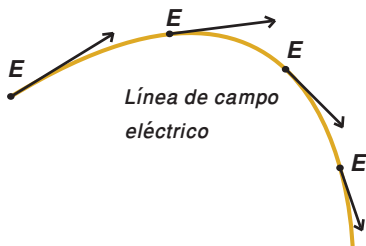


Tema 2: Ley de Gauss

Fundamentos Físicos y Electrónicos de la Informática

Líneas de Campo eléctrico

- ▶ El campo eléctrico, \mathbf{E} , creado por cargas es una propiedad que existe en cada punto del espacio.
- ▶ Líneas de campo son una forma de visualizarlo gráficamente.
- ▶ Estas líneas son tangentes en cada uno de sus puntos al vector campo, esto es, la dirección de \mathbf{E} en un punto cualquiera es tangente a la línea de campo que pasa por ese punto.
- ▶ Se pueden ver como líneas de fuerza, ya que muestran la dirección de la fuerza ejercida sobre una carga testigo positiva.

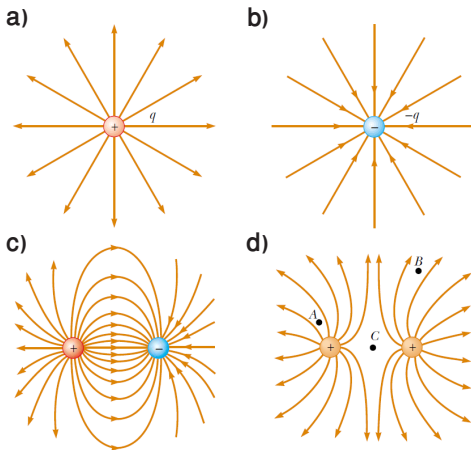


Líneas de Campo eléctrico

Algunas reglas para dibujar las líneas de campo eléctrico

- ▶ Las líneas de **E** siempre comienzan en las cargas positivas (o en el infinito) y terminan en las negativas (o en el infinito).
- ▶ Las líneas se dibujan simétricamente entrando y saliendo en la carga.
- ▶ La densidad de líneas (número de ellas por unidad de área perpendicular a las mismas) en un punto es proporcional al valor del campo en dicho punto.
- ▶ No pueden cortarse nunca dos líneas de campo (si se cortasen dos líneas existirían dos direcciones para **E** en el punto de intersección).

Líneas de Campo eléctrico



Líneas de campo eléctrico producido por **a)** una carga puntual positiva, **b)** una carga puntual negativa, **c)** dos cargas de igual magnitud y signo opuesto (dipolo), **d)** dos cargas de igual magnitud y signo.

Flujo eléctrico Φ_E

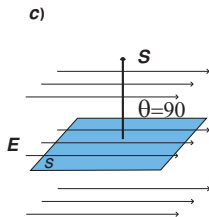
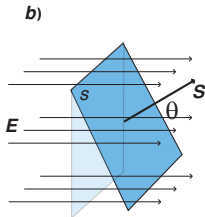
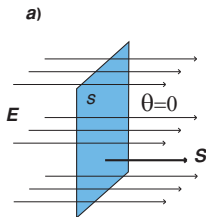
Φ_E : Cuantifica la cantidad de líneas de campo que pasan *por una superficie*.

Empecemos por un ejemplo sencillo

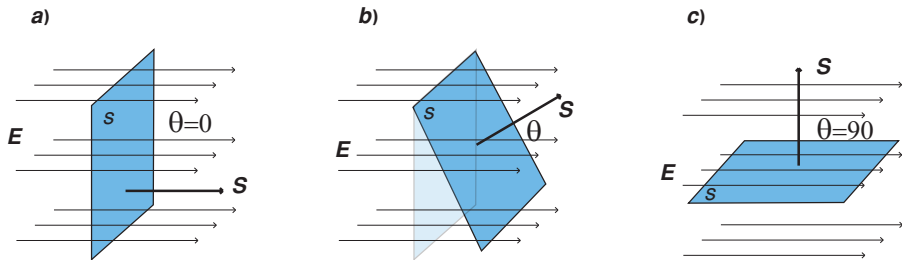
Para una superficie plana de área S en un campo eléctrico \mathbf{E} uniforme

$$\Phi_E = \mathbf{E} \cdot \mathbf{S} = ES \cos \theta.$$

- ▶ \mathbf{S} (Vector superficie) = vector que tiene por módulo el área S y cuya dirección es normal al plano de la superficie.
- ▶ θ = ángulo que forma \mathbf{E} con \mathbf{S}



Flujo eléctrico Φ_E



$$\Phi_E = \mathbf{E} \cdot \mathbf{S} = ES \cos \theta.$$

$\Phi_E \propto$ numero de las líneas de campo que entran en dicha superficie

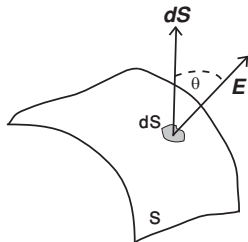
- ▶ Si aumentamos $S \Rightarrow$ aumenta Φ_E .
- ▶ Si aumentamos $E \Rightarrow$ mayor densidad de líneas \Rightarrow aumenta Φ_E
- ▶ Φ_E depende de la la orientación de la superficie con el campo

Flujo eléctrico Φ_E

En general, el flujo eléctrico Φ_E para cualquier superficie S (que no tiene por qué ser plana) en una región del espacio donde exista un campo eléctrico \mathbf{E} (que no tiene por qué ser uniforme)

$$\Phi_E = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S},$$

Si la superficie es cerrada el flujo total o neto sobre ella

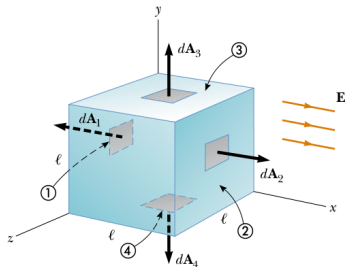


$$\Phi_E = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \text{número de líneas que salen menos las que entran}$$

Flujo eléctrico Φ_E

Ejemplo 1: Considere un campo eléctrico uniforme \mathbf{E} orientado en la dirección x en el espacio vacío. Encuentre el flujo eléctrico neto a través de la superficie de un cubo con arista ℓ , orientado como muestra la figura

Sol. $\phi_E = 0$.



(El flujo eléctrico, ϕ_E , es nulo en cualquier superficie cerrada en cuyo interior no haya ninguna carga.)

Ley de Gauss

El ϕ_E a través de cualquier superficie cerrada, S , es igual a la carga eléctrica neta encerrada en esa superficie dividido por la constante ε_0 .

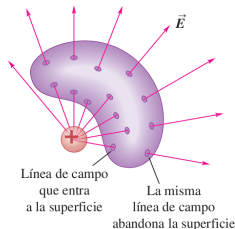
$$\Phi_E = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{q_{int}}{\varepsilon_0},$$

q_{int} = la carga neta contenida dentro de S (suma de todas las cargas). S , se conoce como superficie gaussina, y puede ser imaginaria; no es necesario que haya un objeto material en la posición de la superficie.

Ejemplo:

$$\Phi_E = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{q_{int}}{\varepsilon_0} = 0$$

Porque no hay carga dentro de S .
Entran y salen el mismo numero de líneas



Ley de Gauss

Ejemplo: Carga q dentro de una superficie esférica, S (superficie Gaussina). El campo creado por q en cualquier punto de S es

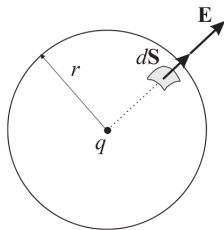
$$\mathbf{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

$\hat{\mathbf{r}}$ = dirección radial; r = radio de S .

Como $\mathbf{E} \parallel \mathbf{S}$

$$\Phi_E = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \oint_S E ds = E \oint_S ds = \frac{q}{\epsilon_0},$$

ya que $\oint_S ds = 4\pi r^2$



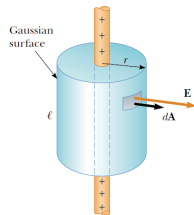
$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Ley de Gauss

Se puede usar para determinar el campo eléctrico de distribuciones de continuas de carga que presenten determinados grados de simetría.

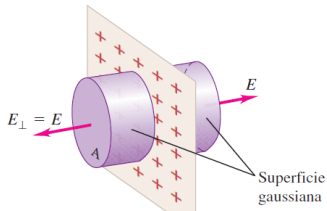
Ejemplo 2: Encuentre el campo eléctrico a una distancia r desde una línea de carga positiva de longitud infinita y carga constante por unidad de longitud λ

Sol. $E = 2k \frac{\lambda}{r}.$



Ejemplo 3: Encuentre el campo eléctrico debido a un plano infinito de carga positiva con densidad de carga superficial uniforme σ .

Sol. $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}.$



Conductores en equilibrio electrostático

Equilibrio electrostático: En un conductor al aplicar un campo eléctrico externo, la carga libre (e) se mueve situándose en la superficie y creando un segundo campo eléctrico que anula el campo externo en el interior del conductor

- ▶ $\vec{E} = 0$ en cualquier punto del interior del conductor.
- ▶ Cualquier exceso de carga en un conductor aislado está situada enteramente en la superficie.
- ▶ En un conductor de forma irregular la carga tiende a acumularse en las puntas.

a) Conductor sólido con carga q_C



La carga q_C reside por completo en la superficie del conductor. La situación es electrostática, por lo que $\vec{E} = 0$ dentro del conductor.

Conductores en equilibrio electrostático

Ejemplo 4: Teniendo en cuenta que el campo eléctrico es cero dentro de un conductor en equilibrio, demostrar usando la ley de Gauss que toda la carga eléctrica reside en la superficie de éste.

Sol. Consideremos una superficie gaussiana justamente en el interior de la superficie real de un conductor en equilibrio electrostático. Como el campo es cero en todos los puntos dentro conductor, será también cero en la superficie gaussina, luego el flujo neto a través de la superficie debe ser cero. Como esto ocurre para cualquier superficie gaussina dentro del conductor, sólo es posible, según la ley de Gauss, si la carga neta en el interior de la superficie gaussiana es cero.

Cualquier carga eléctrica neta en un conductor está siempre en la superficie !!

Apéndice : Jaula de Faraday

En cualquier cavidad cerrada dentro de un conductor homogéneo el campo eléctrico es nulo.

- * Equipos electrónicos pueden ser apantallados y protegidos de campos eléctricos no deseados usando una caja metálica.
- * A menudo se construye con mallas de cable metálico, el apantallamiento no es perfecto como el del metal sólido pero es bueno para muchas aplicaciones (es flexible y deja ver)
- * Hornos microondas, edificios que almacenan explosivos, ...

Ejemplo: *En una tormenta aunque las ventanas permiten el paso de algunas líneas de campo, la intensidad del campo eléctrico se ve atenuado hasta el punto que es prácticamente imposible que un rayo penetre en un coche.*

