

;Error! Marcador no definido.

Las cargas eléctricas pueden originar tres tipos de fenómenos físicos:

- a) Los fenómenos **electrostáticos**, cuando están en reposo.
- b) Las **corrientes eléctricas**.
- c) Los fenómenos **electromagnéticos**, cuando están en movimiento.

– **Electrostática: cargas eléctricas; ley de Coulomb.**

La electrostática estudia la interacción entre cargas eléctricas inmóviles: hablaremos de **cargas negativas** (-), o de los electrones; y **cargas positivas** (+), o de los protones. Tanto el electrón como el protón poseen carga unidad (en unidades atómicas). Cargas del mismo signo se **repelen**, y de distintos signos se **atraen**.

En el sistema internacional se toma como unidad de carga el culombio, nombre que le viene del descubridor de la ley que liga la interacción entre cargas, la llamada **Ley de Coulomb**:

$$F = k \frac{Qq}{r^2}$$

La fuerza mutua que ejercen entre sí dos cargas es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa."

Siendo k una constante de proporcionalidad, cuyo valor en el vacío es $9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$.

De esta forma podemos definir "la unidad de carga eléctrica, o culombio, como aquella carga que puesta en presencia de otra igual a ella, a una distancia de 1 metro, ejerce una fuerza de $9 \times 10^9 \text{ N}$ (en el vacío)".

Una vez vista la unidad de carga eléctrica y la fuerza con que dos cargas se atraen o repelen (interacción electrostática) vamos a ver las expresiones que toman las magnitudes que caracterizan el campo eléctrico: la intensidad de campo y el potencial en un punto del campo.

– **Campo electrostático en la materia: conductores y dieléctricos.**

La respuesta de la materia a la acción de un campo eléctrico externo a la misma depende de si tenemos un material conductor o un "no conductor" (dieléctrico):

1) **Conductores.**

Cuando un conductor metálico se ve sometido a la acción de un campo eléctrico, sus electrones libres son arrastrados por el campo en dirección normal a las superficies equipotenciales, hasta alcanzar la superficie del conductor: "en un conductor metálico en equilibrio, las cargas eléctricas libres no pueden existir más que en su superficie (hecho comprobado experimentalmente). Sí las cargas eléctricas de un conductor en equilibrio electrostático han de estar en reposo, es preciso que sea nulo el campo eléctrico en el interior del conductor. Esto hace, además, que el potencial sea constante en todos los puntos.

Además, la electricidad tiende a acumularse en aquellos lugares en los que la superficie del conductor presenta mayor curvatura, y muy particularmente en las puntas o salientes acusados, a través de los cuales incluso puede escapar, en virtud de la fuerte repulsión electrostática que se ejerce entre las cargas del mismo signo acumuladas, dando lugar a efluvios eléctricos y descargas en corona. Este hecho me dice que la densidad superficial eléctrica, en general, no es constante ($\sigma = \text{constante}$).

Por otra parte, si en el interior de un conductor hueco no existe ninguna carga, dentro de dicho conductor el potencial será constantemente igual al correspondiente a su superficie, y el campo eléctrico nulo. En consecuencia, bastará rodear un cuerpo por una pantalla metálica unida a tierra para que el campo en el interior sea nulo, por muy intensos que sean los campos eléctricos exteriores.

De esta forma, los aparatos eléctricos para medidas de precisión pueden ser protegidos contra cualquier

¡Error! Marcador no definido.

perturbación electrostática externa rodeándolos de una red de conductores, en forma de malla, que no es preciso sea muy tupida.

2) No conductores (dieléctricos).

En estos, los electrones están fuertemente retenidos por los núcleos de sus átomos. Así, apenas poseen movilidad estos electrones bajo la acción de un campo eléctrico externo. Sin embargo, se produce una nueva distribución de la nube electrónica dentro de cada molécula, sin que las cargas dejen de pertenecer a la misma: "el campo eléctrico externo induce una carga en la superficie del dieléctrico".

– Capacidad de un condensador aislado.

La relación entre la carga de un conductor aislado y su potencial es una constante que recibe el nombre de **capacidad del conductor**:

$$C = \frac{q}{V} \quad 1$$

"La capacidad del conductor aislado resulta ser numéricamente igual a la carga que adquiere cuando su potencial es de 1 voltio".

La capacidad se mide en FARADIO: "el faradio (F) es la capacidad que posee un condensador que con una carga de un coulomb adquiere el potencial de un voltio".

Sí trabajamos la ecuación anterior, se llega a la conclusión de que la capacidad es independiente de la carga del condensador, dependiendo tan sólo de sus características geométricas, así como de la naturaleza del dieléctrico existente entre ambas armaduras, es decir, de su constante dieléctrica (ϵ):

$$C = \epsilon \frac{S}{l} \quad 2$$

– Asociación de condensadores.

1) Condensadores en serie. Características:

a) Capacidad equivalente:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad 3$$

b) La carga es la misma en todos los condensadores.

c) Las tensiones, en general, serán distintas.

2) Condensadores en paralelo. Características:

a) Capacidad equivalente:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad 4$$

b) Carga neta: $Q = q_1 + q_2 + q_3$

c) La tensión es la misma en todos ellos.

;Error! Marcador no definido.

– Intensidad de corriente.

Hemos definido el coulomb, así como la fuerza que genera un par de cargas eléctricas aisladas. En la vida cotidiana rara vez nos encontraremos con esta situación. Normalmente nos encontramos con cuerpos atravesados por infinidad de cargas, es decir, **corrientes eléctricas**. La corriente eléctrica en los conductores es debida a los **electrones**, que circulan desde el ánodo al cátodo, sin embargo, históricamente se da a la corriente el sentido contrario (cátodo, polo (+) → ánodo, polo (-)).

La magnitud física fundamental en toda corriente eléctrica es la **intensidad de corriente eléctrica**, o cantidad de carga que atraviesa un conductor en la unidad de tiempo:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

La unidad de corriente eléctrica es el **Amperio**.

Una vez que conocemos la composición de un circuito elemental, y las magnitudes que lo caracteriza, V e I, podemos definir la llamada **Ley de Ohm**:

$$V = I R$$

"La diferencia de potencial (V) entre los extremos de un conductor metálico es directamente proporcional a la intensidad que circula por él, siendo la constante de proporcionalidad la **resistencia eléctrica** que ofrece el conductor al paso de los electrones a su través".

La **resistencia** eléctrica (R) depende de la longitud y superficie del conductor:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$\rho \equiv$ **resistividad** eléctrica (característico de cada material).

A menor resistividad, menor resistencia del conductor al paso de la corriente eléctrica.

La unidad de **resistencia** eléctrica es el **ohmio** (Ω). La de **resistividad** eléctrica es (Ω m).

– Circuitos en Serie y en Paralelo.

Existen dos formas de conectar las resistencias externas de un circuito:

1) Circuitos en serie. Características:

a) La resistencia equivalente es: $R = R_1 + R_2 + R_3$.

b) $I = I_1 = I_2 = I_3$.

c) En general: $V_1 = V_2 = V_3$.

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = I R_1 \\ V_2 = I R_2 \\ V_3 = I R_3 \end{array} \right\} \text{ si } R_1 = R_2 = R_3 \implies V_1 = V_2 = V_3, \left\{ \begin{array}{l} 8 \\ \text{siendo } V = V_1 + V_2 + V_3. \end{array} \right.$$

2) Circuitos en paralelo. Características:

¡Error! Marcador no definido.

a) La resistencia equivalente es: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ 9.

b) $V_1 = V_2 = V_3 = V$.

c) En general: $I_1 = I_2 = I_3$ 10.

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{V}{R_1} \\ I_2 = \frac{V}{R_2} \\ I_3 = \frac{V}{R_3} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{si } R_1 = R_2 = R_3 \implies I_1 = I_2 = I_3, \\ \text{siendo } I = I_1 + I_2 + I_3. \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} I_1 = \frac{V}{R_1} \\ I_2 = \frac{V}{R_2} \\ I_3 = \frac{V}{R_3} \end{array}} \right\} 11$$

– Trabajo y potencia eléctrica desarrollados en una resistencia.

Habíamos visto que el trabajo eléctrico tomaba la forma: $W = -q \Delta V$ 12

Sí aplicamos a esta expresión la ley de Ohm obtenemos otras expresiones del trabajo eléctrico desarrollado sobre o por una resistencia:

$$W = qV = qIR = ItV = I^2 R t = \frac{V^2}{R} t \quad 13$$

Como sabemos la potencia se define como "el trabajo desarrollado por un cuerpo en la unidad de tiempo", por ello, la potencia eléctrica puede tomar los valores:

$$P = \frac{dW}{dt} = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad 14$$

– Leyes de Kirchoff.

Las leyes de Kirchoff son una herramienta poderosa para resolver los problemas de **corriente continua**. Para enunciarlas es necesario fijar tres conceptos:

1) **Malla o circuito**. Es todo circuito cerrado que podamos considerar.

2) **Nudo o conexión**. Son aquellos puntos donde **concurren** los terminales de más de dos elementos.

3) **Rama**. Es la parte de un circuito comprendida entre dos nudos.

Una vez definidos los conceptos de **malla, nudo y rama**, estamos en condiciones para poder definir las leyes de **Kirchoff**:

1ª Ley de Kirchoff. Ley de las mallas.

¡Error! Marcador no definido.

La suma algebraica de las f.e.m., o potenciales, debidas a los generadores es igual a la suma algebraica de los productos $R_i I_i$ (caídas de tensión) extendida a los conductores que forman la malla.

2ª Ley de Kirchoff. Ley de los nudos.

La suma de las intensidades que entran en un nudo es igual a la suma de las intensidades que salen de él. Esto significa que en ningún caso se puede acumular carga eléctrica en los circuitos, salvo en los generadores, garantizándose la **conservación de la carga**.

- 4) Una esfera metálica de 10 cm de radio tiene una carga de $1 \mu\text{C}$. Calcular:
- Capacidad de la esfera.
 - Potencial en un punto de su superficie.
 - Energía eléctrica que tiene almacenada la esfera.
- 5) Dos esferas metálicas de radios 6 y 9 cm se cargan con $1 \mu\text{C}$ cada una y luego se unen con un hilo conductor de capacidad despreciable. Calcular:
- Potencial de cada esfera aislada.
 - Potencial después de la unión.
 - Carga de cada esfera después de la unión.

CAMPO ELÉCTRICO

- Determina el campo eléctrico y el potencial en un punto situado a 10 m de una carga de 5 C situada en el vacío.
- Determina la energía potencial que posee una partícula cuya carga es 5 C, si la colocamos en un punto en que el potencial es 20 V.
- Se coloca un electrón cuya masa es $9,1 \times 10^{-31}$ Kg y cuya carga es $1,6 \times 10^{-19}$ C en un punto en que el potencial es de 10 V. Calcula la velocidad máxima que puede adquirir cuando la dejamos en libertad.
- Entre las láminas de un condensador plano, separadas 2 cm, se crea un campo $E = 5 \times 10^4$ N/C. Si sobre una de sus armaduras se deja libre una partícula de masa $9,11 \times 10^{-31}$ kg y de

¡Error! Marcador no definido.

- carga $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, determinar la aceleración que adquiere y la velocidad con que llegará a la armadura opuesta.
- 5) Dos cargas de $100 \mu\text{C}$ y $500 \mu\text{C}$ están situadas en los puntos A(3,4) y B(-3,4), respectivamente. Determina el valor del campo y el potencial en el punto (0,0). Supón que las cargas están en el vacío.
- 6) Refiriéndonos al problema anterior, calcula la fuerza que actuaría sobre una carga de $200 \mu\text{C}$ colocada en el punto (0,0). ¿Cuál sería su energía potencial ?.
- 7) Una carga puntual de $3 \mu\text{C}$ está situada en el origen de un sistema de coordenadas. Otra carga de $-5 \mu\text{C}$ está situada en el punto A(-1,1). Determinar:
- La intensidad del campo eléctrico creado por ambas cargas en el punto B(2,-1).
 - El trabajo desarrollado para que una carga de -10^{-8} C se desplace desde B hasta el punto C(4,2).
¿Quién realiza el trabajo, el campo o nosotros ?.
- 8) Dos cargas de $0,4 \mu\text{C}$ y $-0,3 \mu\text{C}$ están separadas una distancia de 20 cm en el vacío. Determina:
- El campo eléctrico creado por ellas en el punto medio de la línea que las une.
 - El punto en que se anula el campo.
- 9) Para las cargas del problema anterior, determina:
- El potencial en el punto medio de la línea que las une.
 - El punto en que se anula el potencial.
- 10) En los vértices sucesivos A, B, C y D de un cuadrado de 10 cm de lado tenemos 4 partículas cargadas: $q_1 = 2$ C, $q_2 = -3$ C, $q_3 = -2$ C y $q_4 = 3$ C. Determinar:
- La intensidad del campo eléctrico en el centro del cuadrado (O).
 - Trabajo desarrollado en el desplazamiento de una carga de -1 C desde O hasta A. ¿Quién realiza el trabajo eléctrico, el campo o nosotros ?.
- 11) En tres vértices de un cuadrado de 1 m de lado, hay una carga positiva de $10 \mu\text{C}$. Suponiendo que se encuentra en el vacío, calcular:
- La intensidad del campo eléctrico en el cuarto vértice.
 - El trabajo necesario para llevar una carga de $-5 \mu\text{C}$ desde ese cuarto vértice hasta el centro del cuadrado.