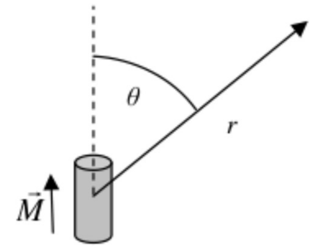
ELECTROMAGNETISMO
PRÁCTICO 7
MAGNETIZACIÓN

Problema Nº 1

Se considera una barra imantada cilíndrica de radio R y largo L.



a) Si la magnetización (momento dipolar magnético por unidad de volumen) en la barra es uniforme según su eje y de valor $\vec{M}$, halle el campo magnético $\vec{B}$ para puntos alejados de la misma.

b) Considere que la barra es Alnico V (aluminio-níquel-cobalto), cuya magnetización de saturación verifica $\mu_0 M_s = 1.25\,T$. Calcule el número de espiras por unidad de longitud que debe tener un solenoide sin núcleo de iguales dimensiones para obtener el mismo campo magnético en un punto del eje lejano del mismo, al circular por él una corriente de 10 A.

Nota: deberá demostrar que el campo magnético que produce un solenoide, con n vueltas por unidad de longitud y de radio R en un punto de su eje alejado del mismo es: $B_z \approx \mu_0 n L R^2 I/(2z^3)$.

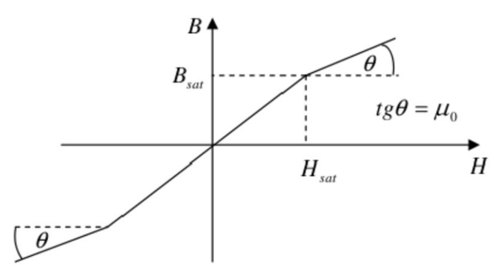
c) Repita el cálculo en el caso en que el núcleo del solenoide es de hierro dulce; material lineal con $\mu = 5 \times 10^3 \mu_0$.

Problema Nº 2

Por un conductor cilíndrico muy largo de radio a y permeabilidad magnética μ_0 circula una corriente I, distribuida uniformemente en su sección transversal. El conductor está inmerso en un material magnético homogéneo e isótropo cuya curva de magnetización es:

$$\vec{B}(\vec{H}) = \begin{cases} \mu\vec{H} \;\; si \;\; |\vec{H}| < \vec{H}_{sat} \\ \vec{B}_{sat} + \mu_0(\vec{H} - \vec{H}_{sat}) \;\; si \;\; |\vec{H}| > \vec{H}_{sat} \end{cases}$$

y se verifica $\mu = |\vec{B}_{sat}/\vec{H}_{sat}|$



a) Halle y grafique la intensidad magnética $\vec{H}$ en función de r en todo el espacio.

b) Halle el menor valor de I para el cual existe saturación en el material. Discuta si ocurre saturación según el valor de I y la posición.

c) Para una corriente I mayor que la calculada en la parte b), halle la inducción magnética $\vec{B}$ en todo el espacio.

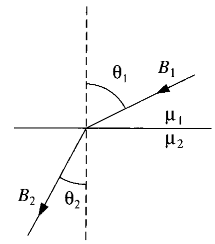
Problema Nº 3:

Un cilindro circular infinito de radio R, tiene una magnetización $\vec{M}$ uniforme paralela a su eje. Encuentre el campo magnético (debido a $\vec{M}$) dentro y fuera del cilindro.

Problema Nº4:

En la interfaz entre dos materiales magnéticos lineales, las líneas de campo magnético se doblan. Muestre que, de acuerdo a la figura, si no hay corriente libre en la separación de los medios, se cumple que:

$$\frac{\tan(\theta_1)}{\tan(\theta_2)} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$



Problema Nº5:

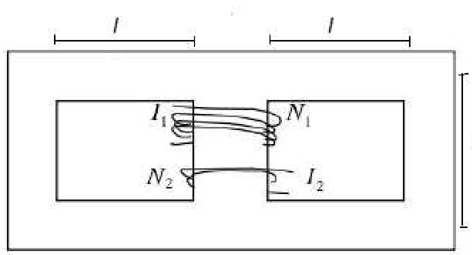
Calcular el campo magnético $\vec{B}$ en los siguientes casos:

a) Una esfera de material magnético lineal de radio a y permeabilidad magnética μ, colocada en una región del espacio donde inicialmente existía un campo uniforme $B_0\hat{k}$.

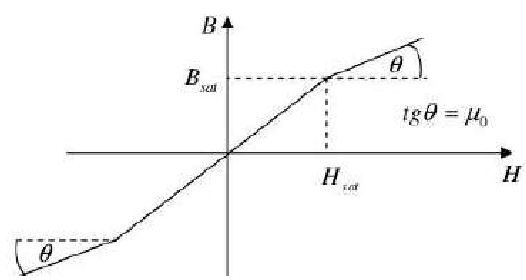
b) Esfera magnetizada uniformemente $\vec{M}$ y radio a, cuando no existen otros campos magnéticos.

Problema Nº 6

Se considera el circuito magnético de la figura a), donde el núcleo es un material lineal saturable cuya curva de magnetización se muestra en la figura b).



a)



b)

Se dispone de los siguientes datos:

- $N_1 I_1 = 100$ A-vueltas, N_1 = 100 vueltas, N_2 = 200 vueltas
- $\mu = \frac{B_{sat}}{H_{sat}} = 5 \times 10^3 \mu_0$, $B_{sat} = 1.0\ T$.
- Sección transversal S uniforme.
- Largo medio de ramas izquierda, central y derecha: $3l$, l y $3l$ respectivamente, con $l = 10\ cm$.

a) Halle la corriente I_2 para que trabajando en la zona lineal, el flujo magnético por la rama central sea nulo. Hallar los flujos en las otras dos ramas.

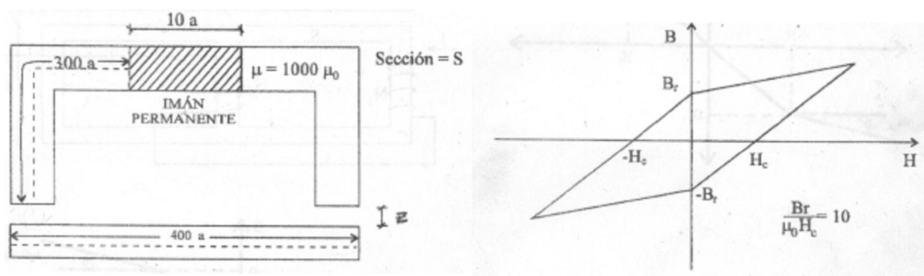
b) Se abre un pequeño entrehierro en la rama lateral derecha, de ancho $e = 3\ mm$ (con $e \ll l$). Halle los campos de inducción magnética en todas las ramas si $I_1 = I_2$ con I_2 hallada anteriormente.

Sugerencia: asuma que el material trabaja en la zona lineal. Verifique al final si la suposición es correcta.

c) Halle el menor valor de e para que el material no sature en ningún punto del circuito magnético, para las dimensiones y corrientes anteriores.

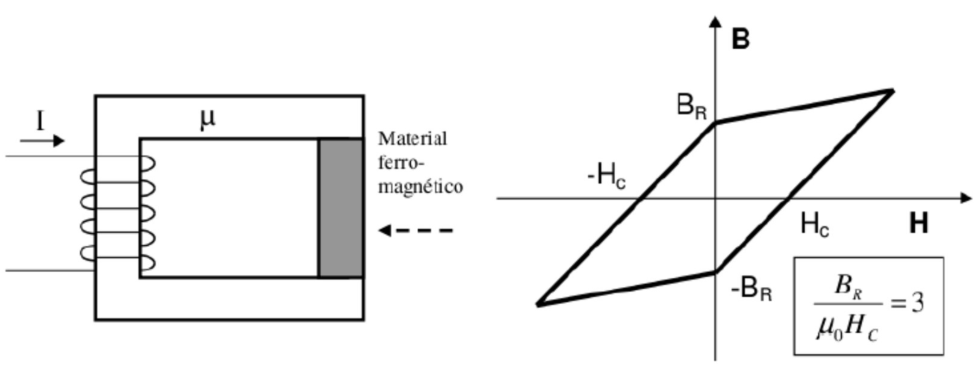
Problema Nº 7

Se considera el circuito magnético (de sección uniforme S) de la figura, donde la región de imán permanente se halla construida con un material magnético cuyas características están dadas por el gráfico a la derecha de la figura. Calcule los valores posibles para los campos $\overrightarrow{B}$ y $\vec{H}$ en todo el espacio.



Problema Nº 8

Un electroimán está formado por un núcleo de material magnético lineal de permeabilidad magnética μ. Dicho núcleo tiene un largo total L y una sección a. En torno al núcleo hay un bobinado con N vueltas por el que circula una corriente I. En los extremos del núcleo del electroimán se coloca un imán permanente recto de largo l y sección a tal como muestra la figura. El imán permanente está construido con un material ferromagnético cuya curva de histéresis se adjunta. En dicha curva de histéresis se satisface la relación $B_R = 3\mu_0 H_C$. La corriente que circula por el bobinado verifica: $\mu N I = 2\mu_0 H_C L$.



a) Halle todos los valores posibles para los campos H y B en el núcleo del electroimán y dentro del imán.

Nota: tenga en cuenta que como existen dos posiciones posibles del imán permanente (de acuerdo a la orientación de sus polos), habrá generalmente dos valores posibles para los campos.

b) ¿Qué relación deben de cumplir μ, L y l para que la inducción magnética B sea nula?

RESULTADOS

P1) $a)\quad \vec{B} \approx \frac{\mu_0 M R^2 L}{4r^3}(2cos\theta\hat{e}_r + sen\theta\hat{e}_\theta),\qquad b)\ n = 9.95\times 10^4 \qquad c)\ n = 19.9$

P2) $a)\ \vec{H} = \begin{cases} \frac{I}{2\pi a^2} r\hat{e}_\varphi si r < a \\ \frac{I}{2\pi r}\hat{e}_\varphi si r > a \end{cases},\qquad b)\ I_{sat,0} = 2\pi a H_{sat},$

$$c)\ \vec{B} = \begin{cases} \left(\frac{\mu_0 I}{2\pi r} - \mu_0 H_{sat} + B_{sat}\right)\hat{e}_\varphi & si\quad a < r < r_{sat} \\ \frac{B_{sat}}{H_{sat}}\frac{I}{2\pi r}\hat{e}_\varphi & si\quad r_{sat} < r \end{cases}$$

P6)$a)\ I_2 = 0.5\ A,\ \ b)\ B_C = \left(\frac{6+R}{15+4R}\right)F \approx 0.797\ T\ (centro),\ B_1 = \left(\frac{3+R}{15+4R}\right)F \approx 0.781\ T\ (izq)$

$$B_2 = \left(\frac{3}{15+4R}\right)F \approx 0.0153\ T\ (derecha),\ \ F = \frac{\mu N I}{l}(N \equiv N_2 - N_1), R = \frac{\mu e}{\mu_0 l} = 150,$$

$$c)\ e > e_{min} = 0.09\ mm$$

El material trabaja en la zona lineal, se verifica $B < B_{sat}$ en todas las ramas.

P7) El campo magnético es igual en todo el circuito magnético y toma los dos posibles valores $B = \mp\frac{B_R a}{2(a+z)}$. En el imán permanente $H_m = \pm\frac{H_C}{2}\left(\frac{a+2z}{a+z}\right)$, en el paramagnético $H_\mu = \mp\frac{B_R a}{2\mu(a+z)}$ y en el vacío $H_\mu = \mp\frac{B_R a}{2\mu_0(a+z)}$. Todos los campos son tangenciales a la trayectoria del circuito. Fuera del circuito los campos se consideran nulos.

P8) a) Si se definen las ramas (a) y (b) como:

$$B_I = \begin{cases} \frac{B_R}{H_C}(H_I - H_C), & en\ la\ rama\ (a) \\ \frac{B_R}{H_C}(H_I + H_C), & en\ la\ rama\ (b) \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} 3\mu_0 H_C\left(\frac{2\mu_0 - \mu l/L}{3\mu_0 + \mu l/L}\right), & en\ la\ rama\ (a) \\ 3\mu_0 H_C\left(\frac{2\mu_0 + \mu l/L}{3\mu_0 + \mu l/L}\right), & en\ la\ rama\ (b) \end{cases},\qquad H_N = \frac{B}{\mu}$$

$$H_I = \begin{cases} H_C\left(\frac{5\mu_0}{3\mu_0 + \mu l/L}\right), & en\ la\ rama\ (a) \\ -H_C\left(\frac{\mu_0}{3\mu_0 + \mu l/L}\right), & en\ la\ rama\ (b) \end{cases}$$

b) B solo puede anularse en la rama (a), y para ello debe cumplirse $\frac{2\mu_0}{\mu} = \frac{l}{L}$.

Nota: se encuentra una solución detallada en la sección "Parciales y Exámenes".