



Departamento de Física
Universidad de Jaén

Electro-Magnetismo

- ❖ Campo Eléctrico
 - ❖ Campo Magnético
- ❖ Inducción Electromagnética



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**

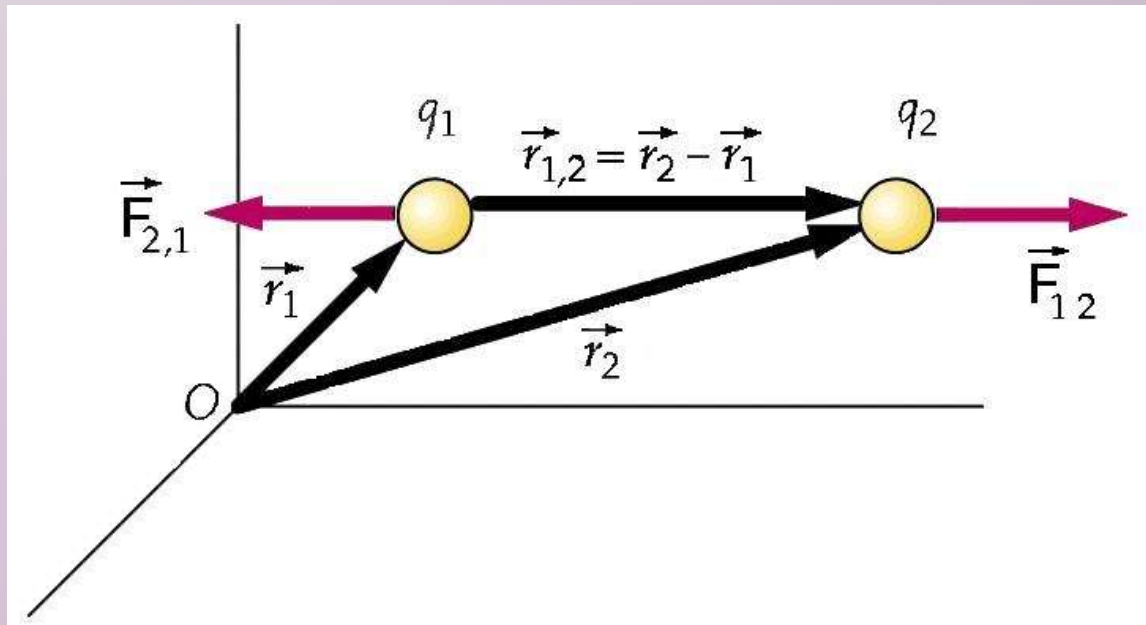
$$Q = \pm N \cdot e; \quad e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C. } \text{Culombio.}$$

$e \rightarrow$ 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** es 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".

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

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

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

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N m}^2 \rightarrow \text{Cte. Dieléctrica del vacío}$$

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

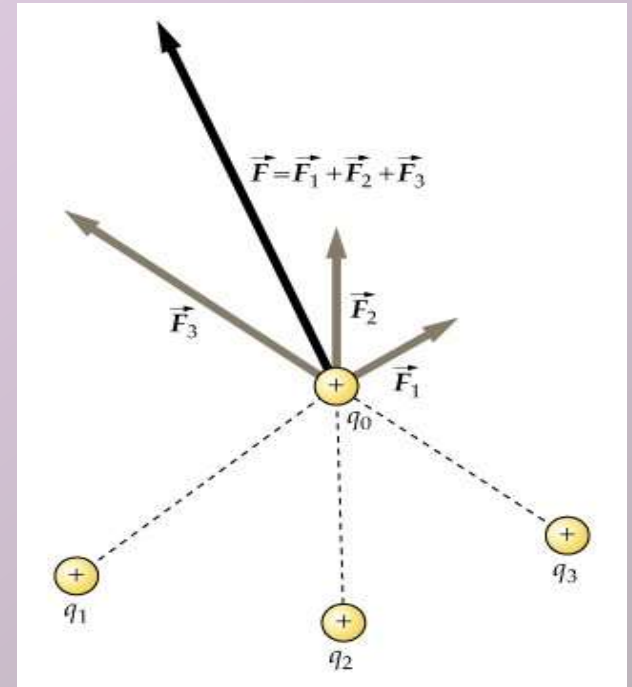
$$\vec{F} = - \overline{\text{grad}} E_p = - \left(\frac{\partial E_p}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial E_p}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial E_p}{\partial z} \hat{k} \right)$$

2- Ley de Coulomb

Cumple el Principio de Superposición:

$$\vec{F}_T = \sum_i \vec{F}_i$$

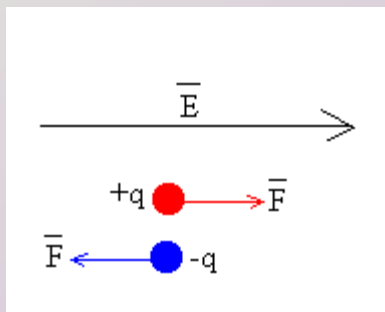
Es una fuerza de tipo Central $\Rightarrow$
Se conserva el momento cinético ($\vec{L}$).



[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.



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

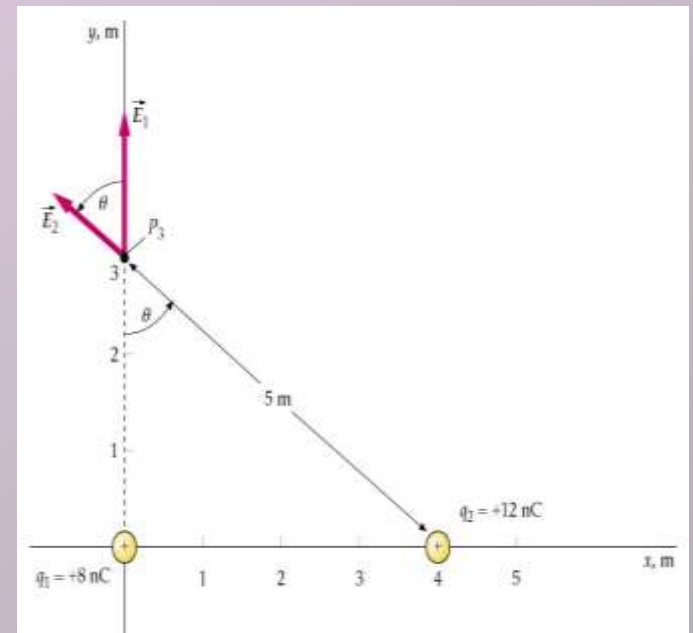
$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

Unidad en S.I. N/C

- El Campo Eléctrico también cumple el Principio de Superposición:

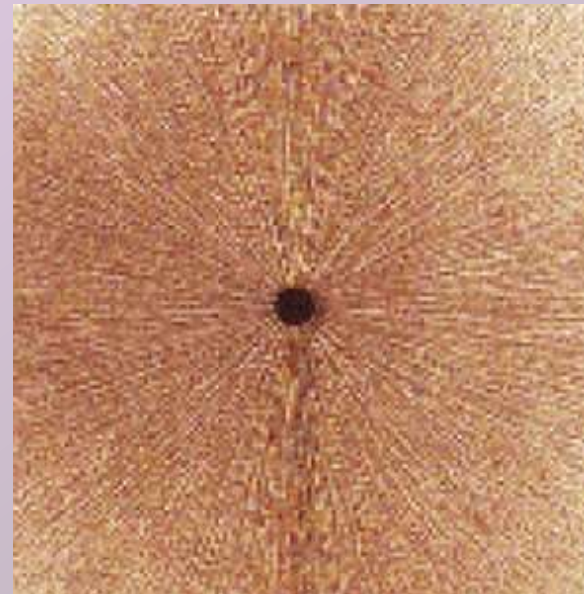
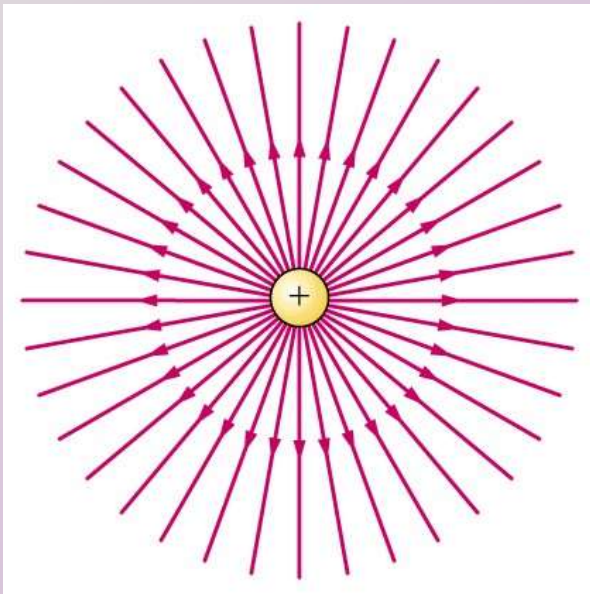
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

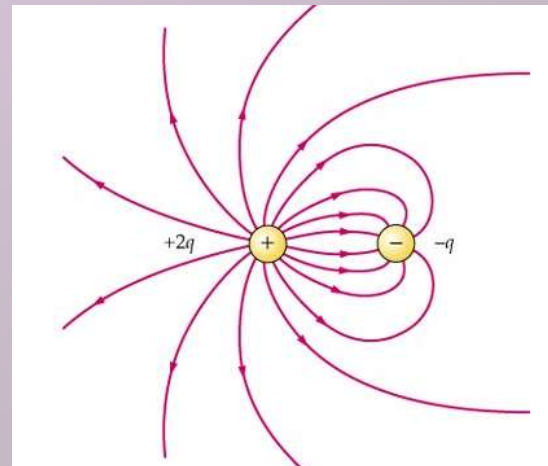
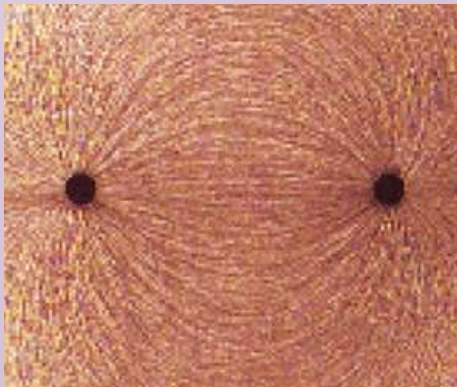
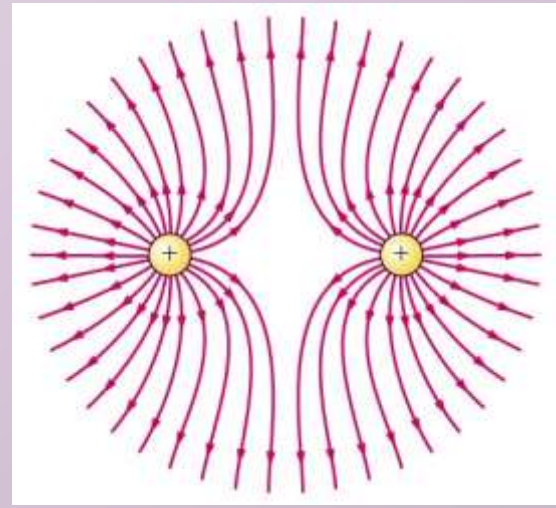
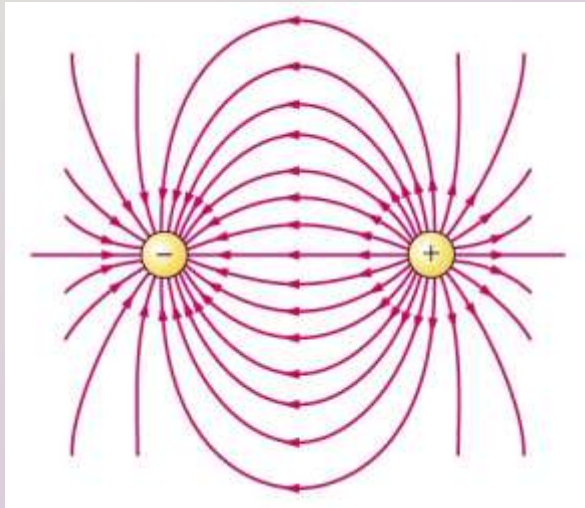


3 - Campo Eléctrico

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.



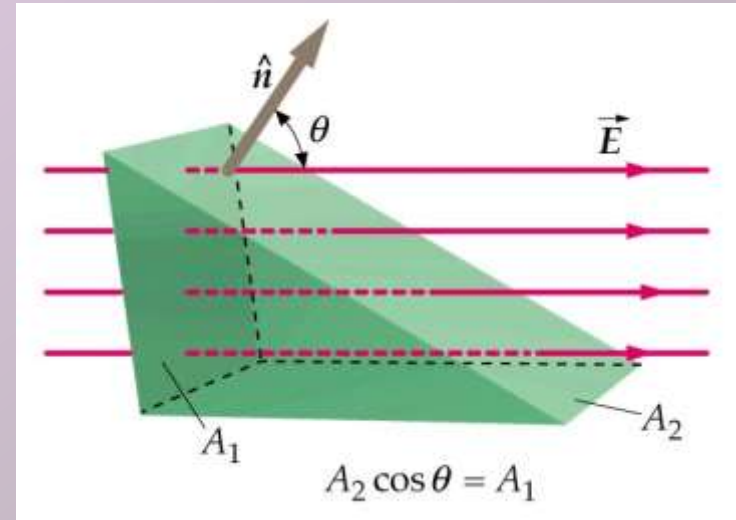
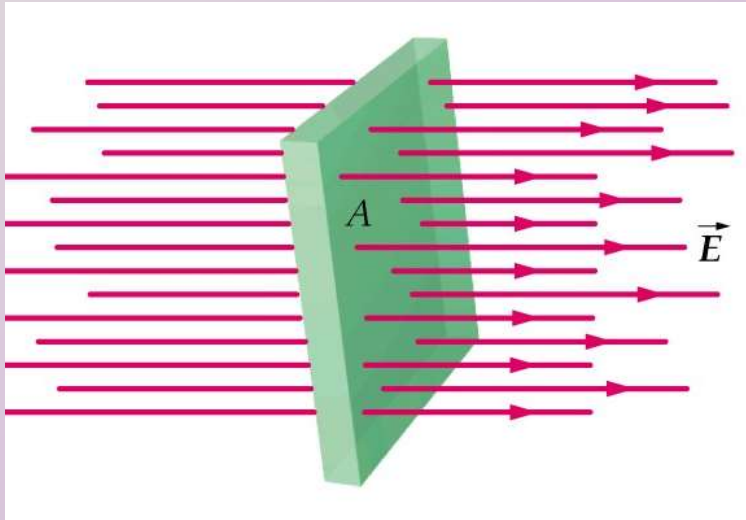
3 - Campo Eléctrico



3 - Campo Eléctrico

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

$$\phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int \cos \theta E dS$$



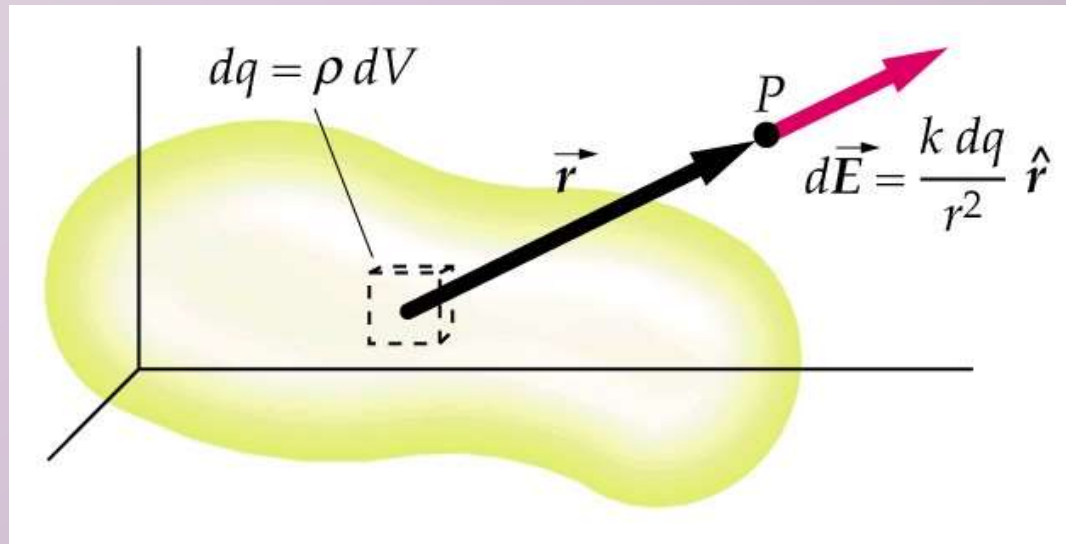
4- Cálculo Del Campo Eléctrico

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

Lineal $\lambda = Q/L \Rightarrow dq = \lambda \cdot dL$

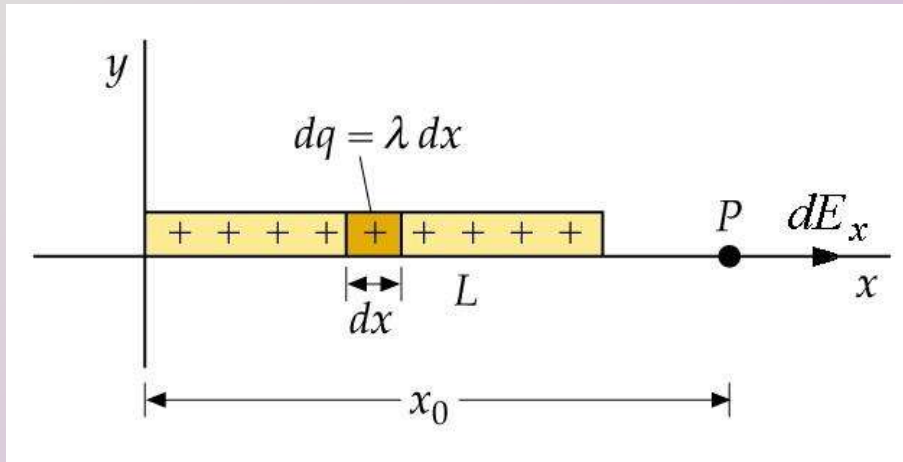
Superficial $\sigma = Q/S \Rightarrow dq = \sigma \cdot dS$

De Volumen $\rho = Q/V \Rightarrow dq = \rho \cdot dV$



4- Cálculo Del Campo Eléctrico

Ejemplo: varilla de longitud L , cargada uniformemente.



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

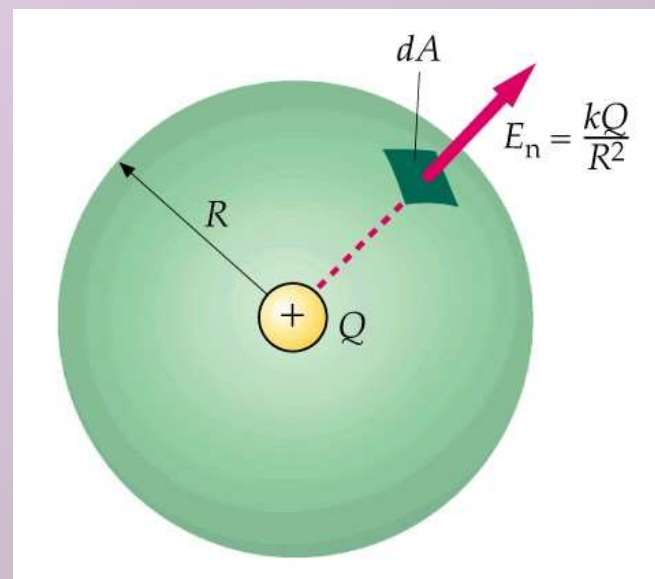
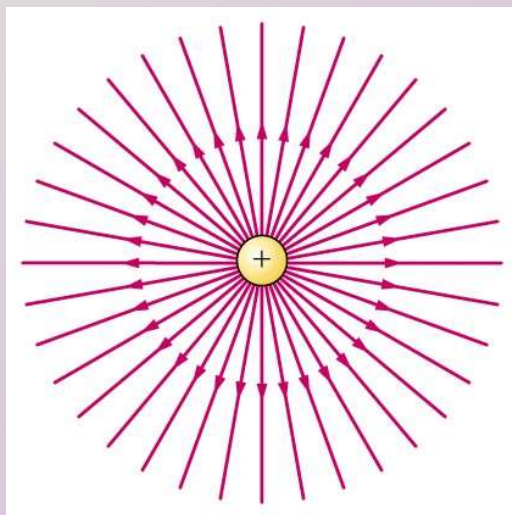
$$\lambda = \frac{Q}{L} \Rightarrow dq = \lambda dx$$

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

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

5 - Teorema de Gauss

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



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

5 - Teorema de Gauss

Calculamos el flujo total:

$$\phi = \oint k \frac{Q}{R^2} dS = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \oint dS = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} 4\pi R^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum_{\text{Dentro}} q_i}{\epsilon_0} = \frac{\int_{\text{Dentro}} dq}{\epsilon_0}$$

Teorema de Gauss: 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:

$$\begin{aligned} W_{1-2} &= \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_1^2 \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2} \hat{r} \cdot d\vec{l} = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0} \int_1^2 \frac{dr}{r^2} = \\ &= \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r_1} - \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r_2} \end{aligned}$$

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

$$\vec{F} = - \overrightarrow{\text{grad}} E_p \quad \longrightarrow \quad dE_p = -\vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$$W_{1-2} = -\int_1^2 dE_p = E_p(1) - E_p(2) \quad \longrightarrow \quad E_p = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r}$$

Tomando $E_p(\infty) = 0$

7 - Potencial Eléctrico

$$\begin{aligned} dE_p &= -\vec{F} \cdot d\vec{l} \\ \vec{F} &= q_0 \vec{E} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad dE_p = -q_0 \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

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

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

$$J/C = N \cdot m/C = 1 \text{ Voltio}$$

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

$$\Delta E_p = \int_a^b dE_p = -q_0 \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

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

7 - Potencial Eléctrico

- Para una carga puntual:

$$V = - \int \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} \cdot d\vec{l} = - \int \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr$$

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} + \text{Cte}$$

Tomando $V(\infty) = 0$

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

- Principio de Superposición:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

Cuerpo Discreto

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r}$$

Cuerpo Continuo

