

# Unidad I

## **Electrostática**

La electrostática es la rama de la Física que estudia los efectos mutuos que se producen entre los cuerpos como consecuencia de su carga eléctrica, es decir, el estudio de las cargas eléctricas en reposo, sabiendo que las cargas puntuales son cuerpos cargados cuyas dimensiones son despreciables frente a otras dimensiones del problema. La carga eléctrica es la propiedad de la materia responsable de los fenómenos electrostáticos, cuyos efectos aparecen en forma de atracciones y repulsiones entre los cuerpos que la poseen.

Históricamente, la electrostática fue la rama del electromagnetismo que primero se desarrolló. Con la postulación de la Ley de Coulomb fue descrita y utilizada en experimentos de laboratorio a partir del siglo XVII, y ya en la segunda mitad del siglo XIX las leyes de Maxwell concluyeron definitivamente su estudio y explicación, y permitieron demostrar cómo las leyes de la electrostática y las leyes que gobiernan los fenómenos magnéticos pueden ser estudiadas en el mismo marco teórico denominado electromagnetismo.

### **1.1. La carga eléctrica y sus propiedades.**

Algunos experimentos sencillos demuestran la existencia de fuerzas y cargas eléctricas. Por ejemplo, después de pasar un peine por el cabello en un día seco, descubrirá que el peine puede atraer pedacitos de papel y que la fuerza atractiva es lo suficiente mente fuerte para sostener los trocitos de papel, el mismo efecto se puede observar con el vidrio y el caucho si se frotran con seda o piel. Otro experimento es frotar con tela sintética un globo inflado el cual se adhiere a una pared durante horas. Cuando los materiales se comportan así se dice que están electrificados o se han cargado eléctricamente. Estos experimentos funcionan mejor en días secos ya que la humedad relativa en el aire puede ocasionar que la carga acumulad se escape a tierra.

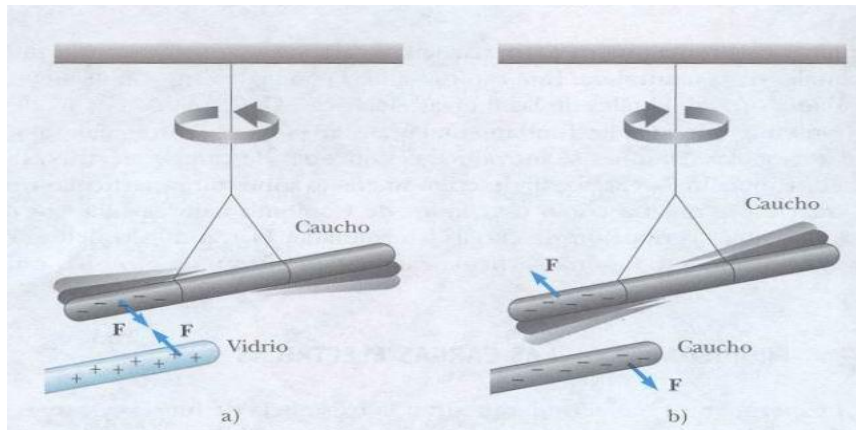


Figura 1.1

Benjamín Franklin (1706-1790) a través de experimentos se encontró que hay dos tipos de cargas eléctricas y les asignó los nombres de positiva y negativa. Para demostrar este hecho tomó una barra de caucho y la frotó con un paño y después la suspendió por medio de un hilo no metálico como en la figura 1.1, aproximó una barra de vidrio frotada previamente con seda a la barra de caucho, se observa que las dos se atraen entre sí figura 1.1a. Por otro lado si dos barras de caucho (o de vidrio cargadas) se acercan figura 1.1b, las dos se repelen. Esta observación nos indica que el caucho y el vidrio están electrificados de forma diferente. Estas observaciones nos permiten concluir que dos cargas similares se repelen entre sí y dos cargas opuestas se atraen entre sí. Esto se comprende a partir del hecho de que la materia neutra, sin carga, contiene cargas eléctricas positivas y negativas. La carga eléctrica sobre una barra de vidrio se denomina positiva(+) cualquier cuerpo que sea repelido por la barra de vidrio debe tener carga positiva, cualquier cuerpo que sea atraído tendrá carga negativa. La carga en una barra de caucho se denomina negativa(-), y cualquier cuerpo que es atraído por una barra de caucho debe tener carga positiva, cualquier cuerpo que sea repelido tendrá carga negativa .

Las cargas eléctricas de atracción son responsables del comportamiento de productos comerciales: Por ejemplo, el plástico en lentes de contacto (etafilocom) el cual está hecho de moléculas que atraen eléctricamente las moléculas de las proteínas en las lágrimas humanas, las que son absorbidas y sostenidas por el plástico de tal forma que los lentes al final están formados de lágrimas humanas, de esta forma el ojo no percibe al lente como un objeto extraño. Muchos cosméticos utilizan esta ventaja de las fuerzas eléctricas al incorporar materiales que son atraídos eléctricamente a la piel o el cabello permitiendo que permanezcan en su lugar una vez aplicados.

La carga eléctrica siempre se conserva, cuando un cuerpo se frota con otro, no se recrea carga en el proceso, la electrificación se debe a una transferencia de cargas de un cuerpo a otro. Un cuerpo gana carga eléctrica negativa mientras que otro gana carga eléctrica positiva. Apartir de la comprensión de la estructura atómica se sabe que los electrones tienen carga eléctrica negativa y nos permite comprender que al frotar vidrio en seda los electrones son transferidos de el vidrio a la seda, de igual manera al frotar caucho con piel los electrones se transfieren de la piel a la caucho, con lo cual la piel se queda con carga positiva (falta de electrones) y el caucho con carga negativa (exceso de electrones).

Robert Millikan (1868-1953) descubrió que la carga eléctrica es múltiplo de la unidad fundamental carga eléctrica (electrón)  $e^-$ , la carga ( $q$ ) esta cuantizada y existe como paquetes discretos y se puede escribir  $q = Ne$  donde  $N$  es un numero entero. Experimentos a nivel atómico muestran que el electrón tiene carga negativa  $-e$  y el protón tiene una carga igual en magnitud pero de signo contrario  $+e$ , el neutron no pose carga. Un átomo neutro debe contener el mismo numero de protones que de electrones.

**Propiedades de la carga eléctrica:**

- La carga se conserva
- La carga esta cuantizada
- Existen dos tipos de carga en la naturaleza positivas y negativas

**Conductores, aisladores y semiconductores eléctricos**

Los conductores son materiales en los cuales las cargas eléctricas se mueven con facilidad. Los aisladores son materiales en los que las cargas eléctricas se mueven con dificultad.

Los semiconductores son materiales cuyas propiedades se encuentran entre la de los aisladores y conductores.

<b>Cunductores</b>	<b>Aislantes</b>	<b>Semiconductores</b>
Cobre Aluminio Plata Oro	Vidrio Caucho Madera	Silicio Germanio

Cuando los aislantes se cargan por frotamiento, solo el área que se frota queda cargada y la carga no puede moverse a otras regiones del material. En contraste con los conductores cuando se cargan en alguna región la carga se distribuye rápidamente en toda la superficie del material, esto sugiere que la material no puede cargarse, sin embargo, si usted sostiene la barra cargada por medio de un mango de madera mientras se frota, la barra permanecerá cargada debido a que la madera aísla al conductor de la persona que la sostiene, si no se toma con el mango de madera las cargas

fluirían con facilidad hacia tierra. Los semiconductores como el silicio y el germanio son elementos utilizados para la fabricación de dispositivos electrónicos (transistores y diodos) las propiedades de los semiconductores son controladas añadiendo impurezas de otros átomos.

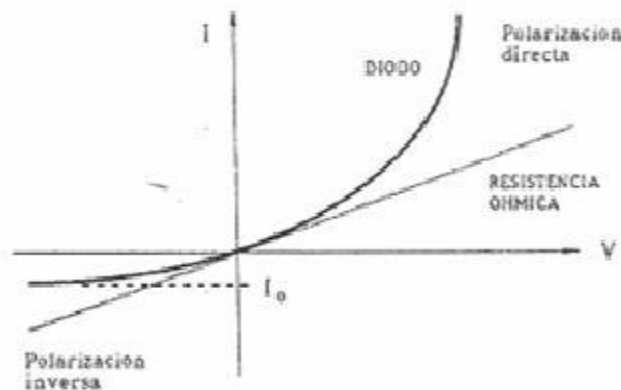
## 1.2. Aislantes, conductores y semiconductores.

Para facilitar la comprensión de este punto, el de los aislantes, conductores y semiconductores, vamos a describir la Energía de Fermi, y nos ayudaremos de un diagrama de bandas de energía.

La Energía de Fermi es la energía del nivel más alto ocupado por un sistema cuántico a temperatura cero.

Un conductor debe tener cargas libres, para que estas al moverse, generen una corriente eléctrica, estas cargas libres son los conductores, y en que en un material sea mejor o peor conductor, también influye la temperatura, pues a una alta temperatura se le da más energía al material, y esta energía permite que ya haya más cargas libres ocupando más estados.

### Diagrama de Estados de Energía:



### Metales:

Un conductor se caracteriza porque no existe la banda prohibida entre la banda de conducción y la banda de valencia. Estas dos bandas son contiguas o se superponen. Por este motivo los electrones requieren poca energía para pasar de  $B_v$  a  $B_c$ . Al aplicar un campo eléctrico o aumentar la temperatura del conductor los electrones adquieren la suficiente energía para pasar a la banda de conducción. Se deduce que el nivel de Fermi está en la banda de conducción.

Por otro lado, un aumento de la temperatura para facilitar el salto de los electrones y, por tanto, aumentar la conductividad, también produce un incremento en la agitación térmica de átomos y electrones aumentando los choques entre éstos, y, por tanto, aumentando la resistividad del material.

En general un buen conductor se caracteriza por poseer una densidad alta de portadores de carga y muchos niveles ocupados en la banda de conducción.

#### Aisladores o dieléctricos:

Se caracterizan porque a 0 K tienen la banda de valencia completamente llena mientras que la de conducción está vacía y, además, la banda prohibida tiene un ancho de aproximadamente, 10 eV. A temperatura ambiente, la energía extra de origen térmico que poseen los electrones de valencia es del orden de 0,03 eV, por lo que no tiene la energía suficiente para saltar a la banda de conducción. Como resultado, se concluye que existen pocos electrones excitados ocupando los niveles de Bc. La energía de Fermi se encuentra en medio de la banda prohibida. Un aislador se caracteriza por una densidad casi nula de portadores de carga y una banda de conducción vacía.

#### Semiconductores:

Están caracterizados por una banda prohibida,  $B_g$ , muy estrecha, del orden de 1 eV. A una temperatura de 0 K, todos los electrones que ocupan los niveles más altos de energía, se encuentran en la banda de valencia. Por tanto, a 0 K la banda de valencia está llena y la banda de conducción está vacía. Como una banda llena no contribuye al mecanismo de conducción (y una vacía tampoco), los semiconductores se comportan como un aislante en el cero absoluto.

Al aumentar la temperatura, los electrones adquieren energía térmica y ayudados por la energía que puede proporcionarles un campo eléctrico, adquieren la siguiente energía para saltar a la banda de conducción y aumentar la densidad de portadores de carga. Se deduce que la energía de Fermi se encuentra en medio de la banda prohibida. Además, la conductividad en los semiconductores depende en gran medida de la temperatura y aumenta rápidamente con T (Al revés que en los metales donde un aumento de la temperatura resulta un aumento de la resistividad.)

### 1.3. Ley Coulomb.

La ley de Coulomb puede expresarse como:

*La magnitud de cada una de las fuerzas eléctricas con que interactúan dos cargas puntuales en reposo es directamente proporcional al producto de la magnitud de ambas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa y tiene la dirección de la línea que las une. La fuerza es de repulsión si las cargas son de igual signo, y de atracción si son de signo contrario.*

La constante de proporcionalidad depende de la constante dieléctrica del medio en el que se encuentran las cargas.

### 1.4. Campo eléctrico.

El **campo eléctrico** es un campo físico que es representado mediante un modelo que describe la interacción entre cuerpos y sistemas con propiedades de naturaleza eléctrica.<sup>1</sup> Se describe como un campo vectorial en el cual una carga eléctrica puntual de valor  $q$  sufre los efectos de una fuerza eléctrica  $\vec{F}$  dada por la siguiente ecuación:

(1)

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

En los modelos relativistas actuales, el campo eléctrico se incorpora, junto con el campo magnético, en campo tensorialcuadridimensional, denominado campo electromagnético  $F^{\mu\nu}$ .<sup>2</sup>

Los campos eléctricos pueden tener su origen tanto en cargas eléctricas como en campos magnéticos variables. Las primeras descripciones de los fenómenos eléctricos, como la ley de Coulomb, sólo tenían en cuenta las cargas eléctricas, pero las investigaciones de Michael Faraday y los estudios posteriores de James Clerk Maxwell permitieron establecer las leyes completas en las que también se tiene en cuenta la variación del campo magnético.

Esta definición general indica que el campo no es directamente medible, sino que lo que es observable es su efecto sobre alguna carga colocada en su seno. La idea de campo eléctrico fue propuesta por Faraday al demostrar el principio de inducción electromagnética en el año 1832.

La unidad del campo eléctrico en el SI es Newton por Culombio (N/C), Voltio por metro (V/m) o, en unidades básicas,  $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$  y la ecuación dimensional es  $\text{MLT}^{-3}\text{I}^{-1}$ .

### 1.5. Ley de Gauss para el campo eléctrico.

En física la ley de Gauss establece que el flujo de ciertos campos a través de una superficie cerrada es proporcional a la magnitud de las fuentes de dicho campo que hay en el interior de dicha superficie. Dichos campos son aquellos cuya intensidad decrece como la distancia a la fuente al cuadrado. La constante de proporcionalidad depende del sistema de unidades empleado.

Se aplica al campo electrostático y al gravitatorio. Sus fuentes son la carga eléctrica y la masa, respectivamente. También puede aplicarse al campo magnetostático.

### 1.6. Potencial eléctrico.

El potencial eléctrico o potencial electrostático en un punto, es el trabajo que debe realizar un campo electrostático para mover una carga positiva  $q$  desde dicho punto hasta el punto de referencia,<sup>1</sup> dividido por unidad de carga de prueba. Dicho de otra forma, es el trabajo que debe realizar una fuerza externa para traer una carga positiva unitaria  $q$  desde el punto de referencia hasta el punto considerado en contra de la fuerza eléctrica. Matemáticamente se expresa por:

$$V = \frac{W}{q}$$

El potencial eléctrico sólo se puede definir para un campo estático producido por cargas que ocupan una región finita del espacio. Para cargas en movimiento debe recurrirse a los potenciales de Liénard-Wiechert para representar un campo electromagnético que además incorpore el efecto de retardo, ya que las perturbaciones del campo eléctrico no se pueden propagar más rápido que la velocidad de la luz. Si se considera que las cargas están fuera de dicho campo, la carga no cuenta con energía y el potencial eléctrico equivale al trabajo necesario para llevar la carga desde el exterior del campo hasta el punto considerado. La unidad del Sistema Internacional es el voltio (V). Todos los puntos de un campo eléctrico que tienen el mismo potencial forman una superficie equipotencial. Una forma alternativa de ver al potencial eléctrico es que a diferencia de la energía potencial eléctrica o electrostática, él caracteriza sólo una región del espacio sin tomar en cuenta la carga que se coloca allí.

## 1.7. Capacitancia.

En electromagnetismo y electrónica, la **capacitancia**<sup>1</sup> o **capacidad eléctrica** es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica. La capacitancia también es una medida de la cantidad de energía eléctrica almacenada para una diferencia de potencial eléctrico dada. El dispositivo más común que almacena energía de esta forma es el condensador. La relación entre la diferencia de potencial (o tensión) existente entre las placas del condensador y la carga eléctrica almacenada en éste, se describe mediante la siguiente expresión matemática:

$$C = \frac{Q}{V}$$

donde:

- $C$  es la capacidad, medida en faradios (en honor al físico experimental Michael Faraday); esta unidad es relativamente grande y suelen utilizarse submúltiplos como el microfaradio o picofaradio.
- $Q$  es la carga eléctrica almacenada, medida en culombios;
- $V$  es la diferencia de potencial (o tensión), medida en voltios.

Cabe destacar que la capacidad es siempre una cantidad positiva y que depende de la geometría del condensador considerado (de placas paralelas, cilíndrico, esférico). Otro factor del que depende es del dieléctrico que se introduzca entre las dos superficies del condensador. Cuanto mayor sea la constante dieléctrica del material no conductor introducido, mayor es la capacidad.

En la práctica, la dinámica eléctrica del condensador se expresa gracias a la siguiente ecuación diferencial, que se obtiene derivando respecto al tiempo la ecuación anterior.

$$i = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

Donde  $i$  representa la corriente eléctrica, medida en amperios.