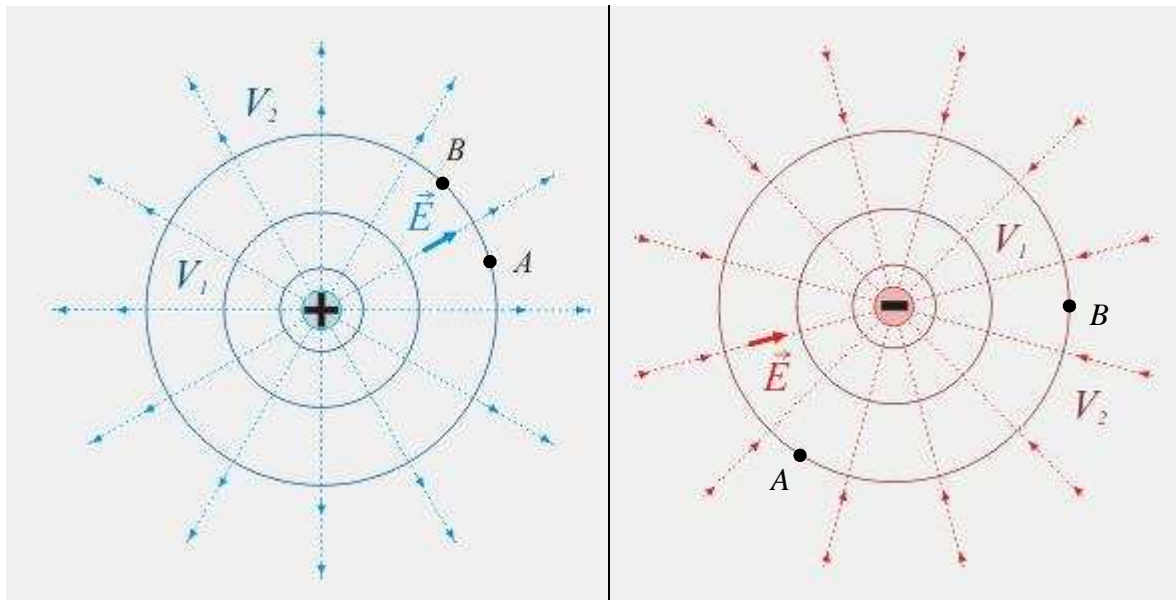
Los campos vectoriales que tienen esta propiedad se llaman campos conservativos: **el campo eléctrico estático es un campo conservativo.**

SUPERFICIES y LÍNEAS EQUIPOTENCIALES

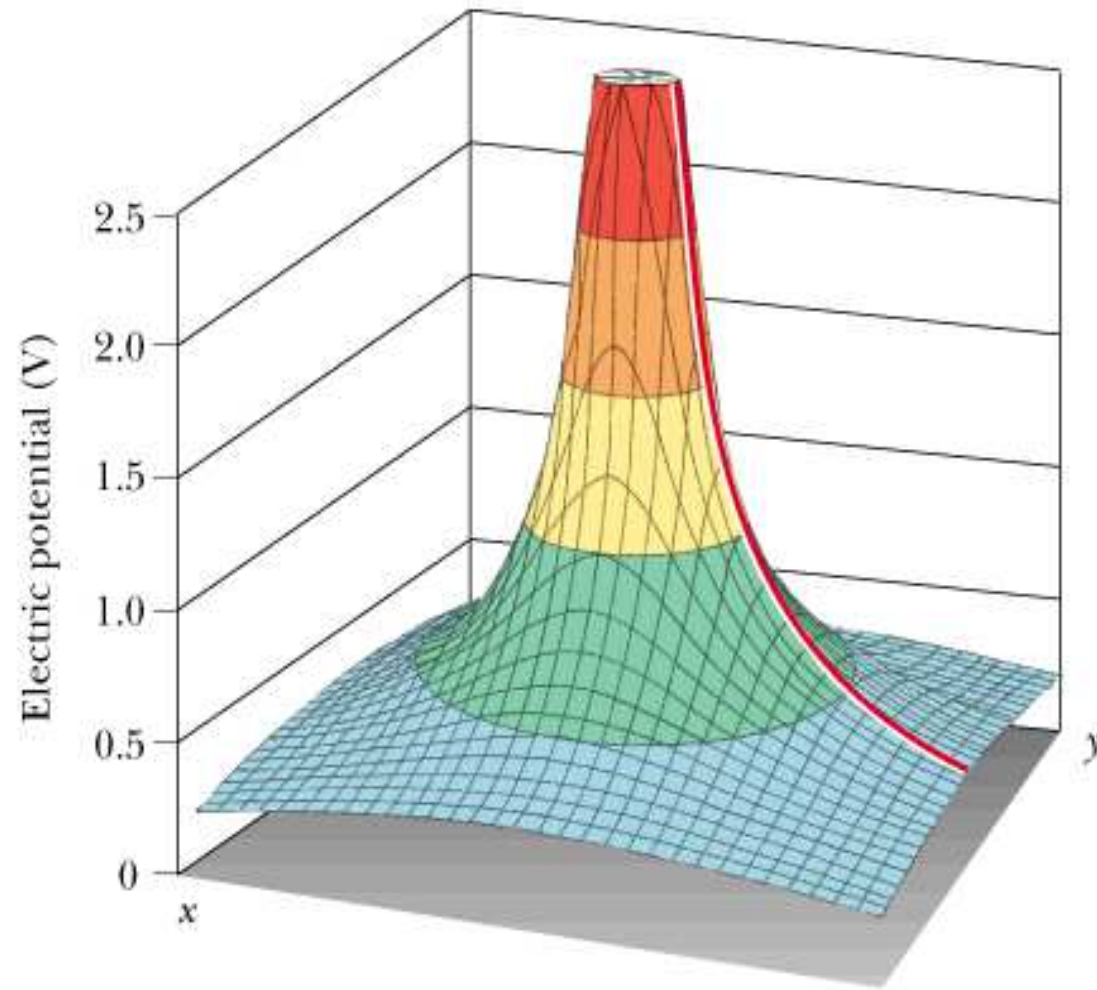
Una **superficie equipotencial** está formada por el conjunto de todos los puntos que tienen el mismo valor de potencial en el seno de un campo eléctrico.

Una **línea equipotencial** es la intersección de una superficie equipotencial con un plano. Obviamente, todos los puntos de una línea equipotencial también tienen el mismo potencial, ya que pertenecen a una misma superficie equipotencial.

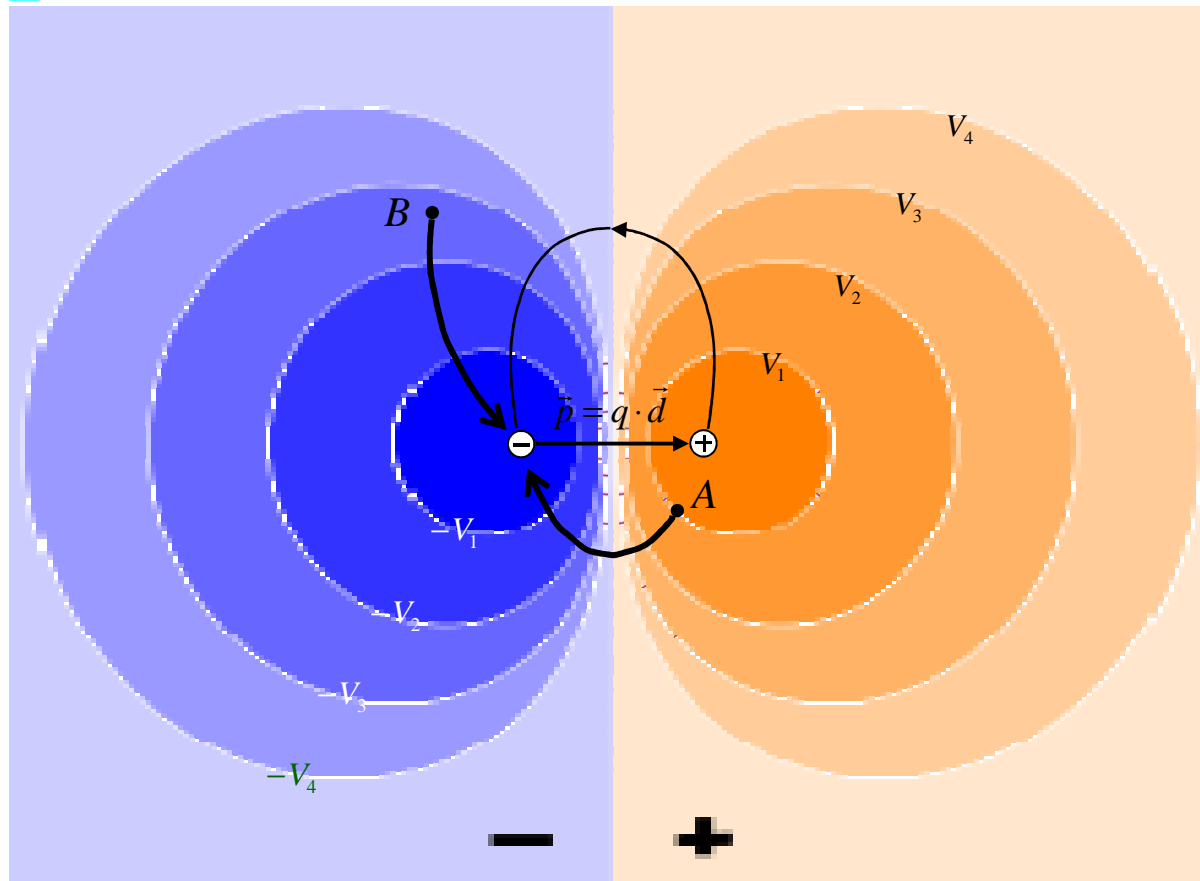
Ejemplo: las líneas equipotenciales de cargas puntuales aisladas son circunferencias concéntricas alrededor de dichas cargas, ya que el potencial a una distancia r de una carga puntual aislada es: $V = k \frac{Q}{r}$



Cuestión: ¿Cuál es el trabajo si una carga de prueba se desplaza desde el punto A hasta el punto B?



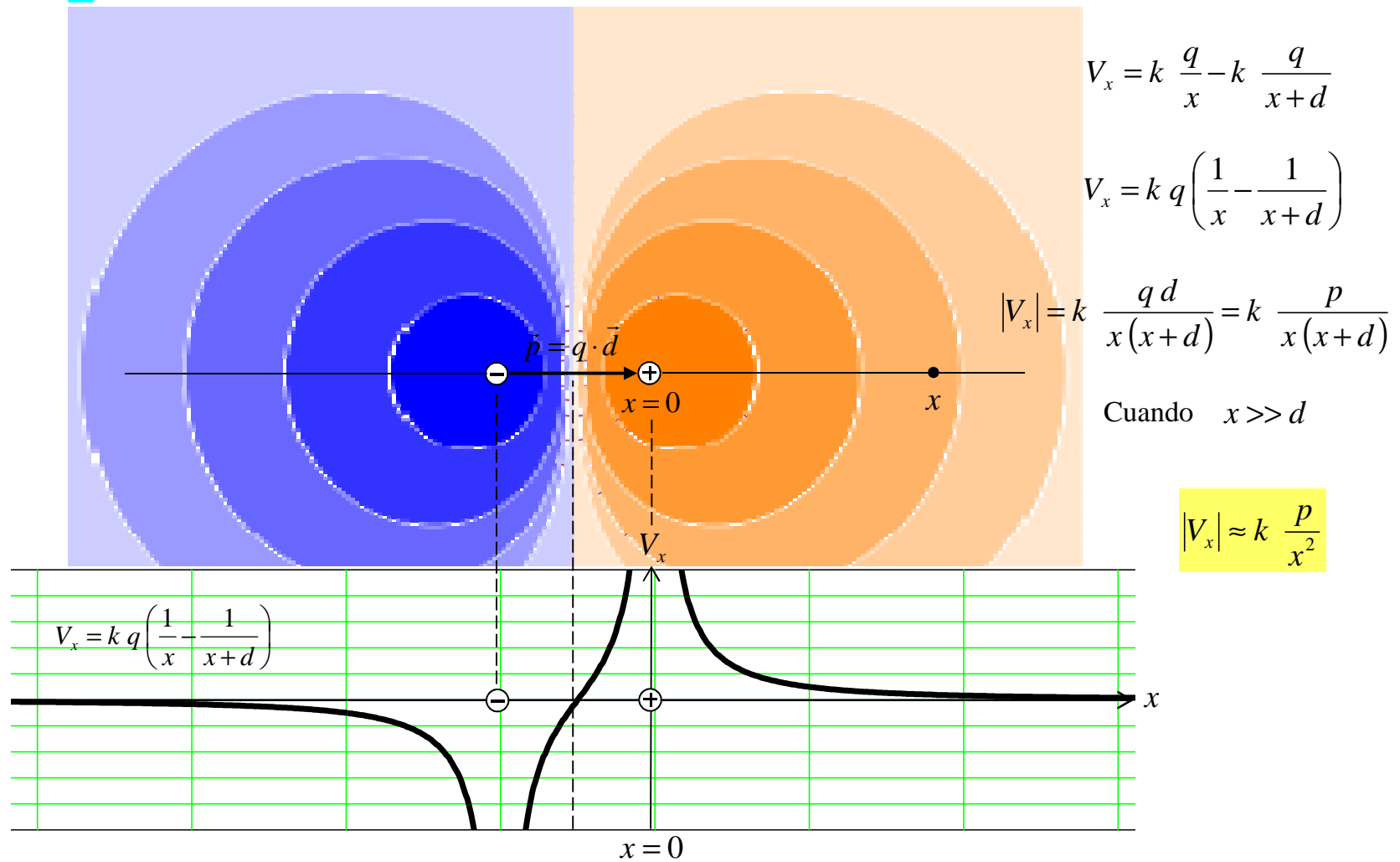
Similitud
con los
mapas de
isobaras

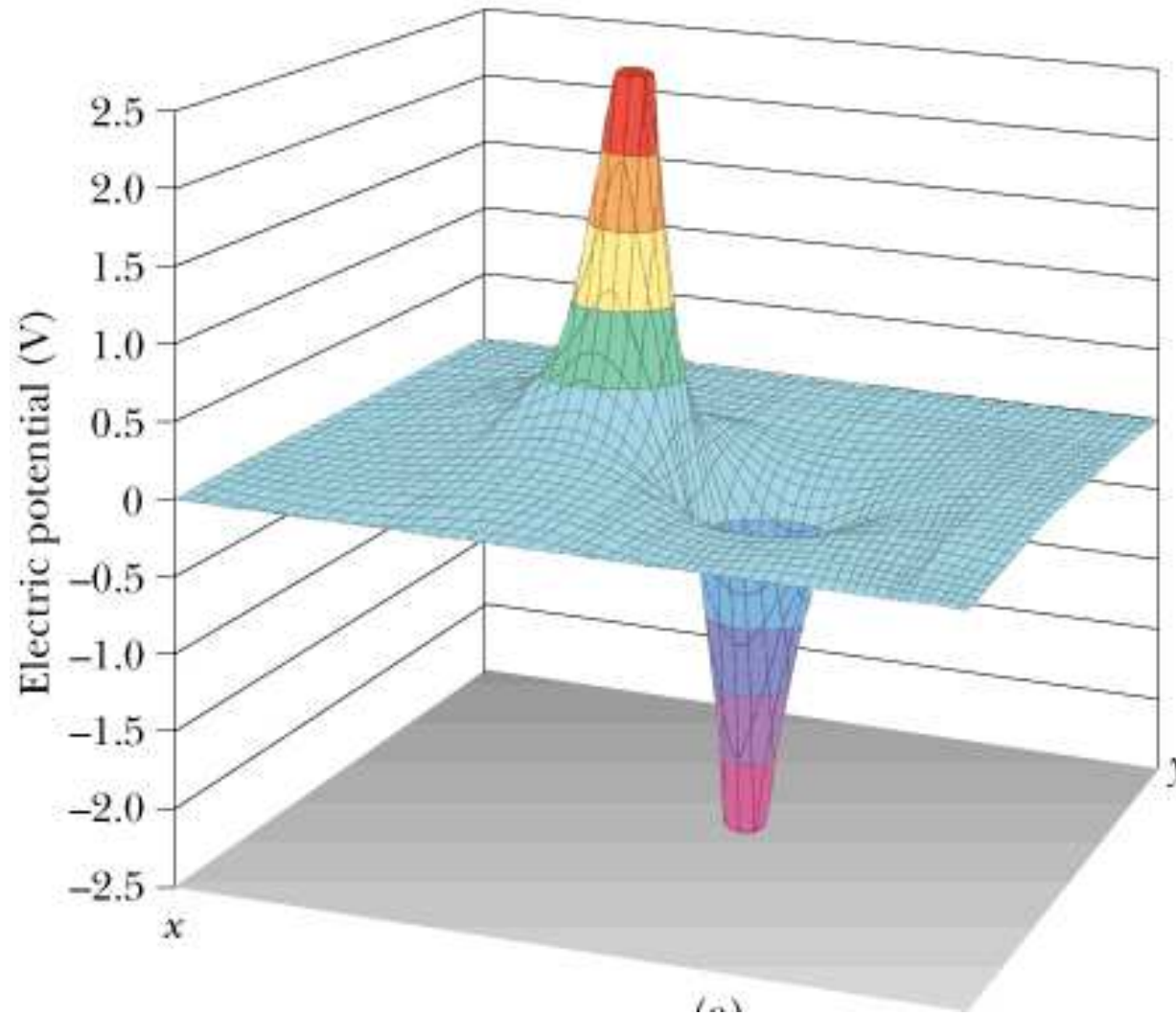


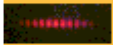
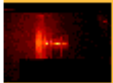
Cuestión 1.
Dibujar la trayectoria
aproximada de una
carga positiva de
prueba abandonada
en el punto A.

Cuestión 2.
Dibujar la trayectoria
aproximada de una
carga positiva de
prueba abandonada
en el punto B.

Las líneas de un campo eléctrico son perpendiculares a las equipotenciales



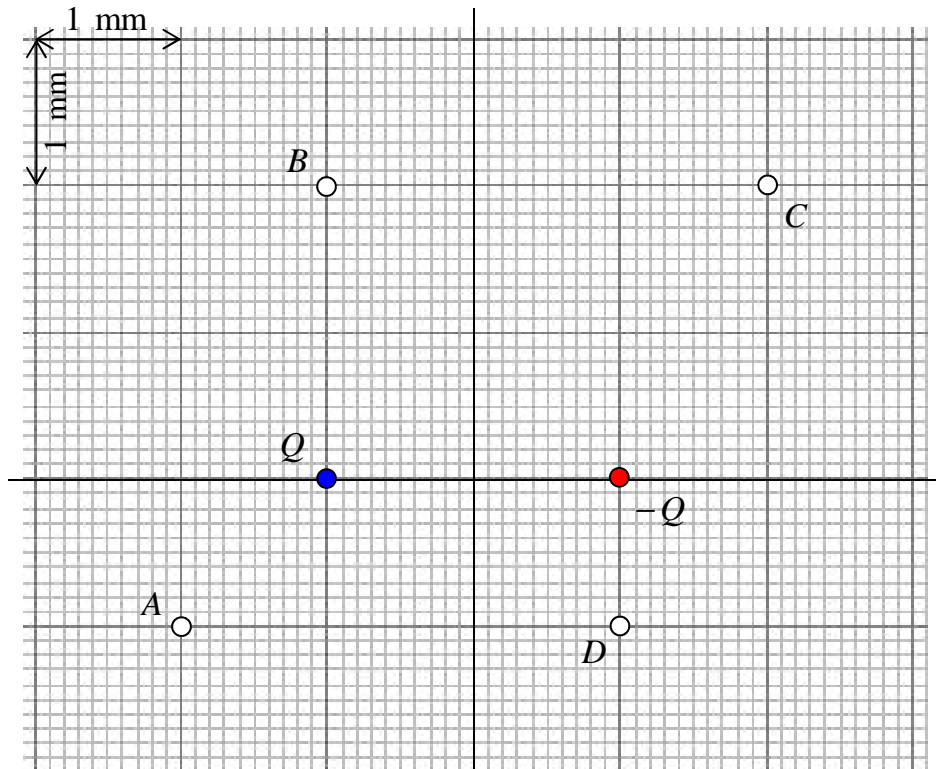




POTENCIAL ELÉCTRICO. EJEMPLO

Considere el dipolo eléctrico de la figura, donde $Q = 1 \text{ nC}$. La distancia entre las cargas es de 2 mm .

1. Determinar el potencial en los puntos A, B, C, D (constante de Coulomb $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$).
2. Calcular el trabajo realizado por el campo eléctrico cuando una carga de $+10^{-3} \text{ nC}$ se mueve de A hasta B .



1. Para cualquiera de los puntos se verifica:

$$V_P = V_{P+} + V_{P-} = \left(k \frac{Q}{r_+} - k \frac{Q}{r_-} \right)_P = k Q \left(\frac{1}{r_+} - \frac{1}{r_-} \right)_P$$

donde $P = A, B, C$ o D y $k Q = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-9} = 9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$

Las distancias se miden en mm sobre la escala

$$V_A = \frac{9}{10^{-3}} \left(\frac{1}{\sqrt{1^2 + 1^2}} - \frac{1}{\sqrt{3^2 + 1^2}} \right) = 3518 \text{ V}$$

$$V_B = \frac{9}{10^{-3}} \left(\frac{1}{\sqrt{0^2 + 2^2}} - \frac{1}{\sqrt{2^2 + 2^2}} \right) = 1318 \text{ V}$$

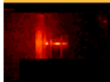
$$V_C = \frac{9}{10^{-3}} \left(\frac{1}{\sqrt{3^2 + 2^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 2^2}} \right) = -1529 \text{ V}$$

$$V_D = \frac{9}{10^{-3}} \left(\frac{1}{\sqrt{2^2 + 1^2}} - \frac{1}{\sqrt{0^2 + 1^2}} \right) = -4975 \text{ V}$$

2. Trabajo asociado al desplazamiento de una carga de 10^{-3} nC .

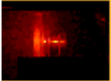
$$W = 10^{-3} \cdot 10^{-9} (V_B - V_A) = 10^{-3} \cdot 10^{-9} (1318 - 3518) = -2.2 \cdot 10^{-9} \text{ J}$$

- ⌞ Interpretación: la carga *positiva* de $+10^{-3} \text{ nC}$ se mueve desde un punto donde el potencial es mayor (A) hasta otro de potencial menor (B): el signo negativo del trabajo resultante indica que es el propio campo eléctrico el que suministra el trabajo necesario, independientemente del camino que siga la carga.



CAMPO Y POTENCIAL ELÉCTRICO PARA DIVERSAS CONFIGURACIONES DE CARGA

	Magnitud del campo eléctrico	Potencial eléctrico	Ubicación del potencial cero
Carga puntual	$\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$	$\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$	∞
Distribución lineal indefinida, con densidad lineal de carga λ	$\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$	$-\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r}{a}$	$r = a$
Dos placas paralelas indefinidas, con densidad superficial de carga σ , separación d	$\frac{\sigma}{\epsilon_0}$	$\Delta V = -Ed = -\frac{\sigma d}{\epsilon_0}$	En cualquier lugar
Distribución uniforme de carga sobre un disco de radio R , con densidad superficial de carga σ , a lo largo del eje perpendicular	$\frac{Q}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{\sqrt{R^2 + x^2} - x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right)$	$\frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R^2} (\sqrt{R^2 + x^2} - x)$	∞
Cascarón esférico cargado con carga Q y radio R	$r \geq R: \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ $r < R: 0$	$r > R: \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$ $r \leq R: \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$	∞ ∞
Dipolo eléctrico	Lejos, sólo a lo largo de la mediatriz: $\frac{p}{4\pi\epsilon_0 r^3}$	Lejos, en cualquier lugar: $\frac{p \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}$	∞
Anillo cargado uniformemente de radio R , a lo largo del eje perpendicular	$\frac{Qx}{4\pi\epsilon_0 (R^2 + x^2)^{3/2}}$	$\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{R^2 + x^2}}$	∞
Esfera maciza no conductora de radio R cargada uniformemente	$r \geq R: \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ $r < R: \frac{Qr}{4\pi\epsilon_0 R^3}$	$r \geq R: \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$ $r < R: \frac{Q}{8\pi\epsilon_0} \left(3 - \frac{r^2}{R^2} \right)$	∞ ∞

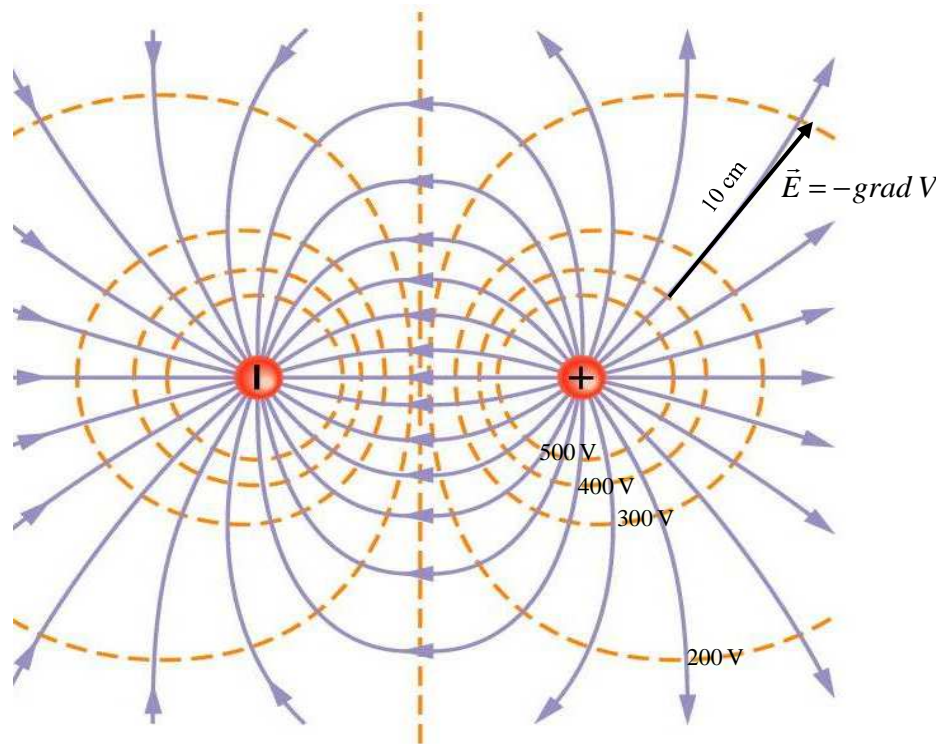


EL CAMPO ELÉCTRICO COMO GRADIENTE DE POTENCIAL.

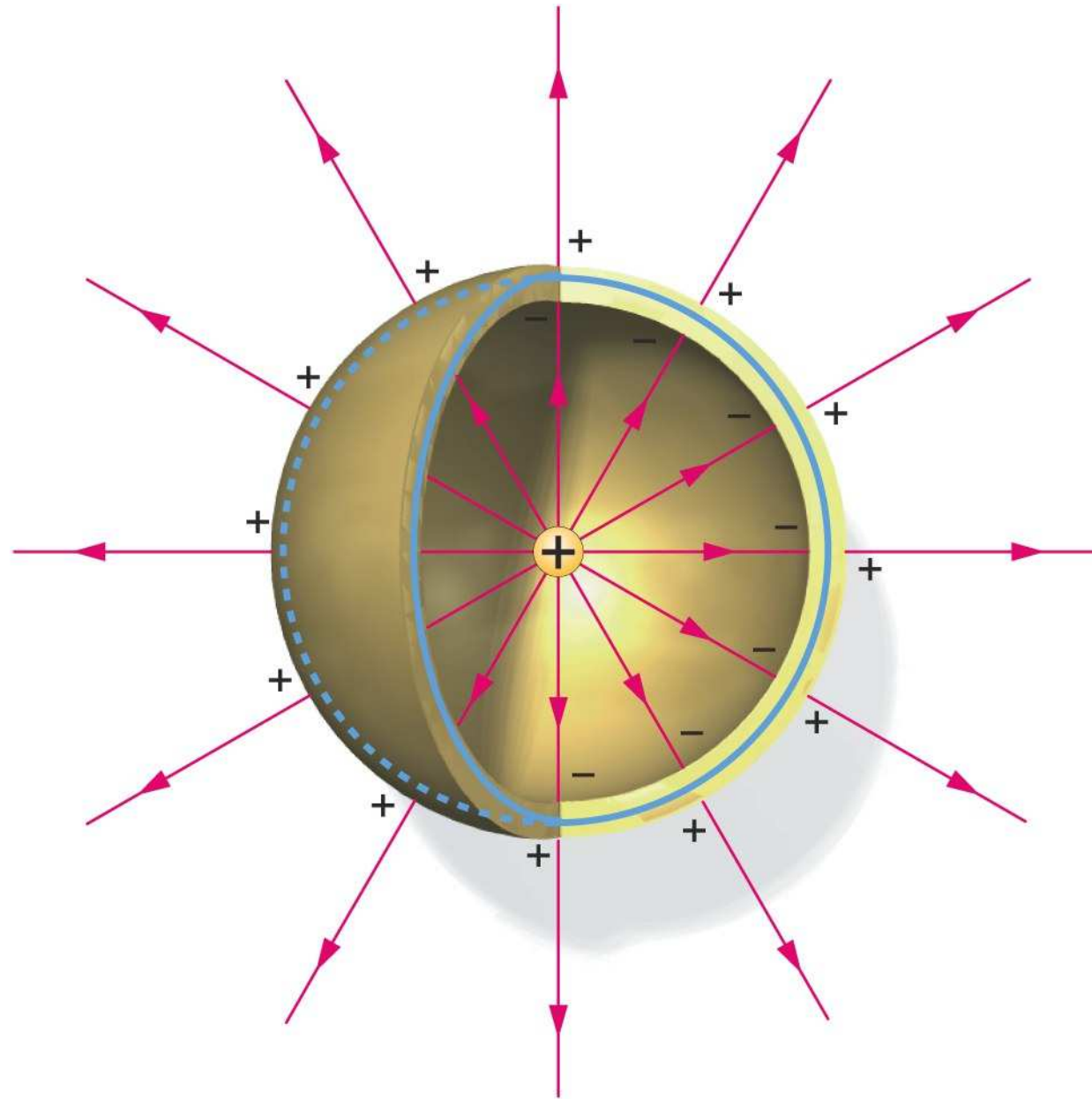
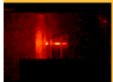
En un campo escalar a cada punto del espacio se le asigna un valor de la propiedad escalar que se considera.

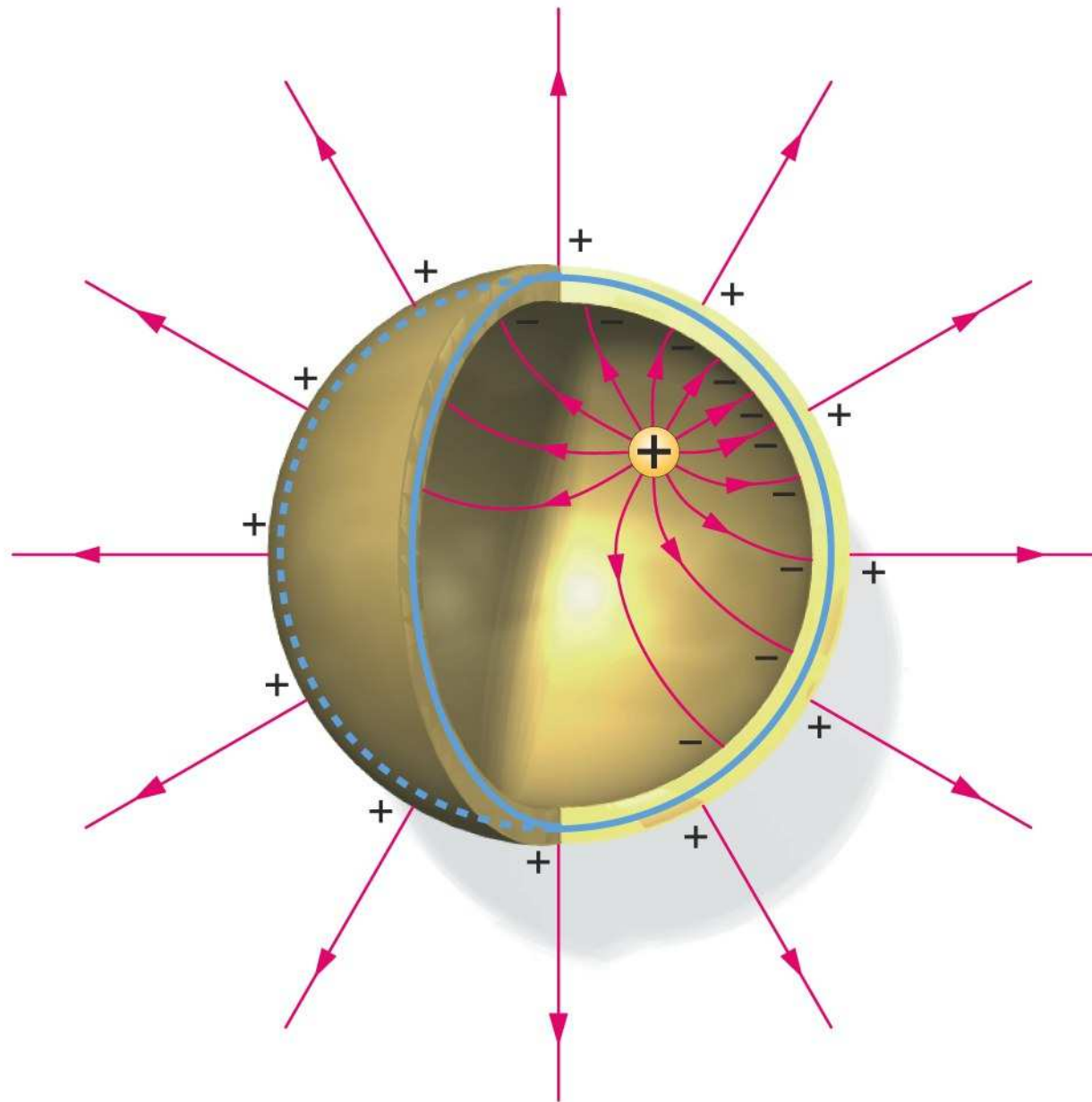
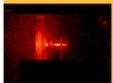
El gradiente de un campo escalar es un vector, definido en cada punto del mismo, que indica en qué dirección varía más rápidamente la propiedad escalar. La dirección de este vector es siempre perpendicular a las líneas equipotenciales, y su sentido es el del crecimiento del valor escalar.

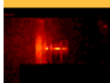
Campo eléctrico: **es igual al gradiente de potencial cambiado de signo** (ya que el campo eléctrico está dirigido desde las cargas positivas hacia las negativas). $\vec{E} = -\text{grad } V$



¿Cuál es el valor
del campo
eléctrico?







$$\vec{p} = q \cdot \vec{d}$$

