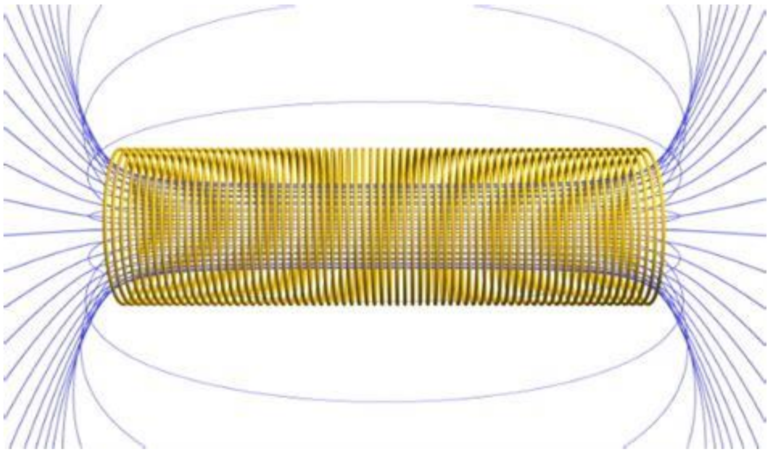
El solenoide

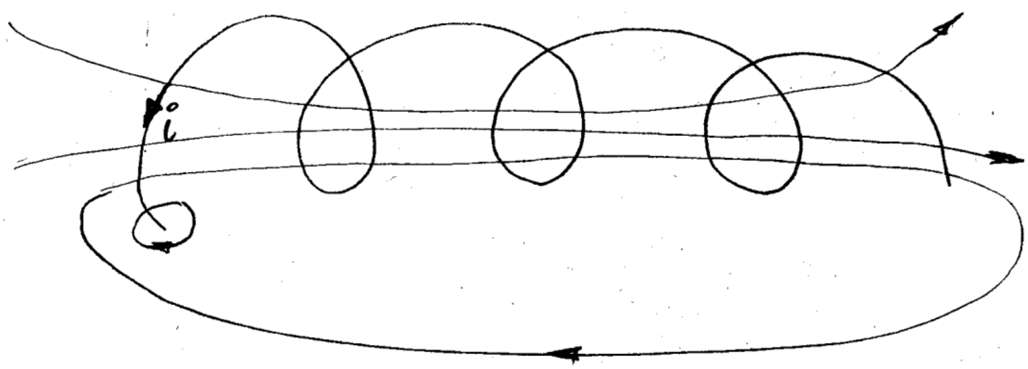
El solenoide es un dispositivo que logra generar campo magnético intenso con corriente de bajo valor. El inconveniente que genera es la existencia de campo magnético fuera de su núcleo, quien puede generar acciones en circuitería lindera.



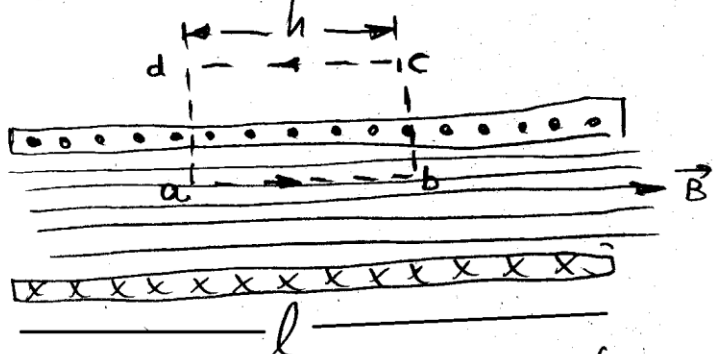
$\vec{B}$ en un solenoide

Un solenoide es un alambre enrollado en una hélice apretado y que lleva una corriente. Suponemos que la hélice es muy larga respecto a su diámetro.

Veamos para espiras separadas:



Consideremos un solenoide que cumpla que $l >> d$ y analicemos $\vec{B}$ en puntos cerca de su región central con espiras apretadas:



$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$ Apliquemos la ley de Ampère a la trayectoria abcd:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{l}$$

$$\int_a^b \vec{B}\cdot\vec{dl} = Bh$$

$\int_b^c \vec{B}\cdot\vec{dl} = \int_d^a \vec{B}\cdot\vec{dl} = 0$ xq' el elemento de trayectoria es $\perp$ a $\vec{B}$.

$\int_c^d \vec{B}\cdot\vec{dl} = 0$ xq' $\vec{B}$ es practicamente nulo en un solenoide ideal

$$\oint \vec{B}\cdot\vec{dl} = Bh$$

La I que circula x la trayectoria encerrada en la long h no es la I total de todas las espiras del sole.

Llamaremos : n : Nº de vueltas del sole por unidad de longitud :

$$n = \frac{\text{Nº total vueltas}}{l}$$ y al Nº total de vueltas : N

$$n = \frac{N}{l}$$

si hacemos tender $h \to l \Rightarrow \oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = B.l$ (1)

Recordando la Ley de Ampère :

$\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 . I$ pero aquí, en el sole: I es la corriente que circula x las N vueltas o espiras que tiene el sole ∴

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 N I \quad (2)$$

de (1) y (2) :

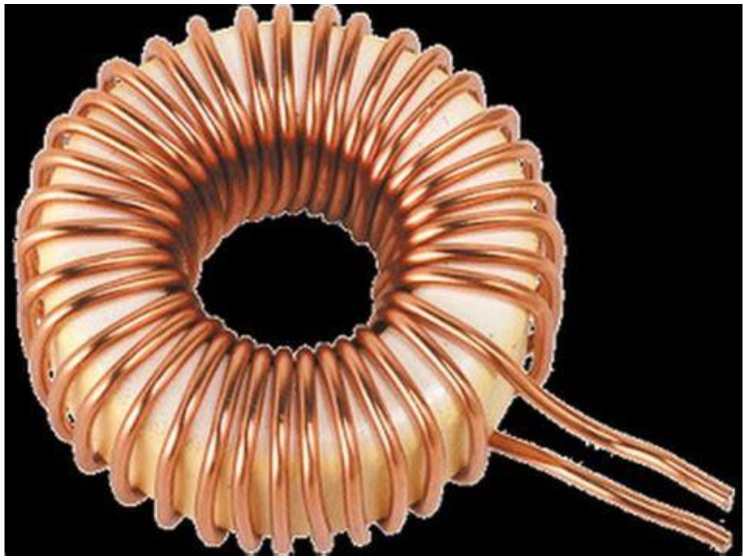
$$B l = \mu_0 N I \Rightarrow B = \frac{\mu_0 N . I}{l} \therefore \boxed{B = \mu_0 n I}$$

Campo $\vec{B}$ generado por un sole largo

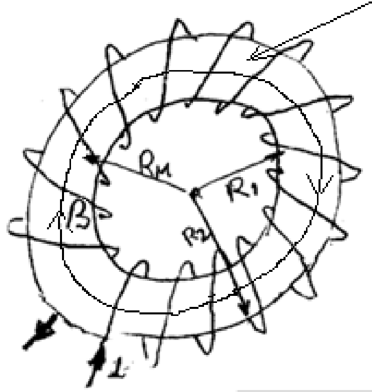
Nótese que se hace tender $h \to l$ para que se involucre a la N espiras que tuviere el sole.

El toroide

Disposición geométrica que evita la existencia de campo B fuera de su geometría.



B en un toroide



Retomo el B del sole:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{l}$$

En un toroide l es el perímetr

pero ¿ perímetro de cual r?

Tomamos un radio medio R_M

$$l = 2\pi R_M$$

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi R_M} \quad [\,T = Wb/m^2\,]}$$

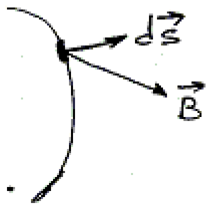
Hallaremos la unidad de la permeabilidad magnética μ:

$$[B] = \left[\frac{\mu_0 N I}{l}\right] \quad \therefore \quad [\mu] = \frac{B\, l}{I} = \frac{T \cdot m}{A} = \frac{Wb}{m^2}\,\frac{m}{A}$$

$$\boxed{[\mu] = \frac{Wb}{A \cdot m}}$$

Ley de Gauss para magnetismo

Flujo de $\vec{B}$: ϕ_B



Definiremos el flujo del vector inducción a través de una sup. Suponer que dividimos una sup. imaginaria en elementos de área infinitesimal, de forma que el elemento de área $d\vec{s}$ en un punto de la sup es $\perp$ a la sup. en ese punto $\Rightarrow d\phi_B = \vec{B} \bullet d\vec{s}$

El flujo de $\vec{B}$ total será: $\phi_B = \int_\Sigma \vec{B} \bullet d\vec{s}$

Decimos que el Nº de líneas del campo de inducción $\vec{B}$ que intersectan una sup. es proporcional al flujo del campo a través de la sup.

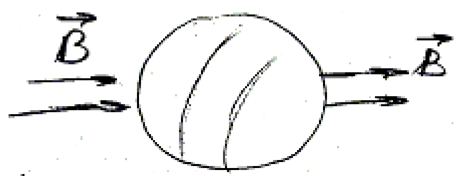
Para el campo eléctrico, habíamos visto:

$$\phi_E = \oint_\Sigma \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum Q}{\varepsilon_0} \qquad \text{Ley de Gauss}$$

De lo que podemos inferir que en electrostática la carga eléctrica es fuente del campo eléctrico.

Veamos para el campo $\vec{B}$:

$$\phi_B = \oint_\Sigma \vec{B} \cdot d\vec{S}$$



Para cualq. sup. cerrada el flujo de $\vec{B}$: $\phi_B = 0$

pues c/ línea de $\vec{B}$ que atraviesa hacia adentro de la sup. vuelve a atravesarla hacia afuera en otro punto $\Rightarrow \oint_\Sigma \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$

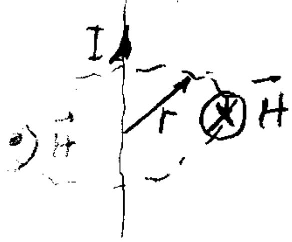
Esto indicaría que $\nexists$ una contrapartida magnética a la carga eléctrica (si existiría, lo que podríamos llamar "carga magnética", se correspondería con la existencia del "monopolo magnético". Como, hasta ahora, no existe el monopolo mag., las fuentes + simples del campo $\vec{B}$ son los dipolos magnéticos.

La inexistencia de cargas mag. puede ilustrarse con las líneas del campo $\vec{B}$: siempre se cierran sobre sí mismas → campo solenoidal.

Vector H

Vamos a definir otro parámetro vectorial que caracteriza al campo magnético; se llama Intensidad de campo magnético y su sigla es $\vec{H}$:

COND. LARGO
Y RECTO



$$\left.\begin{array}{l} H \sim I \\ H \sim \frac{1}{r} \end{array}\right\} H \sim I/r \Rightarrow \vec{H} = \frac{I}{2\pi r}\check{\varphi} \quad (1)$$

Nótese que el vector $\vec{H}$ <u>no incluye</u> al medio

Recordando que, para cond. largo y recto: $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}\check{\varphi}$ (2)

(1) y (2): $\boxed{\vec{B} = \mu \vec{H}}$ Ecuación que califica al medio en cuanto magnético

de (1)

$H = \frac{I}{2\pi r}$ unidades: $[H] = \left[\frac{I}{r}\right] \therefore [H] = \frac{A}{m}$

MATERIALES MAGNÉTICOS : Permitividad magnética μ_R MU

Caracterización de los materiales en cuanto su mayor o menor permisión al campo magnético.

Igual que en el tema eléctrico, tomamos al vacío (o aire) como referencia: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Wb}{A \cdot m}$ ∴ se define una permitividad (o permeabilidad) magnético relativa: $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ Es el cociente entre la permitividad del material y el del vacío ∴

$\mu_r|_{vacío} = 1$ (tratamiento similar al eléctrico)

Dividimos a los materiales, en cuanto a su permitividad:

- Amagnéticos: $\mu_r = 1$ Vacío
- Paramagnético: $\mu_r > 1$ (1,03...) : aire, Al, Mg (magnesio)
- Diamagnético: $\mu_r < 1$ (0,92...) : bismuto, grafito, agua, Cu.
- Ferromagnético: $\mu_r >>> 1$ (10^3; 10^4; ...)

Están compuesto de Fe y aleaciones con cobalto níquel, neodimio (tierra rara, ver Tabla elementos de Mendeleiev).

Revisión temas vistos + algunas conclusiones

Electrostática (acciones generadas cargas en reposo)

Ley de coulomb

$F = k\, q_1 . q_2 / r^2$ [N]

$\oint \vec{E} \cdot \vec{dl} = 0$ campo conservativo: NO W útil

$\oint_{sup} \vec{E} \cdot \vec{ds} = \frac{q}{\varepsilon}$ Ley de Gauss: las cargas son fuentes y sumideros de campo

$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$ califica al medio en cuanto aislante/dieléctrico

Electrodinámica (acciones generadas cargas movimiento (I eléctr.)

$\oint \vec{E} \cdot \vec{dl} = V$ campo no conserva: SÍ W útil

$\vec{J} = \sigma \vec{E}$ califica al medio en cuanto conductor

Magnético

$\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 I$ campo no conserva; sí W útil

$\oint \vec{B} \cdot \vec{ds} = 0$ Ley de Gauss: $\nexists$ carga magnética; los polos magn. N y S no pueden aislarse (hasta ahora)

$\vec{B} = \mu \vec{H}$ califica al medio en cuanto permisión magnética

Nótese que, como caracterización de los medios:

- Eléctrico:
  - aislante/dieléctrico: $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$
  - conductor: $\vec{J} = \sigma \vec{E}$
- Magnético: $\vec{B} = \mu \vec{H}$

Uno único para magnético, ya que $\nexists$ I magnética