

Proyecto de Cátedra

Modelado y simulación de un circuito magnético

1. Daniela Sarai Fernandez
Garcia FG180135

*Facultad de Ingeniería-Escuela
de eléctrica
Universidad Don Bosco
San Salvador, El Salvador*

2. Andrea Nicole Pérez De Paz
PD180207

*Facultad de Ingeniería-Escuela
de eléctrica
Universidad Don Bosco
San Salvador, El Salvador*

3. Gerardo André Ruano
Chávez RC180529

*Facultad de Ingeniería-Escuela
de eléctrica
Universidad Don Bosco
San Salvador, El Salvador*

4. Christian Alexander Rivas
Trinidad RT180054

*Facultad de Ingeniería-Escuela
de eléctrica
Universidad Don Bosco
San Salvador, El Salvador*

Resumen— En el presente documento se lleva a cabo la resolución del problema asignado como proyecto de cátedra, de la materia de Campos y Ondas electromagnéticas. Donde se pide dar solución a un circuito magnético a través de su equivalente en circuito eléctrico, para ello se realizarán cálculos de diferentes parámetros como reluctancia, flujo magnético entre otros.

Abstract— In the present document the resolution of the problem assigned as a project of the subject of Electromagnetic Fields and Waves. That is requested to solve a magnetic circuit through its equivalent in electric circuit, for this purpose calculations of different parameters such as reluctance, magnetic flux and others will be made.

Palabras Claves— Magnetización, acero suave, núcleo ferromagnético, material ferromagnético, circuito magnético, corrientes.

I. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de las prácticas de laboratorio de Campos y Ondas electromagnéticas se han ampliado habilidades para el uso adecuado de diferentes software que permiten realizar el cálculo de algunos parámetros eléctricos y magnéticos, dichas habilidades nos servirán en esta ocasión para resolver el problema planteado; es importante recalcar que además de ello se implementaran conocimientos adquiridos en la sección teórica de la materia antes mencionada, ya que no solamente se realizara la simulación del problema en el software Femm, sino que además se harán los cálculos teóricos aplicando técnicas para el análisis de circuitos magnéticos y la investigación que justifique la selección de los materiales a utilizar en el circuito magnético.

II. DESARROLLO DE PROYECTO

1. Selección de materiales a utilizar

1.1 Justificación de elección de material para el núcleo

Al adicionar silicio al hierro con bajo contenido de carbono se forma una aleación con una permeabilidad magnética bastante alta y se ha encontrado que son adecuados para aplicaciones de campos magnéticos alternos como relés y

solenoides. Para realizar un análisis de dicha aleación se realizará primero una descripción individual

A. Hierro

El hierro es un elemento químico, es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre posee un aspecto metálico brillante con un tono grisáceo con número atómico 26. Su símbolo es Fe y pertenece al grupo de los metales de transición.

El estado del hierro en su forma natural es sólido (ferromagnético). El núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel en forma metálica, generando al moverse un campo magnético.



Fig.1. hierro puro

B. Silicio

El silicio es un metaloide, por lo que tiene algunas características metálicas, pero no es un verdadero metal como tal. Es un buen semiconductor, por lo que permite el paso de la electricidad, pero a diferencia de los metales, se puede controlar fácilmente el flujo.



Fig.2. Silicio

C. Hierro-Silicio

Esta aleación se utiliza generalmente en las aplicaciones que requieren de mayor resistividad eléctrica, alta permeabilidad, baja fuerza coercitiva.

Estos aceros se emplean generalmente en formas de chapas o fleje para la fabricación de núcleos o piezas de máquinas eléctricas y transformadores, que son sometidos a la acción de campos electromagnéticos que varían muy rápidamente de valor.

Hoy en día, el material que más se utiliza para este tipo de trabajos es el acero al silicio de bajo contenido de Carbono y con 2% a 4.5% de concentración de Silicio.

Para este tipo de material tenemos las siguientes características, lo cual lo hacen el material ideal:

- Proceso de imantación más rápido a comparación a otros materiales.
- La inducción magnética intrínseca máxima es muy elevada.
- Un aumento del campo magnético les origina una variación de flujo diferente de la variación que originaría una disminución igual del campo magnético. Esto nos indica que la inducción magnética y la permeabilidad μ no son lineales ni uniformes.
- Conservan la imanación cuando se suprime el campo magnético.
- Cuando han sido imantados tienden a oponerse a la inversión de dicho sentido de imanación.

El material que hemos elegido por el equipo es el Carpenter Silicon Core Iron "A". Este material está compuesto de los siguientes elementos: carbón, con una concentración del 0.03%; magnesio, con una concentración del 0.15%; silicio con una concentración del 1% y metal que da el balanceo de este material. Este material debe ser balanceado de manera muy cuidadosa para obtener la mejor calidad del producto. Dicha mezcla contiene un aditivo el cual mejora sus características y lo hace óptimo para aplicaciones dentro del magnetismo.

Posee una temperatura de curie elevada que es de 810 grados Celsius, lo cual hace que sus propiedades sean perdidas en menor escala en comparación con otros materiales.

Se ha escogido ya que por sus características es bastante implementado en transformadores los cuales son una de las principales aplicaciones de los temas que se están estudiando.

1.1.1 Curva de magnetización del material ferromagnético utilizado

En la fig. 3 se presenta la curva de magnetización B-H del material seleccionado.

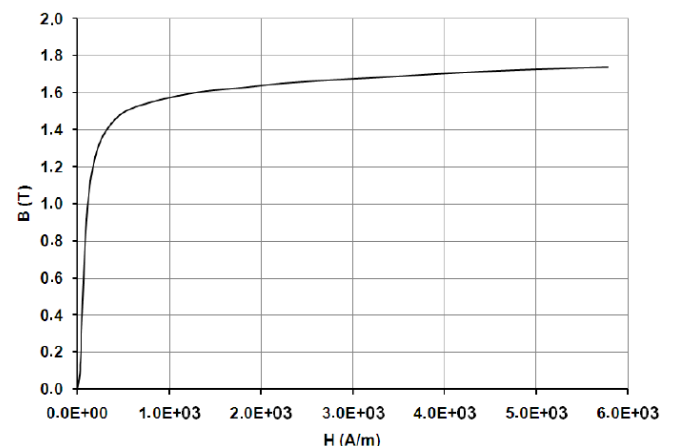


Fig.3. Curva de magnetización de "Carpenter Silicon Core Iron A"

1.2. Justificación de elección del cable para la bobina

AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

Fig.4. tabla de amperajes para cable AWG

Para la selección del cable a utilizar solamente se tomo en cuenta el amperaje máximo que va a circular en el conductor por lo cual se decidió utilizar AWG calibre 12

2. Solución mediante técnicas de circuitos magnéticos

A continuación, se muestra el circuito magnético a analizar (ver fig.5) y posteriormente su equivalente en circuito eléctrico (ver fig.6)

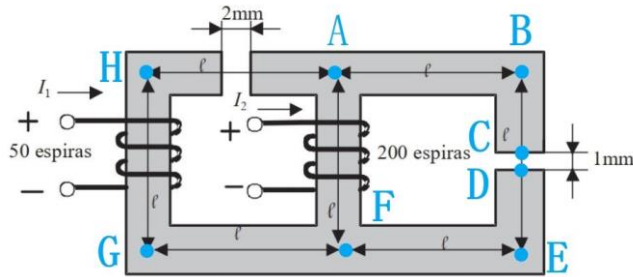


Fig.5. circuito magnético

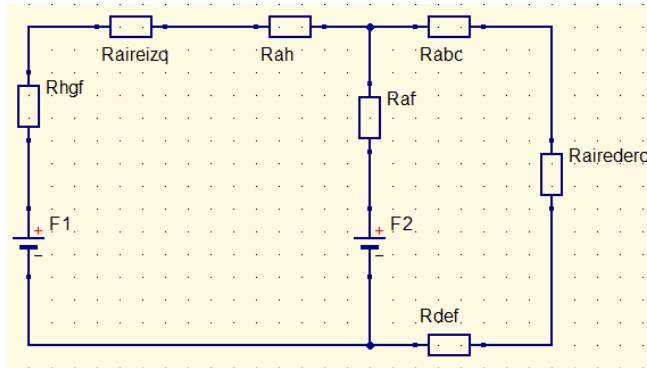


Fig.6. circuito eléctrico modelado en Qucs

Se procede a calcular el valor de H sabiendo que el material en el entre hierro es aire y además conociendo del enunciado que el valor de B2 es de 1 tesla, se sustituyen estos datos en (1):

$$H_{aire} = \frac{B_2}{\mu_0} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} = 795.7747 \times 10^3 \frac{AV}{m} \quad (1)$$

Para obtener el valor H del material seleccionado para el núcleo se procederá a realizar una interpolación de la tabla de valores obtenidos en Femm (ver fig. 7) a través de Matlab, de esta manera el valor a utilizar será más preciso (ver fig.8)

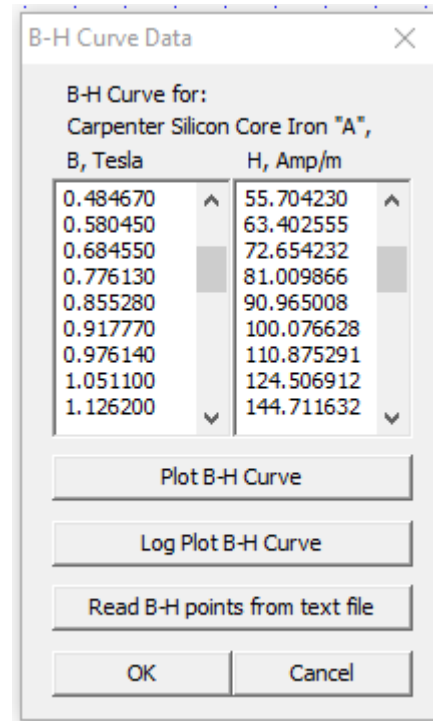


Fig.7. Datos distribuidos en curva de magnetización para M-50

```
>> H=[90.965008 100.076628 110.875291 124.506912 144.711632];
>> B=[0.855280 0.917770 0.976140 1.051100 1.126200];
>> interp1(B,H,1,'pchip')

ans =

1.150503416932808e+02
```

Fig.8. Interpolación de datos en Matlab

El resultado obtenido se muestra a continuación (2):

$$H_{metal} = 115.0503 \frac{AV}{m} \quad (2)$$

Continuamos con el cálculo de la diferencia de potencial magnético para los puntos abc, def y cd

$$U_{ABC} = H_{metal} * L_{ABC} = (115.0503)(0.1495) = 17.2000 AV$$

$$U_{ABC} = U_{DEF} = 17.2000 AV$$

$$U_{CD} = H_{aire} * L_{CD} = (795.7747 \times 10^3)(1 \times 10^{-3})$$

$$U_{CD} = 795.7747 AV$$

$$U_{AHGF} = H_0 * L_{AHGF} = 0 ; \text{ donde } H_0 = 0$$

Para U_{AHGF} la fuerza magnetomotriz calculada es la sumatoria de los valores que se encuentran en toda la trayectoria del tramo izquierdo es decir tomando en cuenta todas las reluctancias involucradas en dicho lazo por lo que resulta un valor de cero.

Luego de realizar los cálculos mostrados anteriormente se procede a calcular la corriente I_1 mediante LVK1 en la parte izquierda del entrehierro onde se sabe que la densidad de flujo es=0.

$$-I_1 * N_1 + U_{AHGF} + 2U_{ABC} + U_{DC} = 0 \quad (3)$$

Al sustituir los datos en la ecuación (3), se debe tomar en consideración que $N_1=50$ vueltas, $U_{AFED} = 0$ y se despeja I_1 :

$$I_1 = \frac{2U_{ABC} + U_{DC}}{50} = \frac{2(17.2000) + (795.7747)}{50}$$

$$I_1 = 16.6035 \text{ A}$$

Inmediatamente se procede a encontrar el valor de la corriente I_2 mediante un análisis de LVK en la malla 2 pero antes se calcula la diferencia de potencial magnético entre AF:

$$U_{AF} = H_{METAL} * L_{AF} = (115.0503)(0.1) = 11.5050 \text{ AV}$$

LVK2:

$$-I_2 * N_2 + U_{AF} + 2U_{ABC} + U_{CD} = 0 \quad (4)$$

A partir de (4) donde $N_2=200$ vueltas, se despeja I_2 :

$$I_2 = \frac{U_{AF} + 2U_{ABC} + U_{CD}}{N_2}$$

$$I_2 = \frac{(11.5050) + 2(17.2000) + (795.7747)}{200} = 4.2084 \text{ A}$$

$$I_2 = 4.2084 \text{ A}$$

3. Comprobación de solución mediante software FEMM

Para la comprobación de los resultados obtenidos se llevará a cabo la simulación del circuito magnético mediante el software Femm por lo que a continuación se presentaran las capturas para asignación de materiales, modelado y resultados.

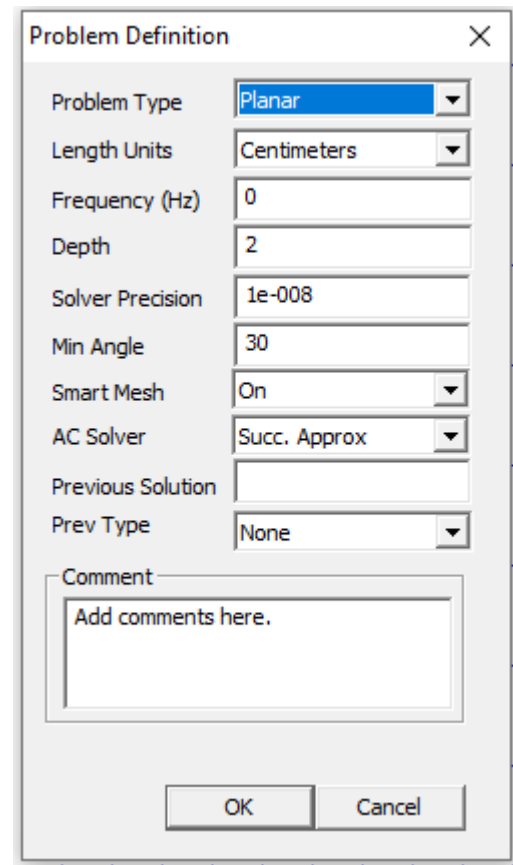


Fig.8. Asignación de propiedades del problema en FEMM

El área transversal solicitada en el enunciado es de $S = 5\text{cm}^2$, y por ello asignaremos un valor de profundidad de 2cm y el ancho de 2.5 cm.

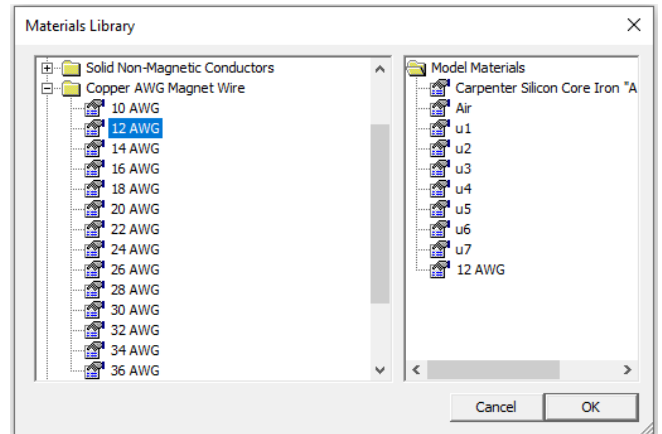


Fig.9. Librería de materiales a utilizar.

Se procede a colocar los valores de corrientes obtenidos en los cálculos de las bobinas:

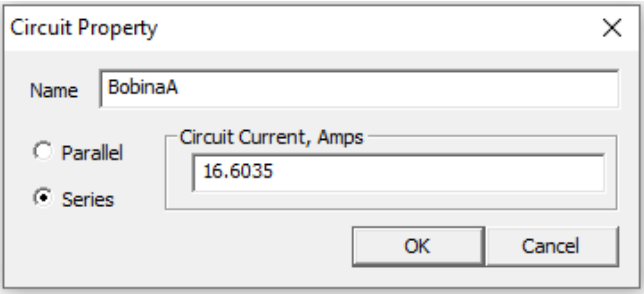


Fig.10. Corriente de la bobina A.

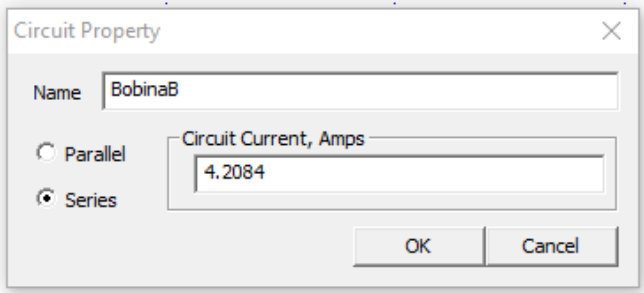


Fig.11. Corriente de la bobina B.

Se introducen las cantidades de vueltas en cada bobina :

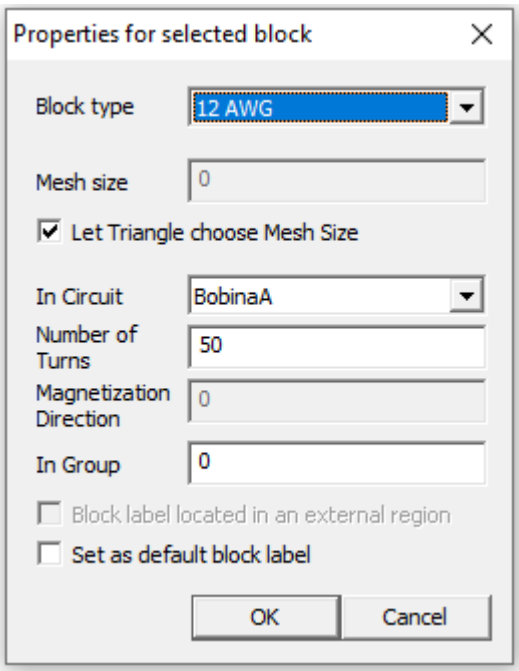


Fig.12. Número de vueltas de la bobina A.

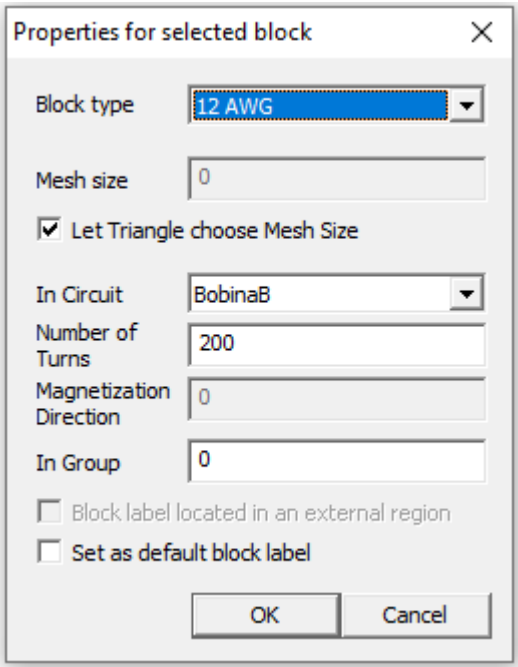


Fig.13. Número de vueltas de la bobina B.

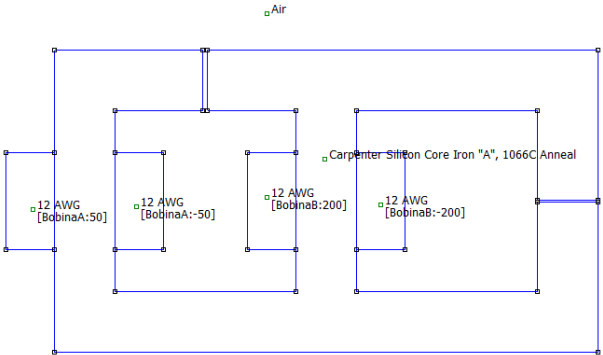


Fig.14. Diseño del circuito en Femm 4.2

Se determina la frontera, las líneas de flujo y se realiza la creación de malla:

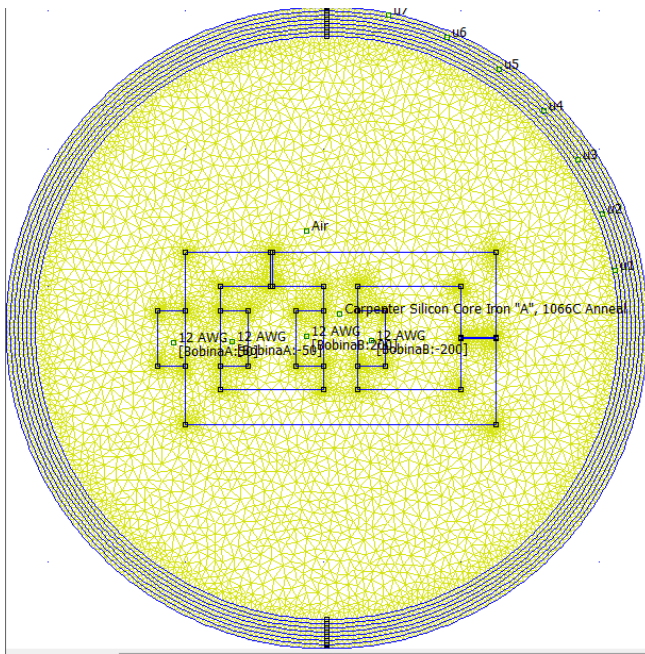


Fig.15. Definición de frontera y creación de mallas

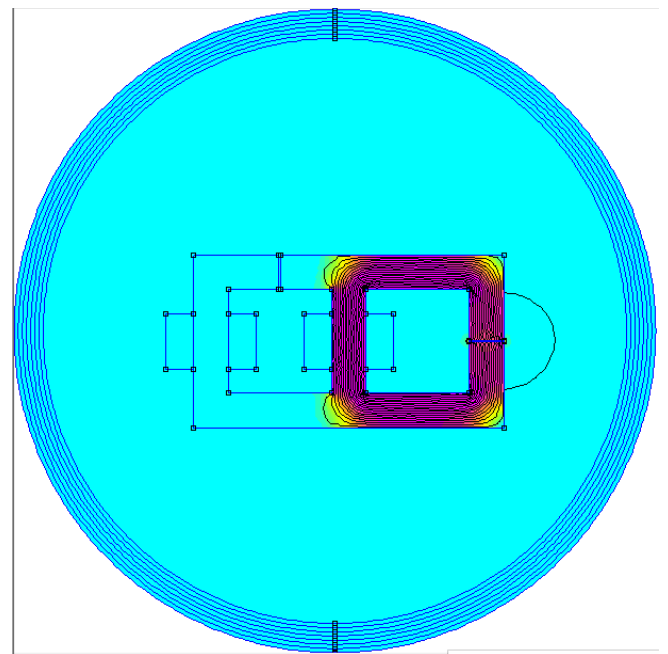


Fig.17. Diagrama de densidad de flujo.

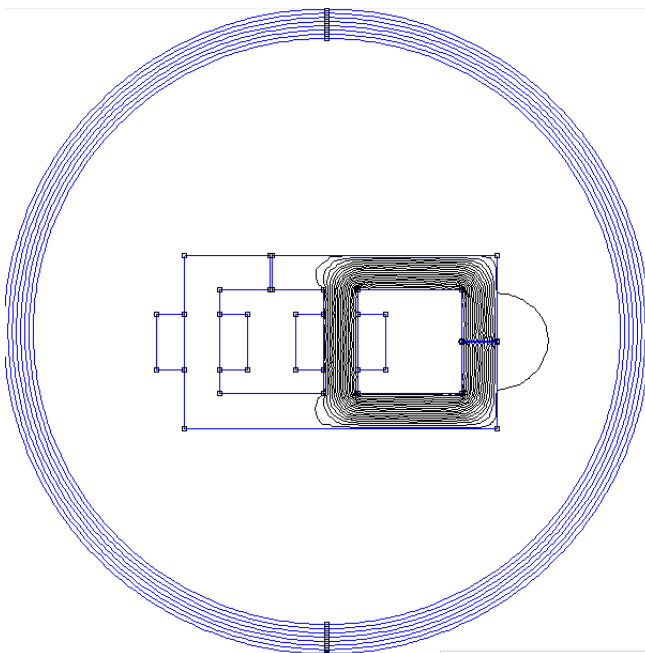


Fig.16. Líneas de flujo

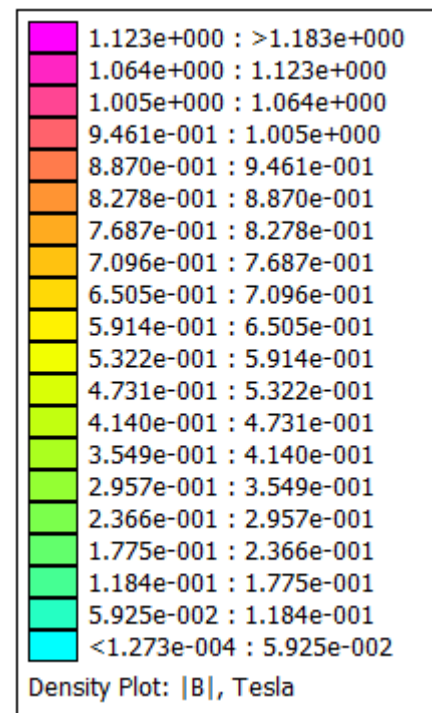


Fig.18. Escala de densidad de flujo.

Posterior, se elabora el diagrama de densidad de flujo correspondiente con su escala de densidad de flujo:

Por último, se realiza la elaboración de la densidad de flujo a lo largo del contorno en ambos entrehierros representados en las siguientes gráficas:

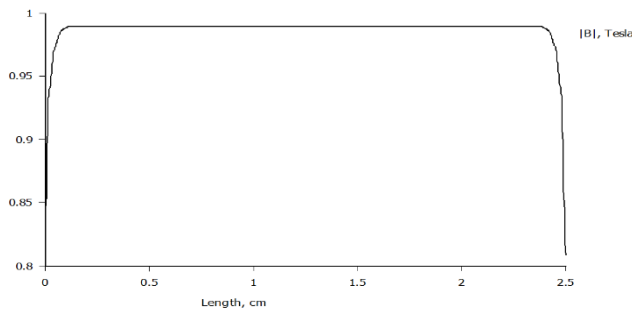


Fig.19. Densidad de flujo en entrehierro derecho

En el gráfico (Fig.19) se visualiza que la curva de densidad de flujo en el entrehierro de la derecha es de aproximadamente $0.975 \frac{Wb}{m^2}$ el cual es un valor muy cercano al requerido en el enunciado, siendo este $B=1 \frac{Wb}{m^2}$.

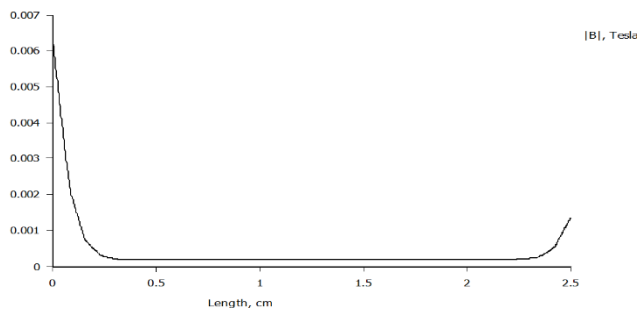


Fig.20. Densidad de flujo en entrehierro izquierdo

En el gráfico (Fig.20) se visualiza que la curva de densidad de flujo en el entrehierro superior izquierdo es de aproximadamente 0.001T el cual es un valor muy cercano al requerido en el enunciado para cumplir la condición de ser nulo.

III. CONCLUSIONES

Mediante la información brindada pudimos conocer distintos tipos de materiales con una alta permeabilidad magnética, también pudimos ver como se relaciona lo aprendido en la teoría con la practicas, en donde vemos que los valores se aproximan entre si puesto que el valor obtenido en la práctica para la densidad de flujo en el entrehierro

derecho es de $0.975 \frac{Wb}{m^2}$ y en la teoría de $1 \frac{Wb}{m^2}$ obteniendo un error de 2.5% y en el la densidad de flujo en el entrehierro izquierdo es de $0.001 \frac{Wb}{m^2}$ y en la teoría de su valor es nulo ($0 \frac{Wb}{m^2}$) con esto queda comprobado que lo aprendido visto en la teoría puedo ser llevado a la práctica.

IV REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Direct current magnetization curves for various magnetic materials," p. 792, Metals Handbook, 8th edition, Volume 1, American Society for Metals, 1966. Obtenido de: <https://www.femm.info/wiki/softmagneticmaterials>
- [2] "Características de los diferentes tipos de acero" Dincorsa, 25 de octubre, 2016. Obtenido de <https://www.dincorsa.com/blog/conoce-caracteristicas-diferentes-tipos-acero/>
- [3] "Acero, ventajas y desventajas" Geroneto, M. 2019. Obtenido de: <https://www.geroneto.com/noti-detalle.php?id=6&pag=Acero,%20ventajas%20y%20desventajas>