

# Repartido N° 1 CAMPO Y POTENCIAL ELÉCTRICO

**1.- INTRODUCCIÓN** En esta práctica realizaremos un estudio experimental de líneas equipotenciales y del campo eléctrico generado por electrodos de diversas geometrías. Para poder determinar el campo eléctrico en una determinada región del espacio, vamos a medir la diferencia de potencial en dicha región respecto a una referencia fija, denominada "tierra". De esta manera se puede determinar cuales puntos tienen el mismo potencial eléctrico. En nuestra experiencia vamos a estudiar el potencial sobre un plano bidimensional. Uniendo los puntos del mismo potencial en el plano obtenemos curvas denominadas "equipotenciales". Este proceso se denomina "mapeo de potenciales". Una vez realizado el mapeo de un buen número de equipotenciales próximas, se podrá calcular una aproximación al campo eléctrico y visualizar las variaciones del campo en el espacio.

**2.- RESEÑA BIOGRÁFICA: Henry Cavendish** - Físico y químico británico, nació en Niza el 10 de octubre de 1731 y falleció en Londres el 24 de febrero de 1810. Se educó en Cambridge, y si bien pasó cuatro años en la universidad, no obtuvo ningún título universitario, pues era incapaz de enfrentarse a los profesores durante los exámenes. Durante toda su vida tuvo la misma dificultad de relacionarse con las personas, tímido y distraído casi nunca hablaba, jamás intercambiaba palabras con más de una persona a la vez, y de hacerlo sólo lo hacía por necesidad y por supuesto nunca con una mujer, a las que temía hasta el punto de no poder mirarlas. Para pedir la cena, o cualquier otra orden, siempre lo hacía por escrito, para no tener que enfrentarse con las sirvientas. Hizo construir una puerta en su casa por la que él solo entraba y salía. De familia noble no tuvo dificultades económicas. Heredó una fortuna de más de un millón de libras, lo que lo transformó en una de las personas más ricas del momento, aunque no le prestó ninguna atención. A su muerte la fortuna estaba intacta. Si bien pasó casi 60 años investigando, nunca se preocupó de publicar o que le acreditaran sus descubrimientos, sólo lo hacía para satisfacer su curiosidad. Por esa razón permanecieron desconocidos hasta que un siglo más tarde Maxwell publicó sus anotaciones.



Sus experimentos con electricidad entre 1770-1780 anticiparon la mayor parte de lo que se había de descubrir en los cincuenta años siguientes. Formuló en 1772 (trece años antes Coulomb) la ley de interacción entre cargas eléctricas e introdujo el concepto de potencial eléctrico. Gracias a este concepto introducido por Cavendish podemos desarrollar esta práctica en la que encontraremos superficies equipotenciales (es decir superficies que están al mismo potencial eléctrico) para distintas configuraciones. Experimentó con capacitores y descubrió el efecto de los dieléctricos sobre la capacidad y con corrientes eléctricas: la ley hoy llamada de Ohm fue descubierta por él casi 50 años antes. Cavendish medía la intensidad de corriente de una forma muy particular y directa: él mismo recibía la descarga, la magnitud la estimaba en función del daño que le originaba, extremo al cual no pensamos llegar, ya que utilizaremos instrumentos de medición (a menos que nos falten los instrumentos necesarios). A través de una balanza de torsión determinó el valor de la constante G, y luego pudo determinar la masa terrestre, por lo tanto se le atribuye haber sido el primero en "pesar" la Tierra. Calculó que la densidad de la Tierra era 5,45 veces mayor que la densidad del agua, un cálculo muy cercano a la relación establecida por las técnicas modernas (5,268 veces, lo que representa un error relativo de 1,4%). También determinó la densidad de la atmósfera y su composición, descubriendo el argón un siglo antes que Ramsey. Trabajó con los calores específicos de las sustancias y determinó diversas densidades de gases. En química descubrió el hidrógeno, y que el agua no es un elemento, determinando su composición, y además la del ácido nítrico.

## 3.- FUNDAMENTO TEÓRICO.

El **campo eléctrico E**, en un punto del espacio determinado por el vector posición  $\mathbf{r} = x \mathbf{i} + y \mathbf{j} + z \mathbf{k}$  se define como la fuerza eléctrica por unidad de carga que actuaría sobre una carga de prueba  $q_0$  si fuera puesta en el punto  $\mathbf{r}$  (sin que se muevan las demás cargas):

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{F}/q_0 \quad (1)$$

Ahora consideramos campos estáticos producidos por una distribución de carga constante en el tiempo. Cuando una carga  $q$  se coloca en un campo  $\mathbf{E}$ , la fuerza eléctrica sobre la carga es  $q\mathbf{E}$ . Esta fuerza total debido a la distribución de cargas es igual la suma de las fuerzas

individuales ejercidas por las cargas que crean el campo  $E$  (principio de superposición). Como la distribución de cargas es constante en el tiempo la fuerza que ejerce cada carga está dada por la ley de Coulomb.

Podemos concluir que la fuerza  $q\mathbf{E}$  es conservativa, ya que las fuerzas coulombianas son conservativas.

Consideremos que la carga  $q$  se desplaza desde un punto  $A$  a otro  $B$  por una curva en el espacio donde existe un campo eléctrico  $\mathbf{E}$ . Para un desplazamiento infinitesimal  $d\mathbf{s}$ , el diferencial de trabajo  $dW$  realizado por el campo eléctrico  $\mathbf{E}$ , para desplazar a la carga  $q$ , está dado por

$$dW = q \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}.$$

Para un desplazamiento finito de la carga entre los puntos  $A$  y  $B$ , el trabajo está dado por:

$$W = q \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \quad (2)$$

El integral se toma a lo largo de una curva que extiende desde  $A$  hasta  $B$ . Pero resulta que el valor de la integral no depende de cual curva entre  $A$  y  $B$  se usa. Solo depende de  $A$  y de  $B$ . (Se dice entonces que "la fuerza eléctrica  $q\mathbf{E}$  es conservativa".)

Esto nos permite definir la energía potencial  $U(\mathbf{r})$  del campo eléctrico estático, que es una función de la posición  $\mathbf{r}$  de la carga. Elijimos un punto de referencia  $Z$  en el espacio, entonces, para todo  $\mathbf{r}$ ,  $U(\mathbf{r})$  es el trabajo que hace el campo eléctrico cuando la carga va desde el punto  $\mathbf{r}$  hasta  $Z$ . (A menudo se toma un punto infinitamente alejado del sistema como la referencia  $Z$ , pero esta elección no conviene siempre.) Con esta definición

$$W = -[U(B) - U(A)]$$

y

$$dU = -q \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

se tiene  $V=U/q$  es el potencial **eléctrico**, es decir que representa la energía potencial electrostática por unidad de carga

. El cambio de potencial asociado con un desplazamiento infinitesimal  $d\mathbf{s}$  es:

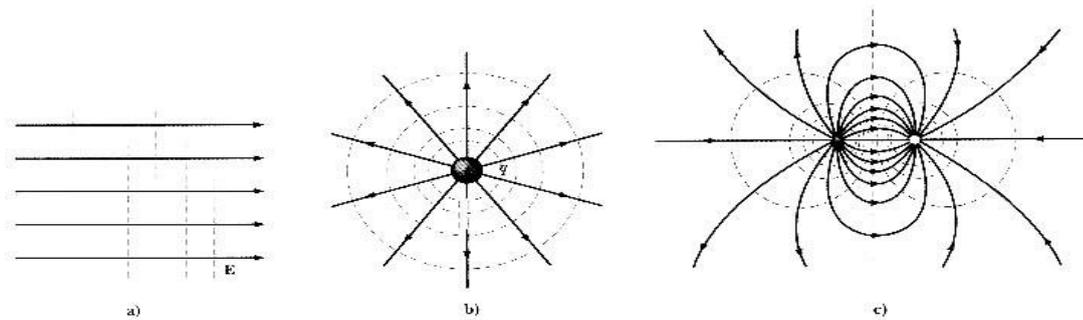
$$dV(\mathbf{r}) = -\mathbf{E}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{s} \quad (3)$$

La diferencia de potencial entre  $A$  y  $B$  está dada por

$$\Delta V = V_B - V_A = \frac{\Delta U}{q} = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

La unidad en el sistema SI (Sistema Internacional) del potencial electrostático es el **Volt** (V), que es equivalente a 1 joule/coulomb.

Finalmente, vamos a definir el concepto de **superficie equipotencial**: es toda superficie sobre la cual el potencial eléctrico permanece constante. Por tanto, la diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera de la misma es cero. Dichas superficies proporcionan un modo de visualizar el campo. En la figura 1 podemos observar algunos ejemplos donde se muestra la intersección de las superficies equipotenciales con un plano, definiendo lo que se denomina curvas equipotenciales.



**Figura 1**--Campo eléctrico uniforme producido por a)una lámina infinita de carga, b) una carga puntual y c) un dipolo eléctrico. Las superficies equipotenciales siempre son perpendiculares a las líneas de campo eléctrico.

Si el campo  $\mathbf{E}$  tiene una sola componente,  $E_x$ , entonces  $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = E_x dx$ , por lo que la ecuación (3) implica que

$$E_x = -\frac{dV}{dx}$$

En general, el potencial eléctrico es una función de tres coordenadas espaciales. Si  $V(\mathbf{r})$  está dado en términos de coordenadas rectangulares, las componentes del campo eléctrico  $E_x$ ,  $E_y$  y  $E_z$ , pueden calcularse a partir de  $V(x,y,z)$  como:

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \qquad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} \qquad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z} \qquad (4)$$

lo que se puede resumir utilizando el operador diferencial gradiente como

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = -\nabla V(\mathbf{r}). \qquad (5)$$

El campo eléctrico es perpendicular a las equipotenciales: A lo largo de una curva sobre una equipotencial  $V$  es constante. Así también  $U$  lo es, y por lo tanto  $dW = 0$  en cada incremento de la curva. Pero  $dW = q\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$ , entonces  $\mathbf{E}$  debe ser perpendicular a  $d\mathbf{s}$ , es decir, a la curva. Esto vale para cualquier curva sobre el equipotencial, entonces  $\mathbf{E}$  debe ser normal al equipotencial. Esto puede observarse en la figura 1 en la que también se representan las líneas del campo. (Vale notar que el anterior argumento también muestra que la proyección de  $\mathbf{E}$  en un plano en el espacio es perpendicular a las curvas equipotenciales que son las intersecciones de las superficies equipotenciales con el plano.)

De la ecuación  $dV(\mathbf{r}) = -\mathbf{E}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{s}$  se desprende que  $\mathbf{E}$  apunta en el sentido de potencial decreciente.

El **módulo del campo eléctrico** puede ser hallado aproximadamente de la siguiente formula

$$E_{aprox} = \Delta V / \Delta s \qquad (6)$$

siendo  $\Delta V$  la diferencia de potencial entre dos superficies equipotenciales y  $\Delta s$  la separación entre las mismas, medida a lo largo de una recta que es más o menos perpendicular a ambas. (Generalmente no hay una recta que esta exactamente perpendicular a ambas.) *Nota que si usaríamos como  $\Delta s$  la separación entre las equipotenciales medidas a lo largo de una curva perpendicular a todos equipotenciales intermedias (es decir, una línea de campo) entonces la ecuación (6) da una expresión exacta para el promedio del módulo de  $\mathbf{E}$  a lo largo de la curva entre los equipotenciales.*

En el experimento determinaremos la diferencia de potencial, entre los diferentes puntos de medida y así poder trazar los equipotenciales. Con estos datos la fórmula (6) nos da el módulo de la proyección del campo en el plano.

#### **4.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Para la realización de esta práctica usaremos una pecera con agua, o cubeta electrolítica, en la que introduciremos los distintos electrodos (un electrodo plano A a la izquierda (cable negro), un electrodo B (cable rojo) sobre la derecha como se muestra en la figura 2) y el video.

La práctica no se realiza en condiciones electrostáticas (en que cargas no se mueven) pues hay corrientes fluyendo por el montaje. Esto no altera fundamentalmente la interpretación de los resultados. En condiciones estacionarias (corrientes y densidades de cargas constantes) el campo eléctrico está dado por la misma Ley de Coulomb como en condiciones electrostáticas.

Preferimos trabajar en régimen estacionario principalmente porque nos permite medir fácilmente la diferencia de potencial entre dos puntos. Nuestros multímetros miden diferencias de potencial.

Debajo de la cubeta está un papel milimétrico, la separación entre líneas es de 5mm, con el cual podremos leer las coordenadas de los puntos que están al mismo potencial.

##### **Procedimiento de montaje:**

El origen de coordenadas ( $x = 0$ ,  $y = 0$ ) se ubica en el centro de la cara derecha del conductor plano A, con el eje  $y$  paralelo a la cara del conductor A.

El polo negativo de la fuente de corriente continua se conectará al electrodo A y el polo positivo al electrodo en punta B.

La cubeta está llena con agua con profundidad entre 5 mm y 10 mm.

Uno de los terminales del voltímetro se fijará al electrodo A, y el restante se usa para medir los potenciales en los distintos puntos de la cubeta entre los electrodos A y B. [Por lo tanto los potenciales medidos están relativos al de conductor A. El potencial medido de A (fuera del agua) siempre va ser cero.

##### **Registro de medidas**

###### **A) Placas paralelas**

--Registre los valores de voltaje (DV) leídos en el multímetro y colóquelos en una tabla de X e Y. La incertidumbre en los valores de X e Y es de 1mm.

--Dibuje los equipotenciales. ¿Que se observa en los bordes de las placas? Comente

--Grafique los valores DV leídos en el multímetro en función de X para cada valor de Y. Comente estas gráficas.

--Calcule el valor del campo eléctrico  $E$  (V/M) y su incertidumbre para cada diferencia de potencial calculada. ¿Cuál es la dirección y sentido del campo  $E$ ? Calcule el promedio de  $E$  sobre los valores medidos para las diferentes Y.

###### **B) Pararrayos**

--Dibuje las equipotenciales de forma cualitativa. ¿Cuál será la dirección y sentido del campo eléctrico?

--Porque se le puede llamar a esta disposición de los electrodos "pararrayos".

## 5.- BIBLIOGRAFÍA

Serway, R. *Física (Tomo II)* (1996); 4ta. Edición; McGraw-Hill, México.  
Serway, R.; Faughn, J. (2001); 5ta. Edición; Pearson Educación, México.  
Kane, J.W. D; Sternheim, M. M. *Física*. 2º edición. Ed. Reverté.  
Asimov, I. (1987) *Enciclopedia Biográfica de Ciencia y Tecnología 1*, 2da. Edición; Alianza Editorial; Madrid.

### Fotos del montaje

