

4.2



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Laboratorio de Electromagnetismo

Práctica 3

¿Cómo o qué?

Caracterización del campo eléctrico a partir del potencial

- 1- Ortografía . . . 0 pto
- 2- Claridad . . . 1 pto
- 3- Extensión . . . 1 pto
- 4- Completez . . . 1 pto
- 5- Gráficas . . . 2 pto
- 6- Diagramas . . . 1 pto
y Figuras
- 7- Título . . . 1 pto
- 8- Objetivos . . . 2 pto
- 9- Introducción . . . 1 pto
- 10- Desarrollo . . . 1 pto
Experimental
- 11.1- Resultados y . . . 2 pto
Análisis
- 11.2- Discusión . . . 1 pto
- 12- Conclusiones . . . 0 pto
- 13- Referencias . . . 2 pto
- 14- Apéndices . . . 3 pto

Integrantes del equipo:

Alonso Barradas Luis Gustavo

Fragoso Alvarado Daniel

Rios Fematt Mildred Stephany → 3.2 por falta.

Robledo Ibarra Emiliano

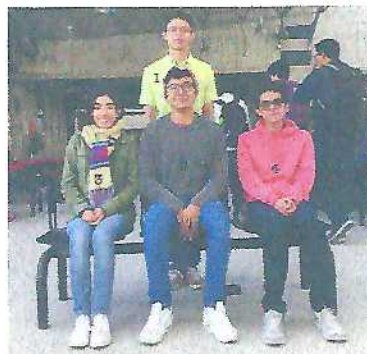


Figura 1: Equipo 3. Atrás: Luis Gustavo(1).

De izquierda a derecha: Stephany Rios(3), Daniel Fragoso(2)
y Emiliano Robledo(4).

Profesora: Fís. Maris Sofía Flores Cruz.

Ayudante: Miguel Ángel Amaya Reyes.

Fecha de entrega: Miércoles 11 de Marzo, 2020

1. Objetivos

~~Para este reporte se contó con dos objetivos:~~

1. Encontrar el valor del campo eléctrico conociendo el potencial en dos configuraciones de cargas. ~~2.~~ Caracterizar un plano con las líneas equipotenciales de las distribuciones y con ello encontrar las líneas de fuerza del campo eléctrico.
3. Graficar el campo eléctrico y las líneas de campo mediante las líneas que indican los niveles equipotenciales (líneas que son perpendiculares a las "líneas de fuerza").

2. Introducción

① La Física que se había concebido en los tiempos de Newton se desarrolló a partir de ver a la materia como corpúsculos extensos y por espacios vacíos, con la propiedad de poder actuar a distancia, por lo cual las fuerzas actuarían instantáneamente sobre los demás objetos, es decir: "La teoría newtoniana de la acción a distancia no involucra al medio y supone la existencia de corpúsculos, espacio vacío, fuerzas *centrales* actuando a distancia, e interacción instantánea" (Burbano, Burbano, y García, 2007). A lo largo de la historia surgió una corriente en la física mejor conocida como Las teorías Anti-Newtonianas, las cuales tienen su origen con el filósofo francés Rene Descartes (García, s.f.). Un gran contribuyente a esta corriente de pensamiento fue Leibniz quien consideró a la fuerza como una propiedad esencial de la materia, además argumentó que hay que asignar fuerzas a todos los puntos de la materia y no sólo a partículas de tamaño finito, dando lugar a la primer idea intuitiva del campo.

En 1791 nace en el Reino Unido Michael Faraday, a quien, en 1813, se le invitó a trabajar en el *Royal Institution* como ayudante de laboratorio, fue durante esta época que Faraday desarrolló una gran habilidad y destreza en la manipulación de los materiales y los instrumentos de laboratorio. Para 1820, Oersted dio a conocer que la corriente eléctrica produce efectos magnéticos. Michael apoyándose de este experimento y de la Física Newtoniana, hizo su primer descubrimiento en electromagnetismo,

el principio del motor eléctrico, lo que se denominó como rotaciones electromagnéticas. Faraday se dio cuenta que se originaba una fuerza tangencial a la espira, y no radial, como la teoría newtoniana predecía, fue, por tanto, el primero en sugerir que la acción a distancia resultaba inadecuada para darse cuenta de la relación entre las fuerzas eléctricas y las magnéticas.

Fue así como Faraday sugirió la teoría de Campo Electromagnético, en el cual desaparecían la distinción esencial entre fuerza y materia, introduciendo la hipótesis de que las fuerzas constituyen la única sustancia física. Las características de estas fuerzas eran, de acuerdo a (García s.f.):

- Cada punto de fuerza actúa directamente sólo sobre los puntos vecinos.
- La propagación de cualquier cambio en la intensidad de la fuerza requiere un tiempo finito.
- Todas las fuerzas son básicamente de la misma clase; no hay en el fondo fuerzas eléctricas, magnéticas ni gravitatorias, sino sólo variaciones (probablemente geométricas) de un sólo tipo de fuerza subyacente.

Faraday emprendió la búsqueda para averiguar si la propagación del campo requería un cierto tiempo, él nunca logró demostrar que las fuerzas electromagnéticas se propagaban a velocidad finita a lo largo de las líneas de fuerza; a pesar de ello, fue el primer científico en observar como la teoría de campos se podía utilizar para explicar los fenómenos eléctricos; además fue el primero en utilizar las líneas de fuerza para visualizar fenómenos como la inducción electromagnética, las descargas electrostáticas e incluso los fenómenos electroquímicos, dando así una poderosa herramienta para estudiar el comportamiento de una partícula bajo efectos eléctricos. ③

El potencial ¿Qué es lo que pasaría si colocamos una partícula de prueba q en presencia de otra carga Q que permanece estática? Los experimentos dicen que esta partícula q comenzaría a moverse, dando así el concepto de campo eléctrico generado por la carga Q . Si generalizamos esta definición para una distribución continua de cargas, entonces el campo

① Revisen la redacción de eso.

② Resultaba inadecuada para darse cuenta?

③ Referencia

eléctrico está dado por la ecuación:

$$\vec{E} = k \int \frac{dq}{||\vec{r} - \vec{R}||^3} (\vec{r} - \vec{R}) \quad (1)$$

donde \vec{r} es la posición de nuestra dq y \vec{R} es la posición de nuestra partícula de prueba. En general, la solución de la integral suele complicarse, dependiendo de la distribución de carga.

De aquí podemos desprender un concepto importante del campo eléctrico, las líneas de fuerza, que son las trayectorias que seguiría una carga de prueba sometida a la influencia del campo, en una sucesión de caminos elementales, partiendo en todos ellos del reposo. Observemos que el vector intensidad del campo será siempre tangente a las líneas de campo.

Podemos pensar en que al mover una carga, que está sobre el campo eléctrico, de un punto P_1 a otro punto P_2 , estaremos realizando un trabajo; más aun, este trabajo se puede igualar a la diferencia de energía potencial en cada punto y dado que el campo es conservativo, entonces se cumple:

$$\vec{F} = -\nabla U \quad (2)$$

El potencial eléctrico se define como el trabajo que se realiza sobre unidad de carga dentro de un campo eléctrico, al pasar de un punto a otro. Se puede expresar como:

$$dV = \frac{dU}{q_0} \quad (3)$$

Después de realizar cierta manipulación algebraica podemos llegar a la ecuación que nos es de interés

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (4)$$

Si el campo eléctrico es uniforme, entonces:

$$E = \frac{V_1 - V_2}{d} \quad (5)$$

Dónde podemos definir el concepto de superficie equipotencial como aquella superficie que encierra una distribución de carga y que es de tal forma que el valor del potencial en todos los puntos de ella es el mismo. Es decir, que al mover una carga de prueba sobre dicha superficie, no se efectuará trabajo alguno; dando así una diferencia de potencial igual a 0.

El hecho de que las líneas de campo eléctrico y las superficies equipotenciales sean perpendiculares entre sí, ayuda a ubicar las equipotenciales cuando se conocen las líneas de campo eléctrico y viceversa. El conocimiento de la función potencial $V(\vec{r})$ nos facilita una vía general para calcular los campos electrostáticos. El derivar $V(\vec{r})$ nos provee un método más sencillo que el usual para el cálculo de \vec{E} .

Si supongamos que tenemos dos puntos sobre la misma superficie equipotencial, entonces esto quiere decir que $dV = \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0$

Observemos que para que $\vec{E} \cdot d\vec{r} = 0$ esto implicaría que $d\vec{r} = 0$ o $\vec{E} = 0$, dado que ninguno de estos dos casos se cumple, sólo podemos deducir que \vec{E} y $d\vec{r}$ son ortogonales, de donde podemos decir que: una superficie equipotencial debe ser perpendicular al campo eléctrico en cualquier punto de ésta (Finn et.al., 2002).

3. Desarrollo experimental

con ayuda

Por medio de los siguientes materiales se obtuvieron las mediciones esenciales para la realización de la práctica:

- Fuente de voltaje. ($\pm 10\%$)
- Multímetro Digital. (Para DC $\pm 0.8\%$)
- Dos hojas con figuras conductoras.
- Cables conductores y caimanos.
- Soporte de las hojas.

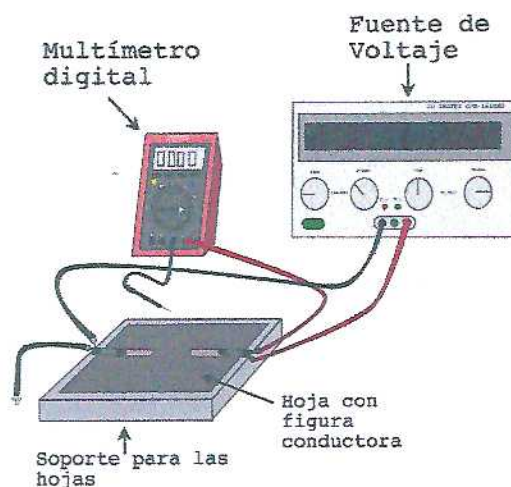


Figura 2: Diagrama del arreglo experimental

④ El concepto de líneas de campo es anterior a la matemática que las describe.

⑤ ¿Sobre?

⑥ En toda la subsección de el potencial solo hay una referencia, ¿es la única?

⑦ Intenten compactar su introducción. Se les pidió una página.

→ sus parámetros

Como podemos observar de la (Figura 2), la fuente de voltaje fue conectada a los dos soportes que mantenían a la hoja estática. Estos soportes funcionaban como un dipolo eléctrico; donde a uno de estos extremos se le proporcionaba una carga positiva por medio de la fuente, y al extremo contrario se le asignaban cargas negativas al ser conectado a la misma fuente en la entrada negativa. Así mismo, se puede notar que uno de estos extremos, el polo positivo, fue conectado a una terminal del multímetro. Y el polo negativo fue conectado a su vez a tierra. (Únicamente en la medición del arreglo de línea). Estos mismos polos ayudaban a fijar la hoja conductora, de manera que obteníamos un polo positivo desde donde salían las cargas, y un polo negativo a donde iban a parar.

Así mismo



Figura 3: Foto del montaje realizado, mapeando punto por punto

Fueron empleadas dos hojas con distintas figuras conductoras. La primera de ellas presentaba una figura conductora con forma de un dipolo sencillo (Figura 4), el cual simulaba una distribución continua de carga en forma de línea (Arreglo de Línea). Para esta primera hoja el sistema fue conectado a tierra. La segunda presentaba una figura conductora con forma de "T" (Arreglo de placas) en cada extremo (Figura 8), simulando un arreglo de placas cargadas. Para esta segunda hoja el sistema no fue conectado a tierra. ⑦

Con la terminal restante del multímetro, empleando una punta de prueba, se midió el potencial eléctrico en cada punto marcado de la hoja conductora. Tocando en los puntos donde la figura conductora de un extremo comenzaba hasta donde terminaba la figura contraria, fue tocándose la hoja con tal punta de prueba. Los valores en cada punto se registraron y fueron analizados, tal como se muestra en la Figura 3. ⑧

Haciendo uso de Excel se diseñó una "malla", donde a cada celda le fue asociada una coordenada (x,y), relacionada con la posición en donde era medido el voltaje; de manera que a cada punto distinto de la hoja correspondía una celda cuyo valor era dictado por el multímetro. De esta forma se fueron analizando los voltajes presentados por celda mediante MatLab, y en consecuencia, se obtuvieron las trayectorias donde el potencial no cambiaba, es decir trayectorias cercanas a las líneas equipotenciales. Posteriormente, se calculó el campo eléctrico mediante la relación matemática de la ecuación (2). lo que nos originó dos tablas de datos, pues el cálculo nos arrojaría coordenadas, que tras un análisis computacional nos permitiría observar los vectores de fuerza del campo eléctrico.

4. Resultados, análisis y discusión

Una vez mapeada toda el área en el que contábamos con datos para cada arreglo, se procedió a realizar un esquema matricial a color de los valores del potencial hallado en cada punto. A partir de este análisis, se obtuvieron las líneas equipotenciales, que a su vez ayudaron a obtener las líneas de fuerza del campo eléctrico.

Cada una de los análisis anteriores se realizó en el software MatLab; el código utilizado para cada uno se anexa en el Apéndice I.

- ⑦ Inserten las fotografías de las hojas en esta sección.
- ⑧ La figura 3 no muestra lo que describe. Muestra cómo midieron, mas no cómo registraron y analizaron.
- ⑨ Pero la ecuación (2) habla de una fuerza no del campo eléctrico.
- ⑩ Revisen redacción.
- ⑪ ¿Cuáles análisis anteriores?

4.1. Arreglo de Línea

En la **Figura 4**, se puede observar la distribución que tienen las líneas que conducen el potencial en toda la superficie, en este caso dos líneas:

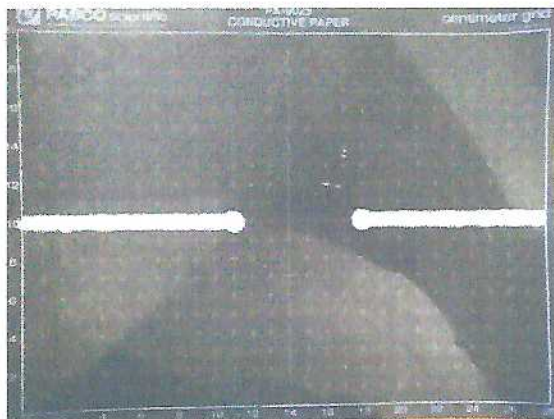


Figura 4: Hoja conductora con una distribución de carga continua en forma de línea (12)

Tras analizar el primer arreglo con el software *MatLab*, se logró obtener el esquema matricial que se muestra en la **Figura 5**.

En el diagrama matricial se pueden observar dos secciones claramente definidas por la homogeneidad del color en sus casillas. En este caso delimitan las dos líneas que se encontraban conectadas a la fuente de voltaje, por ello una de estas líneas —color rosa— es homogénea en el valor numérico del voltaje con el que trabajamos, es decir 6.12 ± 0.05 , mientras que su extremo permanece constante en el cero relativo. Fuera de estas dos regiones se puede observar una gradual transición entre ambas líneas; sin embargo, su comportamiento no queda del todo claro. Por ello se realizó un segundo análisis con el fin de trazar las líneas equipotenciales; de nuevo se utilizó *Matlab*, que trazó líneas que pasaran por los valores relativos más parecidos entre sí, obteniendo la **Figura 6**:

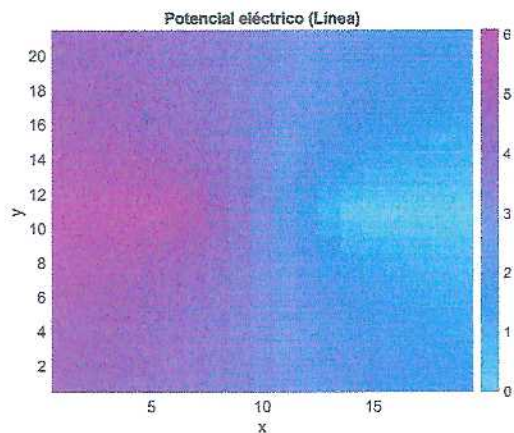


Figura 5: Diagrama del potencial eléctrico para el sistema de "línea".

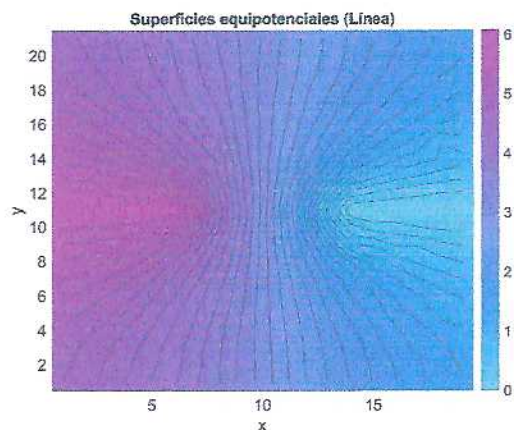


Figura 6: Diagrama de las líneas equipotenciales para el arreglo de "línea".

En este nuevo diagrama, se logra observar mejor el comportamiento del campo eléctrico. Se puede observar que las líneas equipotenciales intentan rodear a las líneas de conducción; sin embargo, debido a la limitación espacial del sistema que tomamos en cuenta no logramos observar este efecto por completo. También es importante mencionar que las líneas equipotenciales trazadas no son del todo uniformes debido a los errores sistemáticos que pudimos cometer al momento de la captura de datos.

Como ya se explicó en el desarrollo experimental, estos datos se obtuvieron mediante la relación matemática que hay entre el campo eléctrico y el potencial: $E = -\nabla V$. Los resultados arrojaron coordenadas en x y y por cada recuadro, que tras ser analizados por *Matlab* nos permite observar los vec-

(12) ¿Consideran a esa imagen como parte de sus resultados?

(13) Ya lo dije en.

(14) No entiendo, ¿cuál extremo? ¿cuál es el cero relativo?

⑤ Párrafo repetido

tores de fuerza del campo eléctrico como se observa en la **Figura 7**.

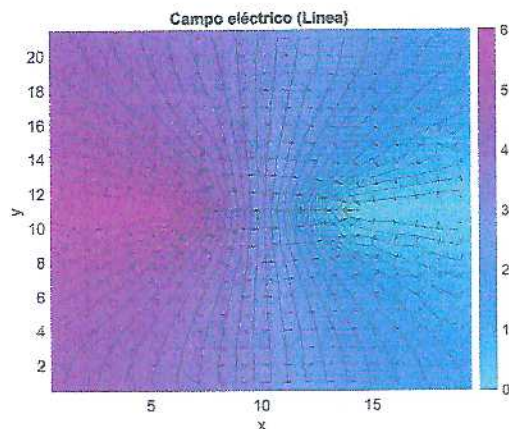


Figura 7: Diagrama del potencial eléctrico, sobre puesto a las líneas equipotenciales y las líneas de fuerza del campo eléctrico para el sistema de 'línea'. (16)

Lo primero que resalta sobre el diagrama de campo eléctrico es la dirección que tienen los vectores, estos parten de la línea izquierda -rosa- que tiene carga positiva, hasta la línea derecha -azul- que se encontraba ^{conectada} a tierra; esto concuerda con la teoría, y de hecho es posible comprara este diagrama con uno teórico basado en dos cargas puntuales opuestas (**Figura 8**).

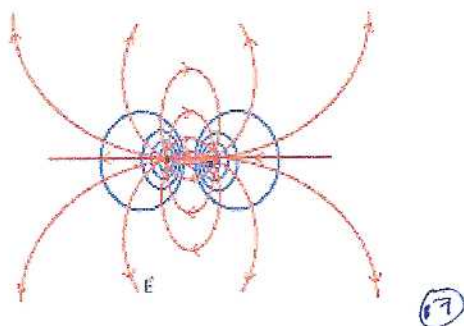


Figura 8: Diagrama de las líneas de fuerza para dos cargas puntuales de signo opuesto (17)

Además, se puede observar que la magnitud de los vectores del campo eléctrico disminuye conforme nos alejamos de las líneas de conducción, esto se deba que ajel campo eléctrico, a diferencia del potencial, sí depende de la distancia, por ello entre mas alejados nos encontremos de la superficie que

genera el campo, este tendrá menor intensidad, lo que se ve reflejado en una disminución de su magnitud.

4.2. Arreglo de Placas

En la **Figura 9**, se puede observar la distribución que tienen las líneas que conducen el potencial en toda la superficie, en este caso dos placas paralelas, con una extinción por detrás:

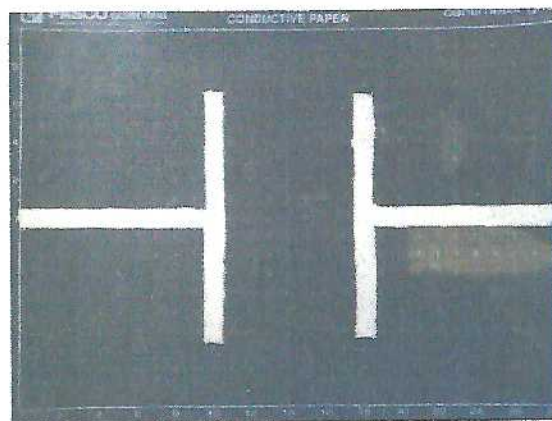


Figura 9: Hoja conductora con una distribución de carga continua en forma de T "placas" (12)

El análisis para este arreglo es análogo al anterior. Primero se analizaron los datos con el software *Matlab* obteniendo así el esquema matricial, el cual se muestra en la **Figura 10**.

Aunque al igual que en el arreglo anterior, hay dos regiones claramente marcadas y homogéneas en el esquema, que representan a las líneas que se encontraban conectadas a la fuente de voltaje, en este caso las placas perpendiculares; estas regiones no presentan del todo la misma regularidad: es apreciable que un par de recuadros de cada placa aumenta en potencial, que es atribuible a los errores sistemáticos que cometimos al medir.

Para identificar mejor el comportamiento, se hizo el trazo de las líneas equipotenciales, las cuales se muestran en **Figura 11**.

(16) Cambien su pie de figura, no se entiende.

(17) Esta figura no va aquí. No es resultado. Debería ir en la introducción.

18) ¿Eso pasa siempre?

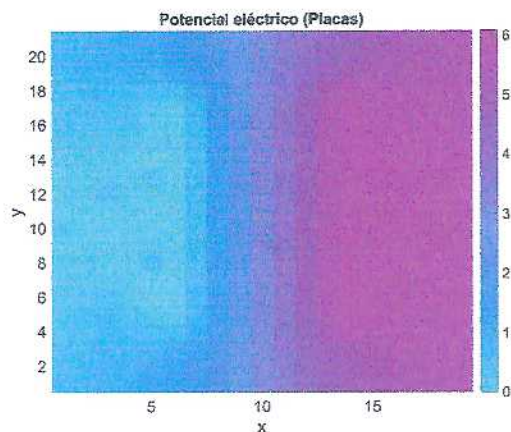


Figura 10: Diagrama del potencial eléctrico para el sistema de "placas".

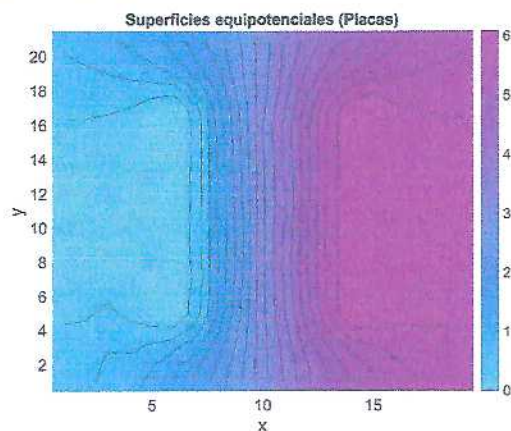


Figura 11: Diagrama de las líneas equipotenciales para el arreglo de "placas".

En este caso es posible observar como el potencial no presenta movimiento entre las placas paralelas y, de hecho, las líneas equipotenciales permanecen paralelas a las placas, pero en cuanto se alejan de esta región, de nuevo las líneas intentan rodear las placas similar al efecto mostrado en el arreglo anterior. Además, aquí se puede observar mejor los errores sistemáticos que se cometieron, pues existen irregularidades más visibles en las líneas equipotenciales de la sección azul (Figura 11); dichas perturbaciones no deberían de ocurrir debido a la simetría de la hoja conductora.

Es de esperarse, que debido al comportamiento anterior, las líneas de fuerza eléctrica tengan la misma magnitud y sean perpendiculares en medio de las placas, y vuelvan a disminuir fuera de la región.

Para verificar dicho comportamiento se realizará el último análisis con el fin de obtener los vectores de fuerza del campo eléctrico; para esto, como se hizo con anterioridad, se utilizará la relación matemática que hay entre el campo eléctrico y el potencial: $E = -\nabla V$. Los resultados de dicho cálculo son vectoriales, es decir, que arrojan valores por coordenada. Para tener una buena interpretación se hizo uso de *MatLab*, el cual nos proporcionó la Figura 12 que se muestra a continuación:

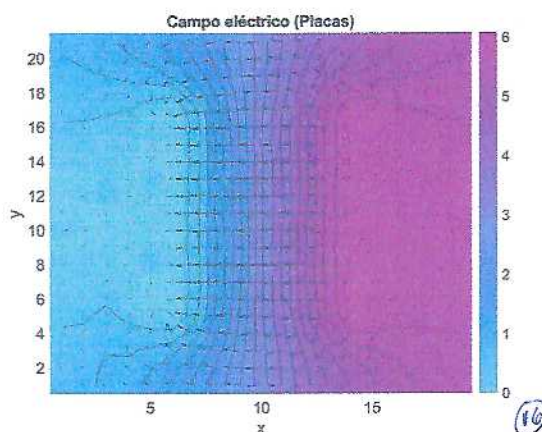


Figura 12: Diagrama del potencial eléctrico, sobre puesto a las líneas equipotenciales y las líneas de fuerza del campo eléctrico para el sistema de "placas".

Finalmente, observemos que en efecto el campo eléctrico es perpendicular a las placas, y dentro de esta región pareciera permanecer constante en magnitud; sin embargo, en cuanto sale de esta región comienza a rodear a las placas y su magnitud comienza a disminuir por la distancia que hay con respecto a las líneas que lo generan, su dirección indica un movimiento desde la zona rosa hasta la azul, que por la forma del arreglo experimental nos indica que un caso análogo al sistema anterior, es decir, que los vectores van desde la placa cargada positivamente, hasta la placa que estaba conectada a tierra.

La Figura 8 muestra como deben de ser las líneas de campo para dos cargas puntuales de signo opuesto. A pesar de que se contaba con dos distribuciones de carga diferentes, se puede aproximar el resultado para el primer arreglo. Sobre las puntas de la figura se esperaba una distribución análoga

a la de las dos cargas puntuales. En cierta forma es lo que se pudo observar, con la pequeña diferencia que en las partes traseras del cuerpo, dado que hay carga, existen las líneas de campo que salen de ella. En el segundo arreglo, se podría tomar una analogía con la distribución generada por dos planos eléctricamente cargados, donde se esperaría que las líneas de campo fuera totalmente perpendiculares a los planos en las partes centrales de ellos; mientras que en los extremos se esperaría casos análogos a las cargas puntuales.

(20)

5. Conclusiones

Uno de los principales problemas de la electrostática es el poder calcular el campo eléctrico que genera alguna distribución de carga. Si se llegara a conocer E en cada punto de la región, entonces, como resultado, se obtendría lo que ocurrirá con cualquier carga que pongamos en ella. De esta forma se tiene una descripción completa del sistema; aunque a menudo utilizar **Ecuación 1** suele presentar dificultades al tratar de resolver la integral.

Como se pudo observar en esta práctica, el poder calcular el Potencial asociado a cada punto de la "malla" diseñada, nos permitió conocer las superficies equipotenciales; y ya que sabemos que las líneas de fuerza son ortogonales a ellas, de esta manera se pudo conocer el comportamiento del campo eléctrico dadas dos configuraciones de carga distintas: *Arreglo de Línea y Arreglo de Placas*. (21)

A diferencia de intentar calcular el campo eléctrico mediante la **Ecuación 1**, donde hubiéramos tenido que suponer una densidad de carga constante, lo cual no necesariamente es cierto y una vez proceder al difícil cálculo de la integral, teniendo en cuenta que debimos haber obtenido dA de la figura mostrada, lo cual también suele presentar dificultades dado que no es una figura geométrica y para simplificar el problema se hubiera aproximado a un rectángulo o una composición de rectángulos respectivamente, dando un resultado del campo eléctrico aproximado en cada uno de los puntos, dándonos una idea de la importancia que es conocer el potencial eléctrico asociado a un sistema para poder calcular el campo eléctrico y una vez que se conoce el campo, podemos saber como van a interactuar

(20) según la explicación, en este arreglo fue interactuaron alguna diferencia? Si sí, ¿cuál fue? Tampoco profundizar en el sentido físico de sus resultados.

las cargas de prueba en dicho sistema.

Una manera de poder perfeccionar el experimento sería poder obtener una medición mas exacta de cada valor del potencial en un punto, ya que se esperaban superficies potenciales más geométricas. Esto se podría lograr haciendo como mínimo 30 mediciones del voltaje sobre el mismo punto. El único inconveniente que se presentaría sería la inmensa cantidad de datos obtenidos. Haciendo la comparación con una sola medida de un punto, se recabaron datos para una "malla" de 28×20 , lo cual nos da una cantidad de 560 datos por cada hoja de configuraciones. Ahora si tomamos 30 mediciones por cada punto, se obtendría un total de 16,800 datos por cada hoja, lo cual serviría para poder refinar nuestras líneas equipotenciales y por ende las líneas de campo eléctrico.

(21) ya? (22)

Referencias

- *Alonso, M., Finn, E. J., Heras, C. A., y Araujo, J. A. B. (1999). *Física vol. 2: Campos y ondas* (2.ª ed.). Pachuca, México: Fondo Educativo Interamericano.
- Bevington, P., y Robinson, K. (2002). *Data reduction and error analysis for the physical sciences* (3.ª ed.). NY, Estados Unidos: McGraw Hill.
- Burbano, S., Burbano, E., y García, C. (2007). *Física general* (32.ª ed.). Madrid, España: Editorial Tébar.
- García, A. F. (s.f.). *Filosofía y física. antes de faraday*. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica./elecsmagnet/historia/historial.html>. (Recuperado el 7 de marzo de 2020)

A. Anexo I: Código

Los comandos requeridos para el análisis experimental fueron:

`imagesc(Potencial)`

Este comando nos gráfica la distribución del potencial.

`contour(Potencial, 40, 'k')`

en el que no conectaron su sistema a tierra

- ① No veo la discusión con la que llegaron a dicha conclusión, y también debían comprobar lo que está subrayado.
- ② Discutan BIEN sus resultados para dar conclusiones. Lo que presentan tiene poco que ver con su trabajo y ni siquiera menciona alguno de los objetivos que tenían en esta práctica.

Este comando nos muestra la gráfica de las superficies equipotenciales, el valor 40 hace referencia a la saturación de líneas equipotenciales que se muestran.

```
[Ex,Ey] = gradient(-Potencial)
```

Este comando obtiene el campo eléctrico como el gradiente negativo del potencial, se utiliza la asignación de dos nuevos grupos de datos (Ex y Ey) con el fin de obtener coordenadas que más tarde nos permita graficar vectores.

```
quiver(Ex,Ey)
```

Este comando nos representa los vectores del campo eléctrico de las distribuciones de cargas continua.

Finalmente se hizo una combinación de todos los comando para obtener cada una de las figuras mostradas:

Arreglo matricial del potencial eléctrico:

```
xlabel('x'), hold on
```

```
ylabel('y')  
title('Potencial el ctrico')  
colormap('cool')  
imagesc(Potencial)
```

Lineas equipotenciales:

```
xlabel('x'), hold on  
ylabel('y')  
title('Lineas equipotenciales')  
colormap('cool')  
imagesc(Potencial)  
contour(Potencial,30,'k')
```

Campo eléctrico:

```
xlabel('x'), hold on  
ylabel('y')  
title('Campo el ctrico')  
colormap('cool')  
imagesc(Potencial)  
contour(Potencial,30,'k')  
quiver(Ex,Ey, 'color',[0 0 0]), hold off
```