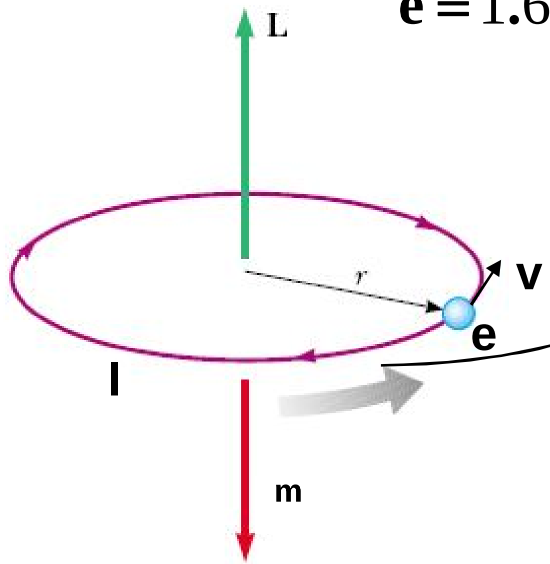
MATERIALES MAGNETICOS

Bibliografía consultada

- **Sears- Zemasnky -Tomo II**
- **Fisica para Ciencia de la Ingeniería, Mckelvey**
- **Serway- Jewett --Tomo II**

MOMENTO MAGNÉTICO DE LOS ATOMOS

$$\mathbf{e} = 1.6\,10^{-19}\,\mathbf{C}; \quad \Delta\mathbf{t} = 10^{-16}\,\mathbf{s} \;\Rightarrow\; \mathbf{I} = \frac{\mathbf{q}}{\Delta\mathbf{t}} = 1.6\,10^{-3}\,\mathbf{A}$$



Espira de corriente I $\Rightarrow$

$$\vec{\mathbf{B}}_{\mathbf{int}} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{\vec{\mathbf{m}}}{\mathbf{x}^3}$$

$$\mathbf{m} = \mathbf{I}\,\mathbf{A} = \frac{\mathbf{e}}{\Delta\mathbf{t}}\pi\mathbf{r}^2 = \frac{\mathbf{e}}{2\pi\mathbf{r}/\mathbf{v}}\pi\mathbf{r}^2 = \frac{1}{2}\mathbf{e}\,\mathbf{v}\,\mathbf{r}$$

$$\textbf{momento angular orbital} = \mathbf{L} = \vec{\mathbf{r}} \times \mathbf{m}\vec{\mathbf{v}} = \mathbf{m_e}\mathbf{v}\mathbf{r} = \mathbf{N}\frac{\mathbf{h}}{2\pi} \qquad \mathbf{N} \in \mathbf{Z}$$

h= cte. De Planck $\quad \dfrac{\mathbf{h}}{2\pi} = 1{,}05\,10^{-34}\,\mathbf{J.s}$

$$\mathbf{m} = \frac{1}{2}\frac{\mathbf{e}}{\mathbf{m_e}}\mathbf{L}$$

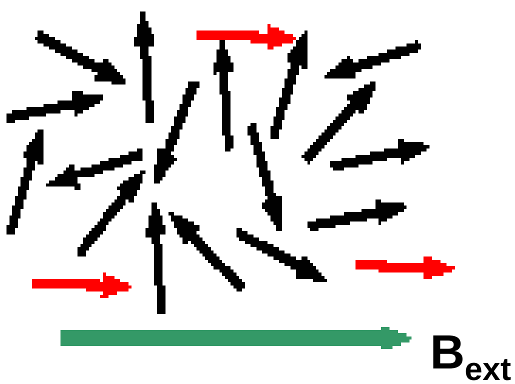
Magneton de Bohr $\quad \mathbf{m_B} = \dfrac{\mathbf{e.h}}{4\pi\mathbf{m_e}} = 9{,}27\,10^{-24}\,\mathbf{J}/\mathbf{T}$

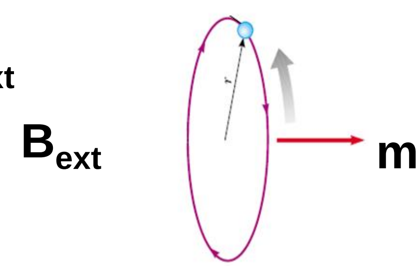
$$\boxed{\mathbf{m} = \mathbf{N}\,\mathbf{m_B} \qquad \mathbf{N} \in \mathbf{Z}}$$

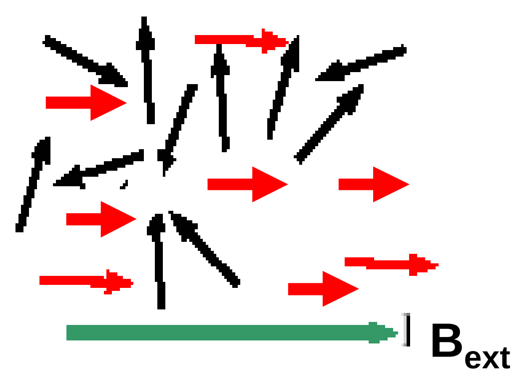
CLASIFICACIÓN

Materiales Diamagnéticos: se magnetizan débilmente en el sentido **opuesto** al del campo magnético aplicado. Resulta así que aparece una fuerza de repulsión sobre el cuerpo respecto del campo aplicado.

Materiales Paramagnéticos :átomos con un momento magnético neto, que tienden a alinearse paralelo a un campo aplicado (se magnetizan débilmente en el mismo sentido que el campo magnético aplicado) . Los efectos son prácticamente imposibles de detectar excepto a temperaturas extremadamente bajas o campos aplicados muy intensos.
Ejemplos de materiales paramagnéticos: aluminio y sodio.

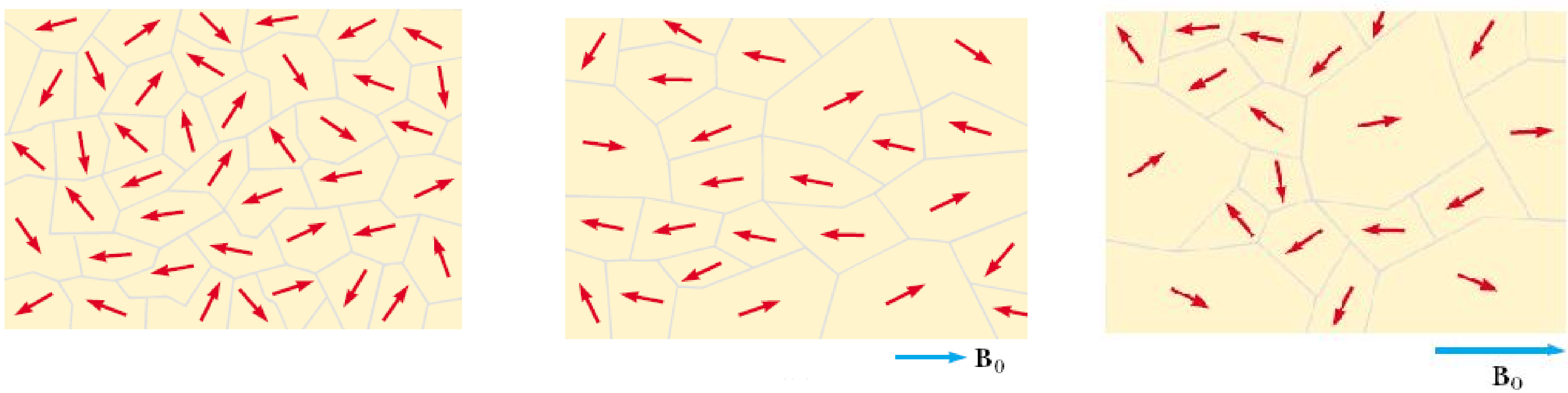




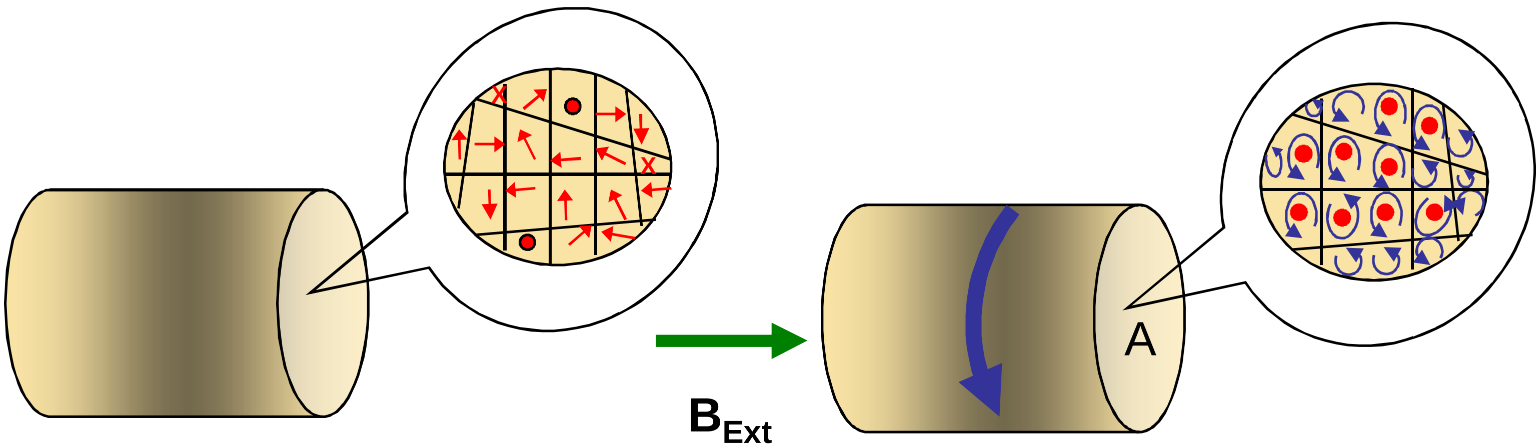


Materiales Ferromagnéticos se magnetizan fuertemente. En los materiales ferromagnéticos los momentos magnéticos individuales de grandes grupos de átomos o moléculas se mantienen alineados entre sí debido a un fuerte acoplamiento, aún en ausencia de campo exterior. Estos grupos se denominan **dominios**, y actúan como un pequeño imán permanente. Los dominios tienen tamaños entre *10*-12 y *10*-8 *m*3 y contienen entre *10*21 y *10*27 átomos.

Dominios Magnéticos



MAGNETIZACIÓN



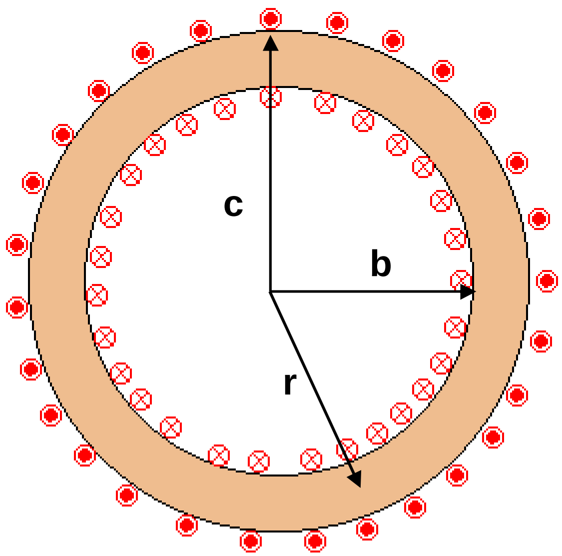
I_M= Corriente total de imantación

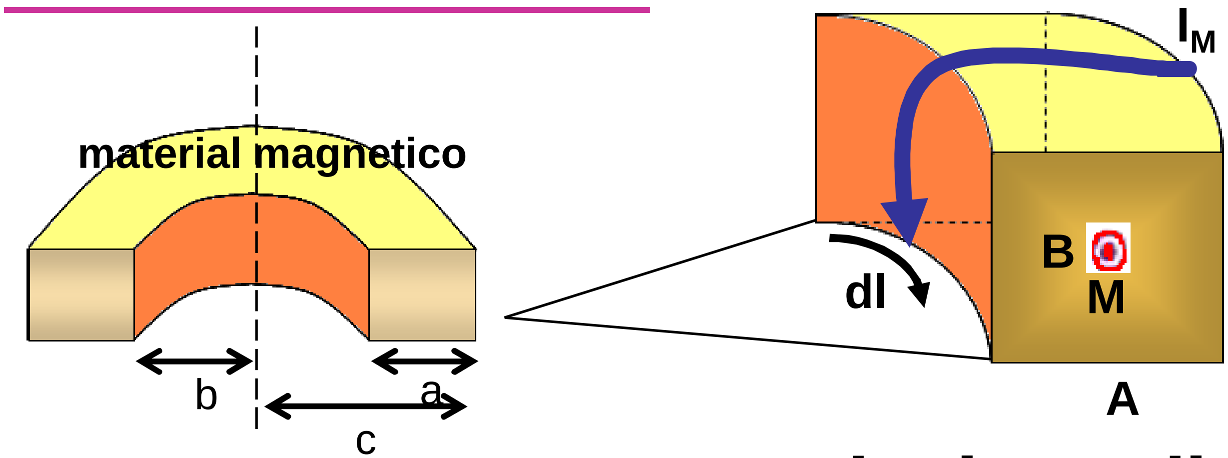
$$\vec{m}_T = I_M . \vec{A}$$

$$\vec{M} = \text{Vector Magnetización} = \frac{\Delta \vec{m}_T}{\Delta vol}$$

$$\vec{m}_T = \iiint \vec{M}\, dvol$$

CIRCULACION de M





$$dvol = A\,dl$$

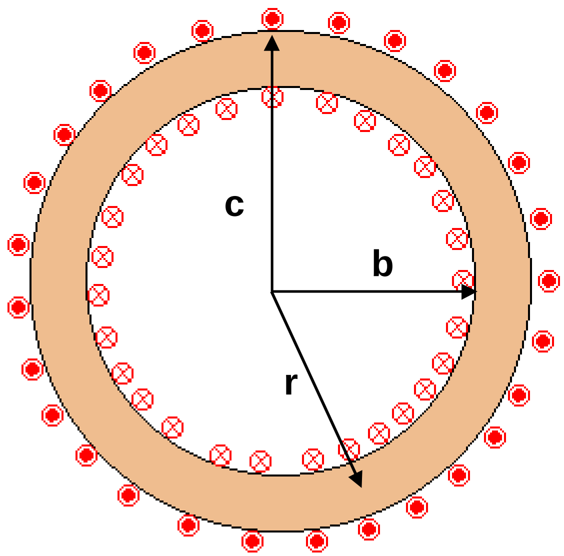
- Núcleo del toroide de un material magnético.
- N Espiras de corriente I
- A area lateral del toroide

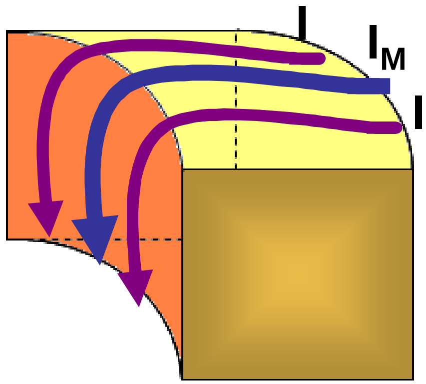
$$M = \frac{dm_T}{dvol} = \frac{d(A\,I_M)}{A\,dl} = \frac{dI_M}{dl}$$

$$\oint \underset{M \,//\, dl}{\vec{M}.d\vec{l}} = \oint M\,dl = \oint dI_M = I_M$$

$$\boxed{\oint \vec{M}.d\vec{l} = I_M}$$

LEY DE AMPERE





- Núcleo del toroide de un material magnético.
- N Espiras de corriente I
- A area lateral del toroide

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 \sum I_{concatenada}$$

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 (N I + I_M) = \mu_0 \left(N I + \oint \vec{M}.d\vec{l} \right) \longrightarrow \oint \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \right) .d\vec{l} = N I$$

$$\boxed{\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} = \vec{H}}$$

Vector excitación Magnética

Resumiendo, en presencia de materiales magnéticos, las ecuaciones para **B, H y M** son

$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \sum I$$

$$\vec{B} = \mu_0\left(\vec{H} + \vec{M}\right)$$

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 \sum I_{totales} = \mu_0\left(\sum I + I_M\right)$$

$$[H] = [M] = \frac{A}{m}$$

$$\oint \vec{M}.d\vec{l} = I_M$$

$$[\phi_m] = T\,m^2 = Weber = W_b$$

$$\oiint \vec{B} \bullet d\vec{A} = 0$$

$$[B] = T = \frac{Wb}{m^2}$$

$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \sum I$$

La circulación de **H** depende solo de las corrientes libres La circulación de **H** no depende del medio. Pero H si!!!!!

$$\oiint \vec{H}.d\vec{A} = \oiint \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}\right).d\vec{A} = -\oiint \vec{M}.d\vec{A}$$

$$\text{si} \quad \oiint \vec{M}.d\vec{A} = 0 \Rightarrow \oiint \vec{H}.d\vec{A} \Rightarrow \text{H no depende del medio}$$

Materiales Diamagnéticos y Diamagnéticos
Materiales lineales

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

χ= susceptibilidad magnética= cte.= adimensional

Tabla de susceptibilidades magnéticas χ_m a T ambiente y a 1 atmósfera			
Paramagnéticos (+)		**Diamagnéticos (-)**	
Oxígeno	1.94×10^{-6}	Hidrógeno	-2.08×10^{-9}
Sodio	8.4×10^{-6}	Nitrógeno	-6.7×10^{-9}
Magnesio	1.2×10^{-5}	CO_2	-1.19×10^{-8}
Aluminio	2.1×10^{-5}	Alcohol	-0.75×10^{-5}
Tungsteno	7.6×10^{-5}	Agua	-0.91×10^{-5}
Titanio	1.8×10^{-4}	Cobre	-0.98×10^{-5}
Platino	2.93×10^{-4}	Plata	-2.64×10^{-5}
		Oro	-3.5×10^{-5}

$$\mu_r = (1 + \chi_m)$$

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \qquad \boxed{\vec{B} = \mu \vec{H}}$$

μ= Permeabilidad magnética

$$\begin{cases} \text{paramagneticos} & \mu > \mu_0 \\ \text{diamagneticos} & \mu < \mu_0 \end{cases}$$

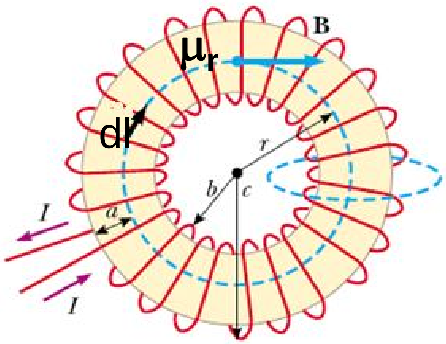
A altas temperatura la agitación térmica impide la alineación de los momentos mag. con un **B** externo.
Al aumentar **T ,** χ disminuye

Pierre Curie demostró, para materiales paramagnéticos:

$$M = C\frac{B}{T} \qquad C = \text{cte de Curie}$$

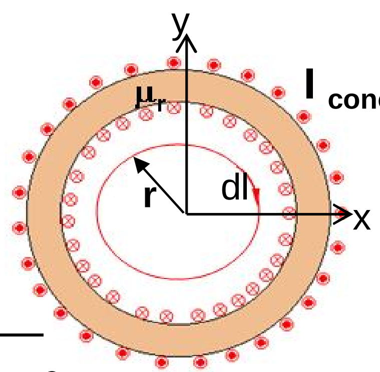
$$\text{Si} \quad B = 0 \Rightarrow M = 0$$

Toroide de material magnético lineal con N espiras de corriente I



$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \sum I$$

Por simetría $\vec{H} = H(r)\hat{\varphi}$

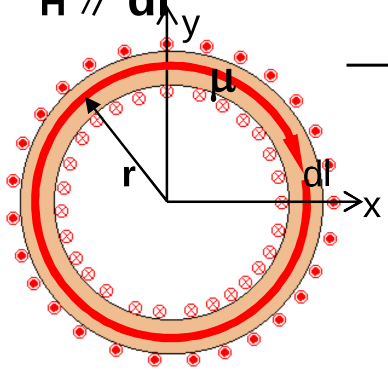


I $_{\text{concatenadas}}$=0

$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \oint H(r)\,dl = \oint H(r)r\,d\varphi = H(r)2\pi r = 0$$

H // dl

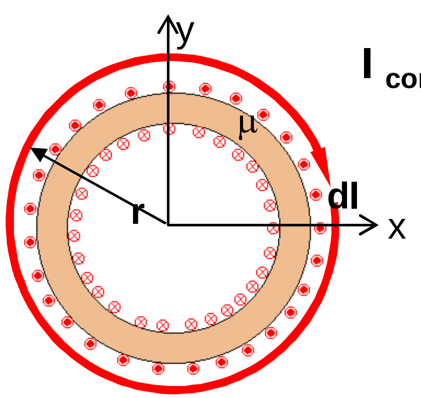
$$\boxed{H(r<b)=0}$$



I $_{\text{concatenada}}$=NI

$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \oint H(r)\,dl = \oint H(r)r\,d\varphi = H(r)2\pi r = NI$$

$$\boxed{H(b<r<c) = \frac{NI}{2\pi r}}$$



I $_{\text{concatenadas}}$=NI-NI=0

$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \oint H(r)\,dl = \oint H(r)r\,d\varphi = H(r)2\pi r = 0$$

$$\boxed{H(r<b, r>c)=0}$$

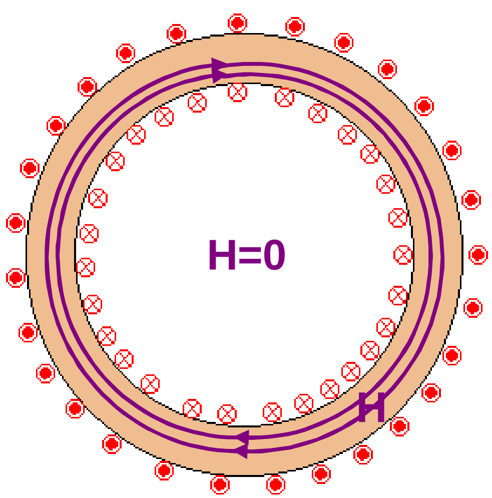
$$H(r) = \begin{cases} \dfrac{NI}{2\pi r} & (b < r < c) \\ 0 & \text{afuera} \end{cases}$$

$$\vec{B} = \mu\, \vec{H}$$

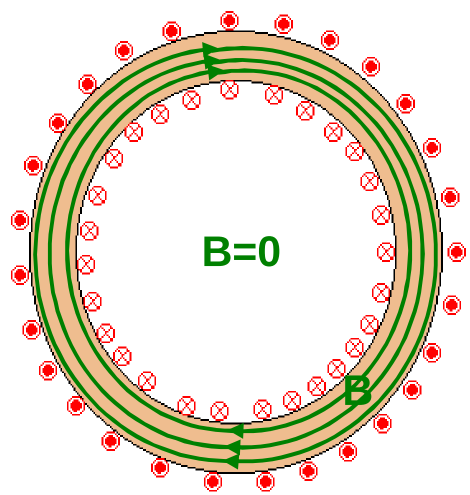
$$B(r) = \begin{cases} \mu \dfrac{NI}{2\pi r} & (b < r < c) \\ 0 & \text{afuera} \end{cases}$$

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

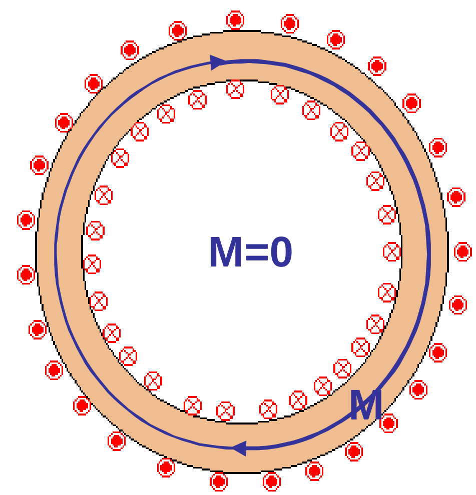
$$M(r) = \begin{cases} \chi \dfrac{NI}{2\pi r} & (b < r < c) \\ 0 & \text{afuera} \end{cases}$$



H=0

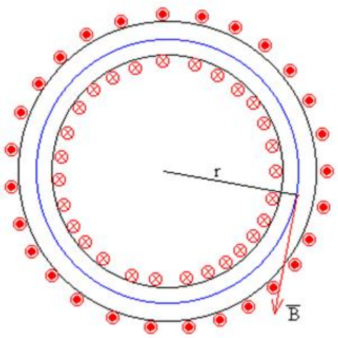


B=0

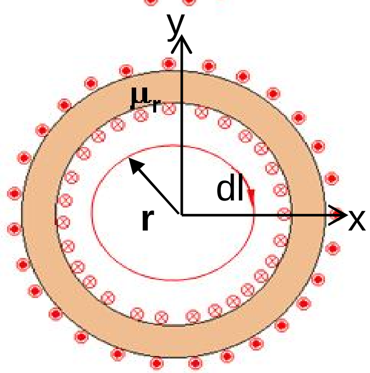


M=0

PARAMAGNÉTICO

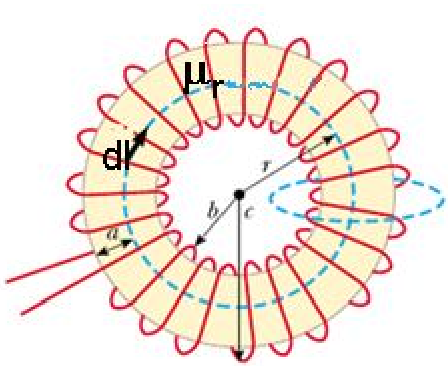


$$\boxed{B(b<r<c,\text{vacio})=\mu_0\frac{NI}{2\pi r}}$$



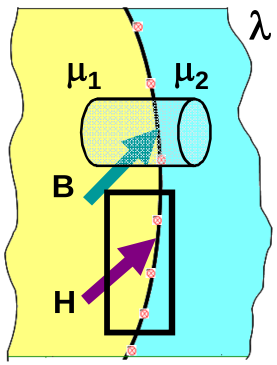
$$\boxed{B(b<r<c,\mu)=\mu_0\mu_r\frac{NI}{2\pi r}}$$

$$\boxed{B(\mu_0)<B(\mu)}$$



$$\text{Si}\quad I=0\Rightarrow H=0\Rightarrow B=0$$

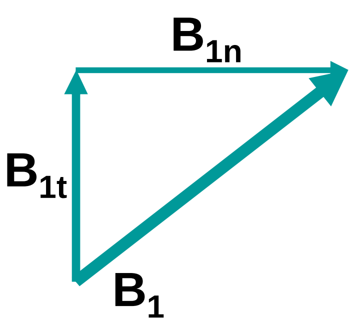
CONDICIONES DE CONTORNO

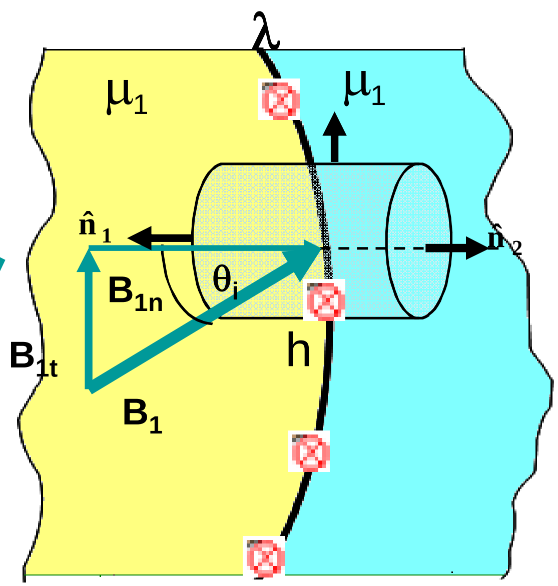


$$\lambda = \frac{dI}{dl} = \text{densidad lineal de I} \qquad I = \int \vec{\lambda}.d\vec{l}$$

$$\vec{B} = \mu_0\left(\vec{H} + \vec{M}\right) \qquad \vec{B} = \mu\, \vec{H} \qquad \vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

$$\boxed{\begin{array}{c} \oint \vec{H}.d\vec{l} = \sum I \\ \oiint \vec{B} \bullet d\vec{A} = 0 \end{array}}$$





$$\oiint \vec{B}.d\vec{A} = \iint_{base} \vec{B}.d\vec{A} + \iint_{tapa} \vec{B}.d\vec{A} + \underbrace{\iint_{lateral} \vec{B}.d\vec{A}}_{h \to 0}$$

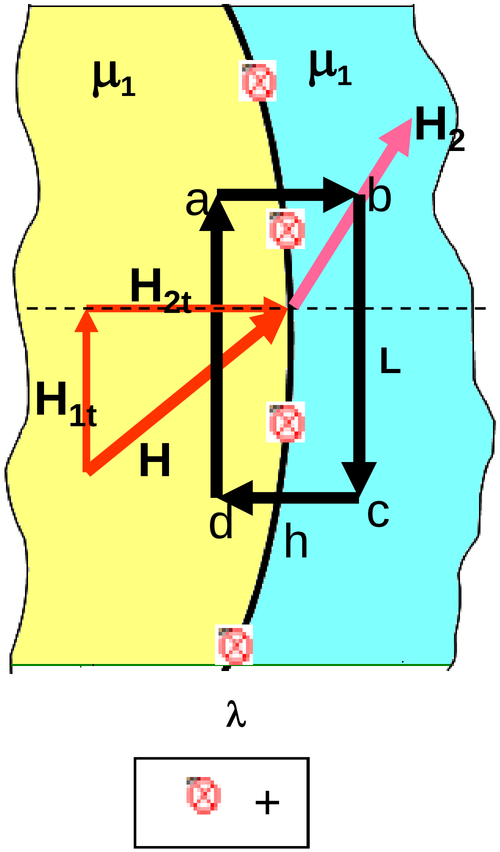
$$\oiint \vec{B}.d\vec{A} = -\iint_{base} B_{1n} dA + \iint_{tapa} B_{2n} dA = 0$$

$$\boxed{B_{2n} - B_{1n} = 0 \Rightarrow B_{2n} = B_{1n}}$$

$$\boxed{\mu_1 H_{1n} = \mu_2 H_{2n} \Rightarrow H_{2n} = \frac{\mu_1}{\mu_2} H_{1n}}$$

Se conserva la componente normal B

$$\boxed{\frac{\mu_1}{\chi_1} M_{1n} = \frac{\mu_2}{\chi_2} M_{2n} \Rightarrow M_{2n} = \frac{\mu_1 \chi_2}{\chi_1 \mu_2} M_{1n}}$$



$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \sum I$$

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

$$h \to 0$$

$$\int_d^a H_{1t}\, dl - \int_b^c H_{2t}\, dl = \int \vec{\lambda}.dl \qquad (H_{1t} - H_{2t})L = \lambda L \Rightarrow \boxed{(H_{1t} - H_{2t}) = \lambda}$$

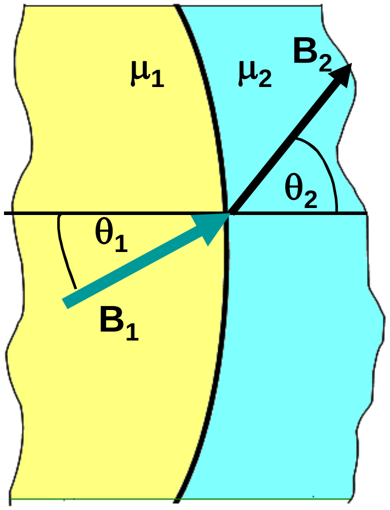
$$\vec{B} = \mu\, \vec{H} \qquad \boxed{\Rightarrow \frac{B_{1t}}{\mu_1} - \frac{B_{2t}}{\mu_2} = \lambda}$$

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H} \qquad \boxed{\Rightarrow \frac{M_{1t}}{\chi_1} - \frac{M_{2t}}{\chi_2} = \lambda}$$

Si $\lambda = 0 \Rightarrow$ $\boxed{H_{1t} = H_{2t}}$ Se conserva la componente normal H

$$\boxed{\frac{B_{1t}}{\mu_1} = \frac{B_{2t}}{\mu_2}}$$

$$\boxed{\frac{M_{1t}}{\chi_1} = \frac{M_{2t}}{\chi_2}}$$



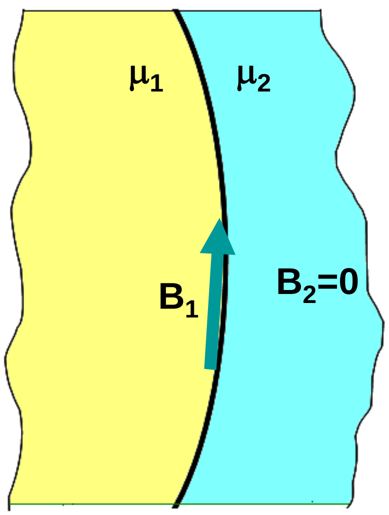
$$tg\theta_2 = \frac{B_{2t}}{B_{2n}} = \frac{\frac{\mu_2}{\mu_1}B_{1t}}{B_{1n}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}tg\theta_1$$

$$\boxed{tg\theta_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1}tg\theta_1}$$

$$\text{Si} \quad \lambda = 0,\ B_{1n} << B_{1t}, B_{1n} \approx 0 \qquad \theta_1 \approx \frac{\pi}{2} \quad \Rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} B_{2n} = B_{1n} \approx 0 \\ B_{2t} = \frac{\mu_2}{\mu_1} B_{1t} \end{array} \right\}$$

$$\text{Si} \quad \mu_1 >> \mu_2, \quad B_{2n} \approx 0 \quad \text{y} \quad B_{2t} \approx 0$$

$$B_2 = 0 \quad \text{NO Existe Campo Disperso}$$



B queda encerrado en el medio1

Ecuaciones Campo Electrostático

$$\oiint \vec{D}\,.d\vec{A} = q_L \qquad \vec{\nabla}\,.\vec{D} = -\rho_{\text{Libre}}$$

$$\oint \vec{E}.d\vec{L} = 0 \qquad \vec{\nabla}\times\vec{E} = 0$$

$$\oiint \vec{E}\,.d\vec{A} = \frac{q_T}{\varepsilon_0} \qquad \vec{\nabla}\,.\vec{E} = \frac{\rho_{\text{total}}}{\varepsilon_0}$$

$$\oiint \vec{P}.d\vec{A} = -q_{pol} \qquad \vec{\nabla}\,.\vec{P} = -\rho_{\text{Pol}}$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$$

$$\vec{D} = \varepsilon_r\varepsilon_0\vec{E}$$

$$\vec{P} = \chi\,\varepsilon_0\,\vec{E}$$

Ecuaciones Campo Magetostático

$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \sum I \qquad \vec{\nabla}\times\vec{H} = \vec{J}$$

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0\sum I_{\text{totales}} \qquad \vec{\nabla}\times\vec{B} = \mu_0\vec{J}_{\text{total}}$$

$$\oint \vec{M}.d\vec{l} = I_M \qquad \vec{\nabla}\times\vec{M} = \vec{J}_{\text{imantación}}$$

$$\oiint \vec{B}\bullet d\vec{A} = 0 \qquad \vec{\nabla}\,.\vec{B} = 0$$

$$\vec{B} = \mu_0\left(\vec{H} + \vec{M}\right)$$

$$\vec{B} = \mu\,\vec{H}$$

$$\vec{M} = \chi_m\vec{H}$$