Departamento de Física
Universidad de Jaén

Electricidad

- Campo Eléctrico
- **Campo Eléctrico en la materia**
- **Corriente Eléctrica**

1- Introducción

- Los átomos están compuestos de partículas, unas sin carga, neutras (neutrones) y otras cargadas eléctricamente (protones y electrones).
- La materia en estado normal es neutra (igual número de protones y electrones). Cuando un cuerpo está cargado tendrá un número entero de electrones más que de protones (o al contrario).
- Por tanto, la carga está cuantizada, Ley de Cuantización de la Carga

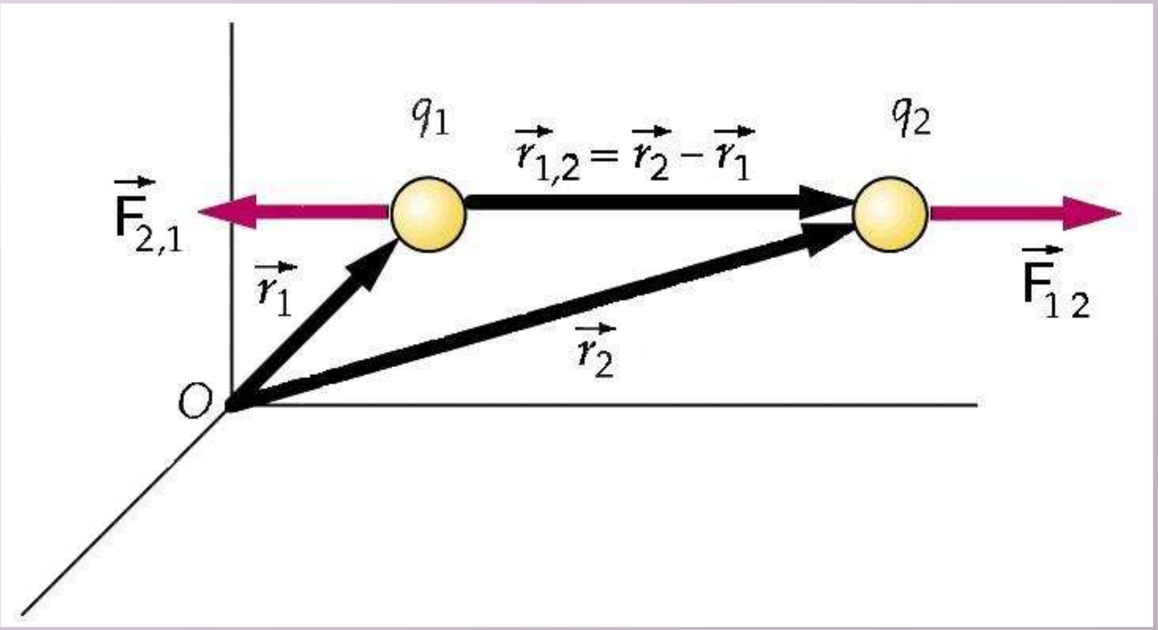
$Q = \pm N \cdot e;$ $e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ C. Culombio.

e $\rightarrow$ Unidad fundamental de carga.

- En realidad la unidad de carga se define en función de la unidad de intensidad (que veremos más adelante): Un culombio en la cantidad de carga que fluye a través de un cable durante un segundo, cuando la intensidad de corriente en el cable es de un amperio.

2- Ley de Coulomb

- Cuando dos cuerpos cargados eléctricamente se acercan se observa que se repelen las de igual signo y se atraen las de distinto. Experimentalmente se pueden comprobar las características de esta interacción.



2- Ley de Coulomb

Ley de Coulomb: "La fuerza ejercida entre dos cargas eléctricas está dirigida en la línea que las une. La fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa y proporcional al producto de las cargas".

$$\vec{F}_{1,2} = k \frac{q_1 \, q_2}{r_{1,2}^2} \hat{r}_{1,2} \qquad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

$k = 9 \cdot 10^9 \ \mathrm{N\,m^2/C^2}$

$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \ \mathrm{C^2/N\,m^2}$ $\rightarrow$ Cte. Dieléctrica del vacío

2- Ley de Coulomb

Características:

- La fuerza eléctrica es independiente del movimiento de la carga.
- Para cargas de igual signo $\Rightarrow$ $F > 0$ (repulsión).
- Para cargas de distinto signo $\Rightarrow$ $F < 0$ (atracción).
- Es de tipo Newtoniano. Cumple el principio de acción y reacción:

$$\vec{F}_{1,2} = k\,\frac{q_1\,q_2}{r_{1,2}^2}\,\hat{r}_{1,2}\,; \qquad \vec{F}_{2,1} = k\,\frac{q_1\,q_2}{r_{2,1}^2}\,\hat{r}_{2,1} = k\,\frac{q_1\,q_2}{r_{1,2}^2}\,(-\hat{r}_{1,2}) = -F_{1,2}$$

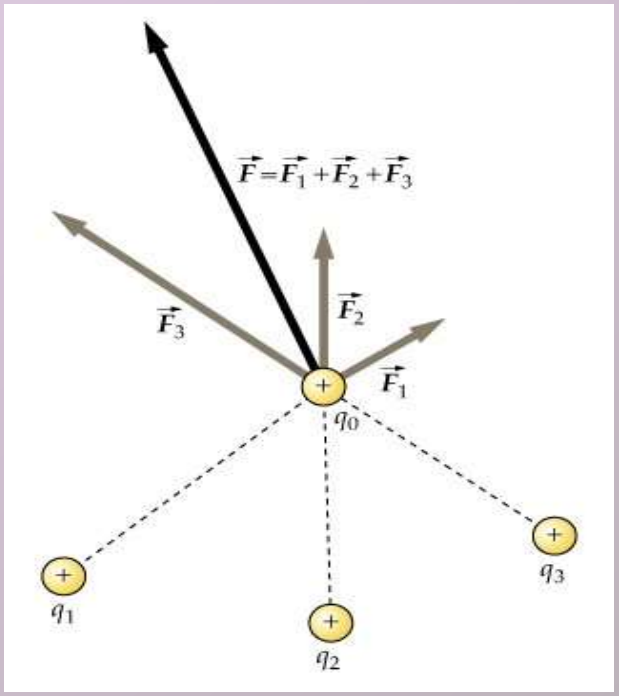
Es Conservativa $\Rightarrow$ deriva de un campo escalar, **Energía Potencial**, a través de la operación gradiente:

$$\overline{F} = -\,\overline{\text{grad}}\;E_p = -\left(\frac{\partial E_p}{\partial x}\,\hat{i} + \frac{\partial E_p}{\partial y}\,\hat{j} + \frac{\partial E_p}{\partial z}\,\hat{k}\right)$$

2- Ley de Coulomb

Cumple el Principio de Superposición:

$$\boxed{\overline{F}_T = \sum_i \overline{F}_i}$$

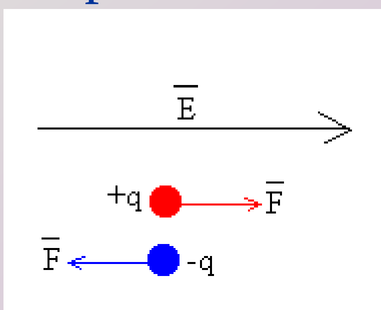


Es una fuerza de tipo Central $\Rightarrow$
Se conserva el momento cinético ($\vec{L}$).

Simulación

3 - Campo Eléctrico

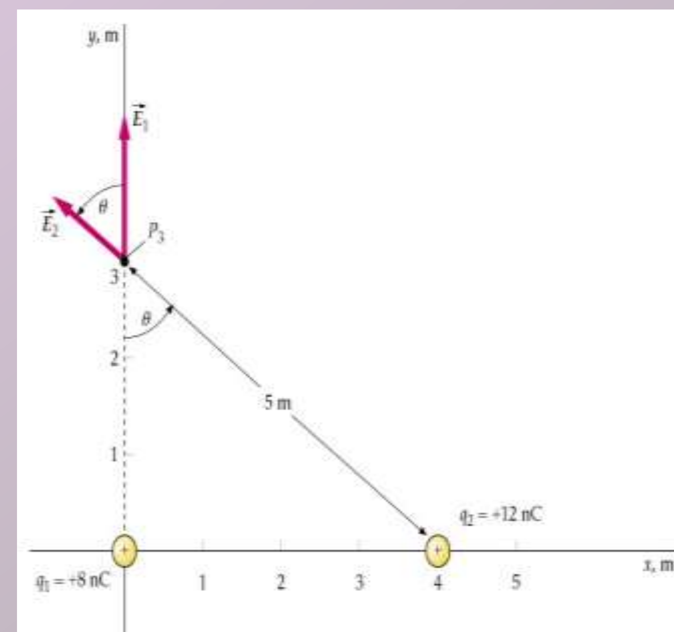
- Definición: " Zona del espacio en la que se manifiestan fuerzas entre cargas eléctricas". La Fuerza eléctrica será ejercida por el campo.



$$\vec{F} = q'\,\vec{E}$$

Unidad en S.I. N/C

$$\vec{E} = k\,\frac{q}{r^2}\,\hat{r}$$



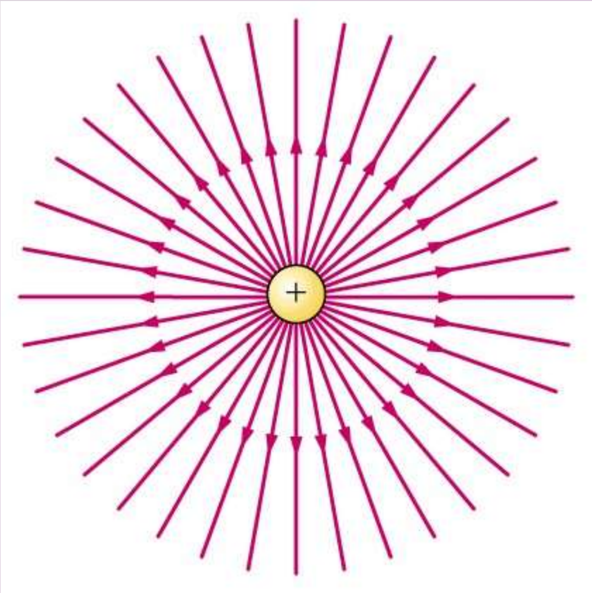
- El Campo Eléctrico también cumple el Principio de Superposición:

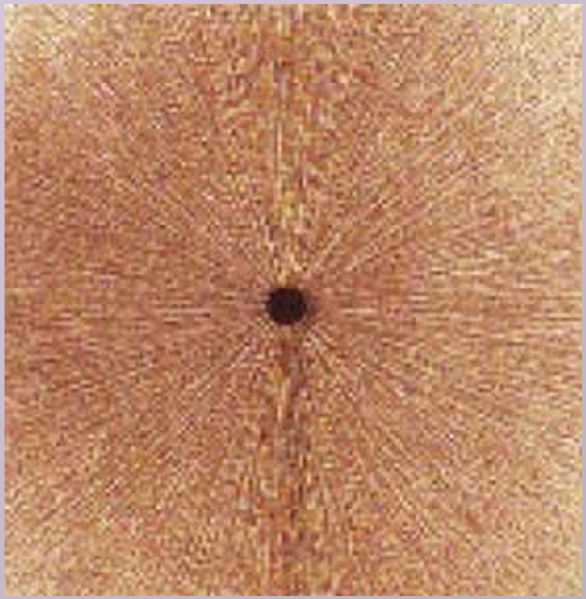
$$\overline{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i^2}\,\hat{r}_i$$

$$\overline{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{dq}{r^2}\,\hat{r}$$

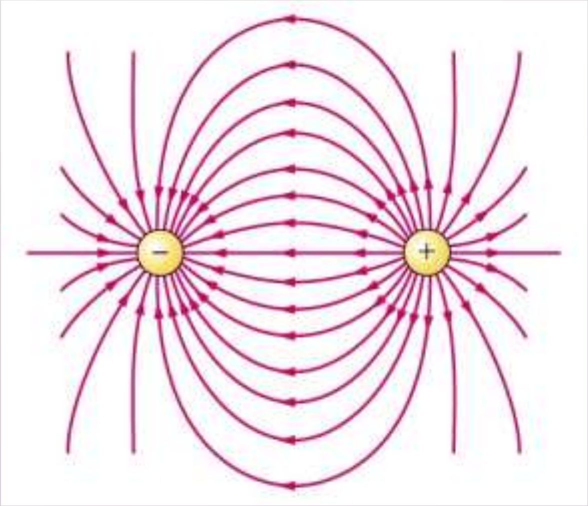
3 - Campo Eléctrico

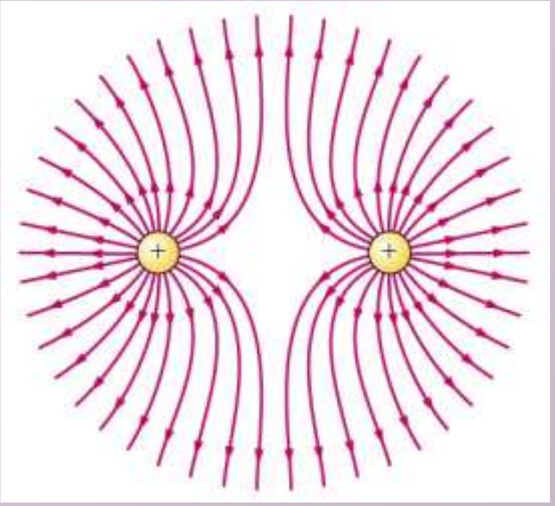
Líneas de Campo: Se trazan con las trayectorias de la cargas positivas dentro de un campo eléctrico. Son tangentes al vector E en cada punto. No se pueden cortar.

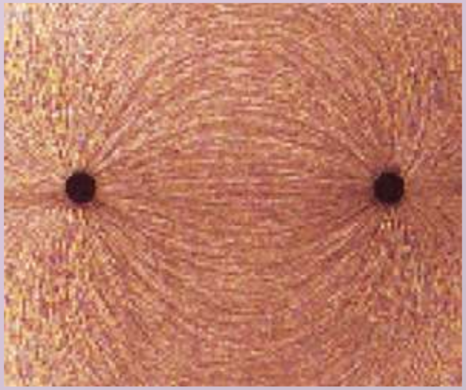


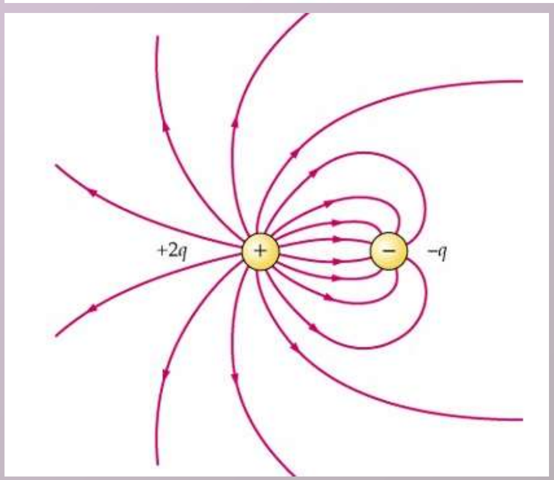


3 - Campo Eléctrico





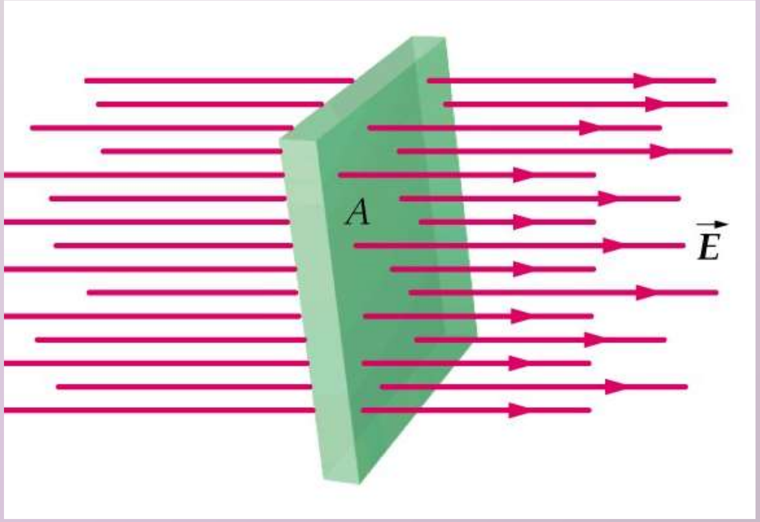


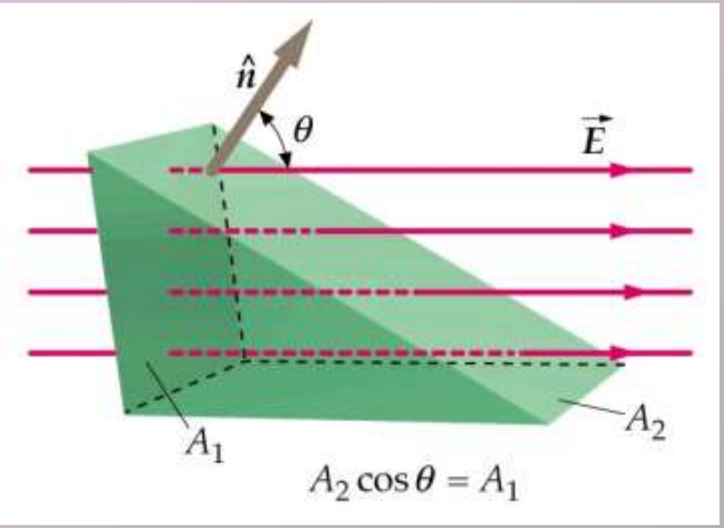


3 - Campo Eléctrico

Flujo: "Número de líneas de campo que atraviesa una superficie"

$$\boxed{\phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{S}} \quad = \int \text{Cos}\,\theta\ E\ dS$$

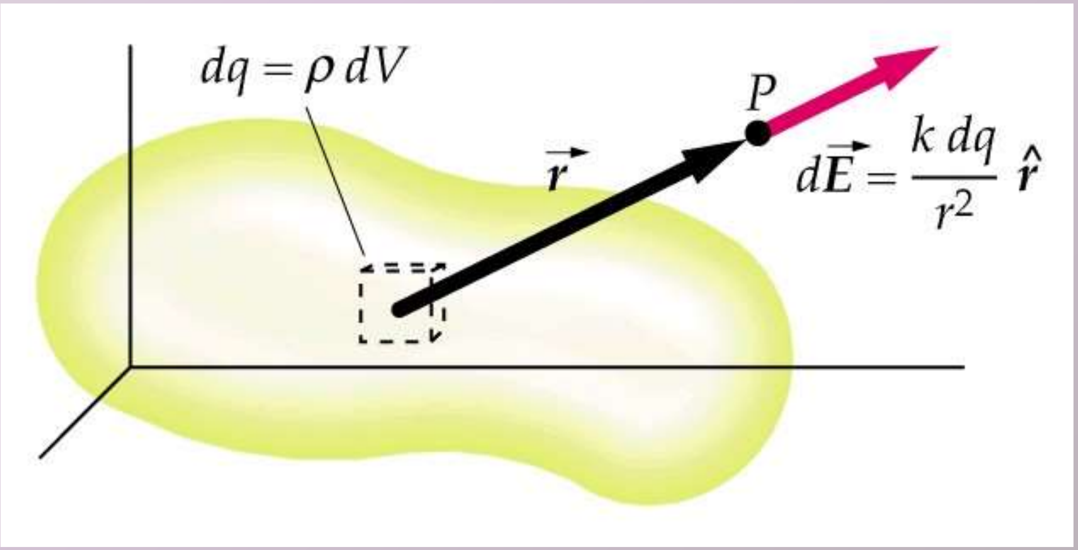




4- Cálculo Del Campo Eléctrico

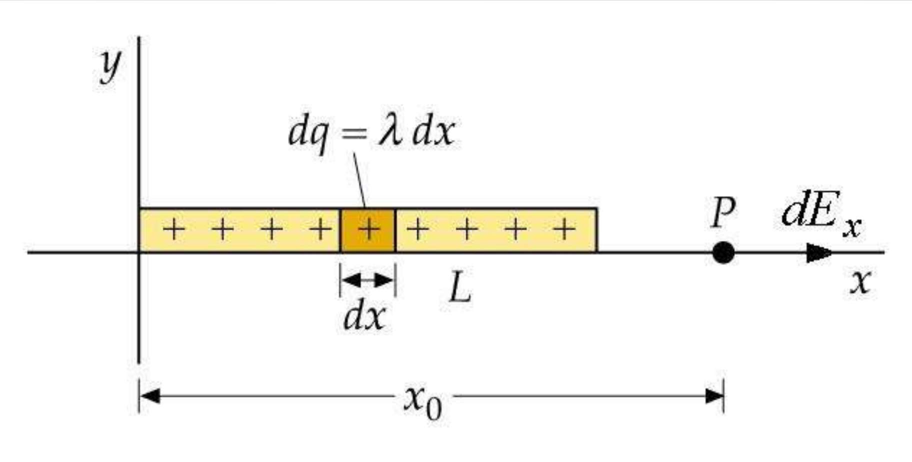
Se hará uso de las llamadas **Densidades de Carga**

Lineal	$\lambda = Q/L \Rightarrow dq = \lambda \cdot dL$
Superficial	$\sigma = Q/S \Rightarrow dq = \sigma \cdot dS$
De Volumen	$\rho = Q/V \Rightarrow dq = \rho \cdot dV$



4- Cálculo Del Campo Eléctrico

Ejemplo: varilla de longitud L, cargada uniformemente



$$\overline{E} = k \int \frac{dq}{r^2}\, \hat{r}$$

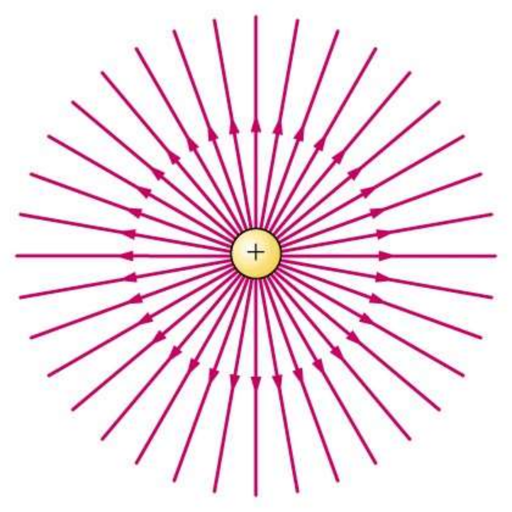
$$\lambda = \frac{Q}{L} \Rightarrow dq = \lambda\, dx$$

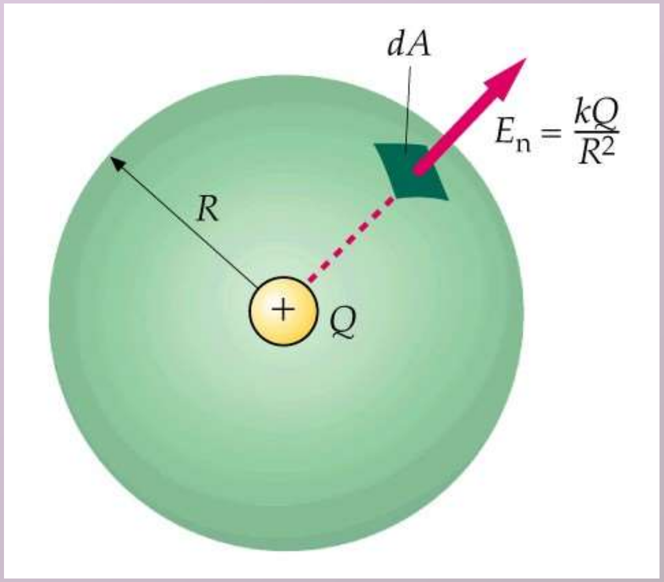
$$dE_x = \frac{k\, dq}{(x_0 - x)^2}$$

$$E_x = k \int_0^L \frac{\lambda\, dx}{(x_0 - x)^2} = k\lambda \left(\frac{1}{x_0 - x} \right)_0^L = \frac{k\, \lambda\, L}{x_0 (x_0 - L)} = \frac{k\, Q}{x_0 (x_0 - L)}$$

5 - Teorema de Gauss

Consideremos una carga eléctrica dentro de una superficie cerrada. Todo el flujo atravesará esa superficie:





$$\phi = \oint \overline{E} \cdot d\overline{S} = \oint E \cdot dS$$

5 - Teorema de Gauss

Calculamos el flujo total:

$$\phi = \oint k \frac{Q}{R^2}\, dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2} \oint dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}\, 4\pi R^2 = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$\boxed{\phi = \oint \overline{E} \cdot \overline{dS} = \frac{\sum_{\text{Dentro}} q_i}{\varepsilon_0} = \frac{\int_{\text{Dentro}} dq}{\varepsilon_0}}$$

<u>Teorema de Gauss:</u> El flujo neto a través de cualquier superficie es igual a la carga neta dentro de esa superficie (llamada de Gauss) dividida por la cte. dieléctrica.

6 - Energía Potencial

- El trabajo realizado para desplazar una carga dentro de un campo eléctrico es:

$$W_{1-2} = \int_1^2 \overline{F} \cdot \overline{dl} = \int_1^2 \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \hat{r} \cdot \overline{dl} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0} \int_1^2 \frac{dr}{r^2} =$$

$$= \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_1} - \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2}$$

Por otro lado, como la fuerza eléctrica es conservativa, su trabajo se puede expresar como incremento de Energía Potencial:

$$\overline{F} = -\overline{\text{grad}}\, E_p \Longrightarrow dE_p = -\vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$$W_{1-2} = -\int_1^2 dE_p = E_p(1) - E_p(2) \Longrightarrow \boxed{E_p = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}}$$

Tomando Ep(∞) = 0

7 - Potencial Eléctrico

$$dE_p = -\vec{F}\cdot d\vec{l}$$

$$\vec{F} = q_0\,\vec{E}$$

$$\Rightarrow \quad dE_p = -q_0\,\vec{E}\cdot d\vec{l}$$

- Cuando la carga realiza un desplazamiento dl, definimos la variación energía potencial por unidad de carga como la **diferencia de potencial**:

$$dV = \frac{dE_p}{q_0} \quad \Rightarrow \quad \boxed{dV = -\,\vec{E}\cdot d\vec{l}}$$

J/C = N m/C = 1 Voltio

- Si la carga se desplaza entre los puntos a y b:

$$\Delta E_p = \int_a^b dE_p = -\,q_0 \int_a^b \overline{E}\,\cdot \overline{dl}$$

$$\boxed{\Delta V = -\int_a^b \vec{E}\cdot d\vec{l}}$$

7 - Potencial Eléctrico

- Para una carga puntual:

$$V = -\int \overline{E} \cdot \overline{dl} = -\int \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\,\hat{r} \cdot \overline{dl} = -\int \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\,dr$$

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} + Cte$$

$$\boxed{V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}}$$

- Tomando $V(\infty) = 0$

- Principio de Superposición:

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

Cuerpo Discreto

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int \frac{dq}{r}$$

Cuerpo Continuo