

# Software Graficador de Campos Eléctricos y Potencial en *App Designer*

Bermeo Pablo<sup>1</sup>, Calle David<sup>1</sup>, Novillo Tyrone<sup>1</sup>, Ochoa Stalyn<sup>1</sup>, Plaza Lenin<sup>1</sup>

Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Azuay, Ecuador  
<https://www.ucuenca.edu.ec/ingenieria>

**Abstract.** The following report presents the design and development of an electric field plotter software. The theory of electrostatics quantifies the forces produced by a charge through the concept of field: a point charge produces a vector field, called electric field. The electric field is a collection of vectors whose magnitude is proportional to the source charge and decreases with the square of the radial distance to an evaluation point. These vectors follow defined paths known as field lines. In addition to the effects of the electric field, the energy required to move a charge in this medium is referred to as the electric potential. Those areas in which the potential does not vary are referred to as equipotential surfaces. These qualities of the electric field differ for a system of charges. In order to model these characteristics, a graphing software has been developed in the Matlab App Designer extension.

**Keywords:** Electric Field · Field Lines · Equipotential surfaces · App Designer · Matlab

## 1. Introducción

Cuando una carga puntual es posicionada en una región del espacio, genera un campo vectorial circundante y radial. Los vectores que componen el campo representan la fuerza por unidad de carga que experimentaría un cuerpo que navega en el campo. Todos los vectores del campo son radiales a la carga, y su magnitud tiene proporcionalidad directa a la carga fuente e inversa, al cuadrado de la distancia.

Los vectores que componen este campo vectorial son tangentes una trayectoria definida. Este conjunto de trayectorias definidas se denominan líneas de campo. Para un sistema de cargas, las líneas de campo fluyen de cargas positivas para converger en las negativas. Estas líneas indican la trayectoria que seguiría un cuerpo cargado si se sumerge en el campo eléctrico.

En consideración de este último caso: la carga que navega en el campo; la energía requerida para este desplazamiento se denomina potencial eléctrico. El potencial eléctrico es un valor escalar que es inversamente proporcional a la distancia de la carga fuente. El campo eléctrico comprende regiones en las que el potencial eléctrico es constante, denominadas superficies equipotenciales.

Normalmente las formas del campo vectorial, la orientación de las líneas de campo y la topología de las superficies equipotenciales son conceptos abstractos pero con una geometría definida. Considerando este último punto la literatura correspondiente a la teoría electrostática presentan figuras que muestran la forma de estas distribuciones.

A consideración de la necesidad de visualización de las características de un campo eléctrico se desarrolló un software graficador de campos eléctricos y sus propiedades. Esto con el fin de facilitar el análisis de sistemas complejos de cargas.

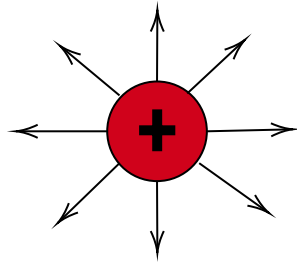
## 2. Marco Teórico

### 2.1. El campo eléctrico y las líneas de campo

El campo eléctrico es la representación vectorial que generaliza las fuerzas a distancia provocadas por una carga en el espacio. Para esto, es necesario considerar la fuerza que ejerce una carga  $Q$  en una región del plano a una carga positiva mínima  $q_0$ , a través de la Ley de Coulomb. Esta generalización resulta en la siguiente expresión:

$$E(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0|\vec{r}_f - \vec{r}_c|^3}(\vec{r}_f - \vec{r}_c) \quad (1)$$

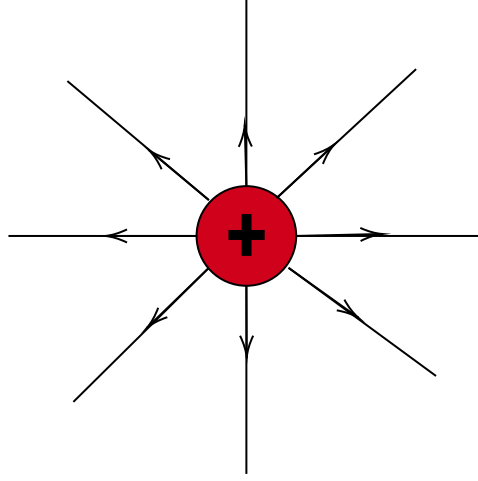
Donde  $\vec{r}_f$  es el vector posición de la carga generadora de campo (también conocido como punto de fuente), y  $\vec{r}_c$  es el punto en el espacio en el que se evalúa el campo eléctrico (también conocido como punto de campo). El campo vectorial de una carga puntual es radial al punto de evaluación. Esta característica resulta en configuraciones como la presentada en la Figura 1. Por convención, los vectores que componen el campo fluyen de cargas positivas hacia cargas negativas (*i. e.*, el campo fluye de cargas positivas y converge en negativas).



**Figura 1.** Campo eléctrico de una carga positiva

Los vectores que componen el campo eléctrico son tangentes a la trayectoria que seguiría una carga posicionada en el campo. Estas trayectorias se denominan

líneas de campo y brindan una representación continua de la orientación en un campo eléctrico. Los vectores de la Figura 1 se unifican en la Figura 2.



**Figura 2.** Líneas del campo vectorial radial

En general, las componentes del campo vectorial cumplen que:

$$\frac{E_y}{E_x} = \frac{dy}{dx} \quad (2)$$

La solución de la ecuación diferencial (2) representa la forma de las líneas de campo.

## 2.2. El potencial eléctrico

Dado que el campo eléctrico es conservativo, el trabajo realizado para llevar una carga de un punto  $A$  a  $B$  es independiente de la trayectoria. Además, el trabajo en una trayectoria cerrada es igual a cero. En tanto, se podría decir que el trabajo depende, únicamente, del punto  $B$  y la referencia  $A$ . En consideración de estas observaciones, el potencial eléctrico se define como:

$$V(r) = - \int_O^r \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (3)$$

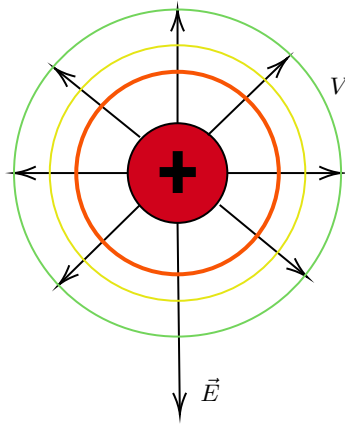
De donde se deduce que una diferencia de potencial entre un punto  $A$  y  $B$  es

$$V(b) - V(a) = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (4)$$

Para una carga puntual  $Q$ , cuyo campo es (1), el potencial absoluto a una distancia  $r$  se define como

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

La magnitud del potencial es inversamente proporcional a una distancia radial. En tanto, y visto desde dos dimensiones, existen circunferencias en las que el potencial no varía. Este concepto extrapolado a una situación tridimensional implica la aparición de superficies equipotenciales.



**Figura 3.** Curvas de nivel de las superficies equipotenciales. En este caso, el de una carga puntual, se han generado anillos en los que el potencial es constante.

### 3. Desarrollo de la práctica

A continuación, se mostrará el paso a paso del diseño de un software graficador al cual se ha denominado: *Electric Field and Potential Plotter*. Dicho software tendrá una interfaz que permite al usuario ingresar la cantidad, el valor y la posición de un determinado número de cargas, las cuales ejercerán entre si un campo eléctrico total y consecuentemente un diferencial de potencial (voltaje). La salida del programa será un conjunto de gráficas que permitirán al usuario analizar el comportamiento eléctrico de las cargas ingresadas. Por motivos de eficiencia, se ha optado por usar la extensión *App Designer* la cual reemplaza a su antecesor: *Matlab GUI*.

#### 3.1. Interfaz de usuario

Se ha definido elaborar un software minimalista pero intuitivo. Por ello, se ha escogido implementar en la interfaz de usuario 4 elementos:

1. Caja de texto para especificar cantidad de cargas
2. Tabla para el ingreso de datos que contiene el valor de la carga y la posición bidimensional

3. Botón para graficar
4. Botón para resetear datos de la tabla

La disposición de los elementos ya mencionados se encuentran en la figura 4. Además, se optó por mostrar una ventana relativamente pequeña respecto a una pantalla con resolución 1920x1080 para evitar espacio y/o elementos innecesarios. El usuario únicamente podrá ingresar la cantidad y los datos de las cargas. Los procedimientos para definir las escalas correctas de graficación lo hará la estructura interna (código) del programa, la cual se explicará posteriormente.



**Figura 4.** Interfaz de usuario del programa

Para facilitar el ingreso de cargas al programa de parte del usuario, se utilizó una tabla que se genera automáticamente y aumenta o disminuye filas de acuerdo con la cantidad de cargas especificadas en la caja de texto. Para ello, se hizo recurso de una tabla de respaldo para que los datos que ya habían sido ingresados no se eliminen.

```

cantidad_cargas = app.numero_cargas.Value;
%tamaño del cuadro de cargas y posición
[m, n] = size(app.tabla_cargas.Data);

%Se respalda el contenido de toda la tabla para ingresar
nuevas cargas o eliminar las restantes
app.Tabla_respaldo = app.tabla_cargas.Data;

%Se evalúa si se reduce el número de cargas a evaluar
if cantidad_cargas < m
    d = cell(cantidad_cargas, n);
    %Se respalda el cuadro para no eliminar los datos ya
    ingresados
    app.Tabla_respaldo = app.tabla_cargas.Data(1 :
        cantidad_cargas, 1 : n);

```

```

d(1 : cantidad_cargas , 1 : n) = app.Tabla_respaldo;
app.tabla_cargas.Data = d;
%Si se desea aumentar el numero de cargas se agregan
filas y se mantienen las presentes
else
d = cell(cantidad_cargas , n);
d(1 : m, 1 : n) = app.Tabla_respaldo;
app.tabla_cargas.Data = d;
end

```

De acuerdo con las posiciones que se ubican las cargas, el código calcula los valores máximos y mínimos de la rejilla para el eje de las abscisas y ordenadas. Por ello se ha definido un diferencial que restará y sumará al valor mínimo y máximo respectivamente de cada eje.

```

%Parametro que define la cantidad de puntos en el eje x-y
en donde se evaluara el campo el ctrico y el
potencial
N = 20;
[m, ~] = size(app.tabla_cargas.Data);

%Se definen parametros de desplazamiento para ajustar los
valores de los ejes autom ticamente
dx = abs(max(cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 2)))) +
abs(min(cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 2)))) / 2;
dy = abs(max(cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 3)))) +
abs(min(cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 3)))) / 2;
minX = min(cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 2))) - dx ;
maxX = max(cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 2))) + dx
;
minY = min(cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 3))) - dy ;
maxY = max(cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 3))) + dy
;

%Con los minimos y maximos, se generan los valores que
tomaran los ejes para la respectiva graficacion
x = linspace(minX, maxX, N);
y = linspace(minY, maxY, N);
[xG, yG]= meshgrid(x, y);

```

Después de definir los valores para los ejes, se procede a calcular los campos eléctricos y el potencial eléctrico/

### 3.2. Cálculo de campos

Para calcular el campo eléctrico vectorial se recorren todas las filas del cuadro que contiene las cargas y posición. El siguiente código muestra la interpretación

del cálculo del campo eléctrico en una distribución de cargas por el compilador del lenguaje m. El resultado de este ciclo es una matriz de dos columnas con los valores de la componentes x-y del campo eléctrico.

```
%Constantes
Eo = 8.854187817e-12;
k = 1 / (4 * pi * Eo);

%Campo electrico por superposicion de cargas

Ex = 0;
Ey = 0;

%Se recorren todas las cargas de la tabla (filas)
for i = 1 : m
    Qn = cell2mat(app.tabla_cargas.Data(i, 1));
    xC = cell2mat(app.tabla_cargas.Data(i, 2));
    yC = cell2mat(app.tabla_cargas.Data(i, 3));
    Rx = xG - xC;
    Ry = yG - yC;
    R = sqrt(Rx.^2 + Ry.^2).^3;
    Ex = Ex + k .* Qn .* Rx ./ R;
    Ey = Ey + k .* Qn .* Ry ./ R;
end

% Se normalizan las componentes vectoriales del campo
    electrico resultante para que se vea de mejor manera
    el gr fico
E = sqrt(Ex.^2 + Ey.^2);

%componentes x
u = Ex ./ E;
%componentes y
v = Ey ./ E;
```

Consecuentemente, se calcula el potencial eléctrico en cada uno de los puntos de los vectores x-y que son los valores que toman las escalas de graficación. De igual forma, se trabaja con vectores unidimensionales que se obtienen del cuadro modificado por el usuario. Por ello:

```
%Potencial el ctrico por superposici n de cargas

%Funci n que calcula el valor del voltaje a una
    distancia r del punto de medici n (Campo escalar)
function V= funcionpotencial(q, r)
    V = k * q / r;
end
```

```

%Se inicializa la matriz que contendr los valores del
potencial evaluado en los puntos
V = zeros(length(x), length(y));

Se toman los valores de carga, posici n x y posici n en
y del cuadro con datos ingresados por el usuario
qq = cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 1));
qx = cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 2));
qy = cell2mat(app.tabla_cargas.Data(:, 3));

%Se eval a el potencial el ctrico en cada uno de los
puntos de los ejes x-y y se los guarda en la matriz
inicializada previamente

%Se recorren los valores de x (eje)
for ii = 1 : length(x)
    %Se recorren los valores de y (eje)
    for jj = 1 : length(y)
        %Se repite el proceso para las n cargas a evaluar
        for kk = 1 : length(qq)
            r = sqrt((x(ii) - qx(kk)).^ 2 + (y(jj) - qy(
                kk)).^ 2);
            V(ii, jj) = V(ii, jj) + funcionpotencial(qq(
                kk), r);
        end
    end
end
end

```

### 3.3. Gráficas de campos

Para mostrar las gráficas de líneas de campo, mapa de calor de potencial y superficies equipotenciales se utilizaron las funciones *streamslice*, *surf* y *contourf* de matlab respectivamente. La primera gráfica tiene como parámetro los valores de los ejes y los vectores resultantes en cada punto del grid. Las funciones *surf* y *contourf* grafican campos escalares, por lo que en sus parámetros se deben especificar los valores de los ejes y un vector con los valores que toman dichos puntos. [1]

```

%Generaci n de gr ficas

figure("Name", 'Campo el ctrico | Potencial el ctrico',
    "WindowState", "maximized")

%Lineas de campo el ctrico con funci n streamslice

```



```

subplot(3, 19, [1, 2, 3, 4, 5, 6, 20, 21, 22, 23, 24, 25,
               39, 40, 41, 42, 43, 44])
streamslice(xG, yG, u, v );
title('Lineas de campo el ctrico')

%Mapa de calor de potencial en 3D
subplot(3, 19, [8, 9, 10, 11, 12, 13, 27, 28, 29, 30, 31,
               32, 46, 47, 48, 49, 50, 51])
surf(x, y, V);
shading interp
colormap jet
title('Mapa de calor de potencial')

%Campos equipotenciales
subplot(3, 19, [15, 16, 17, 18, 19, 34, 35, 36, 37, 38,
               53, 54, 55, 56, 57])
contourf(V, 10);
shading interp
colormap jet
title('Campos equipotenciales')

```

Se utilizó el ámbito *figure* de matlab puesto que permite una mejor interacción con el usuario. Se puede descargar automáticamente todas las gráficas en una sola imagen, se puede decidir si mostrar o no la barra de color. Además, presenta mejoras gráficas a diferencia del objeto *Axes* de App Designer. Se ha considerado estas opciones para evitar colocar botones innecesarios en la interfaz del programa.

### 3.4. Prueba del software

Para verificar el funcionamiento del programa, se han definido las cargas puntuales a ingresar especificadas en el cuadro 1

Carga $\mu C$	x (cm)	y (cm)
-19	-20	49
-89	3	10
58	13	32
-43	28	21
-10	19	-48

**Cuadro 1.** Tablas a evaluar

A continuación, la figura 5 y 6 muestran los datos ingresados en la interfaz y las gráficas de líneas de campo, mapa de calor de potencial y campos equipotenciales.

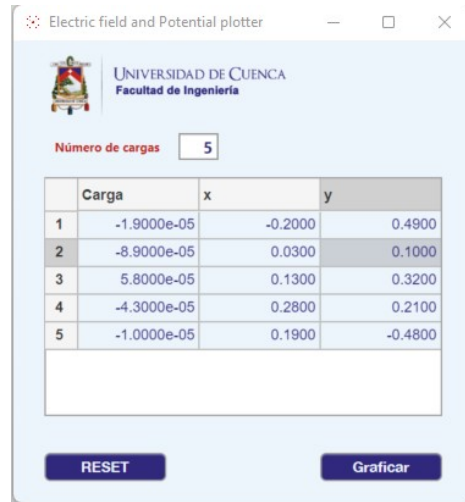


Figura 5. Interfaz puesta en marcha

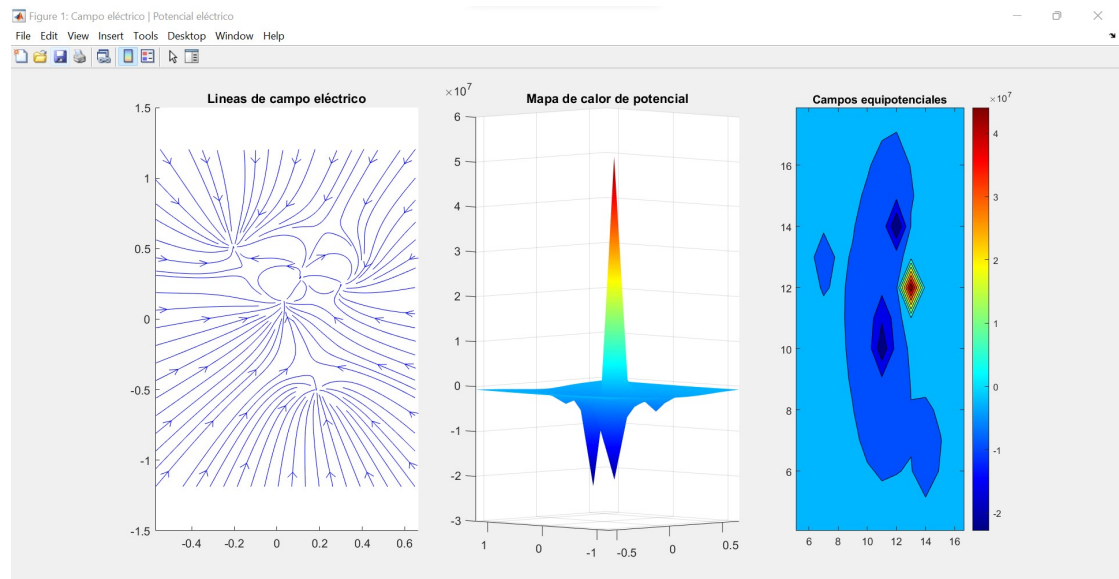


Figura 6. Gráficas resultantes

## 4. Conclusiones

Se ha solucionado la problemática clara la morfología de las líneas de campo, superficies equipotenciales y demás propiedades del campo eléctrico en un sistema complejo de cargas, mediante la aplicación de software desarrollado y considerando su aplicación para un número  $n$  de cargas el cual se presta para la visualización de las gráficas mencionadas para su posterior análisis de una manera clara y didáctica. Se resalta lo intuitivo y minimalista del programas puesto que, solamente el usuario tiene que ingresar el número de cargas su posición.

## Referencias

- [1] *Tipos de gráficas de MATLAB - MATLAB Simulink - MathWorks América Latina*. URL: [https://la.mathworks.com/help/matlab/creating\\_plots/types-of-matlab-plots.html](https://la.mathworks.com/help/matlab/creating_plots/types-of-matlab-plots.html).