

1. Simulación: Campo eléctrico de distribuciones lineales de carga (modelo 26 - Distribuciones de carga)

1.1. Objetivos

- Comprender cómo calcular el campo eléctrico producido por una distribución continua de carga.
- Analizar la dependencia del campo eléctrico con la geometría de la distribución lineal.
- Visualizar el campo eléctrico generado por líneas de carga en tres dimensiones.
- Comparar configuraciones rectas, inclinadas y curvadas de distribuciones lineales.

1.2. Materiales

- Computador con Microsoft Excel.
- Simulador ScienSolar.
- Hoja de registro de datos.

1.3. Marco teórico

Cuando la carga se distribuye de manera continua sobre una línea, se define la densidad lineal de carga

$$\lambda = \frac{Q}{L} \quad (1)$$

donde Q es la carga total y L la longitud de la distribución.

Un elemento infinitesimal de carga es

$$dq = \lambda dl \quad (2)$$

El campo eléctrico producido por este elemento es

$$d\vec{E} = k \frac{dq}{r^2} \hat{r} \quad (3)$$

Sustituyendo:

$$d\vec{E} = k \frac{\lambda dl}{r^2} \hat{r} \quad (4)$$

El campo total se obtiene integrando sobre toda la distribución:

$$\vec{E} = \int k \frac{\lambda dl}{r^2} \hat{r} \quad (5)$$

En el simulador ScienSolar esta integral se calcula numéricamente dividiendo la línea en pequeños elementos de longitud dL .

2. Configuración del simulador

Los parámetros principales del modelo se introducen en las siguientes celdas:

Parámetro	Celda en Excel
Constante eléctrica $k = 8,99 \times 10^9$	G19 = 8,99E9
Carga total de la línea Q	G17
Longitud del elemento diferencial dL	G18
Origen de la línea (x_o, y_o, z_o)	G22, G23, G24
Ángulo azimutal de la línea	G27
Ángulo polar de la línea	G28
Curvatura azimutal de la línea	G30
Curvatura polar de la línea	G31
Punto de observación (x, y, z)	A11, B11, C11
Componentes del campo (E_x, E_y, E_z)	A12, B12, C12
Magnitud del campo $ \vec{E} $	G14

Una distribución lineal de carga puede clonarse utilizando:

Botón Clonar Todo + botón +OBJ

3. Actividad 1: Campo eléctrico de una línea recta

3.1. Procedimiento

1. Configure una línea de carga recta. Verifique que la constante k esté correcta. Asigne una carga de $100\mu C$ a la línea.
2. Centre la línea sobre el eje z de manera que la distribución quede alineada verticalmente. Agregue elementos de carga dL mediante el botón +OBJ hasta obtener $n=10$ elementos (se muestra en G48).
3. Ubique el origen de la línea de tal manera que quede centrada (la mitad de la línea arriba del origen y la otra mitad abajo del origen), por ejemplo:

$$(x_o, y_o, z_o) = (0, 0, -45)$$

4. Mantenga las curvaturas en cero:

$$G30 = 0, \quad G31 = 0$$

5. Calcule el campo eléctrico en diferentes puntos del eje y .

3.2. Registro de datos

Punto de observación del campo	E_y	$ \vec{E} $
(0,20,0)		
(0,40,0)		
(0,60,0)		
(0,80,0)		

3.3. Cálculo teórico

Calcule analíticamente el campo eléctrico producido por una línea de carga infinita ubicada sobre el eje z . Para una densidad lineal de carga λ , el campo eléctrico a una distancia r del eje es

$$E = \frac{2k\lambda}{r} \quad (6)$$

donde

$$\lambda = \frac{Q}{L}$$

Compare los resultados obtenidos mediante la simulación con la expresión analítica.

3.4. Preguntas

1. ¿Cómo cambia el campo eléctrico con la distancia al eje?
2. ¿Qué tan bien coincide el resultado numérico con la solución analítica?
3. ¿Por qué la simulación se aproxima al resultado de una línea infinita?

4. Actividad 2: Línea inclinada

Configure la línea con:

- Ángulo azimutal: 45°
- Ángulo polar: 45°

Observe cómo cambia la dirección del campo eléctrico.

4.1. Preguntas

1. ¿Cómo cambia la dirección del campo al inclinar la línea?
2. ¿Qué ocurre con la simetría del sistema?

5. Actividad 3: Línea curva

Una forma sencilla de generar una distribución circular es doblar progresivamente la línea de carga.

5.1. Configuración

- Longitud de cada elemento:

$$dL = 10$$

celda:

$$G18$$

- Número total de elementos: 36. Verifique el número de elementos en la celda G48 (no cambie su fórmula). Para agregar varios elementos a la vez utilice la celda B2, por ejemplo para agregar 30 elementos adicionales escriba en B2=30 y oprima +OBJ.

- Curvatura azimutal:

$$G30 = 10^\circ$$

- Curvatura polar:

$$G31 = 0$$

Con esta configuración los elementos de carga forman aproximadamente una circunferencia ubicada en el plano XY .

5.2. Actividad

1. Observe la configuración espacial de la distribución.
2. Evalúe el campo eléctrico en el centro de la circunferencia.
3. Explore el campo eléctrico en puntos fuera del plano utilizando el **Field Scanner** o **Escáner de campo**. Si el escaner de campo no está cargado al modelo, para cargarlo seleccione la celda C7 y luego oprima el botón **Escaner de campo**, ubicado en U6.

6. Actividad 4: Campo eléctrico sobre el eje de un anillo cargado

En esta actividad se analizará el campo eléctrico producido por un anillo de carga uniforme.

6.1. Configuración

Utilice la misma configuración de la Actividad 3 para generar una circunferencia en el plano XY :

- Longitud de cada elemento:

$$dL = 10$$

celda G18

- Número total de elementos: 36
- Curvatura azimutal:

$$G30 = 10^\circ$$

- Curvatura polar:

$$G31 = 0$$

Esta configuración produce una distribución aproximadamente circular en el plano XY .

6.2. Procedimiento

1. Centre el anillo en el eje z .
2. Coloque el punto de observación sobre el eje z .
3. Evalúe el campo eléctrico para distintos valores de z :

z	$ \vec{E} $
20	
50	
100	
150	
200	

6.3. Pregunta conceptual

¿Qué ocurre con el campo eléctrico cuando $z \gg R$?

Demuestre que en este límite el campo se aproxima al campo de una carga puntual:

$$E \approx \frac{kQ}{z^2}$$

6.4. Resultado teórico

El campo eléctrico sobre el eje de un anillo de radio R y carga total Q es

$$E_z = \frac{kQz}{(z^2 + R^2)^{3/2}}$$

donde z es la distancia desde el centro del anillo sobre su eje de simetría.

6.5. Análisis

1. Compare los valores obtenidos en la simulación con la expresión teórica.
2. Explique por qué las componentes E_x y E_y se cancelan sobre el eje.
3. Determine la posición donde el campo eléctrico alcanza su valor máximo.

7. Actividad 5: Múltiples líneas de carga

Clone la línea utilizando:

Clonar Todo + +OBJ

Busque la configuración de esta nueva línea en la columna G yendo hacia abajo de la hoja de cálculo. Configure dos o más líneas de carga en distintas posiciones.

Analice la superposición de campos eléctricos.

8. Actividad 6: Visualización del campo

Utilice la herramienta:

Field Scanner

para observar el campo eléctrico en distintas regiones del espacio.

El escáner permite visualizar el campo en:

- coordenadas cartesianas
- coordenadas cilíndricas
- coordenadas esféricas

El sistema de coordenadas se cambia mediante el botón ubicado en la celda:

$U11$

Observe:

- la dirección de los vectores de campo
- la variación espacial de su magnitud
- las regiones donde el campo se intensifica

9. Análisis

Responda:

1. ¿Cómo influye la longitud de la línea en el campo eléctrico?
2. ¿Qué efecto tiene la curvatura de la distribución?
3. ¿Cómo se combina el campo cuando existen varias líneas de carga?
4. Compare el campo de una línea corta a una distancia considerable, con el de una carga puntual.

10. Conclusiones

Discuta:

- la relación entre distribuciones continuas y discretas de carga,
- la utilidad del método de discretización mediante elementos dL ,
- la importancia de la geometría de la distribución de carga.