



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY  
CAMPUS LAGUNA**

**Etapa 2 Reto - Equipo 1**  
**Simulación cinemática de un dipolo magnético a través de un  
tubo conductor**

Jeanette Arjona Hernández - A01236226

Sebastián Reséndiz García - A01236336

José Alfonso López Blanco - A01236245

Arif Morán Velázquez - A01234442

Alan Martínez Varela - A01236407

14 de junio del 2022

Modelación computacional de sistemas electromagnéticos

Prof. Alejandro García Ruíz

## ÍNDICE

<i>Introducción</i> .....	02
<i>Reporte de investigación</i> .....	03
<i>Programa en MATLAB - Graficación de las líneas de campo magnético (2D) de un dipolo magnético</i> .....	10
<i>Cálculos</i> .....	12
<i>Cálculos Ecuación Diferencial</i> .....	13
<i>Solución de software para representar el movimiento de un dipolo magnético</i> .....	14
<i>Casos de prueba</i> .....	18
<i>Conclusiones</i> .....	22
<i>Referencias</i> .....	23

## Introducción

En este documento, se desarrolla los cálculos y programación necesaria para la modelación cinemática de un dipolo magnético en un tubo conductor no magnético a través del planteamiento de una ecuación diferencial. Dicha ecuación se resolverá a través de un código en MATLAB por el método numérico de Runge Kutta de cuarto orden.

### ¿Qué es la fuerza magnética e inducción magnética?

La fuerza magnética es la fuerza que experimenta una carga, o más apegado a la realidad, una corriente debido a un campo magnético.

$$\vec{F} = I(\vec{L} \times \vec{B})$$

La inducción magnética es un proceso mediante el cual la variación en flujo magnético por unidad de tiempo genera una fuerza electromotriz en un segundo circuito. Este fenómeno es descrito matemáticamente por la ley de Lenz y de Faraday. Así mismo conocemos, similar a la ley de gauss, que el flujo magnético en un área gaussiana cerrada, es igual a la cantidad del flujo del campo que cruza perpendicularmente la superficie.

$$\phi_{\vec{B}} = \oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

### ¿Qué es la fuerza magnética en un dipolo?

La fuerza magnética se define como la energía potencial que experimenta un imán es proporcional a su momento magnético y el campo magnético de un segundo dipolo.

$$U = \mu \vec{B} \cos(\theta)$$

$$\vec{F}_{\vec{B}} = -\frac{dU}{dz}$$

### Aplicación de la segunda ley de Newton.

La segunda ley de Newton aplicada al movimiento de un dipolo magnético. Esta ley nos indica que la fuerza es igual a la masa por una aceleración, por lo cual en el contexto del

movimiento del dipolo magnético, podemos notar que el imán está en caída libre, y por ende, su fuerza neta es, como indica la ley, su masa por aceleración. Dado que el imán está en caída libre, tiene dos fuerzas ejerciendo en este, las cuales son el peso y la fuerza que experimenta con el campo magnético ejercido al pasar por el tubo.

Sabiendo esto, podemos decir que la sumatoria de fuerzas ejercidas en el imán es igual a la fuerza del campo magnético menos el peso del imán, el cual se predomina como masa por gravedad. Consecuentemente, sabemos que la fuerza neta, con base en la segunda ley de Newton, es igual a la masa por aceleración, entonces lo sustituimos en la ecuación de sumatoria de fuerzas. Ahora tenemos que la masa por aceleración, es decir, la fuerza neta, es igual a la fuerza del campo magnético menos el peso del imán (masa por gravedad). Finalmente, despejamos por 'a' para obtener la aceleración, como se muestra abajo.

$$\sum F_{net} = -W + F_{\vec{B}}$$

$$F_{net} = ma$$

$$ma = -mg + F_{\vec{B}}$$

$$a = -g + \frac{F_{\vec{B}}}{m}$$

#### Los fundamentos de los fenómenos del magnetismo - Leyes de Faraday.

Con base en la Ley de Faraday, esta nos dice que mientras el flujo magnético a través de un circuito vaya variando con el tiempo, este generará corrientes eléctricas inducidas. Adicionalmente, en el caso del imán podemos notar que el imán ejerce una fuerza sobre las corrientes inducidas debido al campo magnético que genera al pasar por el tubo conductor. Podemos reescribir lo anterior en la siguiente expresión:

$$\varepsilon = k \frac{d\phi}{dt}$$

Por ende, las corrientes eléctricas inducidas ejercen una fuerza igual y contraria al sentido del imán, donde se aplica una ley que proviene de Faraday.

### Ley de Lenz

Esta ley nos indica que el sentido de la corriente inducida es tal que se opone a la causa que la produce, por lo cual se denomina por la siguiente expresión:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt}$$

El cambio en el flujo magnético sobre el tiempo genera una fuerza electromotriz opuesta a aquella que la genera.

### Aplicación del método numérico Runge-Kutta para la solución de ecuaciones diferenciales.

El método Runge-Kutta nos sirve para obtener los valores aproximados de una ecuación diferencial, el método funciona conforme a iteraciones y hay varios tipos como Runge-Kutta de segundo y cuarto orden, este método proporciona un margen de error bastante bajo comparado con los valores reales teniendo como fórmula en el 4 orden:

$$dx/dt=f(t,x)$$

$$k_1=h*f(t,x)$$

$$k_2=h*f(t+\frac{1}{2}*h,x+\frac{1}{2}*k_1)$$

$$k_3=h*f(t+\frac{1}{2}*h,x+1/2k_2)$$

$$k_4=h*f(t+h,x+k_3)$$

$$x(t+h)=x(t)+(\frac{1}{6}*k_1+2*k_2+2*k_3+k_4)$$

Donde se recibe una condición inicial, el paso en h o n que viene siendo las veces que se repetirá el proceso.

Se utilizó para obtener la posición y velocidad del imán a partir de una ecuación diferencial que describa su movimiento a través de un tubo conductor no magnético, de este modo podemos simular que sucedería al soltar un dipolo magnético modificando variables

## Reporte de Investigación

### 1. ¿Cómo es la fuerza eléctrica sobre una carga debido a un campo eléctrico?

- Una partícula cargada que está en una región donde hay un campo eléctrico, experimenta una fuerza igual al producto de su carga por la intensidad del campo eléctrico  $F = q * E$ .

Si la carga es positiva, experimenta una fuerza en sentido del campo y si la carga es negativa, experimenta una fuerza en sentido contrario del campo.<

Y para sacar la intensidad del campo eléctrico se aplica la Ley de Coulomb que explica el campo eléctrico generado por cargas en un punto P:

$$E = k * \frac{q_1}{r^2}.$$

### 2. ¿Cómo es la fuerza eléctrica sobre una carga debido a un campo eléctrico? ¿Cómo afecta la velocidad y a la aceleración?

- Debido a un campo eléctrico, la fuerza eléctrica sobre una carga ejerce una fuerza equivalente al producto de la intensidad del campo eléctrico por la carga ( $F_e = q * E$ ). Si la fuerza es constante, esto afecta la aceleración, dado que también sería constante debido a un campo eléctrico uniforme. En cuanto a la velocidad, seguiría una trayectoria rectilínea, ya que con base en su aceleración, el movimiento sería rectilíneo, uniformemente acelerado. Adicionalmente, esta velocidad se puede calcular por medio de las ecuaciones de cinemática por movimiento rectilíneo.

### 3. ¿Cómo impacta la carga al desplazamiento bajo un campo electromagnético?

- Cuando una partícula cargada se mueve dentro de un espacio que tiene presente un campo eléctrico o magnético, ambas presentan fuerza, la fuerza total es la suma vectorial de las fuerzas magnética y eléctrica.

$$F = q(E + V * B)$$

### 4. ¿Cómo afecta el diferencial potencial para generar el campo eléctrico en el desplazamiento y rapidez?

- El diferencial de potencial es el área bajo la curva y tiene como fórmula:  $V_a - V_b = E * d$ , siempre y cuando el campo sea constante, pero cuando es conservativo se cumple el diferencial de área  $E * dl = 0$ , entonces cuando se introduce un electrón al campo eléctrico, este experimenta movimiento hacia los potenciales crecientes causando un aumento en la energía cinética.

5. ¿Cómo afecta la intensidad del campo magnético en el desplazamiento?
  - Debido a la fórmula de la fuerza  $F_m = q * v * B$ , la velocidad de una carga depende de  $F_m/(q * B) = v$ . Entonces, mientras mayor sea el campo magnético, menor será la velocidad de la carga, por lo tanto, su desplazamiento será menor.
6. ¿Qué variables impactan el comportamiento sometido a campos electromagnéticos?
  - La variable de la velocidad ( $v$ ), el valor de la carga ( $q$ ), el valor del campo magnético ( $B$ ) y la fuerza ( $F$ ).
7. ¿Qué ecuaciones gobiernan el movimiento de partículas sometidas a campos electromagnéticos?
  - La ecuación para campos magnéticos se define por  $F_m = qv * B \sin(\phi)$ , donde  $B$  es el campo magnético,  $q$  es la carga, y  $v$  es el vector velocidad en el plano XY. Se mide en Teslas (T).
  - La ecuación para campos eléctricos se define por  $F_e = q * E$ , donde  $q$  es la carga y  $E^{\rightarrow}$  es el campo eléctrico.
  - En el movimiento de partículas sometidas a campos electromagnéticos, las ecuaciones que gobiernan son las siguientes  $F^{\rightarrow} = q(E^{\rightarrow} + v^{\rightarrow} \times B^{\rightarrow})$ . Conocemos que  $q$  es la carga,  $E^{\rightarrow}$  es el campo eléctrico,  $v$  es el vector velocidad en el plano XY, y  $B$  es el campo magnético. Esta ecuación es la unificación de las dos anteriores (campo eléctrico + campo magnético).
8. ¿Qué métodos se pueden usar para resolver ecuaciones diferenciales no lineales?
  - Para resolver ecuaciones diferenciales no lineales, se utilizan los métodos de sustitución, método de Euler, integrador exponencial.
9. ¿Cómo se programan las ecuaciones pertinentes en el software de Matlab?
 

Lo primero que se debe hacer es conocer las ecuaciones necesarias para el cálculo del iman,:

$$B^{\rightarrow} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P}{r^2}$$

$$|r| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Para ver el campo magnético será necesario calcular el campo en un conjunto de puntos en el espacio, para ello se usa la función meshgrid en Matlab. A fin de los puntos generados se sacan las distancias en x y.

$$x = \text{distancia en } x$$

$$y = \text{distancia en } y$$

$$P = \text{fuerza del polo}$$

$$P = \frac{\mu}{l}$$

$$\mu = \text{momento magnetico del iman}$$

$$l = \text{tamaño del imán}$$

$$a = \text{ancho imán}$$

$$V = la^2$$

$$\mu = \frac{B^{\rightarrow} V}{\mu_0} \rightarrow \mu = \frac{B^{\rightarrow} la}{\mu_0} \therefore P = \frac{B^{\rightarrow} a^2}{\mu_0}$$

$$P_s = -P_N$$

$$B_{N_x}^{\rightarrow} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P}{r^2} \cos(\theta) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P_N x}{\sqrt{(x^2 + y^2)^3}}$$

$$\cos(\theta) = \frac{x}{r}$$

$$B_{N_y}^{\rightarrow} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P}{r^2} \sin(\theta)$$

$$\sin(\theta) = \frac{y}{r}$$

$$B_{N_y}^{\rightarrow} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P}{r^2} \frac{y}{r} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P y}{r^2} \frac{1}{r} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P y}{r^2} \frac{1}{r} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P_N y}{\sqrt{(x^2 + y^2)^3}}$$

$$B_{s_x}^{\rightarrow} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P}{r^2} \cos(\theta) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P_s x}{\sqrt{(x^2 + y^2)^3}}$$

$$B_{s_y}^{\rightarrow} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P}{r^2} \sin(\theta) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{P_s y}{\sqrt{(x^2 + y^2)^3}}$$



Una vez que se obtienen en los componentes en x y de ambos polos, se aplica superposición, es decir, se suman los componentes en x y los y.

Dicho esto, los valores de entrada son las dimensiones del imán en metros (a,l) así como el campo magnético en Teslas ( $B^{\rightarrow}$ ).

10. Hacer una reflexión sobre la importancia de conocer los principios de campos magnéticos en el ejercicio de tu carrera.

- Reflexión: La importancia de conocer los principios de campos magnéticos en el ejercicio de nuestra carrera va más orientada a conocer maneras en las que podemos aplicar el funcionamiento de campos magnéticos, por ejemplo en la creación de sistemas que dependan de este principio o sistemas que contengan componentes magnéticos para trabajar; su utilidad no solo radica en aplicarlo a la vida real, también nos ayuda a aprender cómo modelar en 3 dimensiones los mismos principios usando las ecuaciones de fuerza y campo magnético.

## Programa en MATLAB - Graficación de las líneas de campo magnético (2D) de un dipolo magnético

```
clear
clc
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Solenoide %%%%%%%%%%%%%%
k=1e-07; %Miu0/4pi
miu0=pi*4e-07;% Constante de permitibidad magnetica en el vacio
n=35; %numero de atomos en el polo
anchom=input('Introduce el ancho del iman:'); %ancho del iman
sizem=input('Introduce la distancia entre los polos:');% Longitud del
iman
B=input('Introduce los teslas del iman:');% Campo magnetico
miu1=(B*sizem*anchom^2)/miu0 ; %Momento magnetico del iman
ps=(miu1*sizem); %Fuerza del polo
lambda=(ps)/(n^2); %Fuerza de polo de cada atomo en la parte Norte
lambda1=-(ps)/(n^2); %%Fuerza de polo de cada atomo en la parte sur

% Creacion de atomos en cada polo
xx=linspace(-anchom/2,anchom/2,n);
yy=linspace(0,sizem/2,n);

[xqn1,yqn1]=meshgrid(xx,yy);
plot(xqn1,yqn1,'r*') %Graficacion de los atomos en el polo norte
axis equal
hold on
qn1=ones(size(xqn1)).*lambda; %Asignacion de fuerza de polo a cada
atomo

yyy=linspace(-sizem/2,0,n);
[xqn2,yqn2]=meshgrid(xx,yyy)
plot(xqn2,yqn2,'b*')%Graficacion de los atomos en el polo sur
qn2=ones(size(xqn2)).*lambda1; %Asignacion de fuerza de polo a cada
atomo

%Meshgrid, asignación puntos en el espacio
n2=sizem*5;
bx=linspace(-anchom/2-n2,anchom/2+n2,n);
By=linspace(-sizem/2-n2,sizem/2+n2,n);
[X,Y]=meshgrid(bx,By);
x3=X;
y3=Y;

distx=[]; %Distancias en x
disty=[]; %Distancias en y
num1=[]; %Parte de arriba de la ecuacion del campo magnetico de
componentes en x del polo norte
num2=[];%Parte de arriba de la ecuacion del campo magnetico de
componentes en y del polo norte
```

```

p=1;
xqn1=xqn1'
xqn2=xqn2'
yqn1=yqn1'
yqn2=yqn2'

for i=1:length(xqn1).^2 %Distancias X Y de cada atomo en el polo norte
    distx=[distx;x3-xqn1(i)];
    disty=[disty;y3-yqn1(i)];
    num1=[num1;k.*qn1(i).*distx(p:i*length(bx),1:length(bx))];
    num2=[num2;k.*qn1(i).*disty(p:i*length(bx),1:length(bx))];
    p=(i*length(bx))+1;
end

denom=(distx.^2+disty.^2).^1.5; % Parte de abajo de la ecuacion del
campo magnetico
Bxx=num1./denom; % Matriz con todos los componentes x de cada atomo
polo norte
Bx=zeros(length(bx),length(bx)); %Matriz donde se sumaran todos los
componentes x de cada atomo polo norte
m=1;
for q=1:length(bx)
    Bx=Bx+Bxx(m;q*length(bx),1:length(bx)); %suma
    m=q*length(bx)+1;
end
Byy=num2./denom; % Matriz con todos los componentes y de cada atomo
polo norte
By=zeros(length(bx),length(bx)); %Matriz donde se sumaran todos los
componentes y de cada atomo polo norte

a=1;
for r=1:length(bx)
    By=By+Byy(a:r*length(bx),1:length(bx)); % Suma
    a=r*length(bx)+1;
end

%Parte negativa
% Se efectuan exactamente los mismos calculos pero con los atomos
situados
% en el polo sur del iman
distx2=[];
disty2=[];
num3=[];
num4=[];
h=1
for i2=1:length(xqn2).^2
    distx2=[distx2;x3-xqn2(i2)];
    disty2=[disty2;y3-yqn2(i2)];
    num3=[num3;k.*qn2(i2).*distx2(h:i2*length(bx),1:length(bx))];
    num4=[num4;k.*qn2(i2).*disty2(h:i2*length(bx),1:length(bx))];
    h=(i2*length(bx))+1;
end

```

```

denom2=(distx2.^2+disty2.^2).^1.5;
Bxx2=num3./denom2;
Bx2=zeros(length(bx),length(bx));

u=1;
for i3=1:length(bx)
    Bx2=Bx2+Bxx2(u:i3*length(bx)+1:length(bx));
    u=i3*length(bx)+1;
end
Byy2=num4./denom2;
By2=zeros(length(bx),length(bx));
v=1;
for i4=1:length(bx)
    By2=By2+Byy2(v:i4*length(bx)+1:length(bx));
    v=i4*length(bx)+1;
end

%%%%%% Superposicion de la matriz con coponentes x y de los polos
norte y sur%
bx=Bx+Bx2;
by=By+By2;
mb=sqrt(bx.^2+by.^2); %magnitud de los vectores
bx1=bx./mb; % Vectores unitarios
by1=by./mb;

quiver(X,Y,bx1,by1,'k')%Graficacion del campo vectorial magnetico
title('Campo magnetico del iman')
hold on

streamslice(X,Y,bx1,by1) %Lineas de campo magnetico

% Polo Norte
norte =
polyshape([-anchom/2,-anchom/2,anchom/2,anchom/2],[sizem/2,0,0,sizem/2]
);
plot(norte,'FaceColor','red')
axis equal

% Polo Sur
sur =
polyshape([-anchom/2,-anchom/2,anchom/2,anchom/2],[0,-sizem/2,-sizem/2,
0]);
plot(sur,'FaceColor','blue','FaceAlpha',0.1)
axis equal
xlim([-anchom/2-n2,anchom/2+n2])
ylim([-sizem/2-n2,sizem/2+n2])

```

## Cálculos

A) Cálculos para la obtención de la ecuación diferencial

$$\vec{B}_z = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \left[ \frac{3(\vec{\mu} \cdot \vec{r})\vec{r}}{a^2} - \vec{\mu} \right]$$

$$\vec{\mu} = \mu \hat{z} \text{ \& } \vec{\mu} \cdot \vec{r} = mz \therefore \vec{B}_z = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi r^3} \left[ \frac{3z^2}{r^2} - 1 \right]$$

$$\phi_{\vec{B}} = \int B \cdot dA$$

$$r = \sqrt{z^2 + a^2}$$

$$dA = 2\pi a \, da \therefore \int \frac{\mu_0 \mu}{4\pi r^3} \left[ \frac{3z^2}{r^2} - 1 \right] \cdot 2\pi r \, dr = \frac{\mu_0 \mu}{2} \int_0^e \left[ \frac{3z^2}{(z^2 + a^2)^5} - \frac{1}{(z^2 + a^2)^3} \right] da$$

$$\phi_{\vec{B}} = \frac{\mu_0 \mu a^2}{2(a^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = N \frac{d\phi}{dz} \frac{dz}{dt} = -N \frac{d\left(\frac{\mu_0 \mu a^2}{2(a^2 + z^2)^{3/2}}\right)}{dz} \frac{dz}{dt} = \frac{3\mu_0 \mu 2a^2 z}{4(a^2 + z^2)^{5/2}} \frac{dz}{dt} = \frac{3\mu_0 \mu a^2 z}{2(a^2 + z^2)^{5/2}} \frac{dz}{dt}$$

Aplicamos la Ley de Ohms

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{3\mu_0 \mu a^2 z}{2R(a^2 + z^2)^{5/2}} \frac{dz}{dt}$$

Aplicamos le dé Lorentz a una espira

$$F = I(\vec{L} \times \vec{B})$$

$$dF = I(d\vec{L} \times \vec{B})$$

$$F = \int_0^{2\pi a} IdLB = 2I\pi aB$$

Obtendremos la fuerza que ejerce cada espira

$$dF = 2\pi aBdl$$

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} = \frac{A}{\rho l}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \varepsilon c = \frac{\varepsilon \sigma A}{l}$$

$$dI = \frac{\varepsilon \sigma dA}{l}$$

$$l = 2\pi a$$

$$dF = 2\pi aB \frac{\varepsilon \sigma dA}{2\pi a} = B\varepsilon \sigma dA$$

Pasaremos el Campo magnético a coordenadas cilíndricas

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$r = \sqrt{a^2 + z^2} \therefore a = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$B_a = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{3z}{r^5} \sqrt{y^2 + x^2} = \frac{3\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{3za}{r^{5/2}}$$

$$dF = B\varepsilon \sigma dA = \frac{3\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{3za}{r^{5/2}} \frac{3\mu_0 \mu a^2 z}{2(a^2 + z^2)^{5/2}} \sigma \frac{dz}{dt} dz da = \frac{9\mu_0^2 \mu^2}{8\pi} \frac{a^3 z^2}{(a^2 + z^2)^5} \frac{dz}{dt} dz da$$

$$dF = \frac{9\mu_0^2 \mu^2}{8\pi} \frac{a^3 z^2}{(a^2 + z^2)^5} \frac{dz}{dt} dz da$$

$$F = \int_{a_1}^{a_2} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{9\mu_0^2 \mu^2}{8\pi} \frac{a^3 z^2}{(a^2 + z^2)^5} \frac{dz}{dt} dz da$$

$$F = \int_{a_1}^{a_2} \frac{9\mu_0^2 \mu^2 a^3}{8\pi} \frac{5\pi}{128a^7} \frac{dz}{dt} da$$

$$F = \left[ -\frac{9\mu_0^2 \mu^2}{8\pi} \frac{5\pi}{128} \frac{1}{3a^3} \frac{dz}{dt} \right]_{a_1}^{a_2} = \frac{15}{1024} \mu_0^2 \mu^2 \frac{1}{R} \left( \frac{1}{a_1^3} - \frac{1}{a_2^3} \right) \frac{dz}{dt}$$

Aplicamos segunda ley de newton

$$\sum F_z = -W + F_{\vec{B}}$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg - \frac{15}{1024} \mu_0^2 \mu^2 \frac{1}{R} \left( \frac{1}{a_1^3} - \frac{1}{a_2^3} \right) \frac{dz}{dt}$$

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -g - \frac{15}{1024m} \mu_0^2 \mu^2 \frac{1}{R} \left( \frac{1}{a_1^3} - \frac{1}{a_2^3} \right) \frac{dz}{dt}$$

### Solución de software para representar el movimiento de un dipolo magnético

En la solución final del reto, logramos obtener las gráficas de posición, velocidad y aceleración del imán, junto con el campo magnético del dipolo. Podemos observar las siguientes gráficas y una simulación de la caída del imán por el tubo. También podemos ver los datos de entrada que se utilizaron para calcular, graficar y simular el campo magnético del dipolo por medio del uso de la aplicación de MATLAB (.mlapp).

#### Script Final

```
anchom=app.AnchodelImanxEditField.Value;
sizem=app.LargodelImanEditField.Value;
d=app.diametrodeltuboEditField.Value; %Diametro del tubo
h =app.alturadeltuboEditField.Value; %altura del tubo
h2=app.alturasobreeltuboEditField.Value;
m=app.masaimanEditField.Value;
B=app.CampomagneticodelimanEditField.Value;
k=1e-07; %Miu0/4pi
miu0=pi*4e-07;% Constante de permitibilidad magnetica en el vacio
n=35; %numero de atomos en el polo
miu1=(2*pi*B*0.001^2)/miu0; %Momento magnetico del iman
ps=(miu1*sizem); %Fuerza del polo
lambda=(ps)/(n^2); %Fuerza de polo de cada atomo en la parte Norte
lambda1=-(ps)/(n^2); %%Fuerza de polo de cada atomo en la parte sur
% Creacion de atomos en cada polo
xx=linspace(-anchom/2,anchom/2,n);
yy=linspace(0,sizem/2,n);
[xqn1,yqn1]=meshgrid(xx,yy);
qn1=ones(size(xqn1)).*lambda; %Asignacion de fuerza de polo a cada atomo
yyy=linspace(-sizem/2,0,n);
[xqn2,yqn2]=meshgrid(xx,yyy);
qn2=ones(size(xqn2)).*lambda1; %Asignacion de fuerza de polo a cada atomo
%Meshgrid, asignación puntos en el espacio
n2=sizem*5;
bx=linspace(-anchom/2-n2,anchom/2+n2,n);
By=linspace(-sizem/2-n2,sizem/2+n2,n);
```

```

[X,Y]=meshgrid(bx,By);
x3=X;
y3=Y;
distx=[]; %Distancias en x
disty=[]; %Distancias en y
num1=[]; %Parte de arriba de la ecuacion del campo magnetico de componentes en x del polo
norte
num2=[]; %Parte de arriba de la ecuacion del campo magnetico de componentes en y del polo
norte
p=1;
xqn1=xqn1';
xqn2=xqn2';
yqn1=yqn1';
yqn2=yqn2';
for i=1:length(xqn1)^2 %Distancias X Y de cada atomo en el polo norte
distx=[distx;x3-xqn1(i)];
disty=[disty;y3-yqn1(i)];
num1=[num1;k.*qn1(i).*distx(p:i*length(bx),1:length(bx))];
num2=[num2;k.*qn1(i).*disty(p:i*length(bx),1:length(bx))];
p=(i*length(bx))+1;
end
denom=(distx.^2+disty.^2).^1.5; % Parte de abajo de la ecuacion del campo magnetico
Bxx=num1./denom; % Matriz con todos los componentes x de cada atomo polo norte
Bx=zeros(length(bx),length(bx)); %Matriz donde se sumaran todos los componentes x de cada
atomo polo norte
m22=1;
for q=1:length(bx)
Bx=Bx+Bxx(m22:q*length(bx),1:length(bx)); %suma
m22=q*length(bx)+1;
end
Byy=num2./denom; % Matriz con todos los componentes y de cada atomo polo norte
By=zeros(length(bx),length(bx)); %Matriz donde se sumaran todos los componentes y de cada
atomo polo norte
a=1;
for r=1:length(bx)
By=By+Byy(a:r*length(bx),1:length(bx)); % Suma
a=r*length(bx)+1;
end
%Parte negativa
% Se efectuan exactamente los mismos calculos pero con los atomos situados
% en el polo sur del iman
distx2=[];
disty2=[];
num3=[];
num4=[];
h3=1;
for i2=1:length(xqn2).^2
distx2=[distx2;x3-xqn2(i2)];
disty2=[disty2;y3-yqn2(i2)];
num3=[num3;k.*qn2(i2).*distx2(h3:i2*length(bx),1:length(bx))];
num4=[num4;k.*qn2(i2).*disty2(h3:i2*length(bx),1:length(bx))];
h3=(i2*length(bx))+1;
end
denom2=(distx2.^2+disty2.^2).^1.5;
Bxx2=num3./denom2;
Bx2=zeros(length(bx),length(bx));
u=1;
for i3=1:length(bx)
Bx2=Bx2+Bxx2(u:i3*length(bx),1:length(bx));
u=i3*length(bx)+1;
end

```



```

Byy2=num4./denom2;
By2=zeros(length(bx),length(bx));
v=1;
for i4=1:length(bx)
By2=By2+Byy2(v:i4*length(bx),1:length(bx));
v=i4*length(bx)+1;
end
%%%%%% Superposicion de la matriz con coponentes x y de los polos norte y sur%
bx=Bx+Bx2;
by=By+By2;
mb=sqrt(bx.^2+by.^2); %magnitud de los vectores
bx1=bx./mb; % Vectores unitarios
by1=by./mb;
%Graficacion
quiver(app.UIAxes3,X,Y,bx1,by1,'k')
axis(app.UIAxes3,'equal')
hold(app.UIAxes3,'on')
plot(app.UIAxes3,xqn1,yqn1,'r*') %Graficacion de los atomos en el polo norte
streamslice(app.UIAxes3,X,Y,bx1,by1) %Lineas de campo magnetico
plot(app.UIAxes3,xqn2,yqn2,'b*') %Graficacion de los atomos en el polo sur
xlim(app.UIAxes3,[-anchom/2-n2,anchom/2+n2])
ylim(app.UIAxes3,[-sizem/2-n2,sizem/2+n2])
hold(app.UIAxes3,'off')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Procedimiento de caida%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
g=0.0005; %Grosor 2 mm
pitch = 0.02;
syms th
r = d/2;
x = r*sin(th);
y = r*cos(th);
z1 = th/(2*pi)*pitch;
tmax = 2*pi*h/pitch;
miu0=4*pi*(10^-7);
miu1=(2*pi*B*0.001^2)/miu0;
ro=1.72e-08;
om=59.6*10^6;
Loops=sizem/g;%h/g;
%Tiempo
dt=0.01; %segundos
tl=3.2;
t=0:dt:tl;
%F=i*(E+cross(v))
a=-9.81;
Pm=zeros(1,length(t));
Pm(1)=h+h2;
a1=zeros(1,length(t));
a1(1)=a;
v=zeros(1,length(t));
v(1)=0;
%Caida libre
for i=1:(length(t)-1)
Pm(i+1)=Pm(i)+v(i)*dt+(a1(i)*dt^2)/2;
v(i+1)=v(i)+a1(1)*dt;
a1(i+1)=a;
if Pm(i+1)<=h
break
end
end
p=i;

R=log((r+g)/(r))/(2*pi*h*om); %Ohms

```

```

c=1/R;
%
km=(9*(miu0^2)*(miu1^2)*(r^4)*(Loops^2))/(4*R*m);
%
f=@(z,v)-9.81-(km*(z.^2)/((z.^2+r^2).^5)).*v;
f=@(z,v)-9.81-((15/1024)*(miu0^2)*(miu1^2)*c*(1/(r^3)-1/(r+g)^3)).*v/m;
dydt=@(y)[y(2); f(y(1),y(2))];
for i5=p:length(t)-1
z0=[Pm(i5);v(i5)];
k1=dydt(z0);
k2=dydt(z0+(dt*k1)/2);
k3=dydt(z0+(dt*k2)/2);
k4=dydt(z0+dt*k3);

Pm(i5+1)=Pm(i5)+(dt/6)*(k1(1)+2*k2(1)+2*k3(1)+k4(1));
v(i5+1)=v(i5)+(dt/6)*(k1(2)+2*k2(2)+2*k3(2)+k4(2));
a1(i5+1)=f(Pm(i5),v(i5));
if Pm(i5+1)<=0
    break
end
end

%%%%%%%%%Graficacion%%%%%%%%%
fplot3(app.UIAxes,x, y, z1, [0 tmax], 'color',[0.9100 0.4100
0.1700], 'LineWidth', 1) %Tubo
axis(app.UIAxes, 'equal')
grid(app.UIAxes, 'on')

```

## Casos de prueba

### Ejemplo 1\_Iman

$$a = 7 \text{ mm}$$

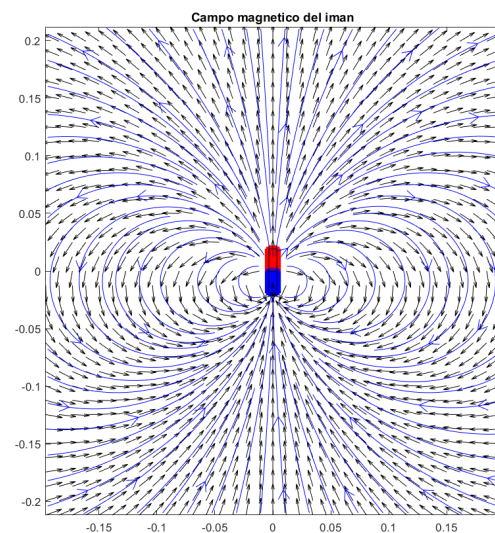
$$l = 3.85 \text{ cm}$$

$$B^{\rightarrow} = 0.001 \text{ T}$$

Introduce el ancho del iman:0.007

Introduce la distancia entre los polos:0.0385

Introduce los teslas del iman:0.001



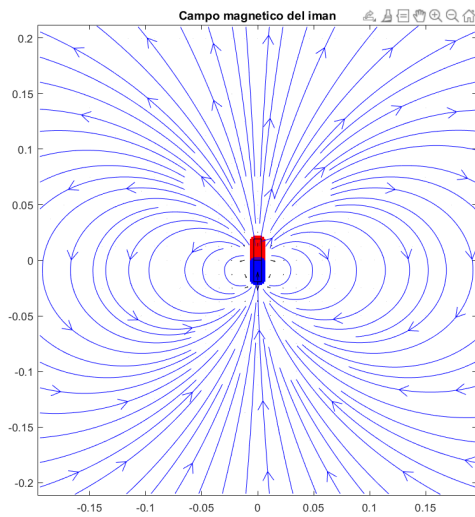


Figura 1. Campo magnético del imán

### Ejemplo 2

$$a = 2 \text{ cm}$$

$$l = 5 \text{ mm}$$

$$B \vec{=} 1 \text{ T}$$

```
Introduce el ancho del iman:0.02
Introduce la distancia entre los polos:0.005
Introduce los teslas del iman:1
>>
```

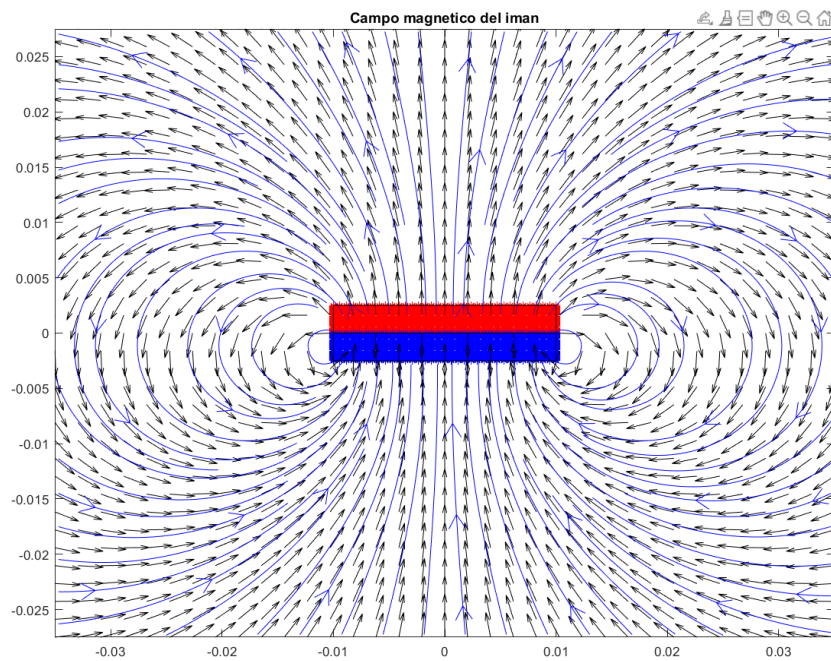
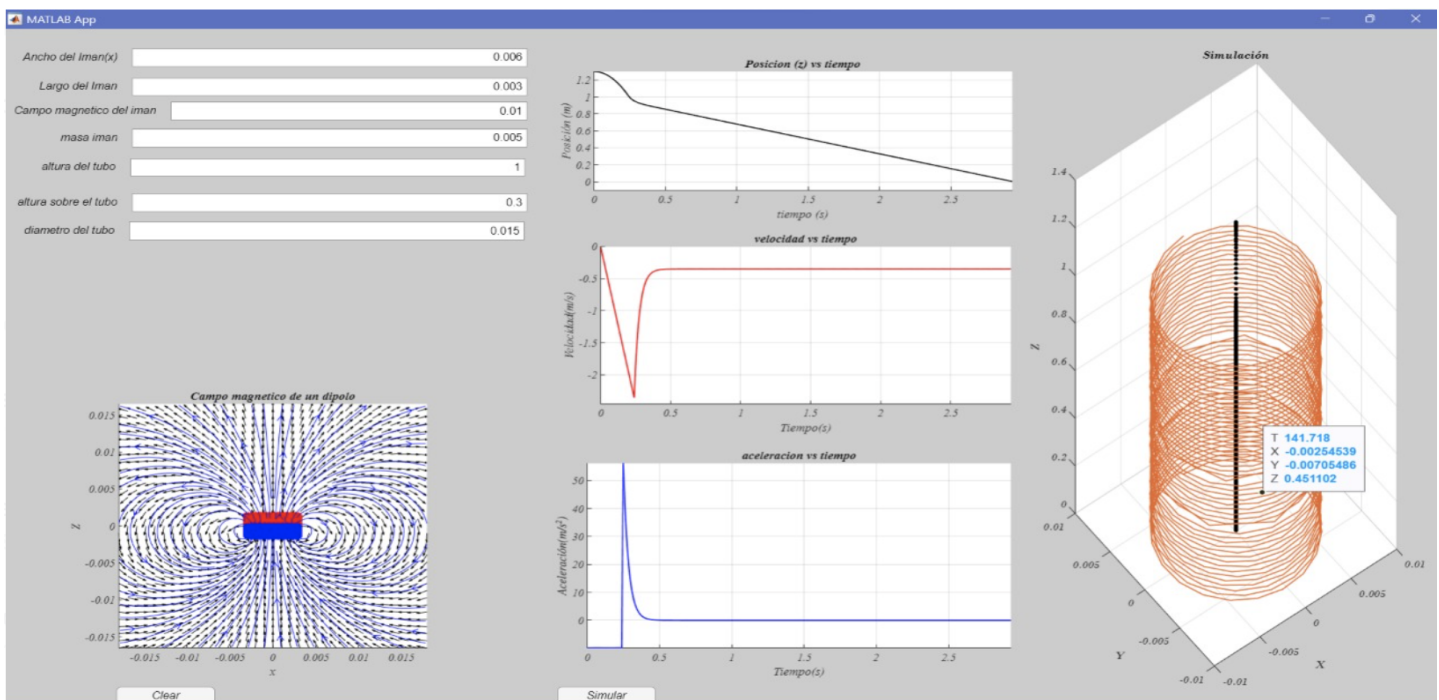
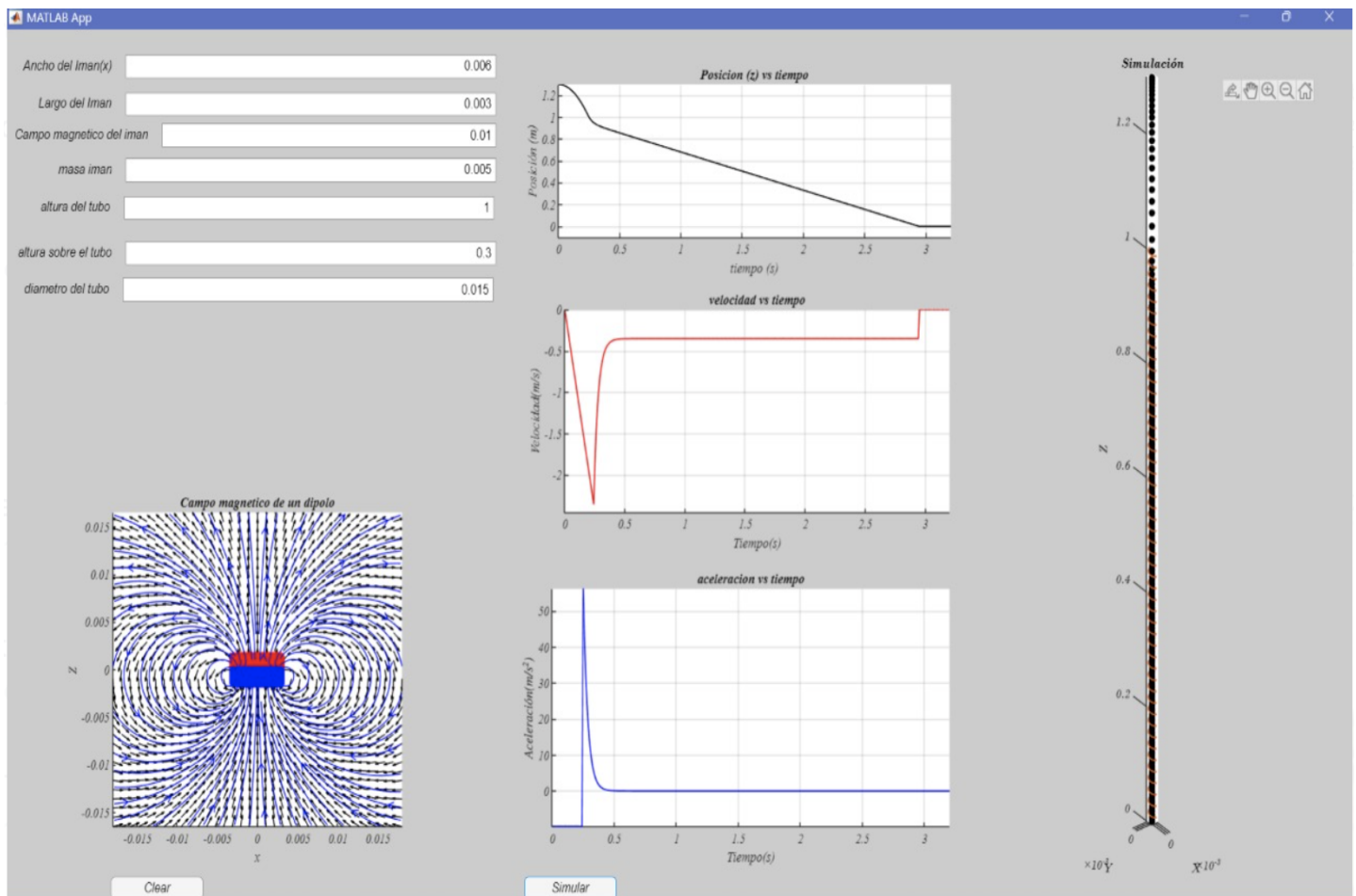
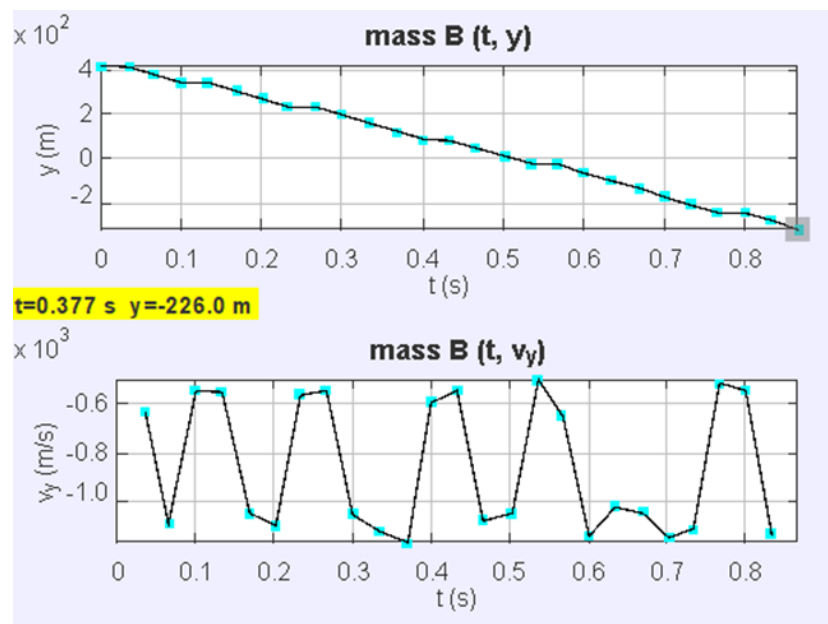
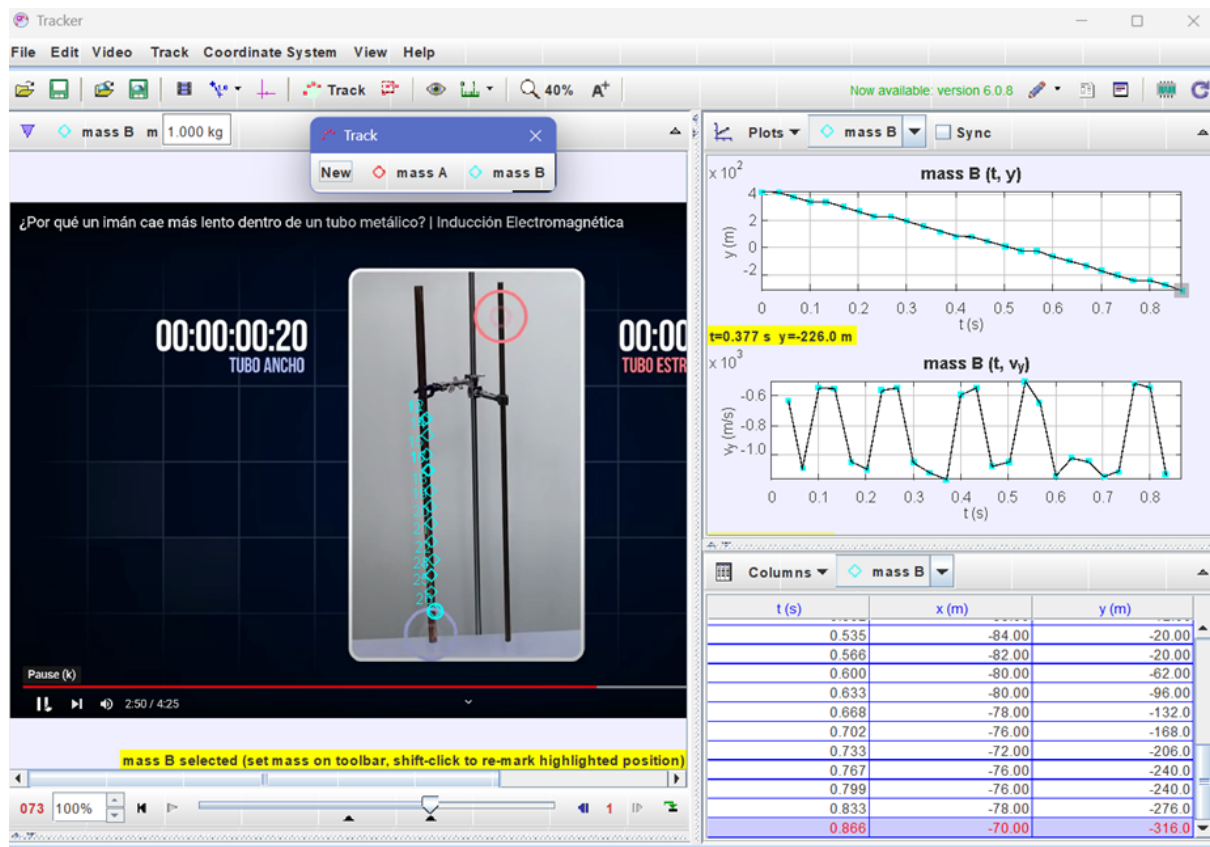


Figura 2. Campo magnético (vectores unitarios)

### Ejemplo 3 - Simulación Final



## Análisis cinemático de un dipolo magnético



## Conclusiones

En la elaboración de la práctica aprendimos a entender el funcionamiento de los principios eléctricos y magnéticos como lo son la ley de Lorentz, ley de Biot-Savart, ley de Ampere y poder aplicarlos a un ambiente de programación como lo fue en este caso MATLAB, para comprender el proceso de graficación de líneas de campo magnético tuvimos que analizar la ecuación dadas en el módulo de física además de entender el comportamiento de los vectores. Hubo problemas al generar las líneas de campo, ya que la distancia de los vectores eran visiblemente muy pequeñas y no se apreciaban, entonces resolvimos el problema ajustando los valores de los vectores y el área donde se mostraban. Analizando los resultados obtenidos podemos concluir que sí se manifiesta el comportamiento enseñado en la clase, en el programa, puesto que los vectores salen del polo norte magnético y llegan al polo sur.

Al finalizar este entregable aprendimos a relacionar los principios y leyes que rigen el magnetismo, a entender su funcionamiento y aplicaciones en la vida real, la explicación del funcionamiento de un imán, el porqué existen las fuerzas de repulsión y atracción, el funcionamiento analítico de los solenoides, los electroimanes, cómo conseguir corriente eléctrica a partir del movimiento de campos magnéticos. Otro aspecto importante fue entender la aplicación de estos mismos principios en el mundo, como por ejemplo los sistemas de frenado, los trenes levitantes, los interruptores, los microondas, los transformadores, los generadores, etc. Entender el comportamiento de las leyes y su relación también nos ayudó a poder modelar en un programa como MATLAB, el comportamiento de situación como lo fue la del reto, la caída de un imán y el efecto de frenado que tiene sobre una bobina de cobre, pudimos modelar la trayectoria, la velocidad, la aceleración y la fuerza con la que se comporta el objeto al caer, con esto entendemos los principios aplicados en la industria y cómo los llevan a cabo ingenieros profesionales.

## Referencias

BYJUS. (2021). *Magnetic Moment*. [Sitio Web].

<https://byjus.com/physics/magnetic-moment/>

Fernández, J. (2020). *Diferencia de potencial para acelerar un electrón*. FISICALAB. [Sitio Web]. <https://www.fisicalab.com/ejercicio/718>

García, Á. F. (2010). *Movimiento en un campo eléctrico: Fuerzas sobre las cargas*. [Sitio Web].

[http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/mov\\_campo/mov\\_campo.html#:~:text=Una%20part%C3%ADcula%20cargada%20que%20est%C3%A1,Fe%3Dq%C2%B7E](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/mov_campo/mov_campo.html#:~:text=Una%20part%C3%ADcula%20cargada%20que%20est%C3%A1,Fe%3Dq%C2%B7E)

García, Á. F. (2015). *Movimiento en campos eléctrico y magnético cruzados*. [Sitio Web].

[http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/magnetico/movimiento\\_em/movimiento\\_em.html](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/magnetico/movimiento_em/movimiento_em.html)

K&J Magnetics Inc. (s.f.). *Magnetic Dipole Moment*. [Sitio Web].

<https://www.kjmagnetics.com/blog.asp?p=dipole>

Mateo, S. (s.f.). *The Magnetic Moment of a Bar Magnet and the Horizontal Component of the Earth's Magnetic Field*. [PDF].

<https://collegeofsanmateo.edu/physics/docs/physics260/lab16.pdf>

Ipl, N. (2017, May 16). *Physics in Action: Magnet Falling Through a Conductive Pipe*

[Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=2-iEVFIClqM&feature=youtu.be>

Física en la UAM presenta: Tus Experimentos. (2013, November 22). *¿Por qué un imán cae más lento dentro de un tubo metálico? | Inducción Electromagnética*

[Video]. YouTube.

[https://www.youtube.com/watch?v=xNxq\\_TJMvIk&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=xNxq_TJMvIk&feature=youtu.be)