
FÍSICA

2º Bachillerato

Interacción Electromagnética I
Campo Eléctrico

Prof. Jorge Rojo Carrascosa

Índice general

1. INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA I.	
CAMPO ELÉCTRICO	2
1.1. LEY DE COULOMB	2
1.2. CAMPO ELÉCTRICO	4
1.3. ENERGIA POTENCIAL ELECTROSTÁTICA	6
1.4. POTENCIAL ELECTROSTÁTICO	7
1.5. TRABAJO ELECTROSTÁTICO	8
1.6. CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA	9
1.7. LEY DE GAUSS DEL CAMPO ELÉCTRICO	9
1.7.1. \vec{E} CREADO POR UNA CARGA PUNTUAL	10
1.7.2. \vec{E} CREADO POR UNA SUPERFICIE PLANA	11
1.7.3. \vec{E} CREADO POR UNA CORTEZA ESFÉRICA	11
1.8. ELECTROSTÁTICA EN MEDIOS MATERIALES	12
1.8.1. CONDUCTORES	12
1.8.2. DIELECTRICOS	13
1.9. PROBLEMAS RESUELTOS	14

Capítulo 1

INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA I. CAMPO ELÉCTRICO

El electromagnetismo es una de las ramas de la física más importantes. Su estudio se basa en las interacciones de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Para comenzar su estudio, primero vamos a tratar exclusivamente los fenómenos eléctricos, después los magnéticos y por último, veremos como afectan en conjunto a un sistema dado.

La materia contiene carga eléctrica como consecuencia de estar formada por átomos y moléculas. En los átomos existen partículas con carga eléctrica positiva (protones) y otras con carga eléctrica negativa (electrones), así, la electrización consiste en una pérdida o ganancia de electrones, por ejemplo al frotar dos cuerpos, la carga se transfiere de un cuerpo a otro en forma de electrones. Pero en este proceso, la carga ni se crea ni se destruye, se transmite y por tanto, se conserva.

Una propiedad muy importante es que la carga está cuantizada, siempre se presenta como un múltiplo entero de una carga elemental, la que posee el electrón. La unidad en el sistema internacional de unidades de carga eléctrica es el culombio (C), aunque como resulta excesivamente grande, en la práctica se utilizan submúltiplos de la misma: μC , nC , ...

1.1. LEY DE COULOMB

En el S. XVIII, Coulomb comenzó sus estudios sobre las cargas eléctricas llegando a la conclusión de que las fuerzas que se ejercen dos cargas depende de la distancia que

las separa y del signo que tengan. Así, la fuerza ejercida entre dos cargas (supuestas puntuales) viene descrita por la Ley de Coulomb (1785), la cual establece que *la fuerza con que dos cargas se atraen o se repelen es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa*:

$$\vec{F} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_r$$

Donde \vec{u}_r es un vector unitario en la dirección de la línea que une ambas cargas y sentido siempre saliendo de la carga que ejerce la fuerza.

- K es la constante de proporcionalidad conocida como constante de Coulomb, depende del medio en el que estén situadas las cargas (vacío, aire, agua, aceite, . . .) y para el vacío o el aire, y en unidades S.I vale $9 \cdot 10^9 \frac{Nm}{C^2}$. La constante de Coulomb puede escribirse en función de la constante de permitividad del medio o constante dieléctrica del medio, ϵ :

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

- Su módulo es $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$ y se expresa en el SI en N .
- La fuerza es positiva si tiene el mismo sentido que \vec{u}_r y si es negativa, sentido contrario. Dos cargas de igual signo se repelen y de sentido contrario se atraen.
- La fuerza que ejerce 1 sobre dos es la misma que la que ejerce 2 sobre 1 pero con sentido contrario, es decir, actúan por parejas.
- Es una fuerza central y por tanto, **conservativa**.
- Cumple con el **principio de superposición**. La fuerza ejercida sobre una masa será la suma vectorial del total las fuerzas ejercidas sobre ella.

La constante de permitividad da idea de la capacidad que tiene un medio para transmitir la interacción eléctrica. Si un medio tiene una permitividad alta (o K pequeña) la fuerza entre dos cargas será más pequeña que en otro en el que la permitividad sea baja (o K grande). Se dice entonces que el primer medio es más aislante, transmite peor la interacción entre cargas y recibe el nombre de *dieléctrico*.

1.2. CAMPO ELÉCTRICO

Al igual que en la interacción gravitatoria, las fuerzas entre cargas se transmiten a distancia, no hace falta que los dos cuerpos estén en contacto. La teoría de campos pone de manifiesto la existencia de una fuerza cuando en el medio existe otro cuerpo que sufre una interacción por otro cuerpo, que generó la fuerza, por que él posee la misma propiedad que la que genera la fuerza. Dicho de otra manera, una carga q_2 siente una fuerza eléctrica provocado por una carga q_1 como consecuencia de que ella misma tiene carga.

Una carga de prueba positiva q_2 situada en una región del espacio desprovista de cargas no siente fuerza alguna. Sin embargo, si se introduce una carga positiva, q_1 , las propiedades del espacio se modifican y la carga siente una fuerza de repulsión. Se dice que la carga q_1 crea un **campo** a su alrededor que actúa sobre la carga de prueba q_2 . De esta manera la acción deja de ejercerse a distancia y es el campo el responsable de la acción ejercida sobre la carga de prueba.

El campo es una entidad física medible, se define la intensidad de campo eléctrico en un punto como la fuerza ejercida sobre la unidad de carga colocada en ese punto.

$$\boxed{\vec{E} = K \frac{q_1}{r^2} \vec{u}_r} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{\vec{F} = q\vec{E}}$$

- El campo creado por una carga positiva tiene el mismo sentido que \vec{u}_r , es decir, hacia fuera; si es negativo el campo tiene sentido contrario, hacia dentro.
- Su módulo es $E = K \frac{q_1}{r^2}$ y se expresa en el SI en NC^{-1} .
- El campo eléctrico es **conservativo** al provenir de un campo de fuerzas central.
- Cumple el **principio de superposición**.

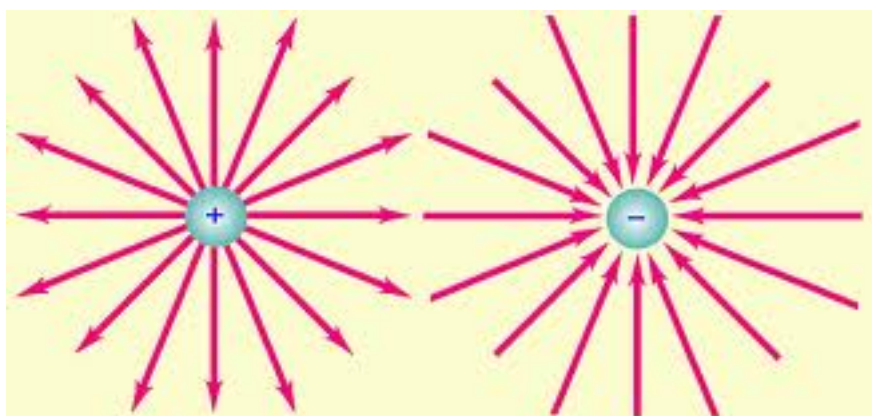
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots = \sum_i^N \vec{E}_i = K \sum_i^N \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_r$$

- Se representa gráficamente mediante **líneas de campo eléctrico**, éstas son líneas que indican la dirección del campo en cada punto y que representan las trayectorias que seguirían partículas con carga eléctrica que se abandonaran en un campo eléctrico. Por convenio:
 - Las líneas de campo siempre salen de una carga positiva (manantiales) y entran hacia las negativas (sumideros).

- El número de líneas de campo es proporcional a la magnitud de la carga y su densidad igual al valor de la intensidad del campo.
- Comienzan y terminan sólo en cargas eléctricas.
- En un campo uniforme (misma intensidad, dirección y sentido en todos los puntos), las líneas de fuerza eléctrica son paralelas entre sí.
- Dos líneas de campo no pueden cortarse (si pudieran hacerlo entonces en un mismo punto existirían dos direcciones para el campo eléctrico).
- La densidad de líneas de fuerza disminuye con la distancia a la carga, proporcionalmente a $1/r^2$, lo mismo que hace el campo, pudiendo dicha densidad representar la intensidad del campo como hemos visto en el segundo punto.

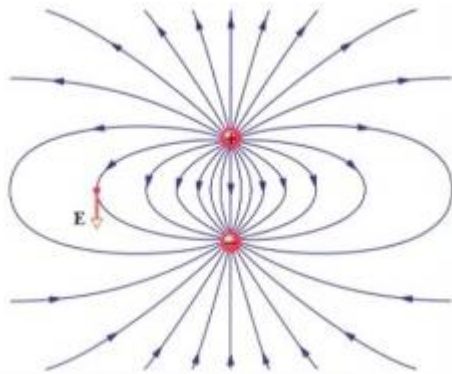
Una manera de visualizar el sentido de las líneas de campo es observar la trayectoria de una carga positiva. Si una carga positiva es abandonada en un campo seguirá una línea de campo en el sentido que indican las flechas. Por el contrario, una carga negativa seguirá la línea de campo, pero en sentido contrario al indicado por las flechas.

Cuando las cargas se introducen en un campo se mueven espontáneamente siguiendo las líneas de campo.

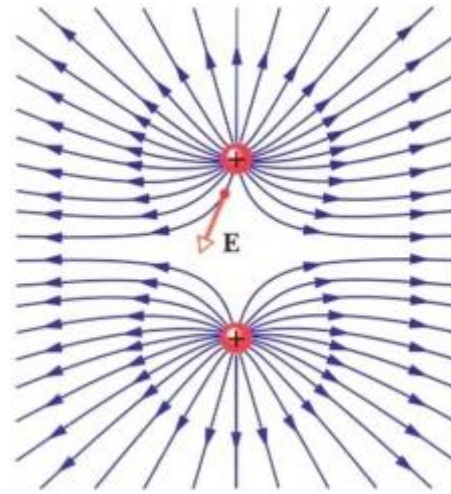


Líneas de campo de carga positiva y negativa ambas aisladas.

Cuando tenemos dos cargas emparejadas (a una distancia en la cual exista interacción eléctrica entre ambas) se habla de dipolos eléctricos. En ellos la distribución de las líneas de campo son tales como se representan en estas figuras,



Líneas de campo de un dipolo positivo-negativo.



Líneas de campo de un dipolo positivo.

1.3. ENERGIA POTENCIAL ELECTROSTÁTICA

El campo eléctrico es conservativo, esto implica que el trabajo realizado por la fuerza eléctrica al desplazar una carga q_2 entre dos puntos es independiente de la trayectoria, solo depende de las posiciones inicial y final.

$$W_{i \rightarrow f} = \int_i^f \vec{F}_e d\vec{r} = -(E_{pe}(f) - E_{pe}(i)) = -\Delta E_{pe}$$

En un campo eléctrico creado por una carga positiva (q_1) se introduce una carga positiva de prueba (q_2) aplicando una fuerza contraria a la ejercida por el campo. Cuando se suelta la carga, ésta será repelida y se moverá alejándose de la carga que crea el campo.

Tenemos una situación idéntica a la descrita cuando elevábamos un objeto (situado en un campo gravitatorio) o cuando comprimíamos un muelle. La energía comunicada al cuerpo se acumulaba como energía potencial que será liberada como energía cinética cuando deje de actuar la fuerza. La energía necesaria para traer una carga positiva desde fuera del campo hasta un punto de éste se acumula como energía potencial. El valor de la energía potencial en un punto (es igual al trabajo realizado contra el campo para traer la carga desde fuera del campo) se puede calcular usando la siguiente expresión:

$$E_{pe} = K \frac{q_1 q_2}{r} \Rightarrow |\vec{F}| = \frac{E_{pe}}{r}$$

- Es una **magnitud escalar** de unidades en el S.I. J .
- El cero de energía potencial se corresponde con los puntos situados a distancia infinita de la carga creadora del campo.
- La $E_{pe} > 0$ si las cargas tienen el mismo signo (**se repelen**), si las cargas tienen distinto signo, se atraen y $E_{pe} < 0$.
- Al ser una magnitud escalar, en un sistema de cargas, se suma la contribución energética de cada una en un punto para hallar la Energía potencial eléctrica en ese punto.

$$E_{peT} = \sum_i^n E_{pei} = E_{pe1} + E_{pe2} + \dots = K \sum_i^n \frac{q_i}{r_i}$$

1.4. POTENCIAL ELECTROSTÁTICO

Si dividimos la energía potencial en un punto por el valor de la carga situada en ese punto, obtenemos una nueva magnitud, el **potencial** en ese punto, V , que, a diferencia de la energía potencial, no depende del valor de la carga introducida, sino sólo de la carga que crea el campo (y de la distancia, por supuesto):

$$V = K \frac{q_1}{r} \Rightarrow V = \frac{E_p}{q_2}$$

- El potencial es una **magnitud escalar** que puede tener signo positivo o negativo, dependiendo del signo de q .
- Su unidad en el sistema internacional es el J/C , conocido como **voltio (V)**.
- Un potencial positivo implica que el punto considerado está dentro del campo creado por una carga positiva. En caso contrario, el campo estará creado por una carga negativa.
- Si tenemos un sistema de cargas, la suma de los potenciales de cada carga en un punto dado, genera el potencial total en ese punto.

$$V_T = \sum_i^n V_i = V_1 + V_2 + \dots = K \sum_i^n \frac{q_i}{r_i}$$

- Una carga positiva se moverá espontáneamente en la dirección de los potenciales decrecientes. Es decir, desde las zonas de mayor potencial a las de menor potencial.
- Una carga negativa se moverá espontáneamente en la dirección de los potenciales crecientes. O lo que es lo mismo, desde las zonas de menor potencial a las de mayor.
- El potencial y el campo eléctrico están relacionados por,

$$V = |\vec{E}|r$$

1.5. TRABAJO ELECTROSTÁTICO

El trabajo para trasladar una unidad de carga positiva desde un punto a otro vendrá dado por la **diferencia de potencial eléctrico**, es decir,

$$W_{i \rightarrow f} = -\Delta E_p = (-\Delta V)q$$

Para lograr que las cargas se muevan entre dos puntos hemos de conseguir que dichos puntos se encuentren a distinto potencial. Una manera de conseguir esto es acumular cargas positivas en una zona y negativas en otra.

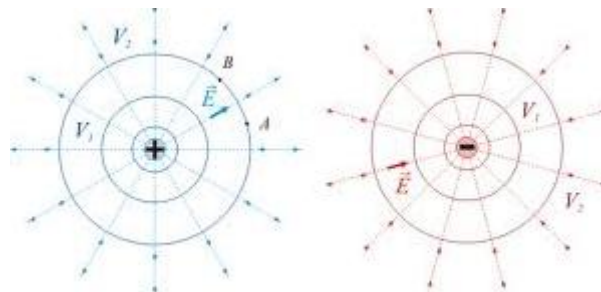
Desde el punto de vista del campo eléctrico, podemos tener las siguientes situaciones:

- Si tenemos dos cargas de igual signo, la energía potencial es positiva pero la fuerza eléctrica entre las cargas es repulsiva. Por tanto, si las cargas se separan por efecto del campo, el trabajo es positivo.
- Si dos cargas son de distinto signo, la energía potencial es negativa y la fuerza eléctrica entre ellas es atractiva. Por tanto, al acercarse las cargas por efecto del campo, el trabajo es positivo.
- Cualquier otro caso, implica un trabajo negativo (trabajo en contra del campo).

Todos los puntos del espacio que se encuentran a un mismo potencial eléctrico pertenecen a una superficie denominada **superficie equipotencial**. En ellas se cumple que:

- El trabajo realizado para desplazar una carga entre dos puntos cualquiera de una superficie equipotencial es nulo.

- Las líneas de campo son perpendiculares a las superficies equipotenciales, por tanto, las superficies equipotenciales serán superficies esféricas concéntricas.



Superficies equipotenciales.

1.6. CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

El campo eléctrico es central, así pues, es un campo conservativo. Esto significa que el trabajo realizado por el campo eléctrico depende exclusivamente de los estado inicial y final, no depende de la trayectoria seguida para llegar a ellos.

En presencia de únicamente fuerzas conservativas, se cumple el principio de conservación de la energía mecánica:

$$\Delta E_m = 0 \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 + E_{pe} = cte$$

1.7. LEY DE GAUSS DEL CAMPO ELÉCTRICO

Hasta ahora, hemos calculado el campo eléctrico creado por varias cargas puntuales gracias al principio de superposición; sin embargo, para calcular el campo eléctrico creado por una distribución continua de carga eléctrica necesitamos definir un nuevo concepto, la *Ley de Gauss*. Ésta relaciona los campos electrostáticos, en una superficie cerrada (superficie Gaussiana), y las cargas encerradas por dicha superficie.

El enunciado de la ley de Gauss nos dice: *El flujo total, Φ , de un campo eléctrico a través de una superficie cerrada (superficie Gaussiana) es igual a la carga neta, q_{neta} , que está en el interior de dicha superficie dividido por la permitividad del vacío, $\frac{q_{neta}}{\epsilon_0}$.*

Teniendo en cuenta la definición de flujo, el cual nos mide la cantidad de líneas del campo que atraviesan una superficie, la expresión matemática de la Ley de Gauss nos queda:

$$\Phi = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q_{neta}}{\epsilon_0}$$

- El flujo es proporcional a la intensidad de campo eléctrico, al valor de la superficie y depende del ángulo que forma el vector campo eléctrico, \vec{E} , y el *vector superficie*, \vec{S} .

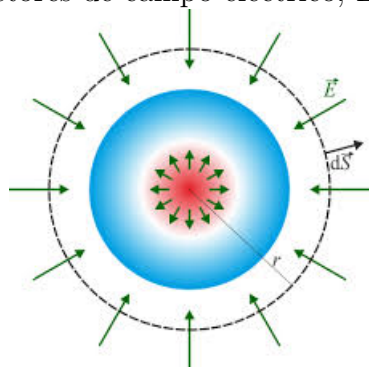
El vector superficie, \vec{S} , tiene de módulo el área de la superficie, dirección perpendicular a la propia superficie y sentido hacia el exterior. Así pues, para intensidades de campo constante, el flujo podemos expresarlo como producto escalar:

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S} = ES \cos \alpha$$

- Es una **magnitud escalar**, sus unidades de en el SI son Vm .
- Si el **flujo es cero**, quiere decir que entran en la superficie Gaussiana el mismo número de líneas del campo que salen. Es decir, que en el interior de la superficie la q_{neta} es cero (o no hay cargas o la suma de las positivas y negativas es cero).
- Si el **flujo es positivo**, quiere decir que salen de la superficie Gaussiana más líneas del campo que entran. Es decir, que en el interior de la superficie la q_{neta} es mayor que cero o positiva. En caso contrario (**flujo negativo**), la carga neta encerrada será negativa.

1.7.1. \vec{E} CREADO POR UNA CARGA PUNTUAL

Si consideramos una superficie esférica cerrada alrededor de la carga puntual q , los vectores de campo eléctrico, \vec{E} , y de superficie, $d\vec{S}$, son paralelos, por tanto:



$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow \oint_S E dS \cos 0^\circ = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E \oint_S dS = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E = K \frac{q}{r^2}$$

1.7.2. \vec{E} CREADO POR UNA SUPERFICIE PLANA

Al estar la carga uniformemente distribuida por el plano y el campo eléctrico, \vec{E} , perpendicular a él, utilizamos una superficie gaussiana cilíndrica con eje perpendicular al plano y con centro en el plano.

Como podemos ver en la figura, el flujo eléctrico a través del cilindro tiene tres contribuciones, la de la superficie lateral y la de las dos bases. El flujo por la superficie lateral no contribuye ya que los vectores campo eléctrico y de superficie forman 90° , $\vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$.

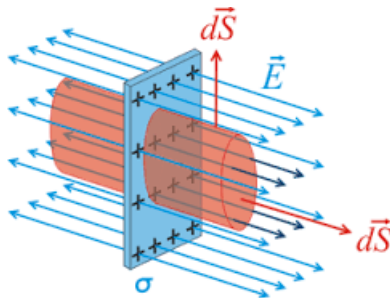
Al ser el flujo que atraviesa cada una de las bases el mismo y formar ambos vectores 0° ,

$$\Phi = 2\Phi_{base} = 2ES$$

Aplicando la Ley de Gauss,

$$\Phi = 2ES = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow \boxed{E = \frac{q}{2S\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}}$$

Siendo σ la densidad superficial de carga, $\sigma = \frac{q}{S}$.



El campo eléctrico producido por un plano uniformemente cargado no depende de la distancia al plano.

1.7.3. \vec{E} CREADO POR UNA CORTEZA ESFÉRICA

En este caso hay que distinguir tres posibles casos, el campo eléctrico en un punto interior, $r < R$, en la superficie de la corteza, $r = R$ y en un punto exterior a la corteza, $r' > R$.

En el primer caso, para hallar el campo eléctrico en el **interior de la corteza** generamos una superficie esférica gaussiana de radio r menor que el radio de la corteza, R . Aplicando la Ley de Gauss y teniendo en cuenta que no existe ninguna carga encerrada por la gaussiana, **el campo eléctrico es nulo**.

En un **punto exterior**, elegimos otra superficie esférica cargada de radio r' , siendo $r' > R$. El vector de superficie y el vector del campo eléctrico son paralelos, por tanto

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow \oint_S E dS \cos 0^\circ = \frac{q}{\epsilon_0}$$

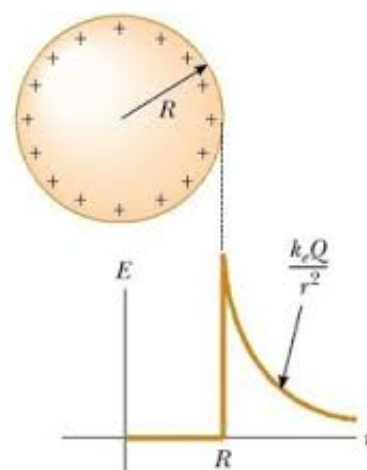
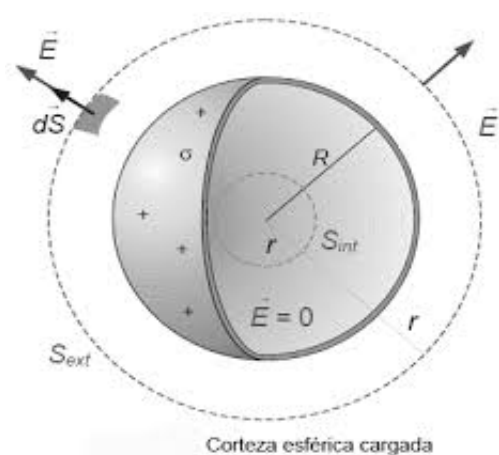
$$E \oint_S dS = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E = K \frac{q}{r^2}$$

El campo eléctrico creado por una corteza esférica cargada en un punto exterior es el mismo que crearía una carga puntual en el centro de la corteza.

Para hallar el campo eléctrico en la **superficie de la corteza esférica**, tan sólo tenemos que particularizar $r = R$ en la anterior deducción,

$$E = K \frac{q}{R^2}$$



1.8. ELECTROSTÁTICA EN MEDIOS MATERIALES

1.8.1. CONDUCTORES

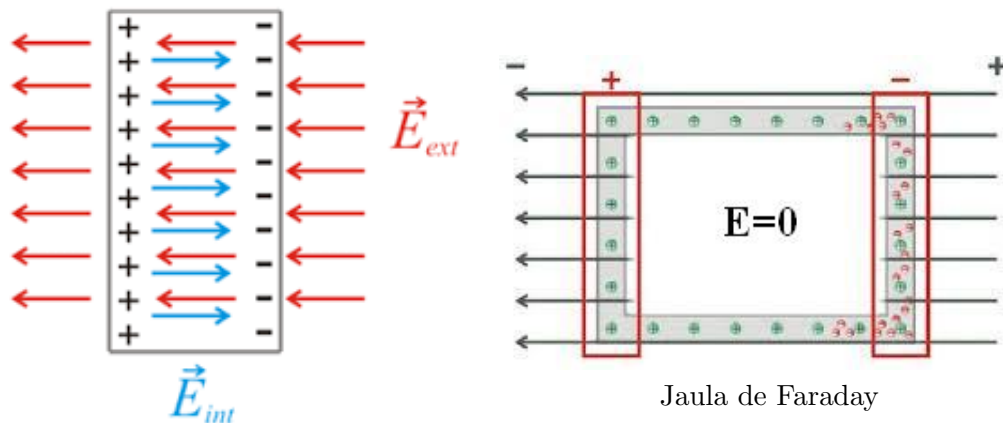
Un conductor es aquel material que contiene partículas cargadas que se pueden mover libremente a través de él o en su interior, ejemplos de ellos son los metales o las disoluciones electrolíticas. En presencia de un campo eléctrico las partículas cargadas positivamente van en el mismo sentido de las líneas del campo y las cargadas negativamente lo hacen en sentido contrario de las líneas del campo.

En los metales, las únicas partículas que se pueden mover libremente son los electrones. Así, en presencia de un campo eléctrico, éstos se acumulan sobre la superficie

del conductor, hasta que el campo eléctrico que ellas producen dentro del conductor, cancela completamente el campo eléctrico externo en el interior del conductor. Por tanto, en un conductor situado dentro de un campo eléctrico y el cual está en **equilibrio electrostático**, es decir, sin movimiento de cargas, el **campo eléctrico en el interior es cero**.

El campo eléctrico en el exterior es normal a la superficie y su superficie constituye **un superficie equipotencial**. Como consecuencia de la acumulación de cargas, el campo será más intenso en zonas puntiagudas del conductor.

Una de las aplicaciones de este fenómeno es la conocida *Jaula de Faraday*. En ella, un red conductora protege el interior de la jaula de interferencias eléctricas externas.



Campo eléctrico sobre un conductor

1.8.2. DIELECTRICOS

Los dieléctricos o aislantes son materiales que no conducen la electricidad por no tener electrones libres en su interior. El caucho, los plásticos y casi todos los compuestos covalentes, son aislantes.

Al aplicar un campo eléctrico exterior, E_{ext} , a un dieléctrico, éste genera un campo eléctrico inducido en el interior, E_{ind} , de sentido opuesto al campo exterior. Esto provoca una disminución del campo eléctrico en el interior, E_{int} , menor que el exterior:

$$E_{int} = E_{ind} + E_{ext} = \frac{E_{ext}}{\epsilon_r}$$

Siendo ϵ_r la permitividad eléctrica relativa del material (adimensional).

1.9. PROBLEMAS RESUELTOS

1. Dos pequeñas bolas, de 10 g de masa cada una de ellas, están suspendidas del mismo punto mediante dos hilos de 1 m de longitud cada uno. Si al cargar las bolitas con la misma carga eléctrica, los hilos se separan formando un ángulo de 10° , determina el valor de la carga eléctrica.

Las fuerzas que actúan sobre la bola son, su peso, la tensión con el hilo y la fuerza eléctrica. Si se encuentra en equilibrio,

$$\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{T} + \vec{F}_e$$

siendo en cada eje,

$$\text{Eje } X \Rightarrow T_x = F_e \Rightarrow T \sin \alpha = K \frac{q^2}{r^2}$$

$$\text{Eje } Y \Rightarrow T_y = P \Rightarrow T \cos \alpha = mg$$

Dividiendo ambas relaciones

$$\tan \alpha = \frac{Kq^2}{mgr^2} \Rightarrow q = \sqrt{\frac{mgr^2 \tan \alpha}{K}} = 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

donde $r = 2d \sin \alpha$.

2. Dos cargas eléctricas se encuentran separadas cierta distancia. ¿A qué distancia habrá que separarlas para que la fuerza que se ejercen mutuamente se reduzca a la novena parte?

A partir de la Ley de Coulomb podemos hallar la distancia a la que deben encontrarse para que su fuerza de se reduzca a la novena parte.

$$F' = \frac{1}{9}F \Rightarrow K \frac{Qq}{r'^2} = \frac{1}{9}K \frac{Qq}{r^2} \Rightarrow r' = 3r$$

3. Dos cargas $q_1 = 3$ y $q_2 = -6$ están situadas en el vacío a una distancia de 2 m. Calcula la variación de la energía potencial y el trabajo realizado para separarlas hasta una distancia de 4 m. Interpreta el signo del resultado obtenido

Primero hallamos la energía potencial electrostática en el instante inicial y final y después, el trabajo necesario para separarlas.

$$E_{p,i} = K \frac{q_1 q_2}{r_i} = -0,081 \text{ J}$$

$$E_{p,f} = K \frac{q_1 q_2}{r_f} = -0,0405 \text{ J}$$

El trabajo vendrá dado por,

$$W_{i \rightarrow f} = -\Delta E_p = E_{p,i} - E_{p,f} = -0,0405 \text{ J}$$

Separar dos cargas eléctricas de distinto signo no es espontáneo, por tanto debe de realizarse un trabajo en contra de la fuerza electrostática.

4. En el origen de coordenadas está situada una carga $q_1 = 3 \mu\text{C}$ y en el punto $A(4,0)$ otra carga de $q_2 = -3 \mu\text{C}$. Si las cargas están situadas en el vacío y las coordenadas se expresan en metros, determina el trabajo que realizan las fuerzas del campo para trasladar una carga $q_3 = -6 \mu\text{C}$ desde un punto $B(0,3)$ hasta otro $C(3,0)$. Interpreta el signo obtenido.

Hallamos el potencial en el punto B y en el punto C debido a la carga q_1 y q_2 . Como el potencial es una propiedad escalar, el potencial en ambos puntos será consecuencia de la suma de los potenciales de la carga 1 y 2. La distancia desde el punto A y B a los puntos C y D podemos hallarlas mediante relaciones pitagóricas.

$$V_B = V_{1B} + V_{2B} = K \frac{q_1}{r_{1B}} + K \frac{q_2}{r_{2B}} = 3600 \text{ V}$$

$$V_C = V_{1C} + V_{2C} = K \frac{q_1}{r_{1C}} + K \frac{q_2}{r_{2C}} = -18000 \text{ V}$$

El trabajo que realizan las fuerzas del campo para trasladar la carga de B a C será,

$$W_{B \rightarrow C} = -q_3 \Delta V = -0,13 \text{ J}$$

El trabajo es negativo por que se realiza en contra de las fuerzas del campo electrostático.