

Para el procesamiento de datos, partimos vaciando el Workspace del presente LiveScript de Matlab.

```
clear all; close all; clc
```

## EXPERIMENTO 1: $B(z, r=0)$ PARA DIFERENTES SEPARACIONES

Cargamos la data correspondiente al primer experimento. Esto es, los valores de campo magnético en la dirección axial medidos sobre el eje de simetría, para diferentes separaciones entre las bobinas:

```
E1_data1 = xlsread("E1Data1.xls");  
E1_data2 = xlsread("E1Data2.xls");  
E1_data3 = xlsread("E1Data3.xls");
```

Dado lo presentado en el fundamento teórico del presente informe de laboratorio, podemos encontrar los valores teóricos para el campo magnético a fin de contrastar lo medido experimentalmente con lo proyectado matemáticamente. Para ello, hacemos uso de la función Helmholtz previamente construida:

### Para una separación de $R/2$ :

```
R = 20; p = 0; dVal = R/2; I = 2.5;  
[zValE11, HzValZE11, HpValZE11] = Helmholtz(R, p, dVal, I);
```

### Para una separación de $R$ :

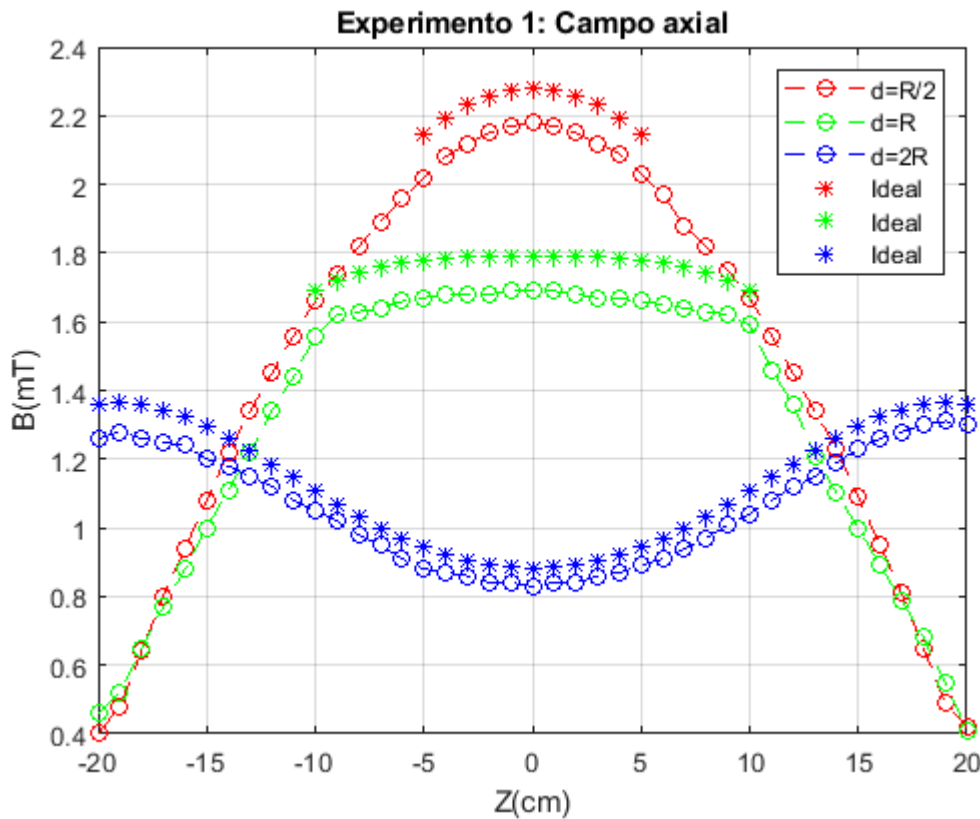
```
R = 20; p = 0; dVal = R; I = 2.5;  
[zValE12, HzValZE12, HpValZE12] = Helmholtz(R, p, dVal, I);
```

### Para una separación de $2R$ :

```
R = 20; p = 0; dVal = 2*R; I = 2.5;  
[zValE13, HzValZE13, HpValZE13] = Helmholtz(R, p, dVal, I);
```

Podemos plotear lo obtenido para mayor visualización:

```
plot(E1_data1(:,1), E1_data1(:,2), 'r--o', ...  
     E1_data2(:,1), E1_data2(:,2), 'g--o', ...  
     E1_data3(:,1), E1_data3(:,2), 'b--o', ...  
     zValE11, HzValZE11, 'r*', ...  
     zValE12, HzValZE12, 'g*', ...  
     zValE13, HzValZE13, 'b*')  
xlabel('Z(cm)'); ylabel('B(mT)'); title('Experimento 1: Campo axial')  
legend('d=R/2', 'd=R', 'd=2R', 'Ideal', 'Ideal', 'Ideal')  
grid on
```



Obsérvese que, en la región interior entre las dos bobinas del arreglo de Helmholtz, los valores medidos empíricamente convergen a lo predicho matemáticamente.

## EXPERIMENTO 2: $B_z(z,r)$ PARA DIFERENTES DISTANCIAS RADIALES

Importamos la data obtenido experimentalmente:

```
E2_data1 = xlsread("E2Data1.xls");
E2_data2 = xlsread("E2Data2.xls");
E2_data3 = xlsread("E2Data3.xls");
E2_data4 = xlsread("E2Data4.xls");
```

Generamos los valores esperados predichos por la matemática del arreglo de Helmholtz:

**Para un radio de  $r=0$ :**

```
R = 20; p = 0; dVal = R; I = 2.5;
[zValE21,HZValZE21,HpValZE21] = Helmholtz(R,p,dVal,I);
```

**Para un radio de  $r=10$ :**

```
R = 20; p = 10; dVal = R; I = 2.5;
[zValE22,HZValZE22,HpValZE22] = Helmholtz(R,p,dVal,I);
```

**Para un radio de  $r=14$ :**

```
R = 20; p = 14; dVal = R; I = 2.5;
```

```
[zValE23,HZValZE23,HPValZE23] = Helmholtz(R,p,dVal,I);
```

**Para un radio de  $r=16$ :**

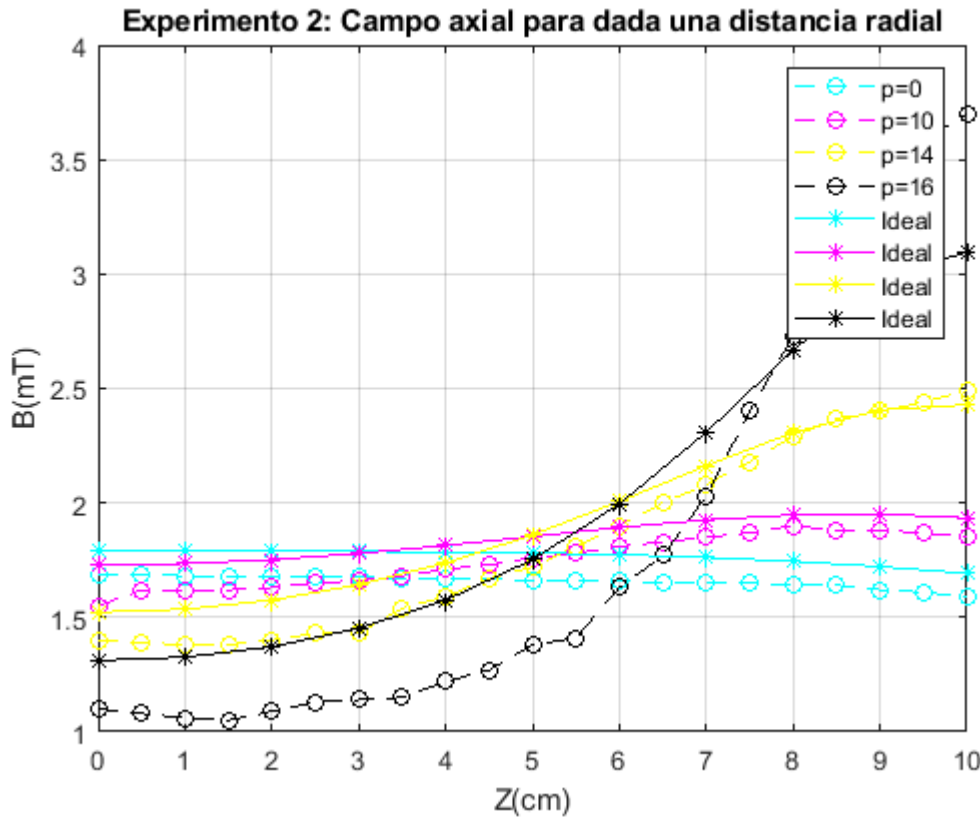
```
R = 20; p = 16; dVal = R; I = 2.5;  
[zValE24,HZValZE24,HPValZE24] = Helmholtz(R,p,dVal,I);
```

Con lo recaudado, nos restringimos al análisis de datos sobre el cuadrante positivo hallando el punto de partida,  $z=0$ , en cada dominio:

```
ZerozE21 = find(zValE21 == 0);  
ZerozE22 = find(zValE22 == 0);  
ZerozE23 = find(zValE23 == 0);  
ZerozE24 = find(zValE24 == 0);
```

Así, podemos presentar el ploteo:

```
plot(E2_data1(:,1),E2_data1(:,2),'c--o',E2_data2(:,1), ...  
     E2_data2(:,2),'m--o',E2_data3(:,1),E2_data3(:,2), ...  
     'y--o',E2_data4(:,1),E2_data4(:,2),'k--o', ...  
     zValE21(ZerozE21:end),HZValZE21(ZerozE21:end),'c-*', ...  
     zValE22(ZerozE22:end),HZValZE22(ZerozE22:end),'m-*', ...  
     zValE23(ZerozE23:end),HZValZE23(ZerozE23:end),'y-*', ...  
     zValE24(ZerozE24:end),HZValZE24(ZerozE24:end),'k-*')  
xlabel('Z(cm)');ylabel('B(mT)');  
title('Experimento 2: Campo axial para dada una distancia radial')  
legend('p=0','p=10','p=14','p=16','Ideal','Ideal','Ideal','Ideal')  
grid on
```



Donde queda en evidencia el correcto modelamiento que proporcionan las integrales elípticas de primera y segunda especie sobre lo obtenido experimentalmente.

## EXPERIMENTO 3: $B_r(z,r)$ PARA DIFERENTES DISTANCIAS RADIALES

Importamos la data concerniente:

```
E3_data1 = xlsread("E3Data1.xls");
E3_data2 = xlsread("E3Data2.xls");
E3_data3 = xlsread("E3Data3.xls");
E3_data4 = xlsread("E3Data4.xls");
```

Anteriormente encontramos tanto las componentes teóricas radiales como axiales del campo magnético para  $r=0$  y  $r=10$ , por lo que, a objetivos del presente experimento, nos reducimos a encontrar los valores de campo magnético correspondientes a  $r=14$  y  $r=18$ . Esto es:

```
R = 20; p = 14; dVal = R; I = 2.5;
[zValE31,HZValZE31,HpValZE31] = Helmholtz(R,p,dVal,I);
R = 20; p = 18; dVal = R; I = 2.5;
[zValE34,HZValZE34,HpValZE34] = Helmholtz(R,p,dVal,I);
```

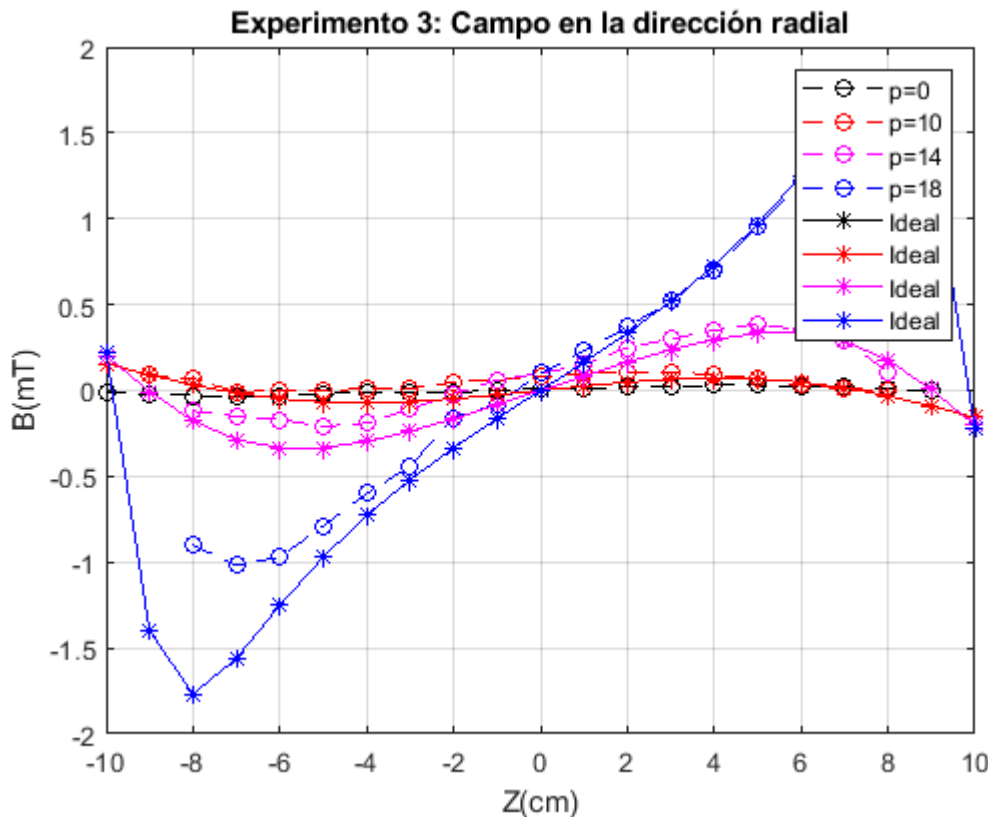
Observe que  $H_p$  guarda las componentes radiales, mientras que  $H_z$  las componentes axiales. Así, pasamos a plotear:

```
plot(flip(E3_data1(:,1)),E3_data1(:,2),'k--o', ...
     flip(E3_data2(:,1)),E3_data2(:,2),'r--o', ...
     flip(E3_data3(:,1)),E3_data3(:,2),'m--o', ...
```

```

flip(E3_data4(:,1)),E3_data4(:,2),'b--o', ...
zValE31,HpValZE31,'k-*', ...
zValE22,HpValZE22,'r-*', ...
zValE23,HpValZE23,'m-*', ...
zValE34,HpValZE34,'b-*')
xlabel('Z(cm)');ylabel('B(mT)');title('Experimento 3: Campo en la dirección radial')
legend('p=0','p=10','p=14','p=18','Ideal','Ideal','Ideal','Ideal')
grid on

```



Donde es fácil ver la concordancia de lo medido con lo propuesto en la teoría.

## EXPERIMENTO 4: CAMPO MAGNÉTICO PARA CADA BOBINA

Para la siguiente experiencia, se verificará que los campos magnéticos generados por cada bobina son opuestamente simétricos, para dada una posición fija de la sonda sobre el eje de simetría en la región interior del arreglo de Helmholtz. Para ello, importamos:

```

E4_data1 = xlsread("E4Data1.xls");
E4_data2 = xlsread("E4Data2.xls");

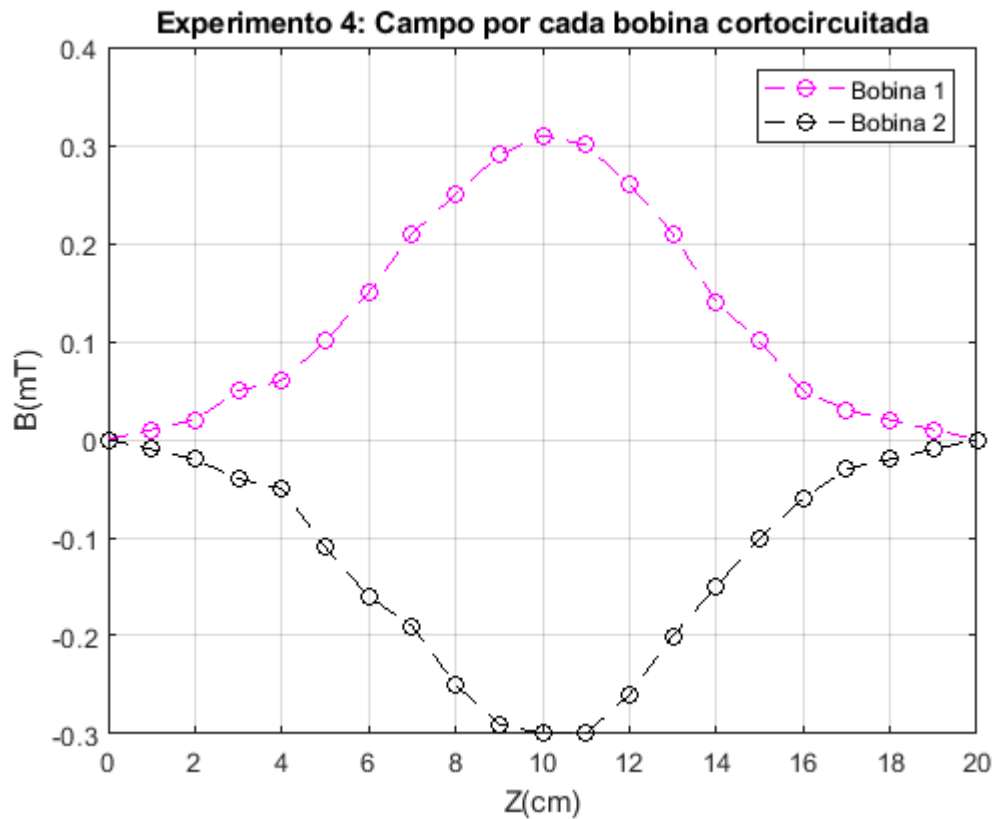
```

Así, podemos hacer el ploteo:

```

plot(E4_data1(:,1),E4_data1(:,2),'m--o', ...
      E4_data2(:,1),E4_data2(:,2),'k--o')
xlabel('Z(cm)');ylabel('B(mT)');title('Experimento 4: Campo por cada bobina cortocircuitada')
legend('Bobina 1','Bobina 2')
grid on

```



Donde es claro que los campos magnéticos producidos por cada bobina respetan una condición de simetría.

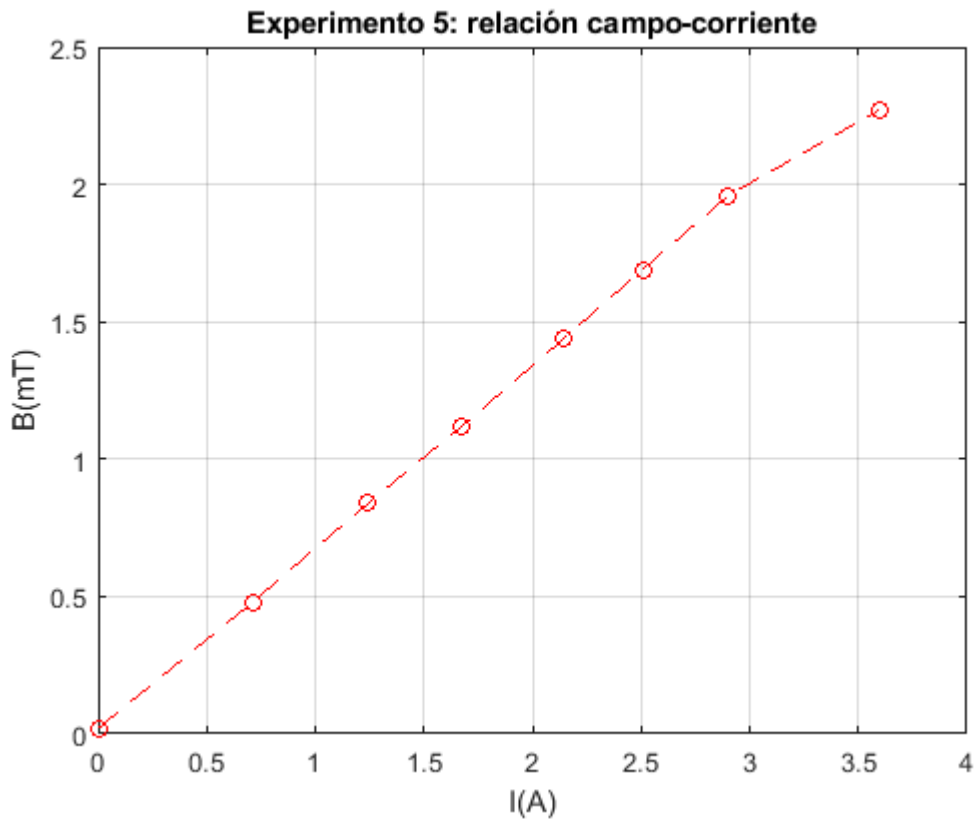
## EXPERIMENTO 5: CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

Importamos la data correspondiente:

```
E5_data = xlsread("E5Data.xls");
E5_data1 = xlsread("E5Data1.xls");
E5_data2 = xlsread("E5Data2.xls");
```

En la que se espera una dependencia lineal entre la corriente y el campo magnético, con el factor de calibración como pendiente. Ploteando, podemos visualizar:

```
plot(E5_data(:,1), -E5_data(:,2), 'r--o')
xlabel('I(A)'); ylabel('B(mT)'); title('Experimento 5: relación campo-corriente')
grid on
```



Usando la función `polyfit()` predeterminada de Matlab, podemos encontrar la pendiente del ajuste lineal:

```
CoefE5 = polyfit(E5_data(:,1),-E5_data(:,2),1);
```

Así, el factor de calibración viene a ser (en unidades de mT):

```
Kh = CoefE5(1)
```

```
Kh = 0.6432
```

La permeabilidad magnética es:

```
u0=4*pi*10^(-7);
```

Por lo que es directo encontrar el número de espiras, usando la relación demostrada en la sección de fundamento teórico del presente informe de laboratorio para el campo magnético en el centro del arreglo de Helmholtz.

```
Nesp = Kh*0.2*10^(-3)/(u0*0.715)
```

```
Nesp = 143.1723
```

Finalmente, para hallar el campo magnético terrestre, debemos encontrar la constante de proporcionalidad entre el campo magnético total ( $K \cdot I$ ) medido con el la desviación del magnetómetro. Así:

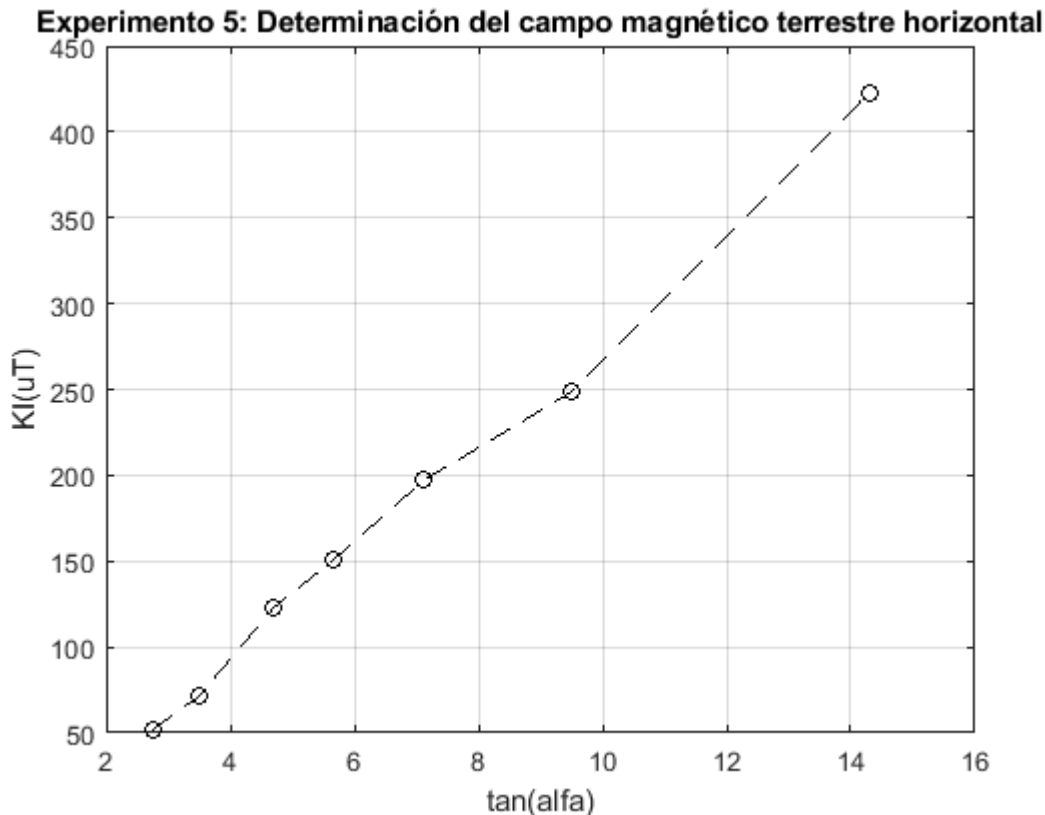
```
IK = Kh*E5_data1(:,2)*10^(3);
```

Donde el factor  $10^3$  impone que el producto  $I \cdot K$  esté dado en uT. Por otro lado, se midieron las deflexiones de la aguja:

```
tanalfa = tan(E5_data1(:,1)*pi/180);
```

Tal que plotando, tenemos:

```
plot(tanalfa,IK,'k--o')
xlabel('tan(alfa)');ylabel('KI(uT)');
title('Experimento 5: Determinación del campo magnético terrestre horizontal')
grid on
```



Ajustando a un recta, guardamos los parámetros de regresión:

```
CoefE52 = polyfit(tanalfa,IK,1);
```

Por lo que el campo magnético terrestre, en su componente horizontal, viene dado por la pendiente. Así:

```
BTH = CoefE52(1)
```

```
BTH = 31.4847
```

Por otro lado, para la componente vertical, hallamos el ángulo de deflexión promedio encontrado en el plano ortogonal:

```
ThetaProm = mean(E5_data2)*pi/180;
```



Por lo que, finalmente, la componente vertical del campo viene dado por:

$$BVH = BTH \cdot \tan(\Theta_{Prom})$$

$$BVH = 18.1777$$

Así, el campo magnético terrestre total es:

$$B_{tierra} = \sqrt{BTH^2 + BVH^2}$$

$$B_{tierra} = 36.3554$$

Por otro lado, tenemos los valores reales para las componentes del campo magnético en el Perú al nivel del mar:

$$BTH_{real} = 27.122;$$

$$BVH_{real} = 18.103;$$

En uT. Por lo que estamos sujeto a errores porcentuales:

$$Err_{BTH} = (BTH - BTH_{real}) \cdot 100 / BTH_{real}$$

$$Err_{BTH} = 16.0853$$

$$Err_{BVH} = (BVH - BVH_{real}) \cdot 100 / BVH_{real}$$

$$Err_{BVH} = 0.4125$$

$$Err_{B_{tierra}} = (\sqrt{BTH_{real}^2 + BVH_{real}^2} - B_{tierra}) \cdot 100 / \sqrt{BTH_{real}^2 + BVH_{real}^2}$$

$$Err_{B_{tierra}} = -11.4900$$

```
function [zVal,HZValZ,HPValZ] = Helmholtz(R,p,dVal,I)
    zVal = [-dVal/2:dVal/2];
    k2 = @(a,p,z) 4*a.*p./((a+p).^2+z.^2);
    k2ValpD = k2(R,p,zVal+dVal/2);
    k2ValmD = k2(R,p,zVal-dVal/2);
    [KkpD,EkpD] = ellipke(k2ValpD);
    [KkmD,EkmD] = ellipke(k2ValmD);
    HzpD = @(I,a,p,z,d) (I/(2*pi))*(1./sqrt((p+a).^2+(z+d/2).^2))...
        .*((a.^2-p.^2-(z+d/2).^2).*EkpD./((a-p).^2+(z+d/2).^2)+KkpD);
    HzmD = @(I,a,p,z,d) (I/(2*pi))*(1./sqrt((p+a).^2+(z-d/2).^2))...
        .*((a.^2-p.^2-(z-d/2).^2).*EkmD./((a-p).^2+(z-d/2).^2)+KkmD);
    HppD = @(I,a,p,z,d) (I/(2*pi))*((z+d/2)./(p.*sqrt((p+a).^2+(z+d/2).^2)))...
        .*((KkpD-(a.^2+p.^2+(z+d/2).^2).*EkpD./((a-p).^2+(z+d/2).^2));
    HpmD = @(I,a,p,z,d) (I/(2*pi))*((z-d/2)./(p.*sqrt((p+a).^2+(z-d/2).^2)))...
        .*((KkmD-(a.^2+p.^2+(z-d/2).^2).*EkmD./((a-p).^2+(z-d/2).^2));
    HZValZpD = HzpD(I,R,p,zVal,dVal);
    HZValZmD = HzmD(I,R,p,zVal,dVal);
    HZValZ = (HZValZpD+HZValZmD);
    HPValZpD = HppD(I,R,p,zVal,dVal);
    HPValZmD = HpmD(I,R,p,zVal,dVal);
    HPValZ = (HPValZpD+HPValZmD);
```

end