REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DEL TÁCHIRA
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA Y FÍSICA
NÚCLEO DE FÍSICA. LABORATORIO DE FÍSICA II

CAMPO ELÉCTRICO

Material elaborado por:
Prof. Efren Ontiveros C.

San Cristóbal Marzo de 2001

Precio de Venta: Bs.

CAMPO ELECTRICO.

A. OBJETIVOS

A.1 Establecer experimentalmente el espectro de equipotenciales para una carga punto y su respectivo espectro de líneas de campo o fuerza.

A.2 Determinar la variación del campo eléctrico y del potencial con relación a las coordenadas, obteniéndose de los datos, las ecuaciones que relacionan el potencial eléctrico y el campo eléctrico con la distancia radial, para una carga punto.

B. METODO

Para visualizar el espectro de equipotenciales, utilizaremos una cuba de 55cm x 35cm x 5cm en cuyo fondo se ha colocado un vidrio deslustrado con una red milimétrica para fijar los puntos a ensayar. Como electrolítico se utiliza agua corriente y los electrodos han sido construidos de acero inoxidable para evitar ser atacados por el paso de la corriente, pues de otro modo se podría producir perturbaciones en la marcha del campo. Los electrodos tienen forma de cilindro hueco plano (externo) y cilindro sólido plano (interno) respectivamente, colocados en forma concéntrica, tal como se muestra en la figura 1.

La diferencia de potencial aplicada entre los dos electrodos la tomaremos de un potenciómetro utilizado como divisor de tensión, alimentado con la red domiciliaria de 110V, 60Hz.

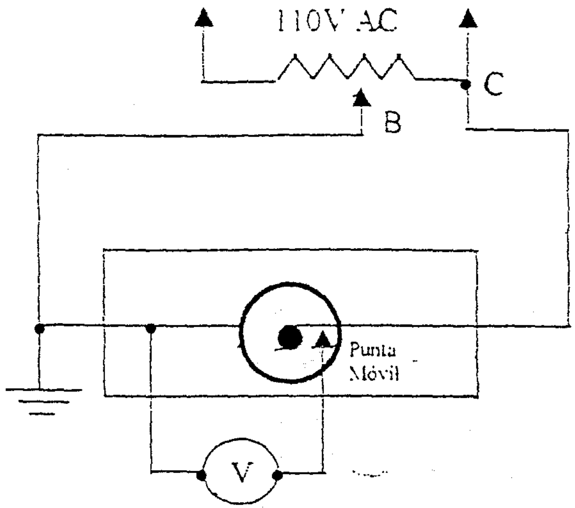


Figura 1.
Cuba electrolítica

Utilizando la punta móvil como probador de conducción se explora el potencial en cada punto del fluido determinándose así la "superficie" equipotencial. Cabe destacar que la distribución del campo encontrado de esta forma no se limita a resolver el problema de los conductores sumergidos en un medio conductor, sino que resuelve por otro lado el problema análogo de los mismos conductores cargados y sumergidos en un medio dieléctrico.

B. FUNDAMENTO TEÓRICO

C.1 CAMPO ELÉCTRICO. Decimos que existe un campo eléctrico en cualquier región del espacio si sobre una carga eléctrica se experimenta una fuerza de carácter eléctrico, por ejemplo en la región alrededor de un cuerpo cargado. La intensidad de campo eléctrico en un punto es definida en términos de la fuerza eléctrica **F** que sería

colocado en ese punto.

perturbe las cargas sobre los conductores o alteración de la polarización de dieléctricos en su vecindad. Asi pues. debemos pensar en la carga como un infinitesimal.

La fuerza neta sobre una carga de prueba $+q_0$ (ver figura 2) es la resultante de todas las fuerzas sobre $+q_0$ ejercidas por todas las cargas individuales o elementos de cargas en la vecindad. Por la Ley de Coulomb, cada una de estas fuerzas es proporcional a la magnitud de $+q_0$. Así, la fuerza resultante **F** tiene una magnitud proporcional a $+q_0$, y podemos escribir

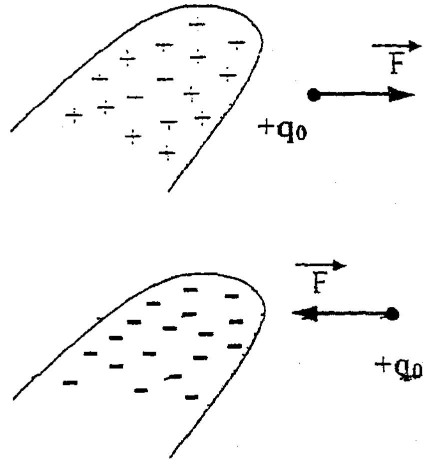


Figura 2.
Sentido de la fuerza producida por un campo eléctrico sobre $+q_0$.

$$\mathbf{F} = q_0\,\mathbf{E} \qquad (1)$$

En esta ecuación

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \qquad (2)$$

la fuerza por unidad de carga, es conocida como la intensidad del campo eléctrico. Por lo tanto, la intensidad del campo eléctrico **E** en un punto es un vector que tiene la misma dirección de la fuerza que se ejerce sobre una carga de prueba positiva colocada en ese punto y una magnitud igual a la magnitud de esta fuerza dividida por la magnitud de la carga de prueba, en el límite en el cual el tamaño de la carga de prueba se acerque a cero.

unidades fundamentales Kg. $ms^{-2}C^{-1}$. Más adelante se demostrará que también se puede expresar en Volts/metros (V/m).

El campo eléctrico, al igual que el campo gravitatorio, puede representarse por líneas de campo o líneas de fuerza. Ellas son líneas imaginarias tangentes en todos sus puntos al campo eléctrico. Puesto que, en general la dirección del campo varia de un punto a otro, las líneas de campo eléctrico son generalmente curvas. Por otro lado, se admite que se originan en una carga eléctrica positiva (fuente) y terminan en una carga eléctrica negativa (sumidero). Ellas son continuas salvo en sus fuentes y sumideros.

En cualquier punto de un campo eléctrico, dicho campo solo puede tener una dirección, un solo sentido y una misma intensidad de manera que por cada punto del campo sólo puede pasar una línea de fuerza. En otras palabras, las líneas de campo no se cortan jamás. La figura 3 es una línea de campo en el espacio.

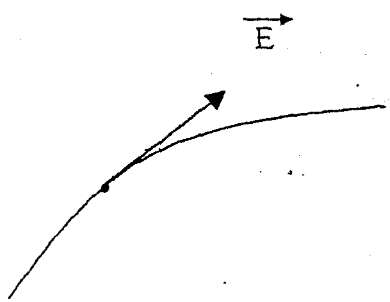
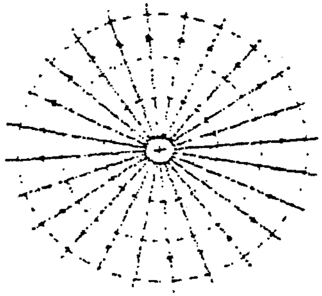
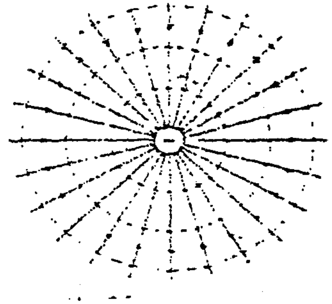


Figura 3.
Línea de campo en el espacio

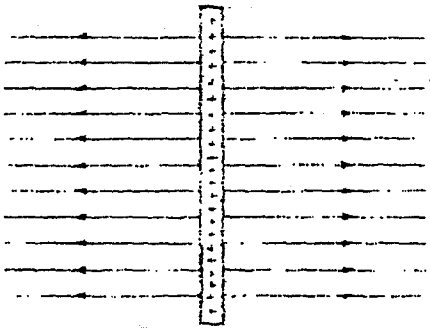
La figura 4 es una representación de los campos de algunos modelos



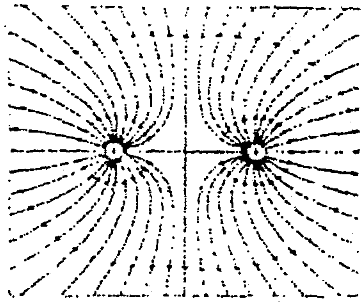
a) Carga positiva.



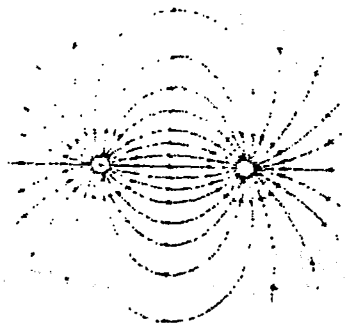
b) Carga negativa.



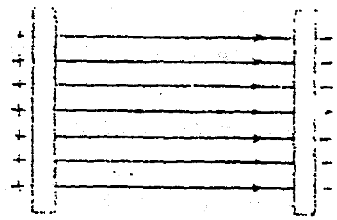
c) Plano infinitamente grande cargado positivamente.



d) Dos cargas de igual signo.



e) Dipolo eléctrico.



f) Dos placas paralelas con la misma densidad de carga y signo contrario.

Figura 4.

Analizaremos ligeramente dos modelos:

a) Uno que produzca un campo no uniforme como el de la figura 4 (a) o 4(b). Se observa en esta figura que el campo eléctrico **E** no es constante sino que disminuye al aumentar la distancia a la carga. Esto se pone de manifiesto en las lineas de campo, las cuales están mas separadas a mayores distancias. Además por simetria **E** es igual para todos lo puntos que están a una misma distancia del centro de la carga.

b) Uno que produzca un campo uniforme. En un campo uniforme las líneas de campo son paralelas y de densidad constante. Un plano infinito cargado con densidad uniforme de carga es un ejemplo de distribución que da origen a un campo uniforme, como puede verse por razones de simetria: realmente, una carga de prueba positiva abandonada en frente del plano se alejará de éste, y como no hay razón alguna para subir o bajar o irse hacia la derecha o hacia la izquierda, se alejará a lo largo de una linea perpendicular al plano, que es la dirección de la líneas de campo, como se aprecia en la figura 4(c).

C.2 POTENCIAL ELÉCTRICO. Supongamos que en un punto P (x,y,z) de un campo eléctrico existe una pequeña carga eléctrica q_o. En estas condiciones la carga constituye una reserva de energía. Esta energia es igual al trabajo positivo o negativo que debe se realizado para llevar la carga q_0 al punto P, en oposición a las interacciones del campo. Supongamos aqui, que la presencia de la carga q_o no altera la posición de otras cargas. Es claro que el trabajo dependerá del punto inicial donde se encontraba la carga q_0. Existe un punto inicial muy conveniente para el cálculo de este trabajo, este punto estará en el infinito, o para una mejor composición, en una posición tan alejada de la región del campo que las fuerzas de interacción sean cero. Adaptando este punto como inicial, se define el potencial eléctrico V(x,y,z) como el trabajo por unidad de carga que debe realizarse sobre un cuerpo cargado para llevarlo desde el infinito hasta el punto P(x,y,z) considerado, como se aprecia en la figura 5.

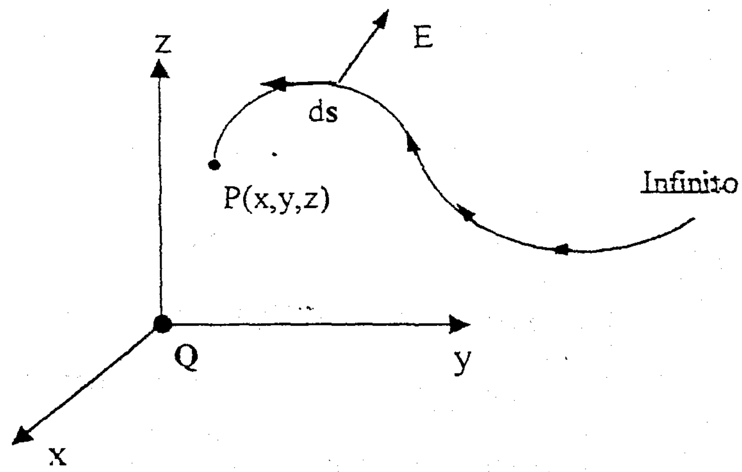


Figura 5. Trayectoria de q_o para determinar el potencial.

Matemáticamente:

$$V = \frac{W}{q_0} \tag{3}$$

El campo eléctrico **E** ejerce una fuerza q_0**E** sobre la carga de prueba. Para evitar que la carga se acelere, un agente externo debe aplicar una fuerza que sea exactamente igual a $-q_0$**E** para todas las posiciones de la carga de prueba. Si el agente externo hace que la carga se mueva recorriendo un desplazamiento ds a lo larga de la trayectoria, el elemento de trabajo desarrollado es dw = **F** • ds. Asi el trabajo total hecho por el agente externo al mover la carga desde el infinito hasta el punto P(x,y,z) es :

$$W = \int_{\infty}^{P} \mathbf{F} \bullet d\mathbf{s} = -q_0 \int_{\infty}^{P} \mathbf{E} \bullet d\mathbf{s} \qquad (4)$$

sustituyendo ecuación (3) en ecuación (4) se tiene

$$V(x,y,z) = -\int_{\infty}^{P} \mathbf{E} \bullet d\mathbf{s} \qquad (5)$$

la cual representa una integral de línea de la intensidad del campo eléctrico a lo largo de cualquier trayectoria desde el infinito hasta el punto P, la integral es independiente de la trayectoria elegida.

La relación (5) nos permite calcular el potencial V en cualquier punto si se conoce E en diversos puntos del campo.

Cabe destacar que el trabajo realizado para llevar la carga q_0 desde el infinito hasta el punto P no depende de la trayectoria seguida por la carga, pues las fuerzas electrostáticas son conservativas, es decir, que el trabajo que realiza el agente externo puede ser recuperado si se deja en libertad la carga q_0. Si el potencial en P dependiera de la trayectoria, dicho punto no tendría un potencial eléctrico único y el concepto de potencial sería de utilidad restringida.

C.3 DIFERENCIA DE POTENCIAL. Para determinar la diferencia de potencial entre dos puntos A y B en un campo eléctrico, ver figura 6, movemos la carga de prueba q_0 entre A y B, conservándola siempre en equilibrio y medimos el trabajo W_{AB} que debe realizar el agente que mueve la carga.

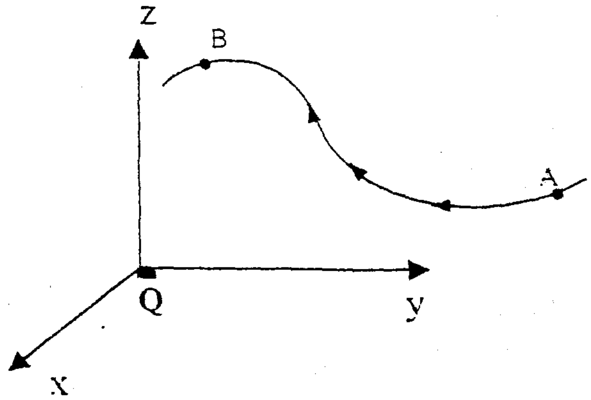


Figura 6.

La diferencia de potencial de define como:

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} = -\int_A^B \mathbf{E} \bullet ds \qquad (6)$$

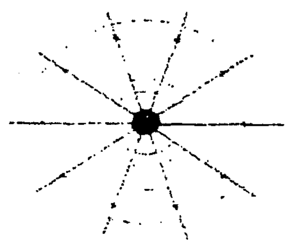
El trabajo puede ser positivo, negativo o nulo. En estos casos, el potencial eléctrico en B será mayor, menor o igual que el potencial en A.

Fundamentalmente, lo que interesa es la diferencia de potencial. En el apartado anterior, el punto A se tomó como referencia en el infinito y se le asignó el valor de cero. En muchos problemas de circuitos se toma la "tierra" como referencia de potencial y se le asigna el valor cero.

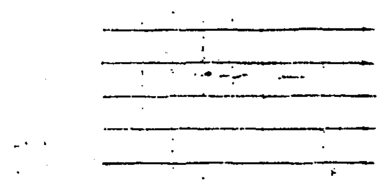
Como la diferencia de potencial es una medida de a energía por unidad de carga, así las unidades de potencial son Joules por Coulombs, la cual se define como una unidad llamada Volt (V).

$$1\ V = 1\ Joul/\ Coulomb = 1\ J/C. \qquad (7)$$

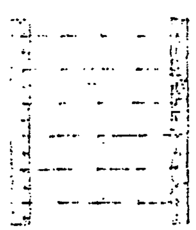
C.4 DIFERENCIA DE POTENCIAL. El nombre de superficie equipotencial se da a cualquier superficie que contiene una distribución continua de puntos que tienen un mismos potencial. En cada punto de una superficie equipotencial la dirección del campo eléctrico es perpendicular a la superficie, ya que según la ecuación (6), el trabajo realizado por la fuerza eléctrica es cero cuando una carga se mueve sobre una superficie equipotencial. Esto es, las líneas de campo eléctrico son ortogonales a las superficies equipotenciales. La figura 7 muestra las superficies equipotenciales y las líneas de campo para algunas distribuciones de cargas.



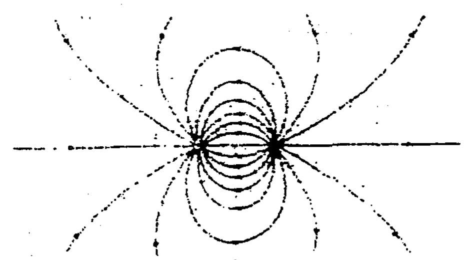
a) Carga puntual.



b)Campo eléctrico uniforme producido por una lámina infinita cargada.



c) Dos láminas paralelas con cargas iguales y opuestas.



d) Cargas iguales y opuestas (dipolo eléctrico).

Figura 7.
Superficies equipotenciales (líneas punteadas) y líneas de campo eléctrico (líneas continuas) de algunas distribuciones de carga.

C.5 RELACIÓN ENTRE EL POTENCIAL ELÉCTRICO V(X,Y,Z) Y EL CAMPO ELÉCTRICO E. Consideremos dos puntos próximos P_1 y P_2 en un campo electrostático, tal como se aprecia en la figura 8. Los potenciales entre los puntos son:

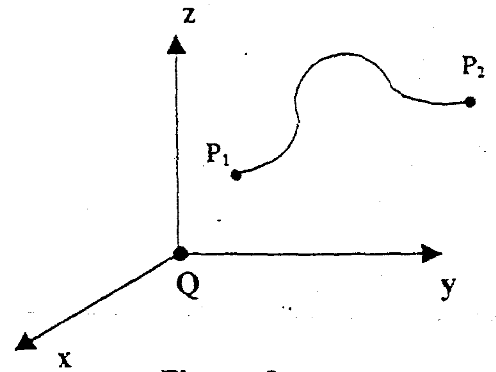


Figura 8.

$$V(P_1) = -\int_{\infty}^{P_1} \mathbf{E} \bullet ds \quad y \quad V(P_2) = -\int_{\infty}^{P_2} \mathbf{E} \bullet ds \qquad (8)$$

La diferencia de potencial entre ellos será

$$V(P_1) - V(P_2) = -\int_{\infty}^{P_1} \mathbf{E} \bullet ds + \int_{\infty}^{P_2} \mathbf{E} \bullet ds = -\int_{P_2}^{P_1} \mathbf{E} \bullet ds \qquad (9)$$

Si los puntos P_1 y P_2 fuesen ahora $P(x,y,z)$ y $P(x + dx, y + dy, z + dz)$ de modo que la distancia entre ellos corresponda a un desplazamiento infinitesimal ds

$$ds = (dx, dy, dz) \qquad (10)$$

entonces

$$dV = - \mathbf{E} \bullet ds = - (E_x dx, E_y dy, E_z dz,) \qquad (11)$$

Por otro lado se ha dicho, que la diferencia de potencial entre dos puntos P_1 y P_2 depende solamente de dichos puntos y es independiente de la trayectoria, esto equivale a decir que existe una función potencial $V(x,y,z)$ de modo que

$$V = -\int_{P_1}^{P_2} \mathbf{E} \bullet ds = -\int_{V(P_2)}^{V(P_1)} dV = V(P_1) - V(P_2) \tag{12}$$

y para que esto suceda es necesario que $dV = -\mathbf{E} \bullet ds$ sea diferencia exacta, es decir, que

$$dV = \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz \tag{13}$$

luego

$$\frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz = -(E_x\, dx, E_y\, dy, E_z\, dz)$$

y para que esta relación sea siempre válida es necesario que

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z} \tag{14}$$

Escribiendo estas tres relaciones en forma vectorial

$$\mathbf{E} = -\frac{\partial V}{ds} = -\,\mathrm{grad}V = -\nabla V \tag{15}$$

donde grad $V = \nabla V$, se define como el vector

$$\nabla V = \left(\frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial x} \right) \tag{16}$$

El signo negativo en (15) muestra pues que el campo eléctrico apunta en la dirección en que disminuye el potencial eléctrico. Por tanto, el campo eléctrico es igual al negativo de la derivada direccional o gradiente del potencial eléctrico, relación similar al campo gravitatorio.

La ecuación (15) indica que el campo eléctrico se puede expresar también en Volts/metro, unidad equivalente a Newton/Coulomb como se dijo antes, viéndolo de la forma siguiente:

$$\frac{\text{Volt}}{\text{metro}} = \frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb metro}} = \frac{\text{Newton metro}}{\text{Coulomb metro}} = \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}}$$

D. EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO

Cuba electrolítica, dos sondas, reóstato de 600 Ω 1.5 A, voltímetro digital, puntas de prueba para el voltímetro, una de las cuales debe terminar en punta aguda y cables para conexiones.

E. PROCEDIMIENTO

E.1 EXPERIMENTAL

~~E.1.1 Verifique la cuba coincida con la descripción dada.~~

E.1.2 Realice el montaje de la figura 1, de la siguiente forma:

E.1.2.1 Conecte los cables a los extremos fijos del potenciómetro para alimentarlo con 110 V de la red (no conecte los cables a la red hasta que el instructor lo autorice), como se indica en la figura 9.

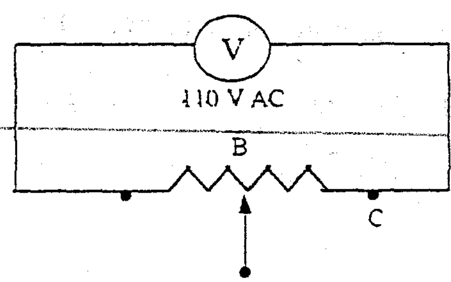


Figura 9.
Potenciómetro conectado a la red de 110 V AC.

E.1.2.2 Conecte a través de un cable el unto C del potenciómetro con el electrodo interno y con otro cable conecte el punto B con el electrodo externo. El contacto para estos electrodos se hace por medio de dos sondas.

E.1.2.3 Prepare el multimetro para trabajar con voltimetro AC.

E.1.2.4 Conecte el cable común del voltímetro (negro) al electrodo externo, así se medirán todos los potenciales en relación a este punto, designado como tierra. El otro cable del voltímetro terminado en punta, servirá para medir los diferentes potenciales que se indiquen (punto móvil).

E.1.3 Llene con agua corriente la región comprendida entre ambos electrodos.

E.1.4 Espere la autorización del instructor y conecte el cable de alimentación a la red de 110V AC.

E.1.5 Mueva la punta móvil del voltímetro y colóquela sobre el electrodo interno, luego mueva el cursor B del potenciómetro hasta que el voltímetro indique 60V.

E.1.6 Mueva el punto móvil y toque diferentes puntos del electrodo interno ¿Cambia el valor del voltaje sobre el electrodo interno al tocar los diferentes puntos del mismo? Razone su respuesta.

E.1.7 Haga lo mismo que en E.1.6 pero para el electrodo externo.

E.1.8 Mida el radio promedio del electrodo interno y el radio interno promedio del electrodo externo. Anótelos.

E.1.9 Familiarícese con la hoja de datos siguientes, donde anotará los valores de las medidas: V_1 es el voltaje de la primera superficie equipotencial y (x_1, y_1) son las coordenadas de los puntos que poseen 35V y así sucesivamente hasta llegar a la superficie equipotencial N° 7 (V_7 = 5V) con los puntos de coordenadas (x_7, y_7).

TABLA I

$V_1 = 35V$		$V_2 = 30V$		$V_3 = 25V$		$V_4 = 20V$		$V_5 = 15V$		$V_6 = 10V$		$V_7 = 5V$	
X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_3	Y_3	X_4	Y_4	X_5	Y_5	X_6	Y_6	X_7	Y_7

TABLA I

V (volts)							
< r >(cm)							

E.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

E.2.1 En un papel milimetrado y tomando el origen de coordenadas el centro del papel, represente las coordenadas de los puntos de la tabla N° I. Una los puntos de igual potencial a través de líneas punteadas y así estará encontrando las superficies equipotenciales del modelo ensayado. Coloque el respectivo potencial a cada linea (para cada línea abra el compás con radio promedio).

E.2.2 Una vez obtenidas las superficies equipotenciales, trace las líneas de campo eléctrico.

E.2.3 Grafique la tabla N° II en papel milimetrado, log-log y semi-log. En una de estas tres gráficas obtendrá una línea recta. Determine la ecuación de la recta, la cual representa la función $V = f(r)$.

E.2.4 A partir de la expresión analítica anterior de V en función de r, escriba la expresión analítica para E, la intensidad del campo eléctrico. Recuerde que $E = -\partial V/\partial r$.

E.2.5 A partir de las ecuaciones determinadas para V y E, identifique el modelo electrostático.

F. CUESTIONARIO

F.1 ¿Podrían dos superficies equipotenciales eventualmente intersectarse? Justifique su respuesta.

F.2 ¿Un electrón (carga negativa) colocado en un campo eléctrico se movería así:

a) desde la zona de mayor potencial a la de menor potencial.

b) desde la zona de menor potencial a la de mayor potencial.

¿Cuál es la afirmación correcta? ¿Porqué?.

F.3 ¿Porqué cualquier fuerza conservativa actúa en dirección perpendicular a la equipotencial?

F.4 Haciendo uso de la ecuación (15) explique porqué al cambiar la ubicación del potencial cero no se afecta el valor del campo eléctrico.