



1. Conceptos básicos interacción electrostática. Naturaleza eléctrica de la materia.

Carga eléctrica: positiva y negativa (nombres arbitrarios)

- Mismo signo se repelen, distinto signo se atraen
- La carga se conserva
- Carga cuantizada: múltiplo de carga elemental (electrón (-)/protón(+)), módulo $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- Fenómenos electrización: se debe a pérdida o ganancia de electrones, alterar equilibrio neutro. Tipos: frotamiento, contacto (péndulo eléctrico, electroscopio) e inducción.

2. Ley de Coulomb

$$\vec{F} = K \frac{Qq}{r^2} \vec{u}_r \quad K \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}; \quad K = \frac{1}{4\pi\epsilon} \quad \begin{matrix} \epsilon = \epsilon' \cdot \epsilon_0 \\ \epsilon' = \text{permitividad relativa del medio} \\ \epsilon_0 = \text{permitividad eléctrica del vacío} \end{matrix}$$

Sentido de la fuerza depende de los signos de las dos cargas

Unidad de carga; Culombio: cantidad de carga eléctrica asociada a una intensidad de 1 Amperio

Para un sistema de cargas puntuales la fuerza total es la suma vectorial de fuerzas que ejercen cada una por separado: **principio de superposición**. Pasos a seguir para un caso general de sistema de cargas: tomar origen de coordenadas en el punto donde queremos calcular la fuerza total ejercida, hallar fuerzas y descomponerlas calculando la resultante. La simetría puede ayudar. Normalmente se asume que hay algunas cargas “con posición fija” y otras móviles: en la realidad todas se moverían.

>A veces se indica q_1 y q_2 ; aquí Q y q para separar simbólicamente Q “la que crea” y q “la afectada”

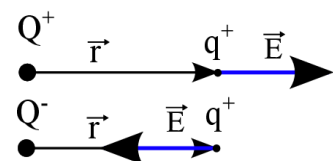
3. Campo eléctrico

Conceptos generales de campo de fuerzas y líneas de campo análogos a gravitación, salvo que aquí la dirección del campo no es siempre atractiva. Diagramas líneas de campo junto a superficies equipotenciales.

3.1 Intensidad de campo eléctrico

Un vector para cada punto del espacio, fuerza ejercida por carga de prueba positiva

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r \quad \text{Unidades N/C ó V/m} \quad \vec{u}_r = \frac{\vec{r}}{r} \quad r \text{ con origen en la carga}$$



Sentido campo depende del signo de la carga que lo genera

Para un sistema de cargas puntuales se aplica igualmente el **principio de superposición** con campo.

3.2 Energía potencial y Potencial eléctrico

Conceptos generales de fuerzas conservativas, energía potencial, energía mecánica y teoremas asociados (fuerzas vivas, conservación) ya vistos en gravitación.

Magnitudes asociadas a que campo eléctrico es conservativo. $U = E_p \quad \Delta U_{AB} = U(B) - U(A) = -W_{A \rightarrow B}$

Se dan diferencias, pero tomando una referencia se puede asociar valor para un punto (respecto referencia).

Se calculan **expresiones para una carga**: para un sistema de cargas puntuales se aplica el principio de superposición tanto con Energía potencial como con el potencial.

$$\Delta U_{AB} = U(B) - U(A) = - \int_A^B q \vec{E} d\vec{l} = - \int_A^B KQq \frac{1}{r^2} \vec{u}_r \cdot \vec{u}_r dr = -KQq \left[-\frac{1}{r} \right]_A^B = KQq \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

Producto escalar E y dl: como es conservativo tomamos línea de campo, y son paralelos. Sentido relativo fija signo, que está contenido en signos cargas para E y en sentido variación dr para dl.

Referencia arbitraria, pero esta expresión permite asociar valor a un punto y elegir referencia lógica A en ∞ .

$$U(\infty) = 0; \quad U(r) = - \int_{\infty}^r \vec{F} d\vec{l} = \int_r^{\infty} \vec{F} d\vec{l} \quad E_p(r) = K \frac{Qq}{r}$$

Energía potencial (eléctrica) en un punto para una carga es:

-Cambiado de signo, W realizado **por** el campo para llevar una carga desde la referencia (∞) hasta ese punto.

-W realizado **por** campo para llevar una carga desde ese punto a la referencia ∞ .

-W aportado (realizado externo/**contra** el campo) para llevar una carga desde ∞ hasta ese punto “traerla del infinito, E aportada para crear esa configuración de cargas”

Definición validada lógicamente pensando en E_p gravitacional como mgh con referencia en el suelo, con sentido a favor del campo dirigido de arriba a abajo, por ser sentido en el que lo realiza el campo.

Potencial en un punto (ver definiciones E_p anteriores) es el trabajo realizado por el campo para mover una carga positiva desde ese punto a la referencia ∞ , dividido por unidad de carga de prueba. Potencial es un escalar para cada punto del espacio. Uniendo los puntos con el mismo valor se forman superficies





equipotenciales. (Analogía con potencial de campo gravitatorio). ; Unidades J/C = Voltio

$$\Delta V = V_B - V_A = \frac{-W_{AB}}{q} = \frac{\Delta U_{AB}}{q} = KQ \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right) \quad V(\infty) = 0 \rightarrow V_A = \frac{-W_A}{q^+} = \frac{U_A}{q^+} = K \frac{Q}{r_A}$$

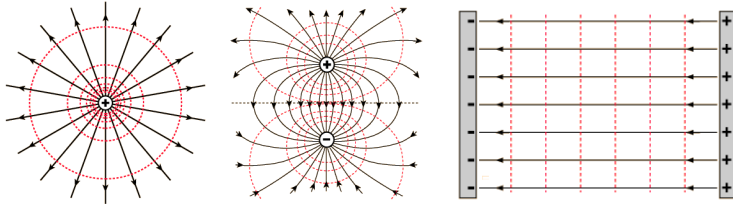
Potencial tiene el mismo sentido que la carga que lo genera

3.3 Intensidad de campo y potencial del campo eléctrico

$$\text{grad } V = \frac{dV}{dr} = -\vec{E} \quad \text{Campo eléctrico también en V/m además N/C}$$

Gradiente del potencial (un escalar) es un vector, que es perpendicular a las superficies equipotenciales y que tiene la dirección de las líneas de campo pero sentido contrario al campo. Indica la dirección en la que el campo cambia más rápidamente.

Ejemplos de superficies equipotenciales y líneas de campo eléctrico (para carga negativa es similar a masa):



hyperphysics.phy-astr.gsu.edu, copyright

3.4 Signos Energía potencial y potencial

Diferencia E_p positiva, trabajo negativo, el trabajo se realiza contra el campo (en sentido opuesto campo)

Diferencia E_p negativa, trabajo positivo, el trabajo lo realiza el campo (a favor del campo)

Según def. E_p (no diferencia, ref ∞), tendencia a que campo lleve carga a referencia ∞ .

$$E_p = \int_{pto}^{ref} F dx$$

Se tiende a energías menores, diferencias E_p negativa.

- Para cargas positivas análogo campo gravitatorio (“se cae hacia potenciales y E_p menores”).
- Para cargas negativas, se tiende a potenciales mayores que implican menores E_p (debido al signo)
- Campo dirigido siempre hacia potenciales menores (si la carga es positiva sigue el sentido campo)

Signos y relaciones comprensibles fácilmente para campos uniformes

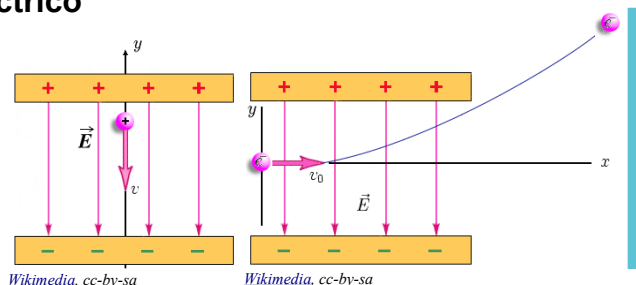
$$|\vec{E}| = \text{constante} \rightarrow \Delta V = E \cdot d \quad \Delta E_p = q \cdot \Delta V = q \cdot E \cdot d \quad W = -q \cdot \Delta V$$

3.5 Movimiento de partículas en campo eléctrico

Especial atención al signo carga y signos E_p y V

Caso habitual: campo uniforme, velocidad paralela o perpendicular al campo

Ejemplo típico partícula pasando entre placas cargadas con campo uniforme. Mientras se mueve entre las placas el movimiento es parabólico (el campo eléctrico crea fuerza y aceleración, analogía con gravitatorio), pero fuera de las placas el movimiento es lineal.



Wikimedia, cc-by-sa

Wikimedia, cc-by-sa

3.6 Flujo campo eléctrico y Teorema de Gauss

Flujo de líneas de campo Φ a través de una superficie es el número de líneas que la atraviesan.

$$\Phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad \text{Si el campo es uniforme en toda la superficie, se tiene} \quad \Phi = \vec{E} \cdot \vec{S}$$

Vector superficie S : módulo igual a área, dirección normal, y sentido hacia parte convexa superficie.

$$\Phi_c = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum Q}{\epsilon_0} \quad \text{Se elige superficie de modo que } E \text{ sea constante y la integral sea sencilla}$$

3.6.1 Aplicación [T. Gauss] a cálculo campos eléctricos creados por elementos continuos

Esfera (carga Q distribuida uniformemente en superficie)	$E=0$ para $r < R$; $E=KQ/r^2$ para $r > R$ (Fuera misma expresión que si fuera Q puntual)
Placa/Plano infinito cargado uniformemente	$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$
Campo creado por dos placas cargadas paralelas (Suma 2 placas: depende signos y valor cargas)	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ entre placas; $E=0$ externo (si cargas opuestas)





Hilo indefinido cargado uniformemente	$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi r \epsilon_0} \vec{u}_r$
--	---

3.7 Analogías y diferencias entre campos gravitatorio y eléctrico

Visión completa al comparar con campo electromagnético

Gravitatorio y eléctrico campos conservativos, fuerzas centrales, similitud leyes Gravitación-Coulomb.

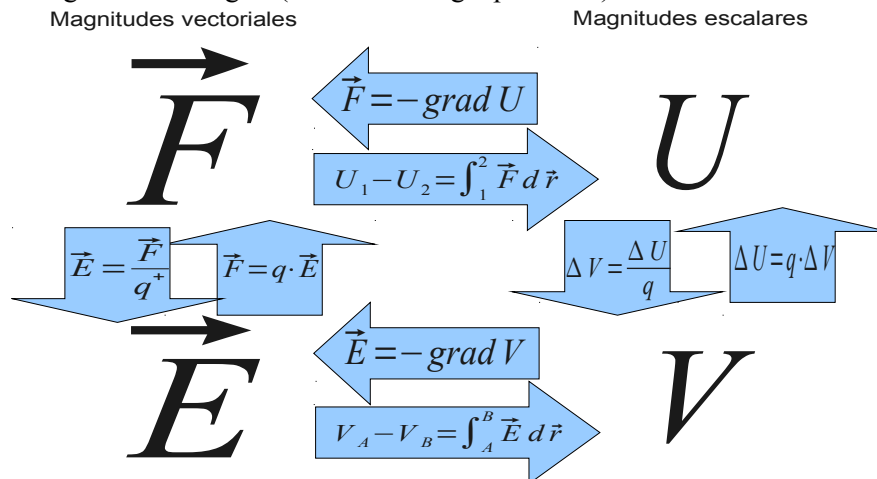
Gravitatorio: siempre atractivo, intensidad no depende del medio, para cualquier objeto con masa

Eléctrico: sentido depende signos, intensidad depende del medio, sólo objetos con carga.

4. Anexos / temas para profundizar

4.1 Relación Fuerza, Campo, Energía potencial y potencial

Relaciones generales válidas también para campo gravitatorio cambiando carga por masa, en campo eléctrico especial atención al signo de las cargas. (U indica Energía potencial)



4.2 “La fiesta de los signos”

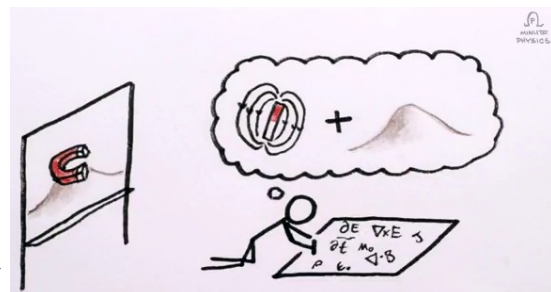
El signo no es irrelevante: poner un signo equivocado supone un error conceptual y cuantitativamente grande. El problema es comprender la gran cantidad de factores que pueden hacer aparecer signos, tanto en desarrollos teóricos como en problemas. Algunas ideas:

- *Signo negativo debido a signo cargas. Ojo a situaciones donde las expresiones tienen q y “a veces se pone signo y a veces no se pone”, ya que a veces se manejan módulos y los signos se toman de diagramas, donde ya se ha representado el vector en cierto sentido ejes coordenadas según signos de las cargas.
- *Signo negativo debido a definición E_p frente trabajo
- *Signo negativo debido a posible inversión límites/sentido integral de trabajo
- *Signo negativo debido a producto escalar entre vectores fuerza/campo y vector desplazamiento
- *Signo negativo debido a valores E_p ó V negativos ya que se toma en la referencia el valor 0 y a veces es máximo
- *Signo negativo debido a resultado diferencias E_p ó V entre dos puntos.
- *Signo negativo debido a criterio signo trabajo según quien lo realiza (el campo o un agente externo)

4.3 Concepto de campo

A veces se ven campo gravitatorio, eléctrico y magnético al tiempo para centrar la idea de campo, que es un concepto básico (ver bloques gravitación y campo magnético).

El concepto de campo fue propuesto por Faraday y desarrollado por Maxwell para describir el electromagnetismo, y luego ha sido revisado en física moderna (ver bloque relatividad: no es instantáneo ya que no se puede propagar a más velocidad que la luz; y bloque física cuántica: teoría cuántica de campos). El campo no es una herramienta matemática para superar la acción a distancia, sino que tiene su propia entidad; las partículas de hecho son perturbaciones del campo.



Minutephysics, [Real World Telekinesis](http://RealWorldTelekinesis.com)

