

Tema 1: Campo Eléctrico

Fundamentos Físicos y Electrónicos de la Informática

Introducción

La partículas interaccionan **sólo** mediante 4 Fuerzas Fundamentales

- ▶ Interacción Gravitatoria (entre cuerpos con masa)
- ▶ Interacción Nuclear Fuerte (mantiene núcleos unidos)
- ▶ Interacción Nuclear Débil
- ▶ **Interacción Electromagnética (*em*)** (entre partículas con carga)

Electromagnetismo describe tanto

- ▶ Interacción Magnética
- ▶ Interacción Eléctrica

Electrostática= interacción entre cargas eléctricas en reposo

Introducción histórica

Para entender la carga eléctrica \Rightarrow conocer la estructura de la materia

Tales de Mileto

Realizó las primeras observaciones sobre interacción *em*

- ▶ Al frotar ámbar (*elektron*) con piel, atraía cabellos.
- ▶ Magnetita atraía al hierro

\Rightarrow Para entender estas interacciones había que conocer como estaban compuestos estos materiales.

Demócrito

Propuso el primer modelo sobre la composición de la materia: *La materia compuesta por pequeñas partículas indivisible, átomos.*

\Rightarrow No explica atracción y repulsión al frotar ciertos materiales.

Gilbert, Gray, ...

La materia estaba formada por dos tipos de cargas eléctricas.

Introducción histórica

Benjamin Franklin

Llamó a los 2 tipos de carga: **positiva y negativa**; y concluyó que *dos cargas positivas se repelen entre sí, al igual que dos cargas negativas, y que una carga negativa y otra positiva se atraen.*

Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr

A partir de ideas de Démocrito, crearon modelos atómicos para explicar como se dispone la carga en la materia.

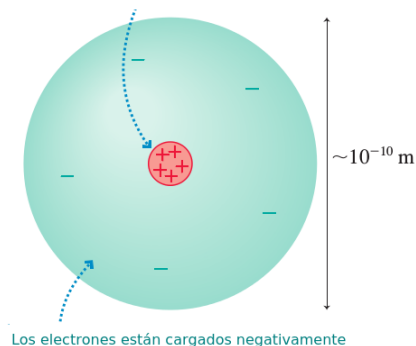
Introducción histórica

Fruto de estos esfuerzos, hoy sabemos que

La materia está constituida por átomos y éstos, a su vez, de otras partículas más simples: **protones** (p), **electrones** (e) y **neutrones** (n).

Átomo

El núcleo (tamaño exagerado por claridad)
contiene los protones positivos y los neutrones



Carga eléctrica

Ya estamos familiarizados con algunas de las propiedades fundamentales e intrínsecas de la materia, como por ejemplo, la **masa**.

Partícula	Carga (C)	Masa(Kg)
Electrón (e)	-1.6×10^{-19}	9.1093×10^{-31}
Protón (p)	1.6×10^{-19}	1.6726×10^{-27}
Neutrón (n)	0	1.6749×10^{-27}

Los protones y los electrones tienen otra propiedad fundamental a la que llamamos **carga eléctrica**.

Carga eléctrica

Características de la carga eléctrica

- ▶ **Presenta dos polaridades:** positiva y negativa. La carga positiva (la de los p) y la negativa (la de los e). Los p repelen a otros p y atraen a e , de igual manera que e repelen a otros e y atraen a p .

Ejemplo: *Los n carecen de carga, como su propio nombre indica, así que los p o los e no ejercen atracción o repulsión eléctrica sobre ellos.*

- ▶ **Principio de conservación de la carga:** La suma algebraica de todas las cargas eléctricas en cualquier sistema cerrado es constante.
- ▶ **Cuantificación de la carga:** La magnitud de la carga del e o del p es la unidad natural de carga. Toda cantidad observable de carga eléctrica siempre es un múltiplo entero de esta unidad básica.

Carga eléctrica

- ▶ La carga de un e es $q_e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- ▶ La carga de un p es $q_p = -q_e = +1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

donde C (culombio) es la unidad de carga en el SI.

Ejemplo 1: ¿ Cuántos electrones se necesitan para conseguir un culombio de carga negativa?

Sol. $6,24 \times 10^{18} q_e = -1 \text{ C}$

Carga eléctrica

La materia es generalmente neutra (número de p = número de e). Aunque puede ocurrir que un cuerpo tenga una carga excedente: se agregan o se eliminan e con carga negativa (y muy móviles).

- ▶ Cuerpo cargado positivamente: ha perdido algunos de sus e .
- ▶ Cuerpo cargado negativamente: ha ganado e .

Electrización: proceso mediante el cual un objeto adquiere carga eléctrica, ya sea negativa (ha ganado e) o positiva (ha perdido e).

Ejemplo: *Electrización por rozamiento.* Al frotar entre sí ciertos materiales se produce paso de un cuerpo a otro, adquiriendo ambos cargas contrarias.

Conductores, aislantes y semiconductores

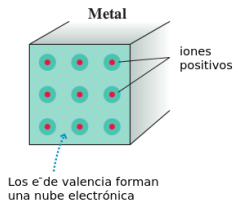
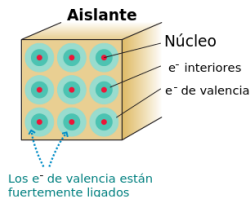
Clasificamos los materiales en función de la facilidad que tienen los e a moverse a través de ellos

- ▶ **Conductores** (metales): parte de los e pueden moverse libremente a en el seno de dicho dicho material.
- ▶ **Aislantes** (como la madera o vidrio) todos los e están muy ligados a átomos próximos y ninguno puede moverse libremente.
- ▶ **Semiconductores** (como el Si o Ge) que se caracterizan porque la facilidad con que se mueven los e a través de ellos se puede variar.

Conductores, aislantes y semiconductores

A nivel microscópico

- ▶ Los e^- en un aislante están fuertemente ligados a los núcleos positivos. No están libres para moverse.
- ▶ En conductores, los e^- más exteriores (e^- de valencia) están débilmente ligados al núcleo. Cuando los átomos se unen para formar sólidos, están prácticamente libres para moverse por el sólido (nube electrónica)



Ley de Coulomb

Describe la interacción entre cargas puntuales

Ley de Coulomb

La fuerza que se establece entre 2 cargas puntuales inmóviles q_1 y q_2

1. Es atractiva si las cargas son de signo opuesto y repulsiva si las cargas tienen el mismo signo (*Indica el sentido de la fuerza*).
2. La dirección en la que se manifiesta dicha fuerza viene determinada por una recta que pasa por ambas cargas (*Indica la dirección de la fuerza*).
3. La magnitud de la fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa y directamente proporcional al producto de las cargas. (*Indica el módulo o magnitud de la fuerza*.)

cargas puntuales = partículas con carga de tamaño cero, ej. e o p

Ley de Coulomb

Por ejemplo, el punto 3, se puede escribir como

$$|\mathbf{F}| = F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

k es la **constante de Coulomb**

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

y ϵ_0 es la permitividad del vacío.

Sólo el modulo de la fuerza (falta dirección y sentido)!!

Ejemplo 2: Un átomo de hidrógeno está constituido por un electrón y un protón que están separados (en promedio) por una distancia de aproximadamente $5,3 \times 10^{-11}$ m. Encuentre la magnitud de la fuerza eléctrica entre las dos partículas.

Sol. $8,2 \times 10^{-8}$ N

Ley de Coulomb

Por ejemplo, el punto 3, se puede escribir como

$$|\mathbf{F}| = F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

k es la **constante de Coulomb**

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

y ϵ_0 es la permitividad del vacío.

Sólo el modulo de la fuerza (falta dirección y sentido)!!

Ejemplo 2: Un átomo de hidrógeno está constituido por un electrón y un protón que están separados (en promedio) por una distancia de aproximadamente $5,3 \times 10^{-11}$ m. Encuentre la magnitud de la fuerza eléctrica entre las dos partículas.

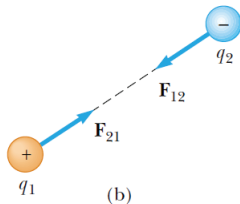
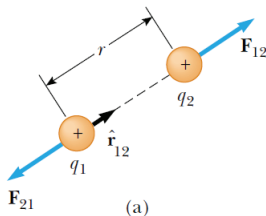
Sol. $8,2 \times 10^{-8}$ N

Ley de Coulomb

Forma vectorial de la ley de Coulomb

$$\mathbf{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^3} \mathbf{r}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

- \mathbf{F}_{12} = Fuerza eléctrica ejercida por una carga q_1 sobre una segunda carga q_2
- \mathbf{r}_{12} = vector que define la posición de q_2 respecto de q_1
- $\hat{\mathbf{r}}_{12}$ = vector unitario ($|\hat{\mathbf{r}}_{12}| = 1$) dirigido de q_1 hacia q_2 .



Se cumple $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$
(Tercera ley de Newton)

Principio de superposición de las fuerzas eléctricas

Principio de Superposición: *La fuerza sobre una carga en reposo debida a otras también fijas actuando simultáneamente, es igual a la suma vectorial de las fuerzas ejercida por cada una de ellas actuando por separado como si las demás no existiesen.*

$$\mathbf{F} = \sum_i^n \mathbf{F}_i = \sum_i^n k \frac{q_i q}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i = kq \sum_i^n \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$

Ejemplo 3: Tres cargas puntuales se encuentran sobre el eje x ; $q_1 = 25 \text{ nC}$ está en el origen, $q_2 = -10 \text{ nC}$ está en $x = 2 \text{ m}$, y $q_0 = 20 \text{ nC}$ está en $x = 3,5 \text{ m}$. Determinar la fuerza neta ejercida por q_1 y q_2 sobre q_0 .

Sol. $(-0,432 \times 10^{-6} \text{ N}) \hat{\mathbf{i}} = (-0,432 \text{ } \mu\text{N}) \hat{\mathbf{i}}$

Campo Eléctrico

Campo Eléctrico **E**

Una carga q_0 crea un campo eléctrico **E** en un punto del espacio, si al colocar otra carga q en dicho punto se ejerce sobre esta última una fuerza dada por

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}.$$

- ▶ q = carga de prueba, experimenta el campo **E**
- ▶ q_0 = carga fuente, es la que crea el campo

Campo eléctrico en un punto (**E**) es fuerza eléctrica que experimenta una carga de prueba q en dicho punto, dividida entre el valor de dicha carga q (fuerza por unidad de carga)

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}.$$

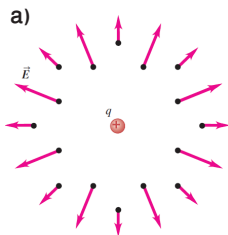
Unidades de **E** en el SI es el newton por culombio (N/C)

Campo Eléctrico

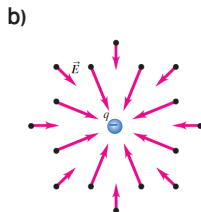
E en un punto se puede interpretar como la fuerza eléctrica que se ejercería sobre una carga testigo de $q = +1$ C que colocásemos en ese punto.

Una carga puntual q produce un campo eléctrico en todos los puntos del espacio.

a) El campo producido por una carga puntual positiva apunta en una dirección que se aleja de la carga.



b) El campo producido por una carga puntual negativa apunta hacia la carga.



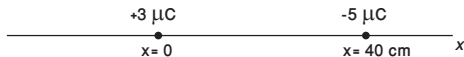
Campo Eléctrico

E tiene la misma dirección que **F**, y el sentido del campo será igual a la de la fuerza si q es positiva y opuesto si q es negativa.

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \Rightarrow \mathbf{E} \text{ es un vector } \begin{cases} \text{Paralelo a } \mathbf{F}, \text{ si } q > 0, \\ \text{Antiparalelo a } \mathbf{F}, \text{ si } q < 0 \end{cases}$$

Ejemplo 4: Cuando se coloca una carga testigo de 5 nC en un punto determinado, sufre la acción de una fuerza de 2×10^{-4} N en la dirección de x . ¿Cuál es el campo eléctrico **E** en dicho punto?

Sol. 4×10^4 N/C \hat{i}



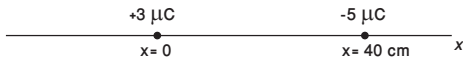
Campo Eléctrico

E tiene la misma dirección que **F**, y el sentido del campo será igual a la de la fuerza si q es positiva y opuesto si q es negativa.

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \Rightarrow \mathbf{E} \text{ es un vector } \begin{cases} \text{Paralelo a } \mathbf{F}, \text{ si } q > 0, \\ \text{Antiparalelo a } \mathbf{F}, \text{ si } q < 0 \end{cases}$$

Ejemplo 4: Cuando se coloca una carga testigo de 5 nC en un punto determinado, sufre la acción de una fuerza de 2×10^{-4} N en la dirección de x . ¿Cuál es el campo eléctrico **E** en dicho punto?

Sol. 4×10^4 N/C \hat{i}



Campo eléctrico

El campo eléctrico producido por una carga puntual q_0 en un punto \mathbf{P} . Si situamos una pequeña carga testigo q en \mathbf{P} , la fuerza que actúa sobre ella debido a q_0 es

$$\mathbf{F} = k \frac{q_0 q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

$\hat{\mathbf{r}}$ = vector unitario que apunta de q_0 y la carga q

r = la distancia entre q_0 y el punto \mathbf{P}

Así el campo eléctrico en el punto \mathbf{P} debido a la carga q_0 es

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} = k \frac{q_0}{r^2} \hat{\mathbf{r}}.$$

Campo eléctrico

Dadas n cargas puntuales q_1, q_2, \dots, q_n en reposo, el campo eléctrico total en un punto \mathbf{P} , debido a dichas cargas viene dado por

$$\mathbf{E} = \sum_i^n \mathbf{E}_i = \sum_i^n k \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i, \quad (1)$$

donde \mathbf{E}_i es el campo que crea la carga q_i , r_i es la distancia entre q_i y el punto \mathbf{P} , y $\hat{\mathbf{r}}_i$ el vector unitario en esa dirección.

Ejemplo 5: Dos cargas están colocadas sobre el eje x : $3.0 \mu\text{C}$ en $x = 0$ y $-5.0 \mu\text{C}$ en $x = 40 \text{ cm}$. ¿ Dónde deber colocarse una tercera carga q si la fuerza resultante sobre ésta deber ser cero?.

Sol. -1.4 m

Campo eléctrico debido a distribuciones de carga

Distribuciones de carga

La carga está cuantizada (escala microscópica), pero a veces si un gran número de cargas tan próximas entre sí, la carga total puede considerarse distribuida continuamente en el espacio.

- ▶ Si la carga está distribuida por todo el volumen $V \Rightarrow$
Densidad volumétrica de carga : $\rho = \frac{q_{tot}}{V}$ (se mide C/m^3).
- ▶ Si la carga distribuida sobre una superficie, $S \Rightarrow$
Densidad superficial de carga: $\sigma = \frac{q_{tot}}{S}$ (mide C/m^2).
- ▶ Si la carga distribuida sobre un cuerpo lineal de longitud $L \Rightarrow$
Densidad lineal de carga: $\lambda = \frac{q_{tot}}{L}$ (se mide C/m).

Campo eléctrico debido a distribuciones de carga

El campo eléctrico producido por distribuciones continuas de carga en general es complejo!

$$\mathbf{E} = \int_V k \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Por ejemplo, para una distribución volumétrica de carga

$$\mathbf{E} = \int_V k \frac{\rho}{r^2} dV \hat{\mathbf{r}}.$$

La *ley de Gauss* puede servir para el cálculo de \mathbf{E} en distribuciones simétricas

Apéndice : Impresora Láser

Se basa en la fuerza de Coulomb entre las partículas de tóner cargadas y el cilindro tambor. Este cilindro tambor se puede hacer de un material fotoconductor, de manera las cargas negativas se acumulan en los puntos del tambor en que los que luz usada incide, así cuando el láser 'escribe' la imagen que vamos a imprimir, esa área queda cargada negativamente y atrae partículas de tóner que han sido cargadas positivamente. Cuando una hoja del papel entra en contacto con el tambor, partículas de la tinta se adhieren a la hoja y forman la imagen. Finalmente las partículas del tóner son fundidas en el papel calentándolas, por eso siempre las copias salen calientes.

Esquema de la operación de una impresora láser.

