



LÍNEAS EQUIPOTENCIALES

- Construcción de líneas equipotenciales.
- Visualización del campo eléctrico y del potencial eléctrico.
- Análisis del movimiento de cargas eléctricas en presencia de campos eléctricos.

OBJETIVOS [1.1]

- Encontrar y dibujar las líneas equipotenciales para tres configuraciones diferentes.
- Entender como es la dependencia espacial del potencial eléctrico, y por consiguiente del campo eléctrico, de acuerdo con la forma como esté distribuida la carga.
- Entender cómo sería el movimiento de una partícula cargada, de acuerdo con la distribución espacial del campo eléctrico, para llegar al concepto de gradiente

El montaje experimental de esta práctica permite que el estudiante sea capaz, en primera instancia, de realizar la visualización de las líneas equipotenciales para varias configuraciones diferentes de los electrodos. Dicha visualización, le permitirá posteriormente dibujar la forma de las líneas equipotenciales para cada configuración.

Adicionalmente, con los dibujos realizados, y teniendo en cuenta la distancia de separación de una línea equipotencial dada con respecto a un punto de referencia, el estudiante será capaz de intuir cómo es la distribución espacial del potencial eléctrico; e incluso, podrá también dibujar las líneas de campo eléctrico.

MATERIALES Y EQUIPO [1.2]

- Fuente de voltaje DC. NOTA: Se trabajará un máximo de 12 V.
- Voltímetro Fluke
- Cubeta plástica rectangular

- 3 placas de acrílico con perforaciones en donde se han organizado tres configuraciones diferentes de electrodos
- Agua
- Cables de conexión
- Cable de conexión en que termina en punta.
- Cuatro planos o redes **impresos previamente en papel** mostrados al final de esta guía.

MARCO TEORICO [1.3]

Toda carga crea en el espacio que lo rodea tanto un campo eléctrico vectorial E como un campo de potencial eléctrico escalar V , cuyas expresiones están en función de la distancia r de un punto dado en consideración y de la magnitud de la carga.

En general, la dependencia espacial explícita de esos campos E y V depende de la forma como espacialmente estén distribuidas las cargas. En el caso de cargas puntuales se presenta una simetría esférica, de modo que los campos E y V presentan una disminución radial en sus valores y tienden a cero a medida que nos alejamos de las cargas que producen los campos. Matemáticamente hablando, expresamos esas variaciones como:

$$\vec{E}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r \quad [1]$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \quad [2]$$

donde Q es la magnitud de la carga que genera el campo eléctrico E con su respectivo signo y \vec{u}_r es el vector unitario dirigido desde la carga hasta el punto donde se calcula el campo eléctrico E .

En el caso de dos placas conductoras paralelas el campo E presenta un valor *constante* en la región comprendida entre las placas; pero el potencial eléctrico V es *directamente proporcional* a la distancia PERPENDICULAR medida en referencia a uno de los electrodos, que desde el punto de vista experimental generalmente es tomada en un circuito desde el punto de potencial cero o tierra. Notamos entonces dos cosas importantes: la diferencia en el valor que toman el campo eléctrico E y el potencial eléctrico V , y adicionalmente el hecho de que SOLO para distancias perpendiculares la variación de V es proporcional con la distancia. Matemáticamente hablando, estos comportamientos son correlacionados mediante el concepto de gradiente ya que se está relacionando un campo vectorial E con un campo escalar V . El gradiente en este caso, es definido por un vector (el campo eléctrico E en este caso) que se encuentra normal a una superficie o curva en el

espacio ya que esa será la dirección en la cual el potencial eléctrico *cambiará más rápidamente*. Formalmente:

$$\vec{E} = -\nabla V \quad [3]$$

Un aspecto importante de los campos electrostáticos es que en la región entre los electrodos tendremos conjuntos de puntos geométricos que presentan el mismo valor del potencial. A esas superficies que cumplen ese requerimiento se les llama superficies equipotenciales, y la *perpendicular* a esa superficie mostrará la dirección del campo eléctrico, de acuerdo con los argumentos mencionados anteriormente. La superficie de un material conductor es siempre una superficie equipotencial. Una lámina conductora puede ser cargada negativa o positivamente según la conectemos al borne positivo o negativo de una fuente de poder, y así el conductor se convierte en un electrodo y en nuestro objeto cargado que genera un campo eléctrico alrededor de él.

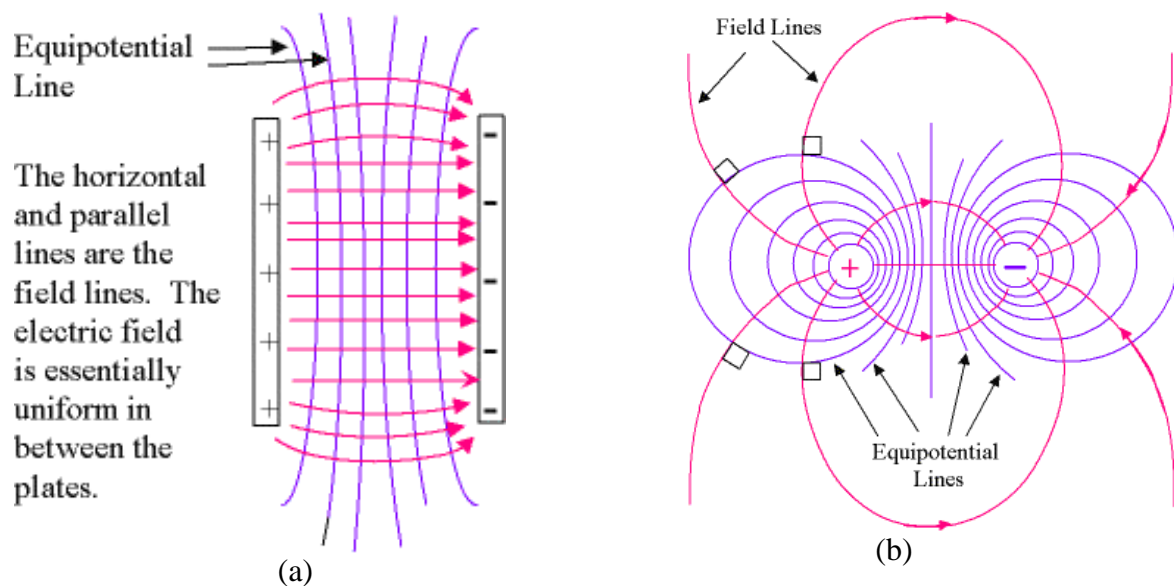


Figura 1. Configuración de líneas equipotenciales y de líneas de campo eléctrico para (a) placas planas paralelas y (b) dos cargas puntuales de signo contrario. Tomado de: http://www.pstcc.edu/departments/natural_behavioral_sciences/Chapters%2025%20and%2026.htm.

Finalmente, es interesante notar que el movimiento de una partícula cargada en presencia de un campo eléctrico generado por otras cargas (en este caso los electrodos) depende de la dirección del campo eléctrico en un punto dado donde ella se encuentre y del signo de esa carga. Así, una carga negativa sentirá una fuerza eléctrica que la obligará a moverse en la dirección contraria al campo, pero si la carga es de signo positivo el efecto es contrario y tenderá a moverse en la misma dirección del campo. En todo caso, habrá trabajo realizado en el sistema carga-campo en cualquiera de las dos circunstancias y la única forma de **no**

realizar trabajo al mover la carga es que ella se desplace “obligadamente” en una superficie equipotencial, de acuerdo con la expresión para el trabajo eléctrico:

$$W = \int q\vec{E} \cdot \vec{dl} \quad [4]$$

De modo que $W = 0$ implica que la trayectoria de la partícula, especificada por el diferencial \vec{dl} , necesariamente debe ser PERPENDICULAR al campo eléctrico; es decir, sobre la misma superficie equipotencial.

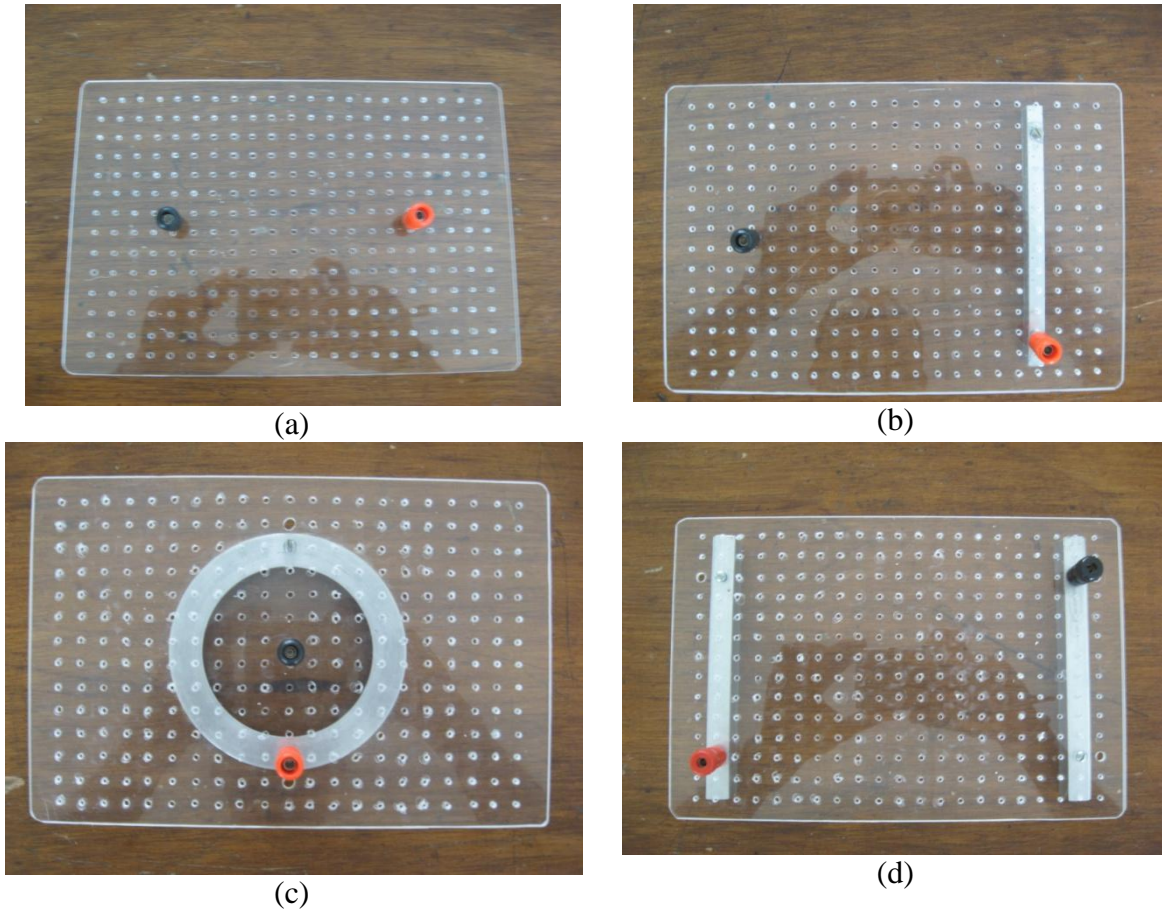


Figura 2. Configuraciones de electrodos empleadas en el laboratorio. (a) cargas puntuales (b) carga puntual – placa plana (c) aro – carga puntual (d) placas planas paralelas

PROCEDIMIENTO [1.4]

Usted debe medir la diferencia de potencial en el espacio entre dos electrodos cargados: uno positivo y el otro negativamente, para al menos tres de las siguientes cuatro configuraciones:

- i) Dos cargas puntuales
- ii) Dos barras planas paralelas
- iii) Una carga puntual y una barra plana
- iv) Una carga puntual en el centro de un aro metálico

Esas configuraciones de electrodos son mostradas en la figura 2.

Primera Configuración: Dos cargas puntuales [1.4.1]

- a. Tome el contenedor de plástico (cubeta) y coloque en el fondo la placa de acrílico que tiene la configuración con dos electrodos para cargas puntuales y agregue agua de la llave suficiente hasta que **apenas** quede cubierta la placa, teniendo cuidado de no llenar demasiado la cubeta con agua para que no se derrame por fuera del recipiente.
- b. Use el voltímetro FLUKE digital para medir el voltaje en la fuente. Encienda la fuente y con el voltímetro conectado gire la perilla de la fuente hasta que tenga un voltaje de alrededor de 10 V. Apague la fuente y desconecte el voltímetro.
- c. Ahora usando dos cables de conexión conecte el electrodo rojo (+) y el electrodo negro (-) disponibles en la cubeta con agua con los terminales *respectivos* de la fuente.
- d. Ahora conecte dos cables de conexión para medir voltaje en el voltímetro FLUKE de modo que el cable del electrodo negativo se conecte con el respectivo electrodo negativo que está en la cubeta con agua. El otro electrodo positivo va a corresponder a nuestra “punta de prueba” y por lo tanto corresponde al cable de conexión que termina en punta, la cual se deja libre y es con la cual variaremos la posición sobre la placa de acrílico para medir el respectivo voltaje en cada posición. Observe la figura 3.

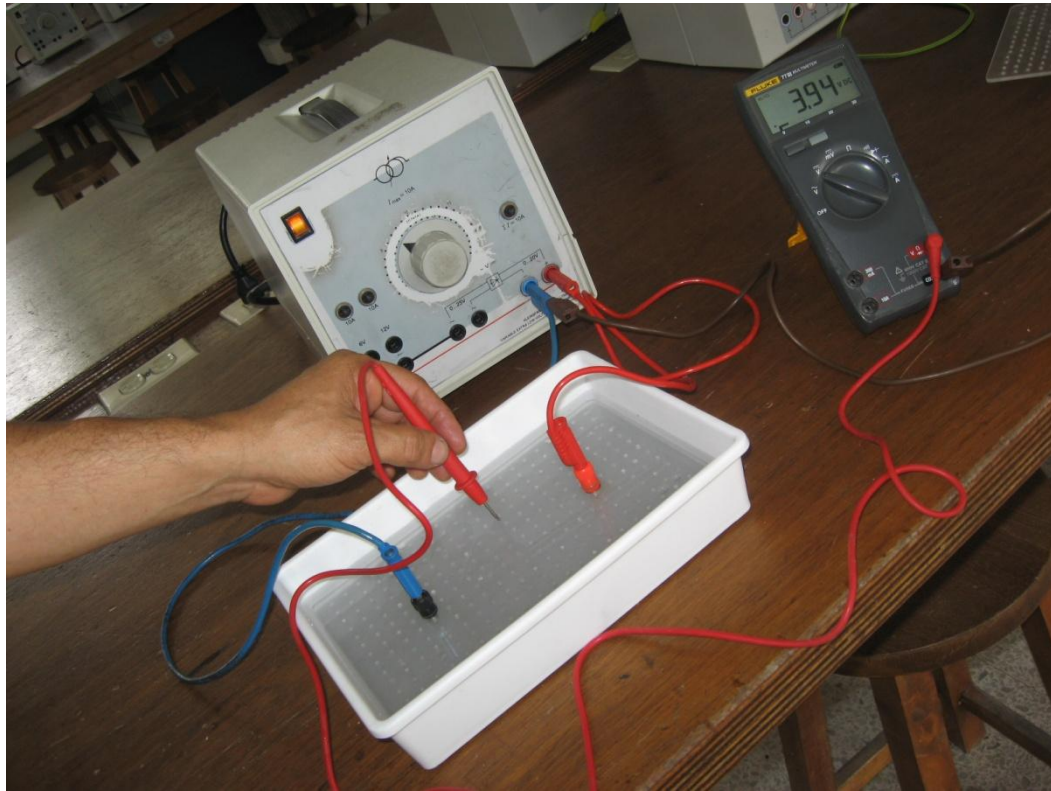


Figura 3. Fotografía del montaje experimental para la configuración de electrodos correspondientes a dos cargas puntuales. Note que con la mano nos podemos desplazar con el sensor o punta de prueba en la región entre los electrodos y alrededor de ellos. Observe que el agua es apenas la suficiente para cubrir la placa de acrílico.

- e. Tome ahora una de las plantillas impresas previamente por usted y marque en ella la posición de los dos electrodos. Los puntos marcados en ella le permitirán ubicar de manera adecuada los puntos sobre la placa de acrílico en su circuito para los cuales la **DIFERENCIA DE POTENCIAL** con respecto al electrodo **NEGATIVO** es siempre la misma.
- f. Ahora si encienda la fuente ya calibrada en 10 V. **En este punto tenga en cuenta de que NUNCA los dos electrodos que provienen de la fuente tengan contacto directo entre sí.** Observe ahora que al mover la punta de prueba o “sensor” de su electrodo positivo proveniente del voltímetro indica el valor del voltaje en cada región de la superficie sobre la placa. Busque entonces con la punta de prueba inicialmente regiones alrededor del electrodo negativo que indiquen un voltaje de 2V. Traslade y marque con un lápiz sobre la cuadrícula de papel esos puntos. Identifique tantos puntos como sea necesario con ese voltaje que le permitan a usted posteriormente **dibujar la línea equipotencial** formada para ese valor de 2V. No se preocupe si sus dedos tocan el agua ya que la corriente que circula por ella es muy baja, así que no hay peligro de descargas eléctricas; pero evite a toda costa producir

derrames de agua sobre los equipos, **ya que usted será el directo responsable si ocurre algún daño.**

- g. Repita el mismo procedimiento anterior para 3V, 4V, 5V, 6V, 7V y 8V. En cada caso, distinga los puntos que marca sobre el papel con un signo diferente: bolitas, estrellas, asteriscos, con colores, etc. de modo que se puedan visualizar claramente todos los correspondientes a la misma diferencia de potencial, para esta primera configuración en la misma hoja de papel.
- h. Repita el mismo procedimiento para otras dos configuraciones de electrodos, evitando derramar el agua en cada cambio.
- i. No olvide al final de sus medidas dejar la cubeta plástica sin agua y totalmente seca.

ANALISIS Y PREGUNTAS [1.5]

- a. Para cada una de las tres configuraciones de electrodos dibuje las líneas equipotenciales para cada valor de voltaje. Analice y discuta en cada caso la forma y distribución de esas líneas. Por ejemplo: Hay mayor densidad de líneas en ciertas regiones? En qué casos esas líneas son rectas o presentan una mayor curvatura? Hay alguna relación entre la forma del electrodo y las líneas equipotenciales? Esas líneas corresponden, en cuanto a su forma y distribución, a lo esperado en la teoría? Si hay diferencias a qué factores experimentales se las podemos atribuir?
- b. Para una sola de las configuraciones de electrodos (placas planas paralelas por ejemplo) realice un análisis cuantitativo de la distancia con el voltaje. Tome por ejemplo datos de voltaje y distancia con respecto al electrodo negativo de referencia, para al menos tres trayectorias de líneas rectas no perpendiculares entre sí, y realice tres gráficas en cada caso que muestren el comportamiento del voltaje en función de la distancia al electrodo negativo. Considere en ese análisis, que una de las posibles trayectorias es la correspondiente a la trayectoria mínima posible entre los electrodos, y muestre porqué es precisamente esa trayectoria la más adecuada para describir el campo eléctrico, de acuerdo con el concepto de gradiente.
- c. De acuerdo con los argumentos que usted pueda encontrar en el punto anterior dibuje sobre las mismas hojas líneas que representen las líneas de campo eléctrico para cada una de las configuraciones de electrodos encontradas. Discuta cómo es la forma y comportamiento del campo eléctrico en cada caso y si su modelo experimental coincide con el comportamiento teórico esperado.
- d. Analice y discuta si en vez de usar agua entre los electrodos se considerara una región con aire o en espacio vacío. Es necesario un medio conductor en su modelo? Qué otros materiales se podrían emplear? Porqué es posible realizar este experimento con agua, si en principio es un medio no-conductor?