

# UNIDAD N° 1

<b><u>NATURALEZA DE LA ELECTRICIDAD</u></b>	<b>2</b>
<b><u>Electrización</u></b>	<b>3</b>
<b><u>Electroscopio de hoja</u></b>	<b>4</b>
<b><u>Conductores y Aisladores</u></b>	<b>5</b>
<b><u>LEY DE COULOMB</u></b>	<b>5</b>
<b><u>Campo eléctrico o campo de fuerza</u></b>	<b>7</b>
<b><u>Influencia de la materia contenida en el campo eléctrico</u></b>	<b>8</b>
<b><u>Líneas de fuerza</u></b>	<b>9</b>
<b><u>Representación del campo eléctrico mediante líneas de fuerza</u></b>	<b>9</b>
Inducción electrostática	11
Masa eléctrica o cantidad de electricidad	12
<i>Cálculo del número de líneas de fuerza que atraviesan la superficie de una esfera</i>	12
<b><u>Trabajo eléctrico</u></b>	<b>13</b>
<b><u>Cálculo del trabajo eléctrico</u></b>	<b>15</b>
<b><u>Diferencia de potencial</u></b>	<b>16</b>
Potencial en un punto del campo eléctrico	17
Potencial de una carga puntiforme. Cálculo	17
Potencial de la tierra como potencial cero	18
Superficies equipotenciales	18
<b><u>Densidad de flujo eléctrico</u></b>	<b>18</b>
Flujo eléctrico. Desplazamiento	19

## **NATURALEZA DE LA ELECTRICIDAD**

Aunque los fenómenos y acciones de la electricidad se conocen desde hace largo tiempo, ya en el siglo pasado se comenzó a enunciar las Leyes fundamentales y las teorías a que obedecen. No ha sido posible hasta mucho después del siglo pasado penetrar con suficiente claridad en la esencia íntima de éste agente natural. Tras muchas tentativas para conseguirlo se ha establecido al fin una teoría mediante la cuál pueden explicarse la inmensa mayoría de los fenómenos y acciones de la electricidad. Según esta teoría la electricidad es una sustancia finísima, como toda sustancia material se compone de pequeñísimas partículas llamadas electrones. Los átomos de los cuerpos que en largo tiempo fueron considerados como las partículas más pequeñas de la materia, por lo tanto indivisibles, se componen según la teoría atómica en otras partículas más pequeñas de la materia entre las cuales se encuentran los electrones.-

Según la química se conocen 92 elementos, es decir, sustancias que no son posibles descomponer químicamente, éstos elementos fueron ordenados en un sistema periódico por Lothar Meyer; donde se encuentra la tabla 1 que contiene esos elementos con sus respectivos símbolos y la tabla 2 su ordenamiento en el sistema periódico. Esta última tiene 7 franjas horizontales y 8 verticales, y tanto las unas como las otras reúnen siempre elementos de propiedades semejantes. La ordenación tiene lugar también con arreglo al peso atómico, de modo que el cuerpo más ligero que es el hidrógeno (de peso atómico 1,0078) aparece en primer lugar y el más pesado que es el uranio (de peso atómico 238,02) en último lugar.-

Pero el átomo resulta que constituye en sí mismo un sistema más o menos complicado. El átomo es el cuerpo más ligero que es el hidrógeno, es el que ofrece la estructura más sencilla. Tiene un diámetro de  $1 \cdot 10^{-8}$  cm. y con solo una pequeñísima parte se compone de materia efectiva. Esta se concentra en el llamado núcleo atómico, cuyo diámetro es de  $10^{-12}$  a  $10^{-13}$  cm. Alrededor del núcleo en una órbita de diámetro antes citado gira un electrón de un diámetro aproximado de  $2 \cdot 10^{-13}$  cm.-

Cuanto más pesado es un cuerpo es cuando mayor es su peso atómico, tanto mayor es también su número de electrones que giran alrededor de su átomo. El átomo puede comportarse por consiguiente como un sistema planetario cuyo punto central (el sol, en este caso, el núcleo atómico en el átomo) mantiene a los planetas o electrones en sus respectivas órbitas mediante una fuerza de atracción (fuerza de gravedad). La fuerza que el núcleo atómico ejerce sobre los electrones está engendrada por una carga localizada (carga del núcleo).-

La teoría atómica enseña además, que solo un número determinado de electrones puede girar a una misma distancia del núcleo, formando con sus órbitas lo que se llama una capa. Según el sistema periódico cada franja horizontal de la tabla 2 corresponde a una capa, y como esa franja tiene 8 casillas resultante de las franjas verticales, en cada capa pueden gravitar a lo sumo 8 electrones; se acentúa la primera capa inmediatamente próxima al núcleo atómico la cual no admite en ningún caso más de dos electrones.-

Cuando una capa reúne 8 electrones el átomo correspondiente tiene un comportamiento químico especial, manifestado por el hecho de que no se puede combinar con ningún otro átomo de otro color, esto es lo que se llama gas noble.-

La carga del núcleo atómico es tanto mayor cuanto más electrones giran en torno suyo. Como el átomo de hidrógeno solo tiene un electrón, su carga de núcleo se compone de un único quantum elemental de electricidad positivo llamado protón. El cuerpo que le sigue en el sistema periódico es el helio, tiene dos electrones y el núcleo posee dos protones. Como es todo los electrones, como hemos dicho que saturan la primera capa, el helio es un gas noble. El litio con 3 electrones tendrá una carga de 3 protones. El décimo elemento de la serie periódica, el neón, tiene 8 electrones en la segunda capa y por lo tanto también es un gas noble. Los electrones inmediatos de los elementos que siguen pertenecen ya a la tercera capa.-

Investigaciones posteriores han demostrado que tampoco el núcleo atómico constituye una masa homogénea, sino que al lado de los llamados protones contienen partículas igualmente pesadas pero eléctricamente neutras, los llamados neutrones. Así por ejemplo el núcleo del helio contiene dos neutrones además de los dos protones. Antes del descubrimiento de los neutrones se creía que en lugar que actualmente se le asigna a cada uno de estos en el núcleo atómico, había un protón y un electrón cuyas cargas eléctricas se neutralizaban mutuamente. Según esto el helio se creía que estaba formado por 4 protones y 2 electrones.-

Si las capas exteriores de un átomo contienen tantos electrones como protones, entonces las fuerzas atractivas entre ambos tipos de cargas se ejercen únicamente en el interior del átomo y ninguna acción trasciende al exterior, éste átomo se encuentra en estado neutro.-

Un fenómeno tiene lugar en un átomo, por determinadas acciones; por frotamiento, variaciones químicas, calor, luz o fuerzas magnéticas provoca variaciones en cuanto al número de

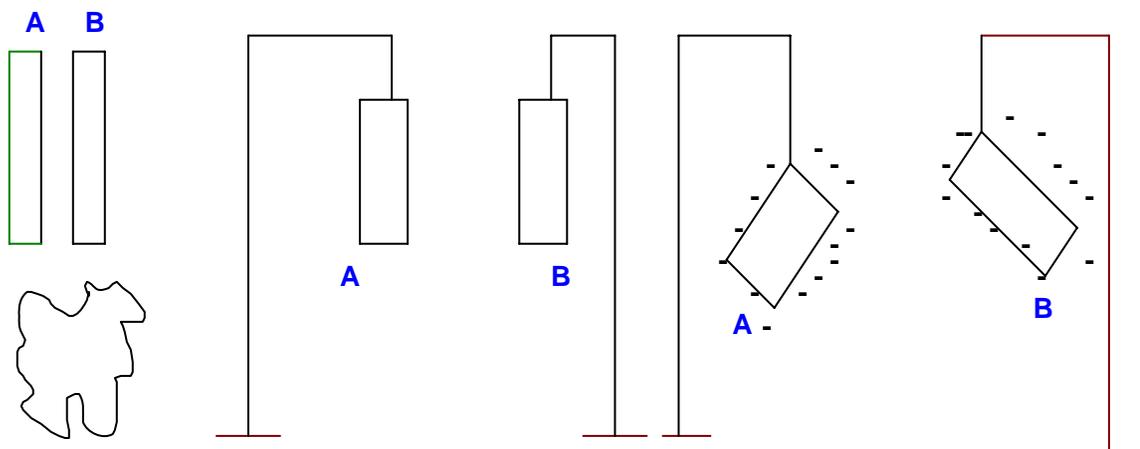
electrones contenidas en las capas exteriores del átomo, de modo que por ejemplo un aumento de electrones da lugar a un exceso de carga negativa, o por el contrario una disminución da lugar a un defecto de carga negativa. Tan pronto ocurre esto el átomo manifiesta una tendencia externa a recuperar su estado neutro, atrayendo de su contorno los electrones que le faltan o bien cediendo al mismo los que le sobren. Un átomo así cargado o descargado de electrones se llama ion y precisamente decimos que está cargado positivamente cuando tiene un defecto de electrones y negativamente cuando tiene un exceso.-

### Electrización

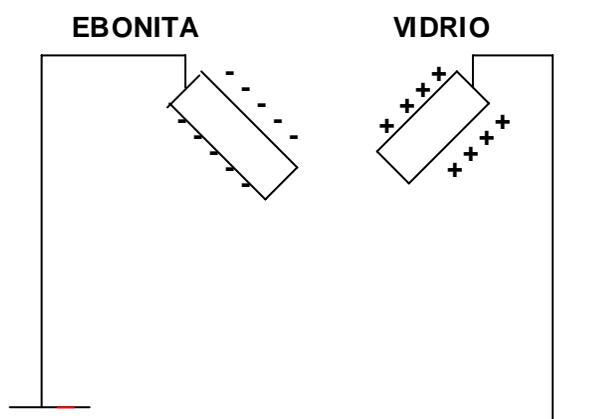
Las cargas eléctricas responden a una propiedad fundamental de la materia y también a una cantidad física fundamental.-

Los cuerpos eléctricamente neutros están constituidos por cantidades eléctricas de cargas positivas y negativas y además obedecen a las Leyes clásicas de la mecánica, mientras que los cuerpos electrificados no lo hacen así.-

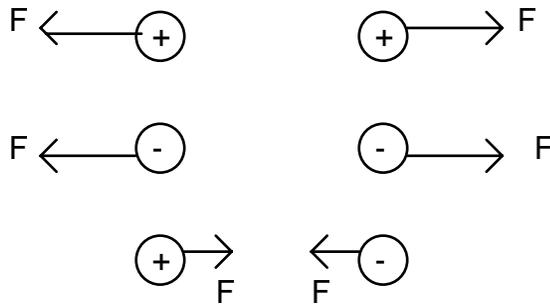
Se conoce experimentalmente que cuando dos barras de ebonita se frotan intensamente con un trozo de lana o piel, se repelerán mutuamente por que han adquirido un exceso de cargas negativas.-



Ocurre lo mismo cuando se frotan dos varillas de vidrio con un trozo de seda, aunque en este caso el fenómeno se debe a que las varillas han adquirido una fuerte carga positiva. Si a continuación realizamos la siguiente prueba, frotar en la forma descrita una varilla de vidrio y otra de ebonita podremos observar en el péndulo eléctrico que se produce una fuerte atracción entre las dos varillas.-



Como conclusión podemos decir que cargas iguales se repelen y cargas distintas se atraen.-



Las cargas eléctricas están constituidas por la acumulación de partículas subatómicas de las cuales el electrón es la unidad elemental última e indivisible de carga negativa. Esta afirmación se encuentra respaldada por la experiencia de los físicos atómicos, que apoya el criterio que todas las cargas negativas del universo están formadas por cargas electrónicas unidad o múltiplo entero entre ellas.-

La magnitud de carga eléctrica del electrón ha sido determinada experimentalmente y establecida.-

Carga eléctrica:

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19}$$

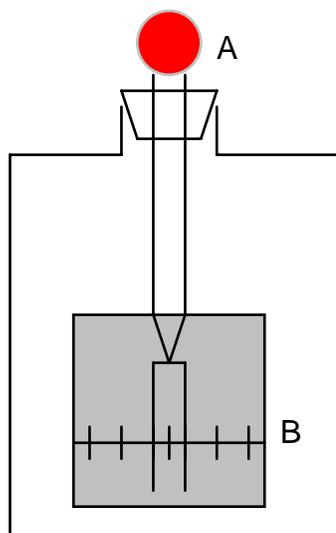
La cantidad de carga eléctrica que contiene un Coulomb es:

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de electrones}}{\text{Coulomb}} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 6,25 \cdot 10^{18}$$

### Electroscopio de hoja

Es un aparato que se utiliza para medir si un cuerpo está cargado o no, es decir si ese cuerpo posee cargas en exceso o en defecto.-

Este aparato está compuesto por un recipiente de vidrio transparente, que se encuentra tapado en el extremo superior con un tapón de goma, este tapón es atravesado por una vara metálica que comienza en una esfera A (parte superior) y termina en unas láminas muy delgadas en el extremo B (parte inferior) .Para tener una idea aproximada de la carga, se encuentra una escala graduada en la parte posterior a las láminas. Las láminas pueden ser de aluminio, oro, plata.-



Para determinar si un cuerpo está cargado procedemos de la siguiente forma; con el extremo A del aparato tocamos el cuerpo a analizar y, simultáneamente observamos las láminas B, si se produce una alteración en la posición de las láminas (separación de las mismas nos indicará que éstas se están repeliendo, por lo cuál podemos decir que el cuerpo está cargado (positiva o negativamente), en el caso de permanecer sin cambios (las hojas no se separan) diremos que el cuerpo se encuentra descargado; la separación de las hojas nos da una idea de la cantidad de carga eléctrica que posee dicho cuerpo.-

## Conductores y Aisladores

Si conectamos un electroscopio de hoja, un hilo de cobre y lo colocamos en contacto con una barra cargada negativamente podremos observar que las hojas del extremo B del electroscopio se separa en forma inmediata. Esto nos indica que hay un traspaso de cargas a través del hilo de cobre indicándonos que este material es conductor.-

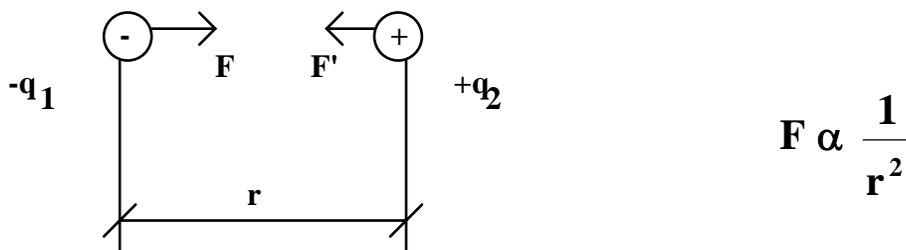
Si se repite la experiencia y en ves de colocar un hilo de cobre colocamos una cinta de goma o un hilo de seda, al repetir la experiencia en la barra cargada podremos observar que no se produce alteración en la posición original de las hojas (las hojas no se mueven) , esto nos indica que la cinta de goma o hilo de seda son aislantes o dieléctricos.-

Los conductores dejan pasar las cargas eléctricas, al contrario los aisladores no lo permiten, por lo cual por ellos no puede existir circulación de corriente en condiciones normales.-

Los conductores se caracterizan por tener electrones llamados libres en sus átomos, los cuales no están unidos fuertemente, siendo los lazos débiles se pueden mover cuando se les aplica una fuerza exterior.-

## LEY DE COULOMB

La diferencia de cantidad de protones y electrones en un cuerpo nos da una medida de la carga que se tiene, se define una unidad mucho mayor para expresar las cargas de un cuerpo, que la del electrón y la del protón. Coulomb encontró experimentalmente que la fuerza que existe entre dos cargas de atracción o repulsión es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.-



Posteriormente encontró que esas fuerzas eran directamente proporcionales al producto de las cargas.

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

En el caso de ser dos cargas iguales se expresa de la siguiente forma:

$$F \propto \frac{q^2}{r^2}$$

Introduciendo una constante de proporcionalidad K la expresión anterior se convierte en una igualdad.-

Por lo tanto la Ley de Coulomb se puede expresar así: ***La fuerza de atracción o repulsión ejercido por un cuerpo cargado sobre otro es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Esta Ley queda restringida solamente para las cargas puntuales, es decir cargas cuyas dimensiones son pequeñas con respecto a la distancia que las separa.-***

La Ley de Coulomb se expresa de la siguiente forma:

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

La constante de proporcionalidad depende de las unidades en que se expresen los datos; la constante en el sistema M.K.S. tiene un valor de  $9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{Cb}^2$  el cuál se determina experimentalmente.-

### Unidades

Tenemos dos sistemas, el electrostático o C.G.S. y el M.K.S..A continuación se expresa las distintas unidades de las magnitudes utilizadas.-

		CGS	MKS
<b>CARGA</b>	<b>q</b>	<b>Ues/q</b>	<b>Cb</b>
<b>DISTANCIA</b>	<b>r</b>	<b>cm</b>	<b>m</b>
<b>FUERZA</b>	<b>F</b>	<b>dyn</b>	<b>Nw</b>
<b>CONSTANTE</b>	<b>K</b>	<b>1</b>	<b>9.10<sup>9</sup></b>
<b>Unidad de la const.</b>	<b>K</b>	$\frac{\text{dyn} \cdot \text{cm}^2}{\text{Ues} / \text{q}^2}$	$\frac{\text{Nw} \cdot \text{m}^2}{\text{Cb}^2}$

La unidad de carga se elige de modo que sea igual a la constante de proporcionalidad, en el sistema electrostático tiene un valor igual a 1.-

Esta unidad se define como la carga que repele a otra con una fuerza de una dyn que se encuentra separada un centímetro, siendo su expresión la siguiente:

$$K = \frac{\text{dyn} \cdot \text{cm}^2}{\text{Ues} / \text{q}^2}$$

En el sistema M.K.S. el valor de la constante es el siguiente:

$$K = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nw} \cdot \text{m}^2}{\text{Cb}^2}$$

Existen otras relaciones útiles:

$$\text{Cb} = 3 \cdot 10^9 \text{ Ues/q}$$

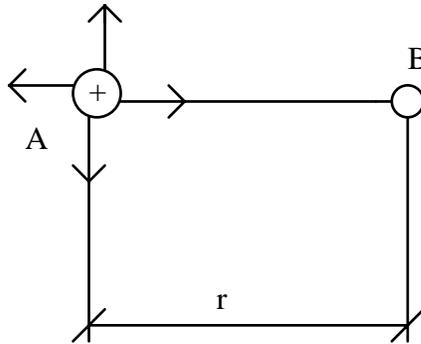
$$\bar{e} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$$

$$\bar{e} = 48 \cdot 10^{-10} \text{ Ues/q}$$

### Campo eléctrico o campo de fuerza

Si colocamos una esfera electrizada en el espacio se originan fuerzas sobre todas las masas de esa región. La zona de influencia de una carga se extiende hasta el infinito, pero prácticamente cuando la fuerza disminuye con la distancia elevada al cuadrado la zona es limitada. En todo el espacio se manifiestan estos efectos de las cargas eléctricas que se llama campo de fuerza y específicamente campo eléctrico.

Consideremos un cuerpo cargado positivamente a una distancia  $r$  de otro cuerpo cargado positivamente.-



Como sabemos existe una fuerza de repulsión siendo éstas del tipo de acción a distancia. Suponemos que la fuerza ejercida sobre B la proporciona el campo eléctrico proporcionado por A. Esta fuerza se extiende a todos los puntos que rodean la carga A, se dice que el campo eléctrico es el espacio que rodea a la carga A.-

La comprobación experimental de la existencia del campo eléctrico de un punto consiste en colocar un cuerpo cargado en ese punto, y a ese cuerpo se lo llama carga puntual, si se ejerce una fuerza de origen eléctrico sobre un cuerpo cargado existirá un campo eléctrico en ese punto.-

Se define como campo eléctrico en un punto al cociente entre la fuerza y la carga, el vector campo eléctrico es el siguiente:

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

El vector campo eléctrico tiene la misma dirección y sentido que el vector fuerza, es decir la dirección del campo eléctrico en un punto tiene la misma dirección que la fuerza ejercida sobre la carga de prueba positiva colocado en ese punto.-

Las unidades de campo eléctrico son:

M.K.S.

$$E = \frac{F}{q} = \left[ \frac{Nw}{Cb} \right]$$

C.G.S.

$$E = \frac{F}{q} = \left[ \frac{\text{dyn}}{\text{Ues/q}} \right]$$

Calcular la intensidad del campo eléctrico de una forma directa es medir la fuerza eléctrica luego dividirla por la carga, otra forma es partir de la Ley de Coulomb:

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

$$\frac{F}{q_2} = K \frac{q_1}{r^2} \quad \Rightarrow \quad E = \frac{F}{q_2} = K \frac{q_1}{r^2}$$

$$F = \frac{1}{4 \pi \epsilon} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad \text{donde} \quad K = \frac{1}{4 \pi \epsilon}$$

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_2} = \frac{1}{4 \pi \epsilon} \frac{q_1}{r^2}$$

### **Influencia de la materia contenida en el campo eléctrico**

Hasta aquí hemos supuesto que la zona ocupada por el campo eléctrico no había sustancia alguna. Es fácil advertir que tales condiciones son difíciles de conseguir en la experimentación, de tal manera hay que considerar el efecto que produce en aquellos el campo eléctrico.-

Por lo pronto a la materia o sustancia que ocupa el campo eléctrico se denomina dieléctrico dentro de ellos actúan las fuerzas de campos.-

Todo dieléctrico se caracteriza por ser mas o menos permeable a las fuerzas de campos, comparado con el vacío o ausencia de materia, en la cuál hemos supuesto antes que se produjese el campo de fuerza.-

No debe confundirse la permeabilidad de las sustancias a las fuerzas de campos con la conductibilidad eléctrica de las mismas, esto último se refiere a la mayor o menor facilidad con que deja circular las cargas y no las fuerzas que se originan en las mismas.-

Los cuerpos menos conductores de electricidad son poco permeables a las fuerzas de campo y viceversa.-

Los aisladores son mas permeables, esta regla es general y no significa que las dos propiedades estén ligadas en forma alguna, puesto que no siempre los mejores aisladores son a su vez los mejores dieléctricos.-

Los metales son impermeables a las fuerzas de campos, por lo cuál se utilizan en blindajes electrónicos para encerrar el campo eléctrico e impedir la influencia de éste en zonas vecinas, por ejemplo el cable coaxil.

### **Constante dieléctrica**

La permeabilidad de la materia a las fuerzas de campos eléctricos se mide por un número, tomando al vacío como referencia o base de comparación. Así el número de veces que la sustancia es más permeable que el vacío a la fuerza de campo se llama permeabilidad dieléctrica, constante dieléctrica o simplemente inductor específico; se lo expresa con la letra épsilon  $\epsilon$ .-

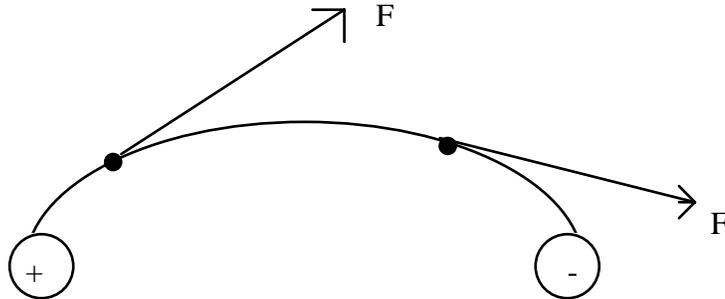
A título informativo damos algunas constantes dieléctricas de algunas sustancias referidas al vacío o más generalmente al aire. Si el aire está seco se comporta igual que el vacío con respecto a la permeabilidad dieléctrica.

Aire y gases-----	1
Aceite de recino-----	4,6
Aceite mineral-----	2,7
Agua destilada-----	80,0
Alcohol-----	15 - 30
Baquelita-----	5,0
Calon-----	6,6
Cenit-----	6,5
Caucho-----	2,1 - 2,9
Celuloide-----	4,1
Cera-----	1,9
Cristal-----	5,8 - 7,6
Ebonita-----	2,8
Goma laca-----	6,6 - 9,9
Cuarzo-----	5,8 - 7,6
Mármol-----	8,0
Mica-----	5,7 - 8,0
Papel-----	1,5
Parafina-----	2,1
Porcelana-----	5,7 - 6,8
Papel parafinado-----	3,7
Resina-----	2,5
Vidrio-----	5,4 - 10,0

## Líneas de fuerza

Se puede definir como líneas de fuerza a la trayectoria que sigue una carga de prueba en un campo eléctrico.-

Una línea de fuerza en un campo eléctrico es una línea imaginaria de modo que su dirección en cada punto será la misma que la del campo eléctrico en ese punto(dirección tangente a la trayectoria).-

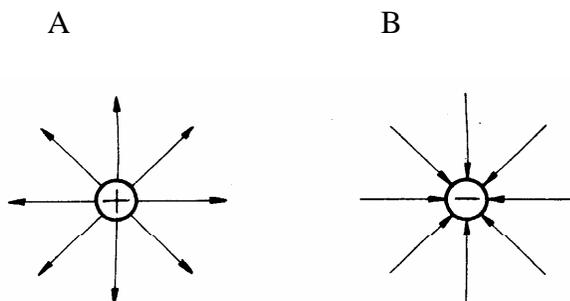


Líneas de fuerza en un campo eléctrico

Este concepto es importante para visualizar la distribución del campo eléctrico mediante una invención ingeniosa propuesta por Faraday ,que consistía en imaginar una cierta cantidad de líneas de fuerza que caracteriza el campo eléctrico y medir numéricamente su intensidad.-

## Representación del campo eléctrico mediante líneas de fuerza

Las siguientes figuras, A y B, representan las líneas de fuerza del campo eléctrico producido por una carga eléctrica positiva y otra negativa.-



En la representación C tenemos líneas de fuerza del campo eléctrico producidos entre dos cuerpos cargados con cargas diferentes, la representación D tiene el comportamiento de las líneas de fuerza por dos conductores cargados con igual signo.-

Si las cargas de igual signo fueran también de igual magnitud, las fuerzas se neutralizarían y en el punto medio del recorrido de la línea de fuerza quedaría un punto X llamado punto nulo o punto sin campo eléctrico.-

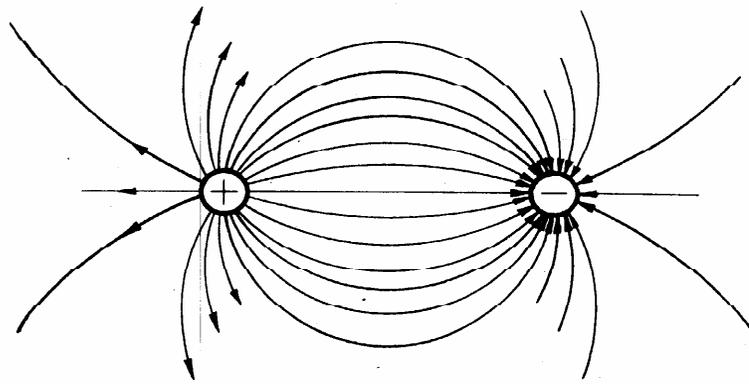


Gráfico C

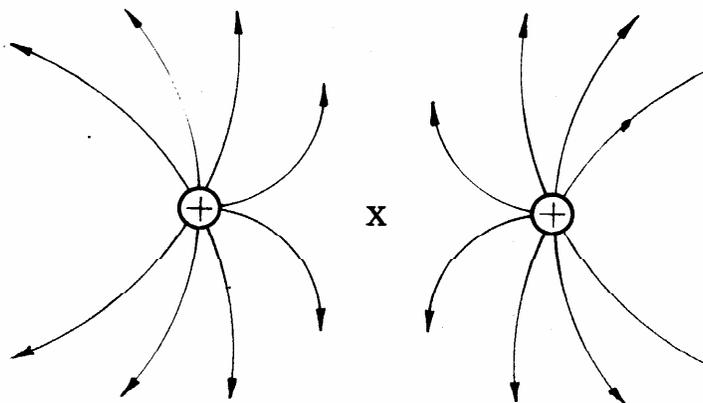


Gráfico D

En realidad las líneas de fuerza son líneas ideales que definen apropiadamente el camino sobre el que actúan las fuerzas ejercidas sobre las cargas eléctricas.-

Las líneas de fuerza llamadas también líneas de campo, poseen ciertas propiedades que deben entenderse como referidas a cargas en reposo y que no son válidas necesariamente para las cargas que se encuentran en movimiento, como es el caso de una corriente de conducción. Estas propiedades son:

1. Salen de la carga positiva y terminan en la negativa. Se trata de una dirección y sentido adoptado convencionalmente.
2. Entran y salen de la superficie de los conductores formando un ángulo recto. Si lo hace oblicuamente se debe a que constituye una componente de la fuerza, que estarían en movimiento las cargas eléctricas en la superficie del conductor. Esta propiedad no se aplica a un aislador, en el cuál las cargas no son capaces de moverse.
3. No existen en el interior de un conductor. Dentro de él las líneas de fuerza producirían un movimiento de electricidad. Sin embargo las líneas pueden atravesar un aislador.
4. No se ramifican, ni se cortan entre sí. La fuerza resultante sobre una carga positiva en cualquier punto de un campo puede tener solamente una dirección particular.
5. Tienden a cortarse. La fuerza de atracción entre las cargas de distinto signo puede atribuirse a la tendencia de las líneas a contraerse.
6. Tienden a repelerse una con otra. Ello puede apreciarse en la comba (curvatura) que forman dentro de su recorrido (figura C) y en la forma que se visualiza en la figura D; se concentran en los lugares en que el campo es fuerte, y se encuentran ausentes en el punto X de la figura D.-

### **Campo y carga en el interior de un conductor**

Hemos dicho que un conductor es un cuerpo dentro del cual existen cargas libres, es decir, pueden moverse libremente, siempre que se ejerza una fuerza sobre él, por medio de un campo eléctrico.-

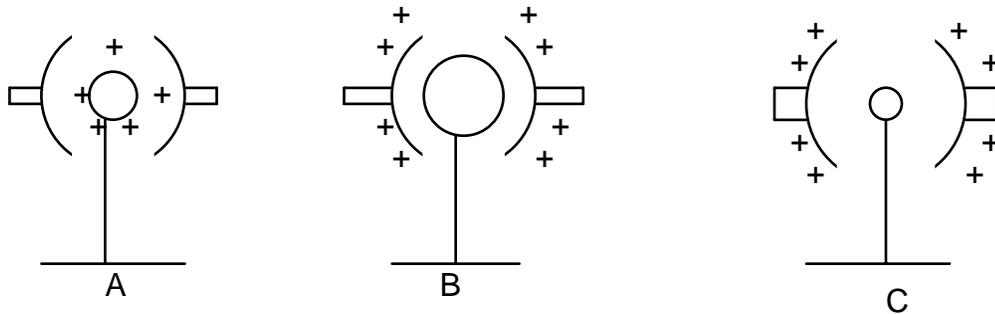
Este movimiento de cargas se llama corriente eléctrica. Si no hay ningún campo en el interior del conductor no habrá movimiento de cargas libres. Podemos afirmar que si las cargas en el interior de un conductor están en reposo, el campo eléctrico es cero.-

Hay varios experimentos que nos demuestran que cuando hay cargas en exceso en un conductor, éstas se encuentran en la superficie.-

#### **Experimento 1**

Tomemos una esfera metálica y coloquemos sobre ella dos semiesferas sostenidas por mangos aislantes de modo que cubran totalmente y entren en contacto con la esfera, si separamos las dos

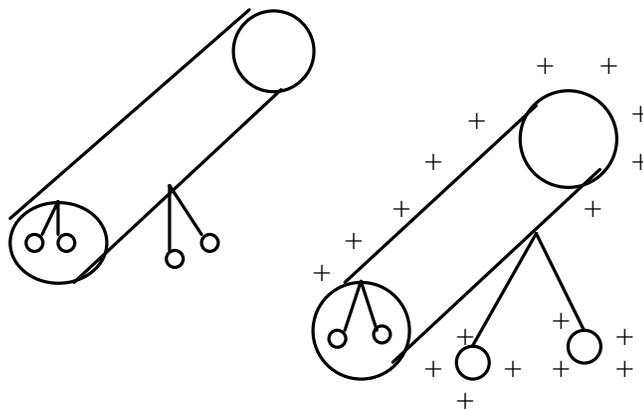
semiesferas se observa por medio del electroscopio que las semiesferas se encuentran cargadas, mientras que la esfera central está en estado neutro.-



## Experimento 2

Un cilindro hueco tiene péndulos eléctricos en el interior y en el exterior, si cargamos el cilindro con una cierta carga, podremos observar que el péndulo exterior recibe las cargas, pues las esferas de sauco se separan; si observamos el péndulo que se encuentra en el interior del cilindro, esta acción no ocurre permaneciendo inalterable dichas esferas(péndulo eléctrico).-

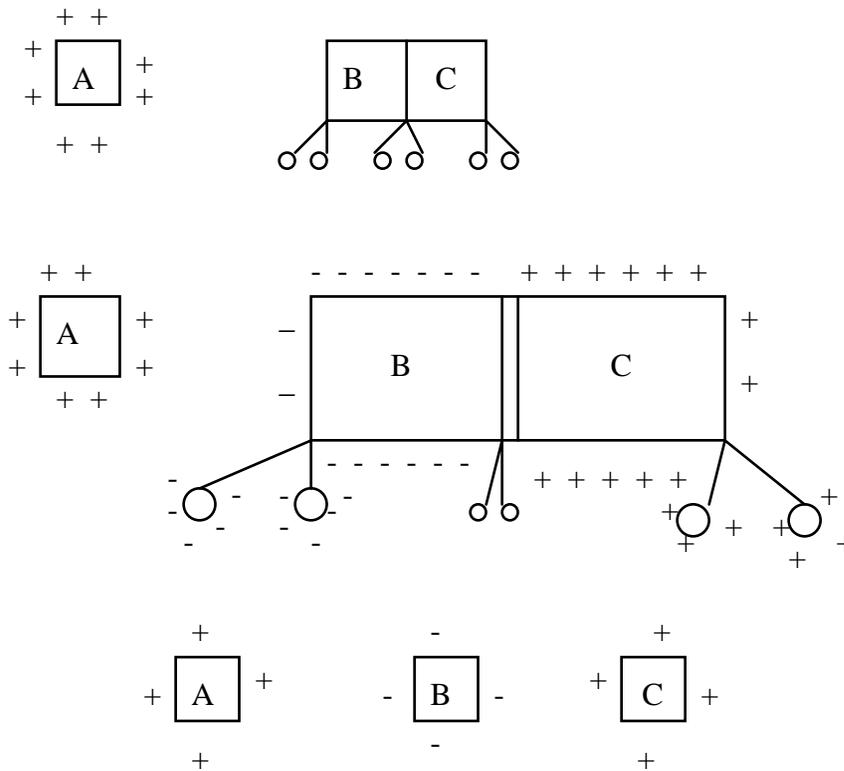
Por consiguiente podremos concluir nuestra experiencia diciendo que las cargas se ubican siempre en la superficie exterior de un cuerpo, permaneciendo en estado neutro el interior de dicho elemento.-



## **Inducción electrostática**

Otro efecto importante es la creación de cargas por inducción, si consideramos un conductor específico cargado en un punto A, y en sus proximidades otro conductor en los puntos B C, al que colocamos otro juego de péndulos eléctricos(tres juegos), uno en cada extremo y otro en la zona central. Al aproximar el conductor A al cuál denominaremos inductor, veremos que los péndulos ubicados en los extremos modifican su posición, mostrando de esta forma la existencia de una carga eléctrica(exceso);mientras que el péndulo de la zona central no es alterado.-

Al conductor B C lo llamaremos inducido, si a continuación separamos la porción B de la C podremos comprobar que la parte mas alejada al conductor A tiene la misma carga que éste y la parte mas cercana tiene la carga distinta a éste.-



**Masa eléctrica o cantidad de electricidad**

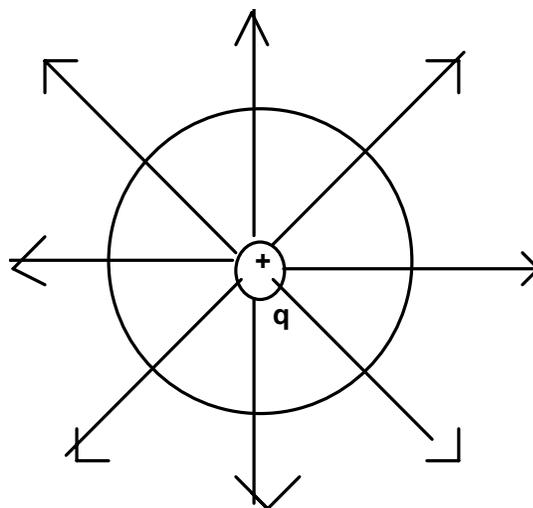
Si dos pequeñas esferas metálicas cargadas positiva o negativamente colocadas en un punto y separadas una distancia r de otro cuerpo c del mismo signo que las esferas metálicas, veremos que se produce una fuerza de repulsión al colocar la primera esfera, si reemplazamos a ésta por una segunda esfera, y luego comprobamos que la fuerza de repulsión producida es igual a la anterior, podremos decir que las masas eléctricas de ambas esferas son iguales.

**Cálculo del número de líneas de fuerza que atraviesan la superficie de una esfera**

La expresión matemática que se utiliza fue hallada experimentalmente, la que se expresa a continuación, donde N es el número de líneas de fuerza, E es el valor del campo eléctrico en el espacio que lo rodea, A es el área perpendicular a la línea de fuerza. Las dos condiciones para que la fórmula se cumpla, son las siguientes:

Que la esfera tenga un radio r y, que en su interior exista una carga, siendo las líneas de fuerza perpendiculares a dicha superficie.-

$$N = \epsilon \cdot E \cdot A \qquad \frac{N}{A} = \epsilon \cdot E$$



El campo eléctrico lo podemos expresar de la siguiente forma al igual que la superficie de la esfera:

$$E = \frac{1}{4 \pi \epsilon} \cdot \frac{q}{r^2}$$

$$A = 4 \pi r^2$$

Reemplazando las ecuaciones 3 y 4 en 2 se tiene:

$$N = \cancel{\epsilon} \frac{1}{\cancel{4 \pi \epsilon}} \cdot \frac{q}{\cancel{r^2}} \cdot \cancel{4 \pi r^2}$$

$$N = q$$

La expresión  $N = q$  nos indica que el número de líneas de fuerza que atraviesan la superficie de la esfera es igual a la carga neta encerrada por ésta.

### Trabajo eléctrico

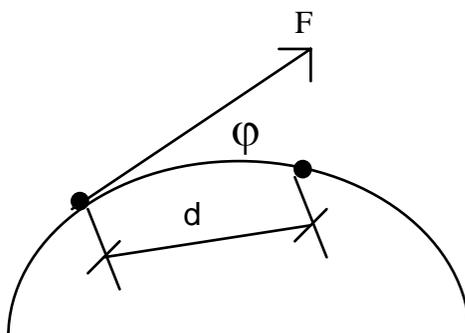
Si una masa eléctrica  $q$  se coloca en un punto del campo eléctrico estará expuesta a la acción de la fuerza.-

$$\mathbf{F} = \mathbf{E} \cdot q$$

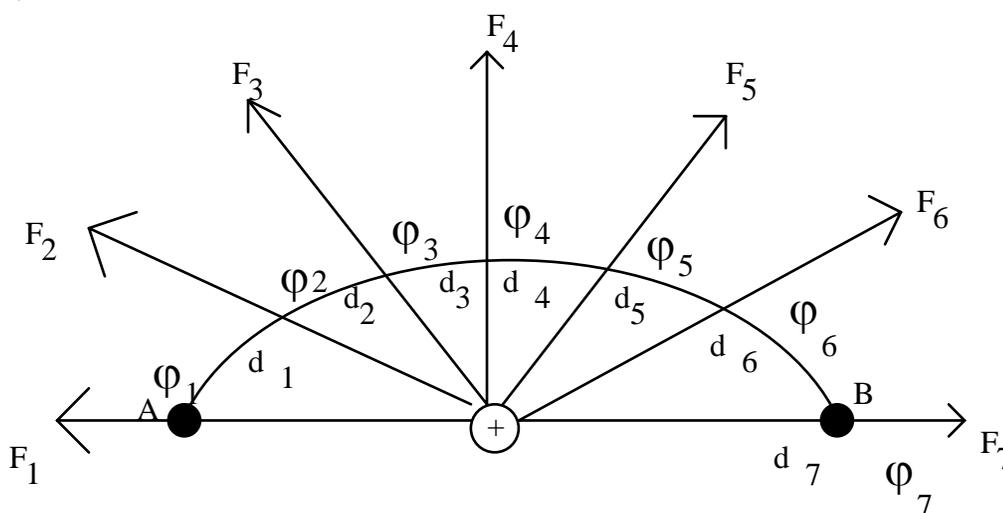
En un pequeño desplazamiento  $d$  en el cual puede considerarse la fuerza constante, se está realizando un trabajo eléctrico:

$$L = F \cdot d \cdot \cos \varphi \text{ (fi)}$$

Si  $\varphi$  es el ángulo de dirección de la fuerza con el desplazamiento.-



En un desplazamiento mayor la fuerza podría cambiar de dirección e intensidad de acuerdo con las variaciones del campo eléctrico.-  
 El trabajo deberá calcularse entonces sumando los trabajos realizados en cada trayectoria desde el punto A al punto B.-



$$L_{A-B} = L_{A-2} + L_{2-3} + L_{3-4} + L_{4-5} + L_{5-6} + L_{6-B}$$

$$L_{A-B} = F_{A-2} d_1 \cdot \cos \varphi_1 + F_{2-3} d_2 \cdot \cos \varphi_2 + F_{3-4} d_3 \cdot \cos \varphi_3 + F_{4-5} d_4 \cdot \cos \varphi_4 + F_{5-6} d_5 \cdot \cos \varphi_5 + F_{6-B} d_6 \cdot \cos \varphi_6$$

$$F_{6-B} d_6 \cdot \cos \varphi_6$$

$$L_{A-B} = \sum_{i=1}^n F \cdot d \cdot \cos \varphi$$

Se demuestra que el trabajo realizado por esta fuerza al transportar una carga de prueba desde un punto a otro no depende del camino a seguir, por lo tanto se tiene:

$$L_{A-B} = L_{B-A}$$

$$L_{A-B} - L_{B-A} = 0$$



Debido a esta propiedad del campo eléctrico se le llama campo conservativo.-

## Cálculo del trabajo eléctrico

Consideremos las fuerzas eléctricas cercanas al punto A y al punto 1 a una distancia  $r_a$  y  $r_1$  respectivamente, obteniendo así las siguientes fuerzas:

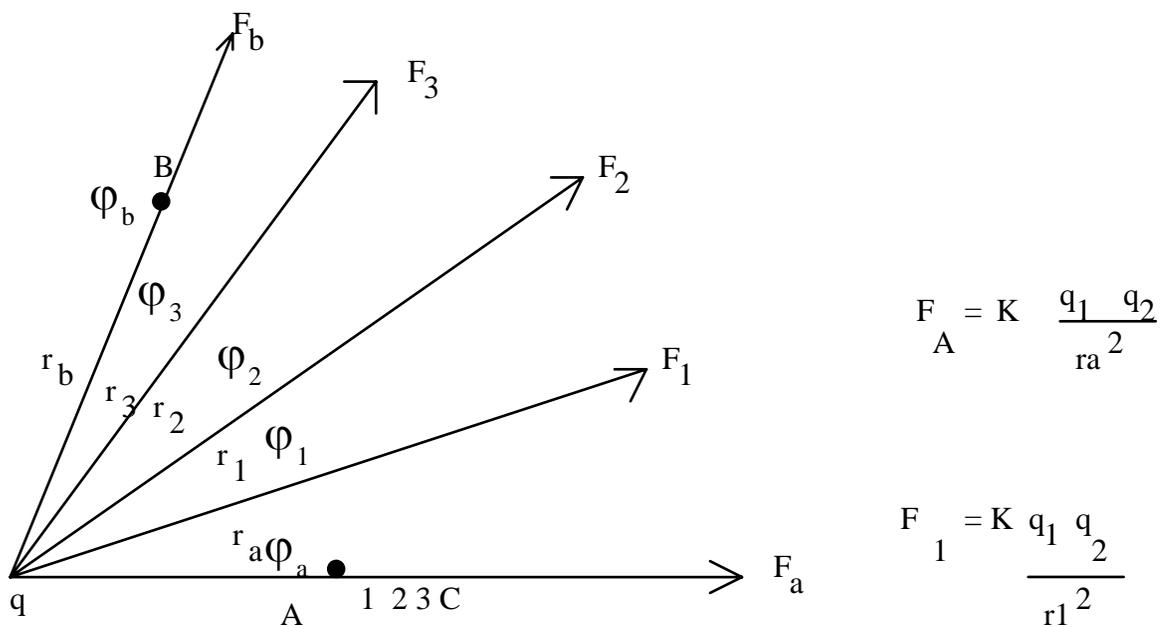


Ilustración 1

Se define la fuerza cuyo valor es intermedio entre la fuerza  $F_A$  Y  $F_1$  y los radios respectivos.-

$$F_{A-1} = K \frac{q_1 q_2}{r_a \cdot r_1}$$

Este valor se llama valor medio geométrico, obteniéndose como la raíz cuadrada del producto de las dos fuerzas.

$$F_{A-1} = \sqrt{F_A \cdot F_1} \quad F_{A-1} = \sqrt{K^2 \left( \frac{q_1 \cdot q_2}{r_a^2} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_1^2} \right)}$$

$$F_{A-1} = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r_a \cdot r_1}$$

Consideremos esta fuerza desde el punto A al punto 1 obteniendo así un trabajo eléctrico.

$$L = F \cdot d \cdot \cos \varphi$$

$$L_{A-1} = F_{A-1} (r_1 - r_a) \cos \varphi$$

$$F_{A-1} = K \frac{q_1 q_2}{r_a} \cancel{r_1} \cos \varphi - K \frac{q_1 q_2}{\cancel{r_a} r_1} \cos \varphi$$

$$L_{A-1} = K q_1 q_2 \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_1} \right) \cos \varphi$$

El trabajo total desde el punto A hasta el punto B serán las sumas de los trabajos parciales.-

$$L_{A-B} = L_{A-1} + L_{1-2} + L_{2-3} + L_{3-B}$$

Reemplazando por su igual tendremos:

$$L_{A-B} = K q_1 q_2 \left[ \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_1} \right) + \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} \right) + \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_b} \right) \right] \cos \varphi$$

$$L_{A-B} = K q_1 q_2 \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \cos \varphi$$

Por lo tanto desde el trabajo realizado en el punto A hasta el punto C tendremos un trabajo total que esta dado por la  $\Sigma$  de los siguientes trabajos:

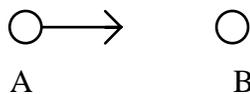
$$L_{A-C} = L_{A-B} + L_{B-C}$$

Pero el trabajo de B hasta C se realiza a lo largo de un segmento de circunferencia de radio b, y el desplazamiento de B hasta C siempre es perpendicular a las líneas de fuerza, es decir el ángulo que forma es igual a  $90^\circ$ , aplicando este valor en la función trigonométrica coseno, el valor resultante es cero, lo que significa que el trabajo realizado desde el punto B al C es igual a cero, por lo tanto se tiene:

$$L_{A-C} = L_{A-B}$$

### Diferencia de potencial

Se llama diferencia de potencial entre dos puntos al trabajo que realiza una fuerza eléctrica cuando la carga de prueba positiva pasa de un punto A a un punto B.-



Se expresa de la siguiente manera; siendo  $L_{A,B}$  el trabajo realizado en el desplazamiento de la carga q. Por lo tanto se puede expresar el potencial entre dos puntos A y B.-

$$V_{a-b} = V_a - V_b$$

$$V_{a-b} = \frac{L_{A-B}}{q}$$

### Unidades de diferencia de potencial

Entre dos puntos del campo eléctrico habrá una diferencia de potencial de una unidad al pasar la unidad de carga eléctrica de un punto a otro cuando realiza la unidad de trabajo.-

$$L_{A-B} = q \cdot V_{a-b}$$

En el sistema M.K.S. tenemos las siguientes unidades:

$$\text{Joule} = \text{Coulomb} \cdot \text{Voltio}$$

$$\text{Voltio} = \frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}}$$

$$\text{Coulomb}$$

En el sistema C.G.S. tenemos las siguientes unidades:

$$\text{Ergio} = \text{Ues}/q \cdot \text{Ues}/v$$

$$\text{Ues}/v = \frac{\text{Ergio}}{\text{Ues}/q}$$

Podemos hacer una relación:

$$1 \text{ Ues}/v \cong 300 \text{ voltios}$$

### Potencial en un punto del campo eléctrico

Físicamente el potencial en un punto puede definirse como el trabajo realizado por la unidad de carga, o como la fuerza ejercida por el campo eléctrico cuando se trae una carga **q** desde el infinito al punto, o del trabajo que se realiza en una fuerza eléctrica para llevar una carga desde el punto al infinito.

Resumiendo, tenemos que dado un conjunto de cargas o masas eléctricas, éstas crean un campo eléctrico en cada punto del campo eléctrico, un vector campo eléctrico y una magnitud escalar pone en manifiesto el potencial eléctrico.-

### Potencial de una carga puntiforme. Cálculo

Hemos visto que el campo eléctrico de una carga q al trasladarla entre dos puntos A y B, realiza un trabajo.-

$$L_{A-B} = K q_1 q_2 \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \cos \varphi = \cancel{Cb^2} \frac{1}{m} \frac{Nm^2}{\cancel{Cb^2}} = \text{Joule}$$

$$L_{A-B} = N \cdot m = \text{Joule}$$

Si la carga q<sub>2</sub> es igual a la unidad de carga positiva el trabajo mide la diferencia de potencial entre ambos puntos.-

$$V_{A-B} = \frac{L_{AB}}{q_2} = K q_1 \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \cos \varphi = \text{Voltios}$$

Si suponemos que el punto B se encuentra en el infinito podremos decir:

$$r_b = \infty \longrightarrow \frac{1}{r_b} = 0$$

El trabajo que mide el potencial es:

$$V_A = \frac{q_1}{r_a}$$

$$K = 1$$

$$\cos \varphi = 1$$

En general el potencial en un punto situado a una distancia r de una carga puntual puntiforme es el siguiente:

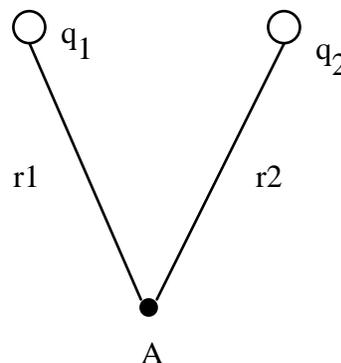
$$V = \frac{q}{r}$$

Para el caso general de tener varias cargas en un punto dado el potencial obtenido en un punto determinado será la suma de los potenciales debido a dichas cargas.-

$$V_1 = \frac{q_1}{r_1} ; V_2 = \frac{q_2}{r_2}$$

$$V_{1-2} = V_1 + V_2 = \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2}$$

$$V_{1-2} = \sum_{i=1}^n \frac{q}{r}$$



### Potencial de la tierra como potencial cero

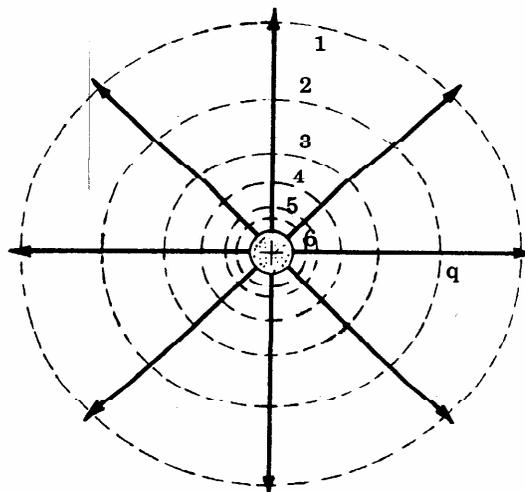
El potencial es relativo, aquel que se calcula y toma como referencia y cuyo potencial se supone cero; en el estudio de los campos eléctricos producidos por masas eléctricas, alejadas de todo cuerpo, se toma como potencial cero a los puntos ubicados en el infinito.-

Como la tierra es una gran conductora eléctrica cuyo potencial podemos suponer constante, se ha convenido tomarlo como potencial cero, al estudiar los campos eléctricos producidos por cargas eléctricas próximas a la tierra, por lo tanto el definir potencial en un punto del campo eléctrico o de un conductor diremos que es el trabajo que realiza una fuerza eléctrica usando la unidad de masa eléctrica positiva para pasar de un punto o conductor a la tierra.-

### Superficies equipotenciales

El lugar geométrico de los puntos en un campo eléctrico que tiene el mismo potencial constituye una superficie equipotencial ; es decir existen superficies que al desplazarse una carga o masa eléctrica sobre ella, el trabajo de la fuerza eléctrica en el campo es nulo.-

Espectro de una superficie equipotencial



### Densidad de flujo eléctrico

La densidad de flujo eléctrico puede ser considerada como el resultado de la intensidad de campo eléctrico. Para cualquier valor dado de intensidad del campo eléctrico, el valor del flujo eléctrico resultante depende del medio en que se produce el flujo. Un elemento determinante de la densidad de flujo eléctrico es la permeabilidad absoluta(permeabilidad absoluta) del medio. Está constituida por la relación entre la densidad del flujo eléctrico y campo eléctrico.-

$$\frac{D}{E} = \epsilon \quad D = E \epsilon$$

