Fenómenos eléctricos

La estructura atómica clásica

Átomos formados por tres tipos de partículas: electrones, protones y neutrones

Tamaño típico de un núcleo atómico: 5.10^{-15} m

Tamaño típico de una nube de electrones: 2.10^{-10} m

O sea, en forma aproximada podemos decir que las dimensiones de un átomo son del orden 40000 veces superior que las de su núcleo.

La carga eléctrica (al igual que la masa) pertenece a lo que llamamos **estructura fundamental de la materia**.

Cargas eléctricas + y – : atracción y repulsión.

<u>Conservación de las cargas eléctricas</u>:

Las cargas eléctricas q se conservan (no se crean ni destruyen).

Las cargas eléctricas generan, en su alrededor, una región donde ocurren fenómenos ponderables: estos fenómenos afectan (aparecen fuerzas) a otras cargas que se encontraren en la región, la que llamaremos Campo Eléctrico.

Nótese que toda carga eléctrica q genera su campo eléctrico: vamos a diferenciar con Q a las cargas que generan campo y q (o q_0) a las cargas que son accionadas por el campo; entendiendo que $Q \gg q$.

Un hecho análogo ocurre con el fenómeno gravitatorio: para comprobar la existencia de este campo gravitatorio, es necesario ubicar en él un cuerpo (es decir, una masa).
Se observa que ubicar una carga en presencia de un campo eléctrico (q o q_0 en presencia de Q); llamaremos $\vec{E}$ al vector campo eléctrico.
Por lo expresado, aparece una fuerza eléctrica $\vec{F} = f(q; \vec{E})$
Obsérvese que $\vec{F}$ depende de la carga que se ubicó dentro del campo y del campo $\vec{E}$. Se cumple:

$$\overline{F} = q.\overline{E} \longrightarrow \overline{E} = \frac{\overline{F}}{q} \text{ [N/C]}$$

C: Coulomb → unidad carga eléctrica en el SI

Para estudiar las acciones que genera el campo eléctrico, vamos a dividirlo de acuerdo con el estado cinético en que se encuentran las cargas que lo generaron (o sea Q): si estuvieren en reposo lo llamaremos Campo Electrostático y si estuvieran en movimiento Campo Electrodinámico.

Campo electrostático E

Campo generado por cargas en reposo.
Todos, absolutamente todos los cuerpos están compuesto por átomos con un núcleo protónico → cargas + y electrones en una nube circundante con su núcleo → cargas **–**.
Pareciera que podríamos detectar el campo electrostático de cada átomo... pero no es Así, ya que como en todos los átomos se cumple: N° protones = N° electrones ➔ su carga neta es nula y sus acciones eléctricas sólo se perciben dentro del átomo.

$$q_e = e = -\,1{,}6.10^{-19}\text{ C y } q_P = 1{,}6.10^{-19}\text{ C}$$

La carga eléctrica está cuantizada → no existe un valor menor que **e** o **q_P**.

Ley de Coulomb

Charles Augustin Coulomb (1736 – 1806), en 1785, midió por primera vez cuantitativamente las atracciones y repulsiones eléctricas y dedujo la ley que las rige. Los primeros resultados experimentales de Coulomb pueden representarse así:

$$F \approx \frac{1}{r^2}$$

F es la magnitud de la fuerza que obra en cada una de las dos cargas a y b; r es la distancia que las separa. Estas fuerzas, como lo requiere la tercera ley de Newton obran en la línea que une las cargas pero apuntan en sentidos contrarios. Nótese que la magnitud de la fuerza en cada carga es la misma, aun cuando las cargas pueden ser muy diferentes.

Coulomb también estudió cómo variaba la fuerza eléctrica con el tamaño relativo de las cargas aplicadas en las esferas de su balanza de torsión. Por ejemplo, si tocamos una esfera conductora cargada con una esfera conductora exactamente igual pero descargada, la carga original debe dividirse igualmente entre las dos esferas. Siguiendo esa técnica, Coulomb amplió la relación de la inversa de los cuadrados a

$$F \approx q_1 \cdot q_2 / r^2 \qquad \text{Ley de Coulomb (1776)}$$

expresión en la cual q_1 y q_2 son medidas relativas de las cargas aplicadas a las esferas a y b.

La ley de Coulomb se parece a la ley de la gravitación de la inversa de los cuadrados que ya se conocía desde más de cien años antes de los experimentos de Coulomb; q juega el papel de m en esa ley. Pero en la gravedad, las fuerzas son siempre de atracción; esto corresponde al hecho de que hay dos clases de electricidad, pero sólo una clase de masa (aparentemente).

$$F \approx m_1 . m_2 / r^2 \qquad \textbf{ley de Newton (1687)}$$

La unidad de carga en el S.I. es el Coulomb (C) y se define como la cantidad de carga que pasa por una sección transversal dada de un alambre en 1 segundo si circula por el alambre una corriente de 1 Ampere (A) (si se conectan los extremos de un alambre con los terminales de una batería , pasa por el alambre una corriente eléctrica i)
Se cumple: q = i.t en donde q [C] ; i [A] y t [s]

En lugar de escribir esta constante simplemente como, ponganos por caso, *k*, ordinariamente se escribe de una manera más compleja, así $1/4\pi\epsilon_0$, o sea,

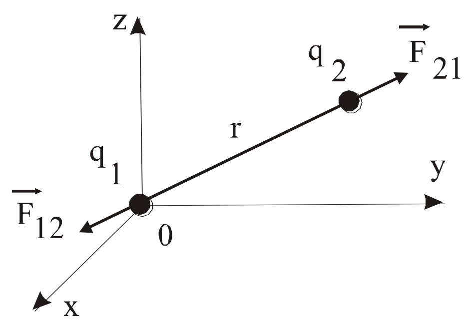
$$K = 9.10^{9}\ \frac{N.m^2}{C^2} \qquad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\cdot\left[\frac{N.\cancel{m^2}}{\cancel{C^2}}\cdot\frac{\cancel{C}.\cancel{C}}{\cancel{m^2}}\right] = [N]$$

ε épsilon

$$k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9.0 \times 10^{9}\left[\frac{N.m^2}{C^2}\right] \qquad \epsilon_0 = 8.85415 \times 10^{-12}\left[\frac{C^2}{N.m^2}\right]$$

Unidades S. I.: [F] = N; [q] = C; [r] = m

En forma vectorial



$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\breve{r}$$

F_{21} es la fuerza sobre la carga q_2, generada por la carga q_1.

Para campo eléctrico:

$$\vec{E}_{21} = -\vec{E}_{12} = k\frac{q}{r^2}\breve{r}$$

Obsérvese que aquí q es la carga generadora de campo.

El **medio influye** en los resultados, como consecuencia de un fenómeno microscópico llamado ***polarización** eléctrica*, el que estudiaremos más adelante.

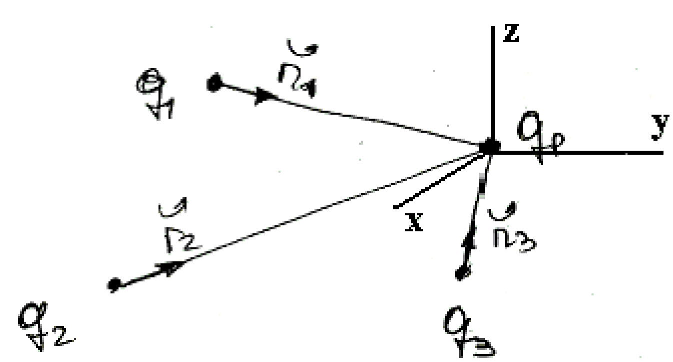
Para n cargas discretas

Se trata de hallar la fuerza resultante sobre una carga de prueba q_p

Como consecuencia del principio de superposición:

$$\boxed{\vec{F}_P = k \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i \, q_P}{r_i^2} \, \breve{r}_i}$$

siendo $\breve{r}_i$ el versor dirigido según la línea que une los centros de q_i con q_P



Distribución de carga

Lineal (λ) - Superficial (σ) - volumétrica (ρ)

Las cargas pueden estar distribuidas según una línea, generándose una densidad lineal de carga $[\lambda] = \frac{C}{m}$; según una superficie $\Rightarrow$ densidad superficial de carga $[\sigma] = \frac{C}{m^2}$ o en volumen $\Rightarrow$ densidad volumétrica de carga $[\rho] = \frac{C}{m^3}$

Estas distribuciones sugieren la posibilidad de la existencia de una distribución continua de carga, razonamiento opuesto a la "cuantización de las cargas", ya que, realmente la carga eléctrica sólo puede encontrarse como múltiplo de una carga básica.

Como la carga del electrón es muy pequeña: $1{,}6 \cdot 10^{-19} C$, podemos aproximarnos a la idea de una distribución continua de carga en una gran mayoría de los casos bajo estudio, siempre que éstos respondan a una descripción macroscópica.

Campo eléctrico creado por una distribución continua de cargas:

Si aplicamos a la ec. de Coulomb para campo $\vec{E}$ la idea precedente;

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

donde r es la distancia desde el elemento de carga dq al punto P donde se evalúa el campo $\vec{E}$ y $\breve{r}$ es el versor que apunta desde dq a P $\Rightarrow$ $\boxed{\vec{E} = k \int \frac{dq}{r^2} \breve{r}}$

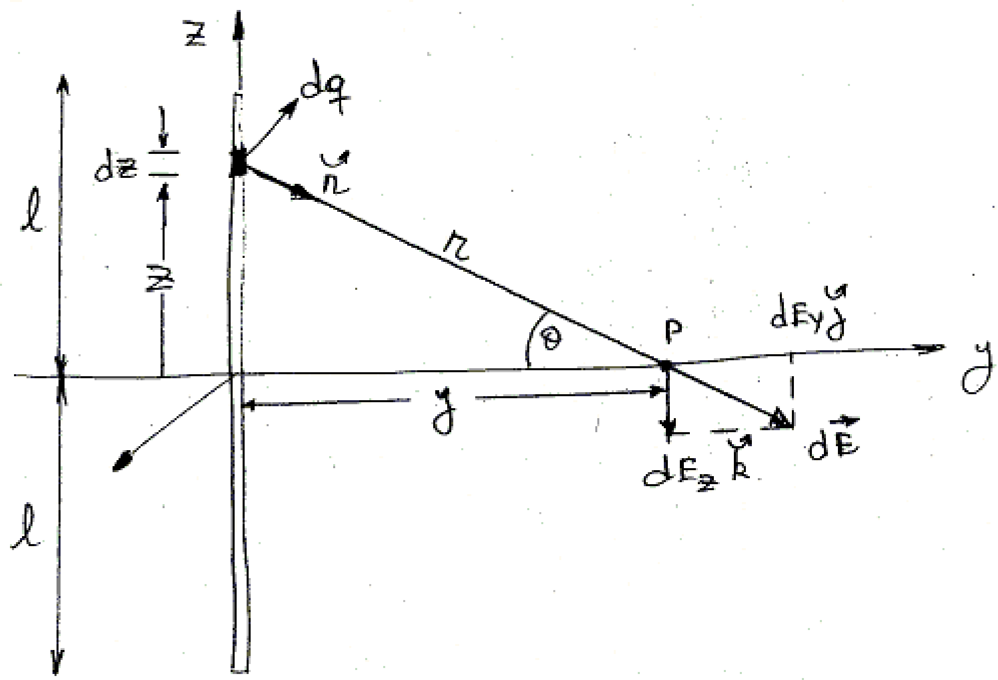
Los límites de integración están determinados x la extensión de la distrib. de cargas

Ahora bien; dq puede ser:

$dq = \lambda\, dl$ ó $dq = \sigma\, ds$ ó $dq = \rho\, dv$

Pero se debe advertir que la integral será de línea superficie o volumétrica:

Ejemplo de distribución lineal de carga:



Datos: k, l, y, z, λ
Hallar el vector E en P

La densidad lineal de cargas es uniforme $\lambda = \frac{q}{2\ell}$

Se pide hallar $\vec{E}$ en P

Sabemos que en un dz hay un dq $\therefore$ $\lambda = \frac{dq}{dz}$

entonces, recordando $E = k\int \frac{dq}{r^2}$ y $dq = \lambda dz$

$$E = k\int_{-\ell}^{\ell} \frac{\lambda}{r^2} dz = k\lambda \int_{-\ell}^{\ell} \frac{dz}{r^2} = k\lambda \int_{-\ell}^{\ell} \frac{dz}{y^2+z^2}$$

Observar que sólo hay campo E en la dirección $\hat{j}$

(ya que la ½ del hilo está en +z y la otra mitad en −z)

$$E_y = k \int_{-l}^{l} \frac{dz}{y^2+z^2} \frac{y}{\sqrt{y^2+z^2}} = k\lambda \int_{-l}^{l} \frac{y\,dz}{(y^2+z^2)^{3/2}}$$

← cos θ

$$= k\lambda y \int_{-l}^{l} \frac{dz}{(y^2+z^2)^{3/2}} = k\lambda y \left.\frac{z}{y^2\sqrt{y^2+z^2}}\right|_{-l}^{l} = k\frac{\lambda}{y}\frac{2l}{\sqrt{y^2+l^2}}$$

$$\boxed{E_y = k\frac{\lambda}{y}\frac{2l}{\sqrt{y^2+l^2}}}$$

si el hilo fuera ∞ (largo en física) ⇒ $l \to \infty$ ∴

dividimos num. y denom. × l :

$$\boxed{E_y\Big|_{l\to\infty} = 2k\frac{\lambda}{y}}$$

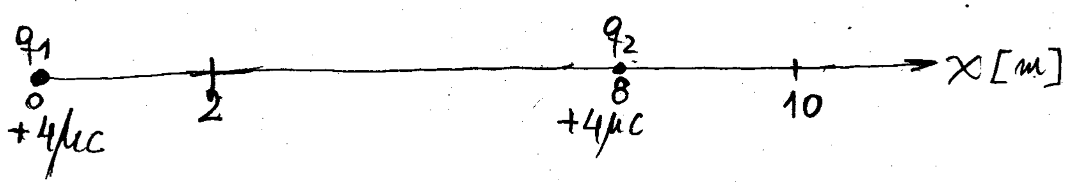
Dos cargas puntuales idénticas, de + 4 μC cada una, están fijas sobre el eje x ; una en el origen y la otra en x = 8 m.

a) Determinar el campo eléctrico en los puntos x = 10 m y x = 2 m.

b) Hallar en qué puntos del eje x se anula el campo eléctrico.

c) Trazar el gráfico de E_x en función de x.

a)



$$E_{2m} = k\frac{q_1}{(2m)^2} - k\frac{q_2}{(6m)^2} = 9.10^9\,\frac{Nm^2}{C^2}\left(\frac{4.10^{-6}C}{4\,m^2} - \frac{4.10^{-6}C}{36\,m^2}\right)$$

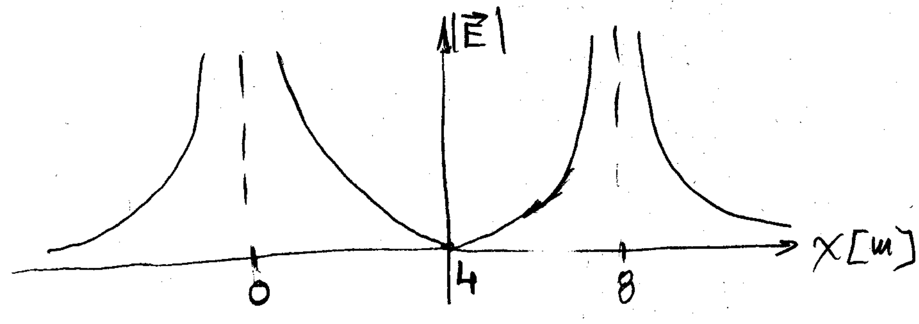
$$\boxed{E_{2m} = 8000\,\frac{N}{C}\,\hat{i}}$$

$$E_{10m} = k\frac{q_1}{(10m)^2} + k\frac{q_2}{(2m)^2} = 9.10^9\,\frac{Nm^2}{C^2}\left(\frac{4.10^{-6}C}{100\,m^2} + \frac{4.10^{-6}C}{4\,m^2}\right)$$

$$\boxed{E_{10m} = 9360\,\frac{N}{C}\,\hat{i}}$$

b) Se debe anular entre ambas cargas, ya que fuera de ellas el campo se suma (sus módulos); como $q_1 = q_2 \Rightarrow$ se anulan en $x = 4$ m.

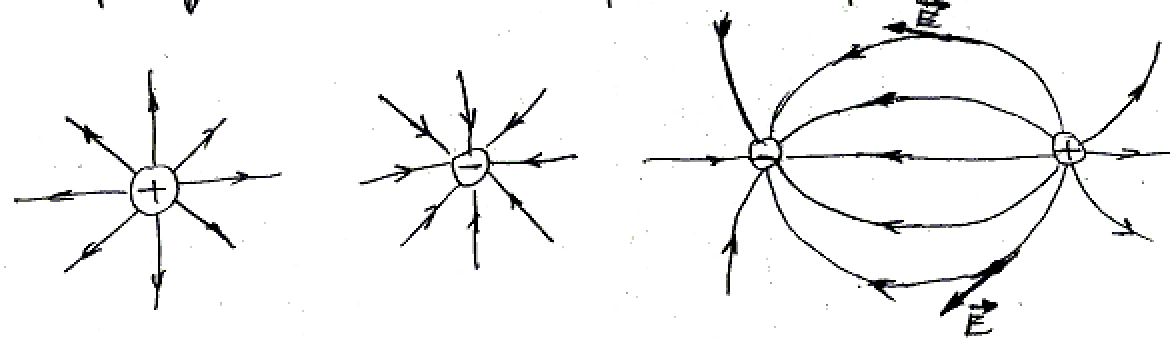
c)



Líneas de campo $\vec{E}$

Fueron concebidas por el físico experimental inglés Michael Faraday (1791 - 1867)

Son una ayuda para visualizar el campo, podemos decir que forman un "mapa de campo"



El campo en todo punto es tg a las líneas de campo

La densidad de líneas es proporcional a **E** ∴ también es proporcional a $|q|$

Las líneas de campo nacen en +Q y terminan en –Q → monopolo eléctrico.

Un campo uniforme estará representado por <u>líneas de campo</u> igualmente espaciadas, rectas y //.

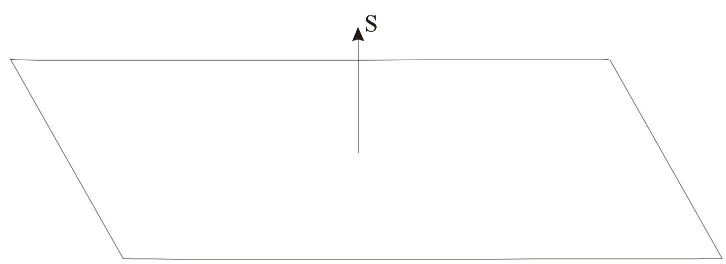
La ley de Gauss

El campo E producido por objetos cargados puede obtenerse por dos procedimientos equivalentes: Ley de Coulomb o Ley de Gauss, La ley de Gauss requiere una matemática superior, pero los conocimientos adquiridos son más profundos.

ºEl Flujo Φ

La ley de Gauss se expresa en términos del *flujo* del campo eléctrico, o *flujo eléctrico*. Antes de aprender sobre la ley de Gauss, debemos comprender el concepto de flujo. La palabra «flujo» viene del latín *fluere*, que significa fluir. Este concepto se origina en la teoría de fluidos, donde el flujo significa la rapidez con que un fluido pasa a través de una superficie imaginaria. Como ya se verá más adelante, el flujo es quizá aún más útil en el tratamiento del campo magnético que en el del campo eléctrico.

El flujo Φ de un campo vectorial involucra: (i) al campo; y (ii) a una superficie para la cual el flujo es evaluado. Para obtener el flujo a través de una superficie, representaremos la superficie mediante un *vector superficie*. Para una superficie plana el vector superficie **S** tendrá un módulo S igual al área de la superficie, y como dirección la perpendicular a esta superficie. Suponer que se toma una hoja de papel de un cuaderno, de longitud a y anchura b, y se coloca horizontalmente.

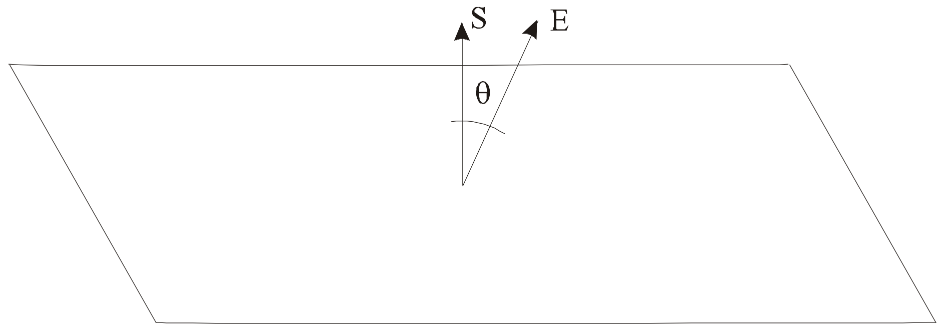


El vector superficie presenta una ambigüedad en su definición, ya que existen *dos* direcciones perpendiculares a una superficie, una opuesta a la otra. Podríamos igualmente haber dicho que la dirección de **S** para la hoja era $-\mathbf{j}$ en lugar de $+\mathbf{j}$. Esta ambigüedad puede resolverse fácilmente cuando la superficie es *cerrada*. Por superficie cerrada queremos dar a entender una superficie que encierra un volumen como la caja cerrada En este caso podemos definir la dirección de **S** tanto hacia dentro como hacia fuera del volumen encerrado. Siguiendo la costumbre, escojeremos la dirección de **S** saliendo *hacia fuera* del volumen encerrado.

Entonces el flujo Φ_E de un campo eléctrico uniforme a través de una sup. plana ΔS (como vector), será:

$\Phi_E = \vec{E} \bullet .\vec{S} = E.S\cos\theta$ (sup. plana y E uniforme)

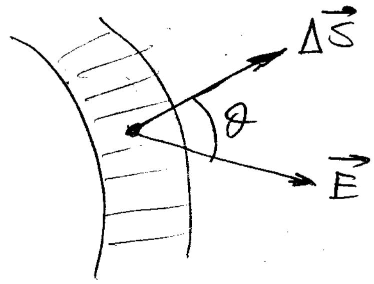
El producto escalar tiene en cuenta la orientación de la superficie respecto a la dirección del campo. $S\cos\theta$ puede considerarse como el área efectiva de la superficie, o también es área de la proyección de la superficie sobre el plano perpendicular al vector E (fig.).



Podemos aseverar, de acuerdo a Faraday, que el Nº de líneas de campo que cruzan una sup. es proporcional al valor del flujo a través de esa superf.

Este esquema es útil para visualizar el flujo, pero no lo es para su cálculo preciso.

Supongamos ahora una sup. curvada y que en ella



el campo $\vec{E}$ varía punto a punto: El flujo se obtiene dividiendo la sup. en pequeños elementos (de tal forma que puedan considerarse planos) y que el campo no varíe en c/u de ellos.

$$\Phi_E = \int_\Sigma \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

El flujo del campo $\vec{E}$ a través de una sup. es = a la integral de sup. de $\vec{E}$ extendida a esa sup.

Si la sup. es cerrada: $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$ superf. gaussiana

La ley de Gauss

El flujo eléctrico Φ_E a través de una sup. cerrada arbitraria es = a la carga neta encerrada por la sup. dividida ε_0 :

$$\boxed{\Phi_E = \frac{\sum Q}{\varepsilon_0}} \quad \text{ó} \quad \boxed{\oint_{\Sigma} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{\sum Q}{\varepsilon_0}}$$