

4. EL POTENCIAL ELECTROSTÁTICO

TAREA DE PREPARACIÓN

Nombre Estudiante: _____ Código: _____ Plan: _____
 Fecha: _____

Lea cuidadosamente la base teórica dada en la guía y con ayuda del estudio de la bibliografía conteste las siguientes preguntas y entréguelas a su profesor antes de empezar la práctica.

1. Identifique las magnitudes físicas que Ud. va a medir en este experimento.
2. Consulte y dibuje la forma y distribución de las líneas de campo eléctrico para las siguientes distribuciones de carga:
 - a) Dos cargas puntuales de diferente signo, separadas una distancia d
 - b) Dos planos infinitos paralelos con carga de signo opuesto, separados una distancia d .
3. Encuentre la expresión para la intensidad del campo en un punto P como función de la distribución de carga que lo crea y de la distancia del punto en consideración a cada una de las distribuciones de carga:
 - a. Dos cargas puntuales de signo opuesto separadas una distancia d . El punto P en cualquier punto a lo largo de la línea que une las cargas
 - b. Dos líneas de carga de signo opuesto de longitud infinita y con densidad lineal de carga λ , paralelas entre si y separadas una distancia d . El punto P a lo largo de la perpendicular que une las dos líneas de carga.
 - c. Dos planos infinitos de carga, con densidad superficial de carga σ de signo opuesto, paralelos separados una distancia d . El Punto P a lo largo de la perpendicular que une los dos planos.

Ayuda:

El potencial a una distancia r de una carga puntual q está dado por la expresión:

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

El potencial a una distancia r perpendicular a una línea infinita de carga con densidad lineal de carga λ está dado por la expresión:

$$V(r) = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{a}{r} \text{ donde } V(r = a) = 0$$

El potencial para un plano infinito con densidad superficial de carga σ a una distancia r perpendicular al plano está dado por la expresión:

$$V(r) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (a - r) \text{ donde } V(r = a) = 0$$

4. EL POTENCIAL ELECTROSTÁTICO

1. OBJETIVO

- Encontrar la dependencia espacial del potencial eléctrico con la forma de la distribución de carga en electrodos con geometrías diferentes
- Modelar la expresión teórica y comparar los valores experimentales
- Encontrar la forma de las líneas equipotenciales y las líneas de campo eléctrico para distintas configuraciones de electrodos.

2. MODELO TEÓRICO

Toda carga puntual q crea en el espacio que la rodea un campo vectorial eléctrico $\vec{E}(\vec{r})$ que depende de la magnitud de la carga q y es función de la distancia r del punto en consideración a la carga. De acuerdo con la ley de Coulomb, $\vec{E}(\vec{r})$ está dado por la expresión:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

Así mismo crea un campo escalar llamado potencial eléctrico, que nos define el trabajo por unidad de carga necesario para traer una carga de prueba q_0 desde el infinito hasta una distancia r de la carga que crea el campo y está dado por la expresión:

$$V(\vec{r}) = \frac{W_{\infty \rightarrow r}}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad (2)$$

donde hemos asumido que en $r \rightarrow \infty$, $V=0$; ϵ_0 es la permitividad eléctrica del vacío = $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$. En el caso de una distribución de cargas puntuales, el potencial eléctrico en un punto P es la suma algebraica de los potenciales creado por cada una de las cargas:

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|} \quad (3)$$

Si la distribución de carga es continua, donde se puede definir la densidad volumétrica de carga ρ , el potencial viene dado por la expresión:

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho(\vec{r}')d^3\vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \quad (4)$$

A partir de esta expresión se puede calcular el potencial en cualquier punto r de diferentes configuraciones de carga, tales como una línea infinita de carga, plano infinito con densidad superficial de carga, etc. **REALIZAR TAREA PREPARACIÓN.**

Una conclusión importante del campo electrostático es que a lo largo de una línea equipotencial (todos aquellos puntos geométricos que están al mismo valor de potencial) no hay componente de campo eléctrico, así que las líneas de campo eléctrico son perpendiculares a las equipotenciales en todo punto. La superficie de un material conductor es siempre una superficie equipotencial. Una lámina conductora puede ser cargada positiva o negativamente según la conectemos al borne positivo o negativo de una **fuentes de poder**. El conductor así cargado es un electrodo. Entre dos electrodos con carga de signos opuestos se

4. EL POTENCIAL ELECTROSTÁTICO

establece entonces una diferencia de potencial y se crea un campo eléctrico entre ellos. La forma y distribución espacial de las líneas de campo eléctrico depende de la forma y posición relativa de los electrodos. Así en su libro de texto o en la bibliografía dada, Ud. encontrará la configuración de líneas de campo eléctrico y líneas equipotenciales de dos cargas puntuales de signo diferente; de dos líneas paralelas y de dos placas plano paralelas de carga con signos opuestos.

El potencial a una distancia r de una carga puntual q (asumida positiva) está dado por la expresión:

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad (5)$$

En donde el potencial es cero en el infinito.

El potencial a una distancia r perpendicular a una línea infinita de carga con densidad lineal de carga λ está dado por la expresión:

$$V(r) = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{a}{r} \text{ donde } V(r = a) = 0 \quad (6)$$

El potencial para un plano infinito con densidad superficial de carga σ a una distancia r perpendicular al plano está dado por la expresión:

$$V(r) = V_0 - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} r = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (a - r) \quad (7)$$

$$\text{donde } V(r = a) = 0; V_0 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} a$$

Si asumimos que tenemos dos distribuciones de carga de signo opuesto, el potencial en todo punto a lo largo de la línea (de simetría) que une las dos distribuciones de carga es la suma algebraica de los potenciales creados por cada distribución de carga. Así entonces consideremos el potencial en todo punto r a lo largo de la línea que une dos cargas puntuales de signo opuesto separadas una distancia d , asumiendo que el origen de coordenadas está sobre una de las cargas, está dado por la expresión:

$$V(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{d-r} - \frac{1}{r} \right) \quad (8)$$

El potencial debido a dos líneas paralelas de carga separada una distancia perpendicular d , con densidad lineal de carga λ pero de signo opuesto, a una distancia r a lo largo de la línea perpendicular que las une, asumiendo que la longitud de las misma es infinita y colocamos el origen de coordenadas en un punto sobre una línea de carga, está dado por la expresión:

$$V(r) = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r}{d-r} \text{ con } V\left(r = \frac{d}{2}\right) = 0 \quad (9)$$

El potencial debido a dos planos paralelas de carga con densidad superficial de carga σ pero de signo opuesto a una distancia r a lo largo de la línea perpendicular que las une,

GUIA DE PRACTICAS DE ELECTROMAGNETISMO

asumiendo que los planos son infinitos y que colocamos el origen de coordenadas en un punto sobre plano de carga, está dado por la expresión:

$$V(r) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(r - \frac{d}{2} \right) \text{ con } V \left(r = \frac{d}{2} \right) = 0 \quad (10)$$

La idea esencial de esta práctica consiste en medir el potencial eléctrico entre dos electrodos cargados, uno con carga positiva y otro con carga negativa, en todo punto r a lo largo de una línea de simetría. Los electrodos pueden tener diferentes formas pero vamos a usar dos electrodos puntuales y dos electrodos en forma de línea. Los valores experimentales medidos, graficados como V en función de r , son ajustados a la expresión que nos da el modelo teórico del potencial eléctrico entre dos distribuciones de carga de signo opuesto, según la forma de los electrodos: expresiones (9), (10) y (11)

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 Materiales y Equipo

1. Fuente de potencial DC. Se trabajará en la escala de 6V, hasta 10 A.
2. Voltímetro $0 \rightarrow 10 \text{ V}_{\text{DC}}$
3. Cables de Conexión: 2 de 50 cm negro; 2 de 50cm rojo, 2 caimanas.
4. Cubeta de medición: consta de un papel carbón con electrodos de plata dibujados sobre el papel, de diferentes formas.
5. Computador con programa gráfico

3.2 Método Experimental

Usted va a medir diferencia de potenciales entre dos electrodos cargados uno positiva y otro negativamente y encontrar la dependencia del potencial eléctrico con la posición a lo largo de una línea imaginaria de alta simetría que una los electrodos. El valor del potencial eléctrico en cada posición lo mide con un voltímetro. Usted debe comparar los valores experimentales que el voltímetro mide con los calculados teóricamente. Para el cálculo teórico hay dos posibilidades:

- 1) el detector (el voltímetro) ve los electrodos tal como los vemos nosotros sobre el plano de medida donde se encuentran los electrodos; es decir, ve dos cargas puntuales, o dos líneas de carga, según la geometría que usted encuentra sobre la mesa.
- 2) el detector ve electrodos que ocupan un volumen, esto es, se extienden a distancia infinitas en el plano perpendicular al de medida. Esto porque el plano de medida que es conductor, afecta la isotropía del espacio. Ejemplo: si los electrodos son los puntos también puede asumir que son dos líneas infinitas de carga que cortan perpendicularmente al plano de medida. En el caso de que la configuración de electrodos sea el de dos líneas paralelas, Usted también puede asumir que son dos placas plano paralelas que cortan perpendicularmente al plano de medida.

En la segunda parte del experimento Ud. debe planear el experimento de tal forma que tenga los valores de potencial para el suficiente número de puntos que luego le permitan dibujar una línea equipotencial, es decir todos los puntos geométricos que están a un mismo valor de potencial. Debe dibujar el número de equipotenciales

suficiente que luego le permitan dibujar las líneas de campo eléctrico. Es recomendable que calque sobre papel (en tamaño real) los electrodos y las líneas equipotenciales para cada configuración.

3.3 Montaje

1. El montaje consiste de un medio conductor, en este caso es el papel carbón; en donde se dibujan los electrodos con una tintura de un material metálico, normalmente plata, completamente conductor.
2. **Pida a su profesor la(s) configuración (es) de electrodos que Ud. debe investigar.** Conecte los electrodos a la fuente de potencial, salida de 6V (o el valor que el (la) profesor(a) le indique), como se esquematiza en la figura 2.1.
3. Conecte el borne negativo del voltímetro al borne negativo de la fuente de poder ó al electrodo negativo.
4. El borne positivo del voltímetro o punta de prueba, se lleva a los diferentes puntos marcados en la región entre electrodos y mide el valor del potencial con respecto al borne negativo, **el cual se asume a potencial cero.**

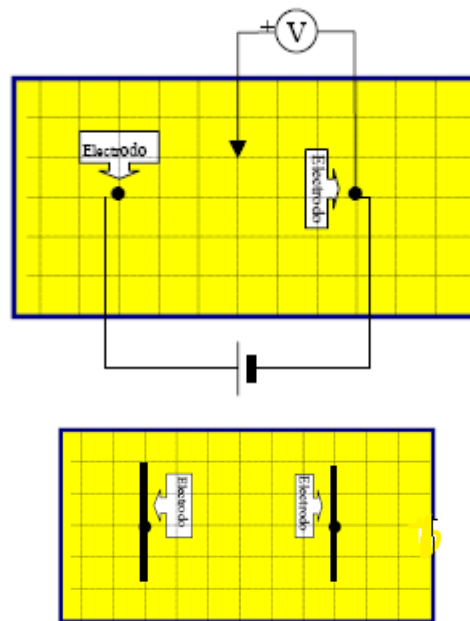


Fig. 2.1. Disposición de los elementos en forma esquemática.

3.4 Precauciones

Evite tocar con sus dedos a su mano el papel carbón conductor, pues la grasa crea una capa aislante. Evite perforar el papel conductor de carbón con la punta del voltímetro. Al hacer cada medida, intente hacer siempre la misma presión y con la punta totalmente vertical. .

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4. 1. Potencial eléctrico entre electrodos:

1. Para una de las configuraciones de electrodos (*pida a su profesor la otra configuración que Ud. debe investigar*) Ud. va a medir potencial eléctrico para diferentes posiciones, así que *necesita elegir un origen de coordenadas*. Conecte los electrodos y voltímetro de acuerdo con los pasos 3.3.2 y 3.3.3. Mida cuidadosamente el valor del potencial V para diferentes posiciones r a lo largo de la línea geométrica perpendicular que une los electrodos; debe tomar datos por lo menos cada media división de las marcas dibujadas sobre el papel. Lleve sus datos V_{exp} y r a la tabla-2.1. Especifique el origen de coordenadas escogido por Ud.

4. 2. Líneas equipotenciales

1. Con la fuente de poder encendida, ponga la punta de prueba (ó terminal de grafito) en el electrodo positivo de su configuración y registre el valor del potencial leído. Ahora con la punta de prueba puede medir el potencial para todas las marcas indicadas en la región entre y alrededor de los electrodos en estudio. Dibuje a escala en la hoja de papel adjunta los electrodos y lleve allí sus datos.
2. Repita el programa de medición para otras dos configuraciones de electrodos, *según lo indique el profesor*

5. ANÁLISIS Y CÁLCULOS:

Usted debe enfocar su análisis hacia el logro del objetivo del experimento, análisis de error y dé respuesta a las preguntas.

5. 1. Potencial eléctrico entre electrodos:

1. Usted va a usar las expresiones (8), (9), (10) para calcular V para cada r medido por usted. Hay magnitudes que no cambian y que tampoco se conocen, entonces actúan como factor de escala. Para la configuración de electrodos utilizada por Usted en el paso 4.1, encuentre las dos expresiones que va a usar para calcular el valor teórico; si el sensor ve los electrodos en el plano (modelo 1: M1) o si ve los electrodos en el volumen (modelo 2: M2).
2. Para la ecuación que ve los electrodos en el plano calcule el valor respectivo V_{M1} para cada posición R . Lleve sus cálculos teóricos a la columna respectiva de la Tabla 2. Note que en este *cálculo en algún punto entre los dos electrodos el valor del potencial es cero*.
3. Observe que sus datos experimentales de la Tabla 1 varían entre 0 y 6 voltios (o el valor asignado por el profesor); mientras que sus datos teóricos (Tabla 2) varían entre un valor negativo y uno positivo pasando por cero para un punto dado R , normalmente el equidistante de los dos electrodos. Si usted grafica en un mismo sistema de ejes esas dos columnas, los datos no coinciden. Con el fin de poder comparar sus cálculos teóricos con los valores experimentales, usted debe hacer coincidir los datos teóricos y los experimentales en un mismo rango de valores y por lo menos que coincidan en un punto; en este caso hacer el potencial cero para un mismo valor de R .

4. EL POTENCIAL ELECTROSTÁTICO

4. Aquí es muy importante normalizar a **uno** sus datos calculados, es decir, divide todos los datos de la columna V_M por el valor máximo y lleva ese nuevo valor a la columna V_{NM1} . Así el potencial calculado varía entre +1 y -1. Verifique que eso se cumple.
5. Usted debe primero hacer coincidir el valor cero del potencial de sus datos experimentales con el cero de los datos teóricos. y para que el rango de valores sea el mismo, entonces debe normalizar a uno los datos experimentales. De sus datos en la columna V_{exp} en la Tabla 1 reste a todos los datos el valor numérico de V para la coordenada R en donde $V_{NM1}=0$. Lleve los datos a la columna $V_{exp}-V_0$. Verifique que para el mismo valor de R sus datos experimentales y los teóricos son cero.
6. *Normalice los valores de V_{exp} a uno*; esto es, divida cada valor de la columna $V_{exp}-V_0$ por el máximo. Lleve sus datos a la columna V_{Nexp} . Verifique que sus datos varían entre aproximadamente -1 y +1 (son valores medidos así que no es exacto +1 o -1).
7. Para la ecuación que ve los electrodos en el volumen (la llamamos modelo 2 M2) calcule el valor respectivo V_{M2} para cada posición R . Lleve sus cálculos teóricos a la columna respectiva de la Tabla 2. Debe también normalizar a **uno** sus datos calculados, es decir, divide todos los datos de la columna V_{M2} por el valor máximo y lleva ese nuevo valor a la columna V_{NM2} . Note que **en algún punto entre los dos electrodos el valor del potencial es cero**. Verifique que el potencial normalizado calculado varía entre +1 y -1.
6. En un mismo sistema de ejes grafique como función de R , V_{Nexp} de sus datos en la Tabla 1, V_{NM1} y V_{NM2} de la Tabla 2.
7. Analice el resultado obtenido, indique cuál de los dos modelos se ajusta mejor a los datos experimentales. Explique físicamente el porqué un modelo coincide mientras el otro no.

5. 2. Líneas equipotenciales:

- 1 De la configuración de electrodos en investigación, encuentre las líneas equipotenciales (por lo menos 5). A partir de las líneas equipotenciales encontradas por Ud., dibuje las líneas de campo eléctrico. ¿Están de acuerdo con lo esperado teóricamente? Analice el acuerdo o desacuerdo de acuerdo con el método de medida y con la validez de la teoría.
2. ¿En este experimento se detectaron líneas o superficies equipotenciales?; ¿Por qué?
3. ¿Podremos determinar experimentalmente las líneas equipotenciales de las placas plano-paralelas en el espacio vacío? Enfoque su respuesta a explicar la necesidad de un medio conductor entre electrodos (papel carbón conductor).

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- [1] **Física Tomo II**, R. A. Serway, cap. 28, 3^{ra} edición. Editorial Mc. Graw Hill.
- [2] **Física**, Paul A Tipler, 4^a edición W.H. Freeman and co.

4. EL POTENCIAL ELECTROSTÁTICO

TABLA DE DATOS

Fecha: _____

Profesor: _____

Práctica: _____

Asistente: _____

Estudiantes: _____

Código _____ Plan _____

TABLA 1 Datos Experimentales

CONFIGURACIÓN: _____			
R (cm)	V_{exp} (V)	$V_{\text{exp}} - V_0$	$V_{N\text{exp}}$

Cálculos:

4. EL POTENCIAL ELECTROSTÁTICO

Tabla 2.2: Datos Teóricos.

MODELO 1: Ve el plano Factor de escala: _____			MODELO 2: Ve el volumen Factor de escala: _____	
R (cm)	V_{M1}	V_{NM1}	V_{M2}	V_{NM2}

Expresiones usadas y cálculos:

LINEAS EQUIPOTENCIALES

