Primer entregable

Edgar Francisco Arechiga Nuño - A01647054

Aldo Emiliano Galván Gomez. - A07106914

Jorge Cardenas Blanco - A01647246

Leon Daniel Vilchis Arceo - A01641413

28 de Abril del 2025

Modelación computacional de sistemas electromagnéticos

Descarga al código:
https://drive.google.com/file/d/15kmRT7KECs7tty2loBDzOzJgUbF7NoPD/view?usp=drive_link
Aclaración: Para fórmulas vectoriales se usó una línea encima como notación. de la siguiente manera: $d\bar{l}$

En este bloque se definen los parámetros necesarios para modelar un solenoide helicoidal. El número de espiras (`num_espiras`), el radio de la hélice (`radio`) y la altura total (`altura_total`) determinan su geometría. La corriente eléctrica (`corriente`) es la fuente del campo magnético, que se calculará mediante la ley de Biot-Savart. Esta ley requiere la constante física: `mu_0`, la permeabilidad del vacío. Con estos valores se construye `const_BS`, un factor común que simplifica el cálculo del campo. Finalmente, el parámetro `grosor` se usa para evitar divisiones por cero al evaluar el campo en puntos cercanos al conductor.

```
% Parámetros
num_espiras = 5;
pts_espira = 150;
radio = 1.5;
altura_total = 6;
corriente = 300;
mu_0 = 4*pi*1e-7;
const_BS = mu_0 * corriente / (4*pi);
grosor = 0.05;
```

Se definen 30 divisiones a lo largo de cada eje: X, Y y Z. Los vectores `xg`, `yg` y `zg` se generan con `linspace`, abarcando un dominio suficientemente grande para capturar el campo tanto dentro como fuera del solenoide. Esto permitirá una visualización clara del comportamiento del campo magnético en la región de interés.

```

lx = 30; ly = 30; lz = 30;
xg = linspace(-3*radio, 3*radio, lx);
yg = linspace(-3*radio, 3*radio, ly);
zg = linspace(-altura_total, altura_total, lz);
```

Se genera una hélice en el espacio tridimensional que representa el alambre del solenoide. El parámetro angular `t` recorre las vueltas del solenoide, y con funciones trigonométricas se definen las coordenadas `x` y `y` como una circunferencia. La coordenada `z` varía linealmente para simular el avance vertical de la espiral. Esta trayectoria modela de forma precisa la geometría del alambre conductor por el cual fluye la corriente.

```

% Trayectoria del solenoide
t = linspace(0, 2*pi*num_espiras, pts_espira*num_espiras);
x = radio * cos(t);
y = radio * sin(t);
z = linspace(-altura_total/2, altura_total/2, length(t));
```

En esta parte del código se calculan los diferenciales de posición que representan el vector $d\bar{l}$ de la ley de Biot-Savart. Primero, `dt` obtiene el paso promedio del parámetro angular `t`, lo cual permite escalar las derivadas de las funciones trigonométricas. Las variables `dx` y `dy` corresponden a las componentes diferenciales del alambre en X y Y, y se derivan de las ecuaciones paramétricas de una circunferencia. Para `dz`, que representa el cambio en altura del alambre, se usa `gradient` para calcular una derivada numérica precisa, adaptada a la malla definida por `t`. En conjunto, estos vectores definen los segmentos diferenciales de corriente necesarios para evaluar el campo magnético mediante integración discreta.

```

% Diferenciales de longitud del alambre
dt = mean(diff(t));
dx = -radio * sin(t) * dt;
dy = radio * cos(t) * dt;
dz = gradient(z, dt);
```

A continuación se crean tres matrices tridimensionales vacías: `Bx`, `By` y `Bz`, que almacenarán las componentes del campo magnético en cada punto del espacio simulado. Estas matrices tienen dimensiones `lx × ly × lz`, correspondientes a los puntos previamente definidos en cada eje espacial. Inicializar estos arreglos con ceros es esencial para poder acumular las contribuciones del campo generadas por cada segmento del solenoide en los pasos posteriores.

```

% Inicializar campo magnético
Bx = zeros(lx, ly, lz);
By = zeros(lx, ly, lz);
Bz = zeros(lx, ly, lz);

```

En el siguiente bloquese implementa el cálculo del campo magnético generado por el solenoide utilizando la ley de Biot-Savart en forma discretizada. Para ello, se recorren todos los puntos del espacio tridimensional definido por los vectores `xg`, `yg` y `zg`, mediante tres bucles anidados. En cada punto de evaluación `(ix, iy, iz)`, se calcula el vector posición relativo entre ese punto y cada segmento de corriente del alambre, definido por las diferencias `rx`, `ry` y `rz`. Luego, se calcula la norma de ese vector más un pequeño término de regularización (`grosor`) para evitar divisiones por cero, y se eleva al cubo para obtener el denominador de la ley de Biot-Savart. A continuación, se computan las tres componentes diferenciales del campo (`dBx`, `dBy`, `dBz`) sumando las contribuciones de cada elemento de corriente, usando la formulación vectorial del producto cruzado $d\bar{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\bar{l} x \bar{r}}{|\bar{r}|^3}$. Finalmente, estos componentes se almacenan en sus respectivas matrices `Bx`, `By` y `Bz`, que acumulan la influencia del solenoide completo en todos los puntos del espacio simulado.

```
Bz = zeros(lx, ly, lz);

% Cálculo vectorizado del campo magnético
for ix = 1:lx
    for iy = 1:ly
        for iz = 1:lz
            rx = xg(ix) - x;
            ry = yg(iy) - y;
            rz = zg(iz) - z;

            r_norm = sqrt(rx.^2 + ry.^2 + rz.^2) + grosor;
            r3 = r_norm.^3;

            dBx = const_BS * sum((dy.*rz - dz.*ry) ./ r3);
            dBy = const_BS * sum((dz.*rx - dx.*rz) ./ r3);
            dBz = const_BS * sum((dx.*ry - dy.*rx) ./ r3);

            Bx(ix,iy,iz) = dBx;
            By(ix,iy,iz) = dBy;
            Bz(ix,iy,iz) = dBz;
        end
    end
end
```

Posteriormente se genera una visualización tridimensional del solenoide utilizando la función `plot3`, que permite representar curvas espaciales a partir de las coordenadas `x`, `y` y `z` calculadas previamente. Esta gráfica muestra la trayectoria helicoidal del conductor por donde circula la corriente, permitiendo identificar claramente la forma física del sistema que origina el campo magnético. Se especifica el color rojo y un grosor de línea de 2 para mejorar la visibilidad. Además, se activan la cuadrícula (`grid on`) y la vista tridimensional (`view(3)`), y se etiquetan los ejes con `xlabel`, `ylabel` y `zlabel` para indicar las dimensiones espaciales.

```
% Gráfica del solenoide en 3D
figure;
plot3(x, y, z, 'r', 'LineWidth', 2);
grid on; view(3);
xlabel('X'); ylabel('Y'); zlabel('Z');
title('Solenoide helicoidal');
```

En este bloque final se generan visualizaciones bidimensionales del campo magnético en los planos XZ (con Y fijo en el centro), YZ (con X fijo) y XY (con Z fijo), utilizando las funciones `pcolor` y `quiver` para representar tanto la magnitud como la dirección del campo. Las componentes del campo se extraen con `squeeze` y se combinan para calcular su intensidad total en cada punto. Estas gráficas permiten observar la distribución espacial del campo generado por el solenoide desde distintas perspectivas, mostrando con claridad la simetría axial del sistema y la concentración del campo en el interior del solenoide, en coherencia con la teoría electromagnética.

```
% Visualización del campo en el plano XZ (Y=0)
[Xm,Zm] = meshgrid(xg,zg);
Bx_slice = squeeze(Bx(:,round(ly/2),:))';
Bz_slice = squeeze(Bz(:,round(ly/2),:))';
B_magnitud = sqrt(Bx_slice.^2 + Bz_slice.^2);

figure;
pcolor(Xm, Zm, B_magnitud);
shading interp;
colormap(jet);
colorbar;
hold on;
quiver(Xm, Zm, Bx_slice, Bz_slice, 'k');
xlabel('X'); ylabel('Z');
title('Campo magnético (plano XZ, Y = 0)');
```

```
% Visualización del campo en el plano YZ (X=0)
[Ym,Zm] = meshgrid(yg,zg);
By_slice = squeeze(By(round(lx/2),:,:))';
Bz_slice2 = squeeze(Bz(round(lx/2),:,:))';
B_magnitud2 = sqrt(By_slice.^2 + Bz_slice2.^2);

figure;
pcolor(Ym, Zm, B_magnitud2);
shading interp;
colormap(jet);
colorbar;
hold on;
quiver(Ym, Zm, By_slice, Bz_slice2, 'k');
xlabel('Y'); ylabel('Z');
title('Campo magnético (plano YZ, X = 0)');
```

```
% Visualización del campo en el plano XY (Z=0)
[Xm2,Ym2] = meshgrid(xg,yg);
Bx_slice3 = squeeze(Bx(:,:,round(lz/2)))';
By_slice3 = squeeze(By(:,:,round(lz/2)))';
B_magnitud3 = sqrt(Bx_slice3.^2 + By_slice3.^2);

figure;
pcolor(Xm2, Ym2, B_magnitud3);
shading interp;
colormap(jet);
colorbar;
hold on;
quiver(Xm2, Ym2, Bx_slice3, By_slice3, 'k');
xlabel('X'); ylabel('Y');
title('Campo magnético (plano XY, Z = 0)');
```

Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos permiten visualizar y analizar el comportamiento del campo magnético generado por un solenoide helicoidal finito utilizando la ley de Biot-Savart. En la Figura 1 se representa la geometría del solenoide en tres dimensiones, evidenciando su estructura helicoidal uniforme a lo largo del eje Z. Las Figuras 2, 3 y 4 muestran cortes bidimensionales del campo magnético en los planos XZ, YZ y XY respectivamente. En los planos XZ y YZ se observa que el campo en el interior del solenoide es aproximadamente uniforme, con líneas de campo paralelas y concentradas, mientras que en el exterior el campo se dispersa y presenta una intensidad notablemente menor, lo que coincide con el comportamiento teórico esperado. Por su parte, el plano XY revela la estructura circular del campo magnético alrededor del eje del solenoide, evidenciando cómo las líneas de campo rodean al conductor de forma coherente con la regla de la mano derecha. En conjunto, las visualizaciones confirman la validez física del modelo numérico y reflejan con claridad la topología y la simetría del campo magnético inducido por el solenoide.