MATERIALES FERROMAGNETICOS

Bibliografía consultada

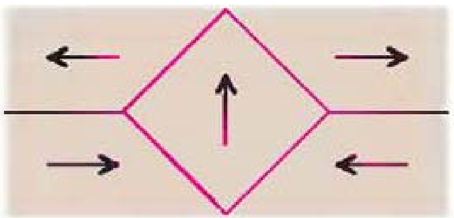
- **Sears- Zemasnky -Tomo II**
- **Fisica para Ciencia de la Ingeniería, Mckelvey**
- **Serway- Jewett --Tomo II**

Los materiales ferromagnéticos no son `lineales'. Esto significa que las relaciones entre **B** (o **M**)Y **H** no corresponden a líneas rectas.

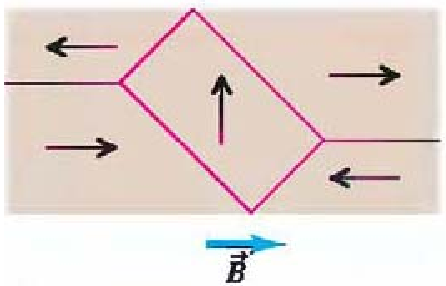
$\mu=\mu(H)$ y $\chi=\chi(H)$

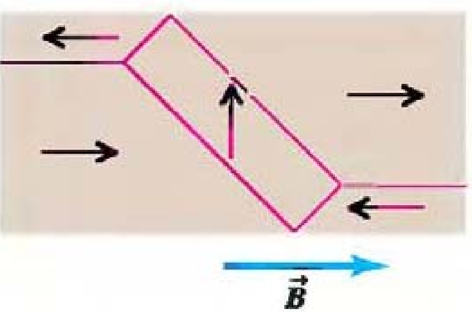
$\chi >> 0$ y $\mu_r >> 1$.

En realidad, lo que ocurre es más complicado es el fenómeno de *histéresis*.



B externo=0





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,** cuy**o t**amaño *10*$^{-12}$ y *10*$^{-8}$ *m*3 y contienen entre *10*21 y *10*27 átomos.

Materiales ferromagnéticos: hierro, cobalto, níquel y la mayoría de los aceros.

En ausencia de campo aplicado, los dominios tienen sus momentos magnéticos netos distribuidos al azar.

Cuando se aplica un campo exterior, los dominios tienden a alinearse con el campo. Este alineamiento puede permanecer cuando se retira el campo externo, creando un **imán permanente**

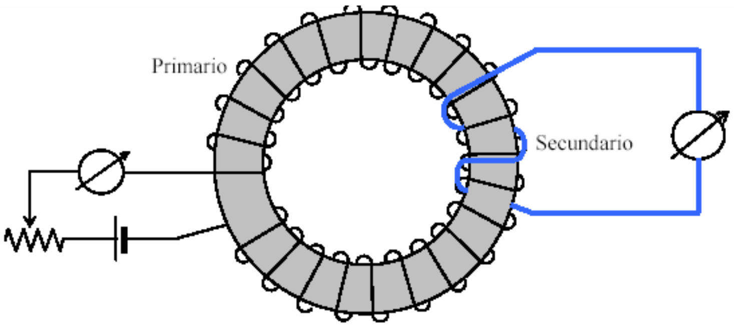
La agitación térmica tiende a desalinear los dominios. A temperatura normal, la energía térmica no es en general suficiente para desmagnetizar un material magnetizado.

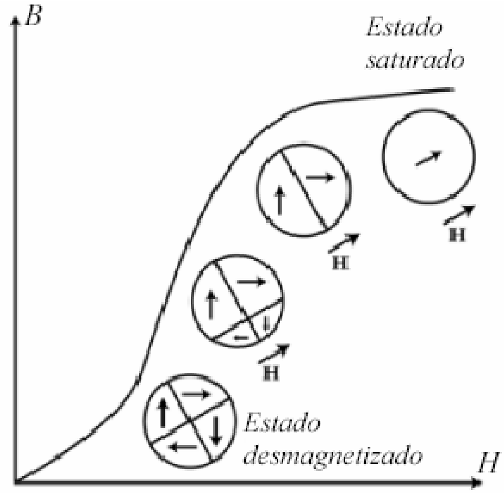
Por encima de una cierta temperatura, llamada **temperatura de Curie**, el material se vuelve paramagnético.

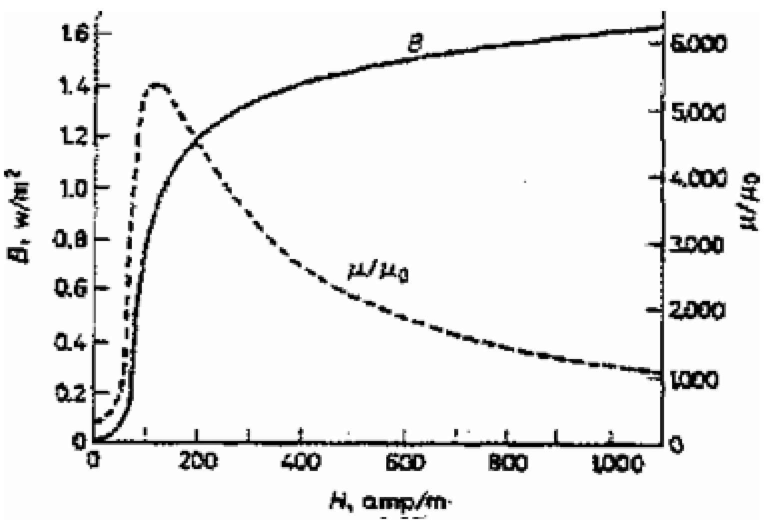
Una forma de desmagnetizar un material ferromagnético es calentarlo por encima de esta temperatura.

CURVA DE HISTÉRESIS

- Se comienza con una muestra de material ferromagnético desmagnetizado.
- Se considera que el parámetro de control experimental es el campo **H** , pues está directamente relacionado a la corriente **I** (Ley de Ampère).
- Al incrementar **H** desde cero, **M y B** del material crecerán monótonamente, describiendo una curva- Curva de primera imantación







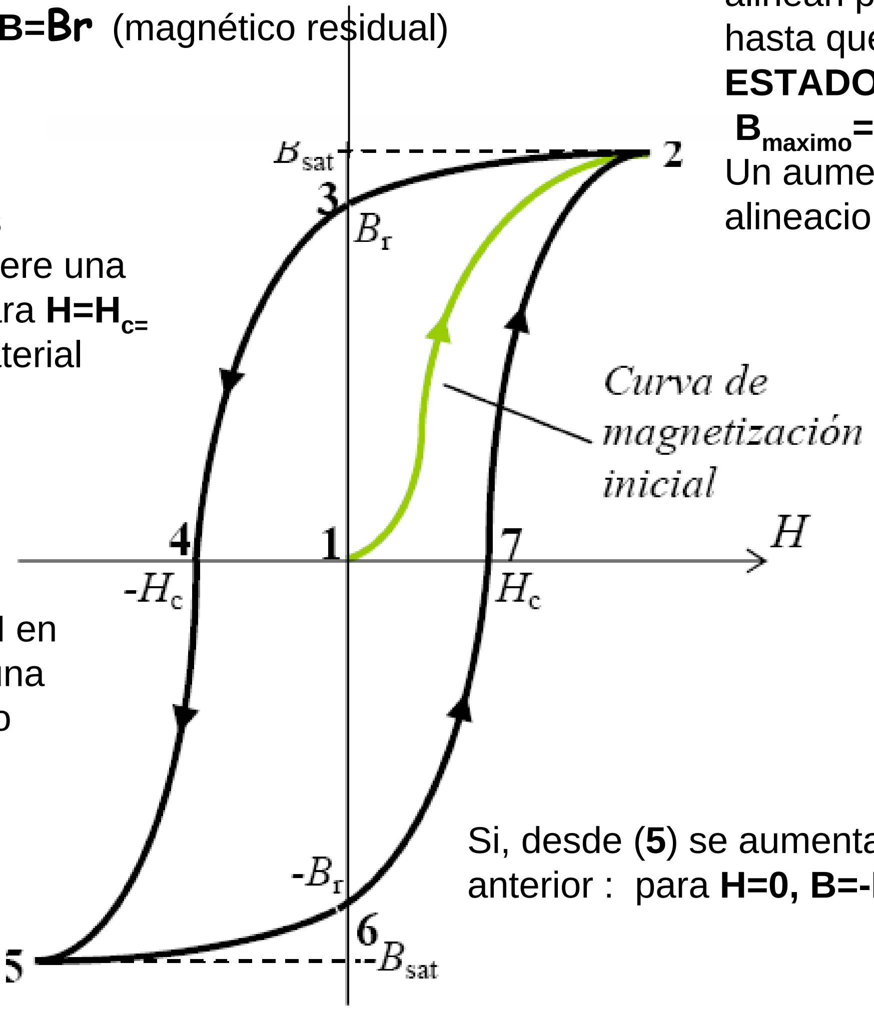
$$\mu = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{H}}$$

***μ* es** función de *H* con un rango de variación de varios órdenes de magnitud.

Si desde el estado de saturación (**2**) se disminuye **H**, se observa que el sistema no sigue la trayectoria previa. Para **H=0** (**3**), el material queda magnetizado, **B=Br** (magnético residual)

Al aumentar **H** ,más y más dominios se alinean paralelos al campo aplicado, hasta que ***M*** alcanza un valor máximo: **ESTADO DE SATURACIÓN**(**2**), **B_{maximo}= Bsat**. Un aumento de **H** no creará nuevas alineaciones.

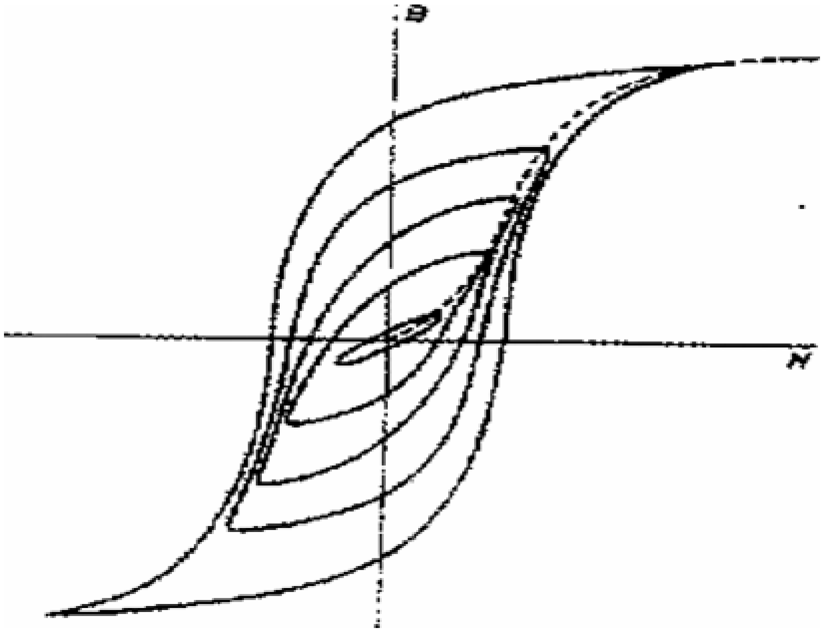
Si se aumenta **H** en valores negativos, la muestra adquiere una magnetización invertida. Para **$H=H_{c=}$ (H coercitivo), B=0,** El material queda desmagnetizado (**4**).



Si se continúa aumentando H en valor negativos , se produce una nueva saturación en el sentido opuesto (**5**) .

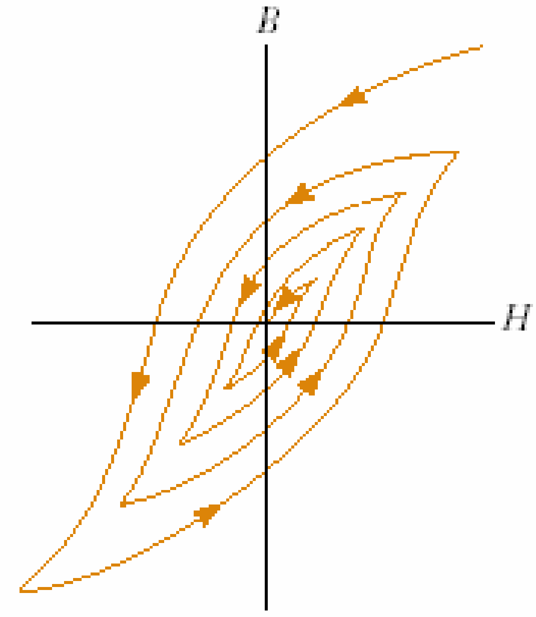
Si, desde (**5**) se aumenta **H**, se repite la situación anterior : para **H=0, $B=-B_r$ (6) ; $H=H_c$, B=0**

Si se repite esta operación, el sistema recorre siempre el mismo ciclo, conocido como **ciclo de histéresis**.



Curvas de histéresis de un material, para varios valores de *Hmax*.

Desmagnetización de un material ferromagnético, recorriendo distintos ciclos de histéresis

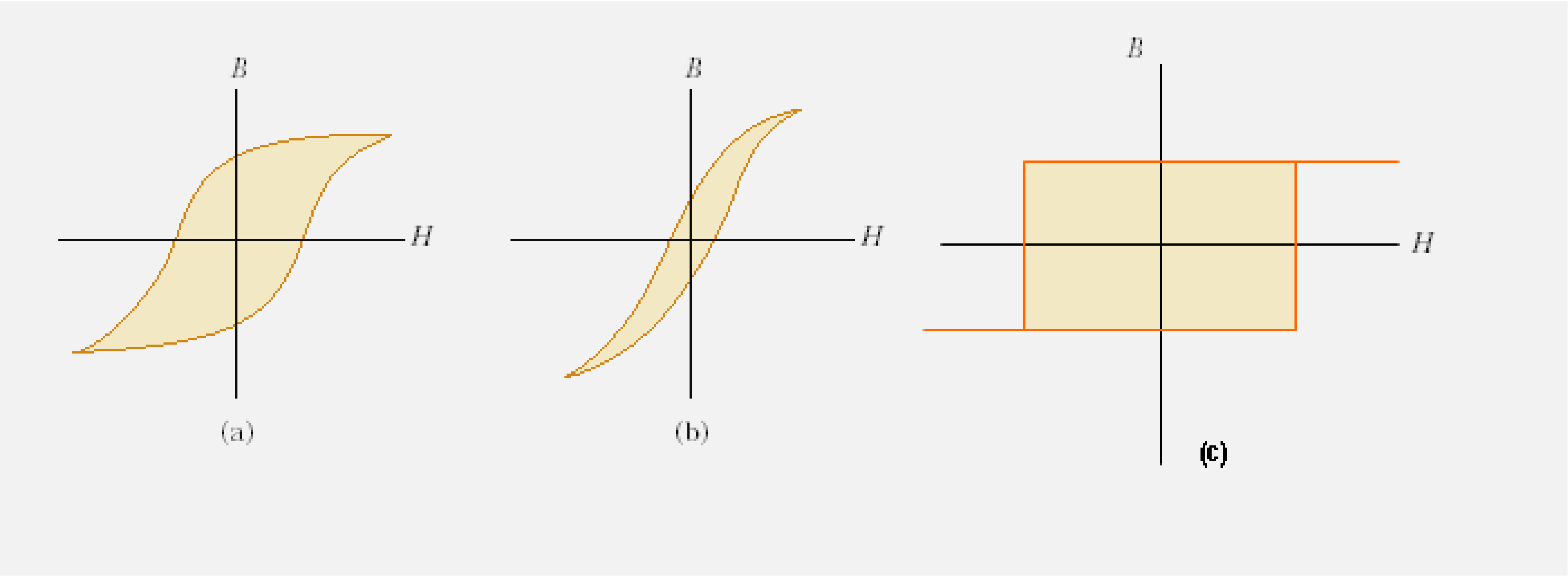


El uso más frecuentes de los materiales ferromagnéticos son:

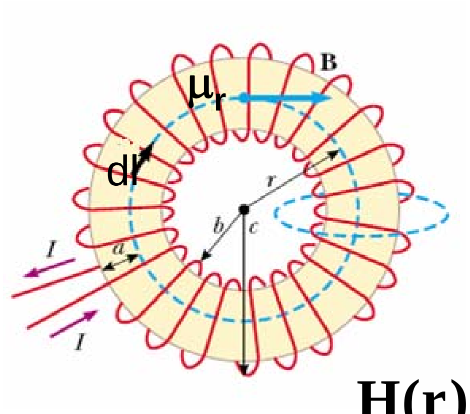
a) como fuentes de campo magnético (imanes): *Magnetos duros*

b) para aumentar el flujo de **B** en circuitos de corriente (motores, generadores): *Magnetos blandos*

c) almacenamiento magnético de información. *histéresis rectangular*



Toroide de material ferromagnético lineal con N espiras de corriente I

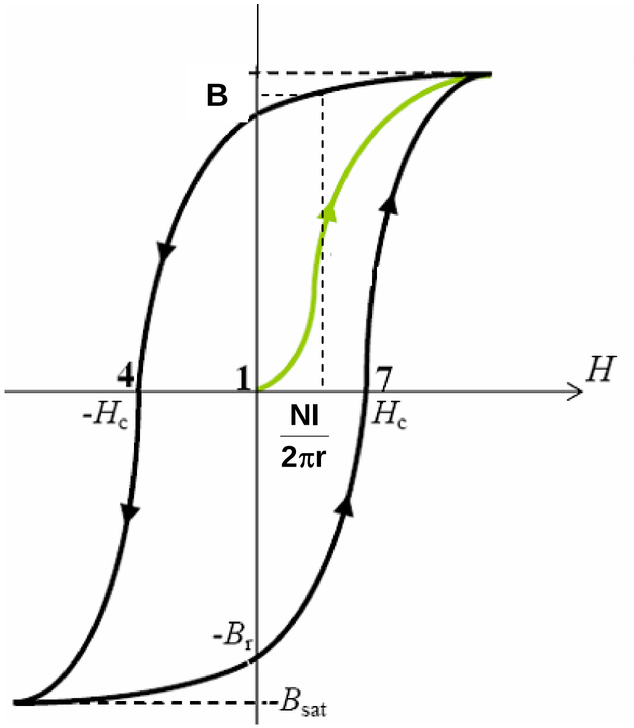


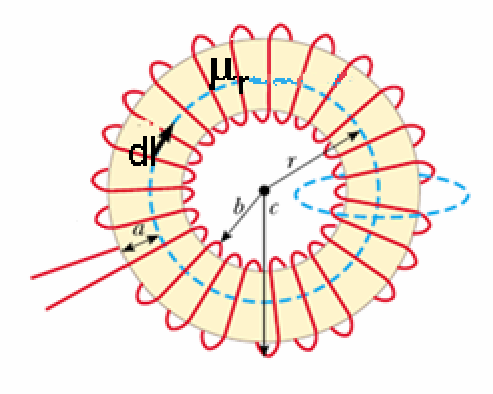
$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \sum I$$

Al igual que en el ejemplo de materiales lineales se determina **H,** usando **la Ley de Ampere**

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

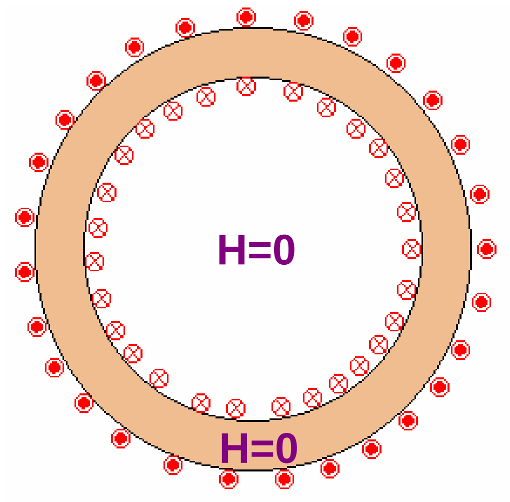
Para determinar **B** es necesario conocer la curva de histéresis del material



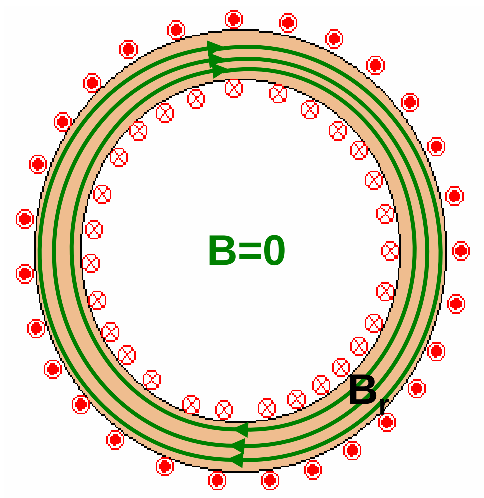


Si $\mathbf{I = 0 \Rightarrow H = 0 \Rightarrow B = B_r}$

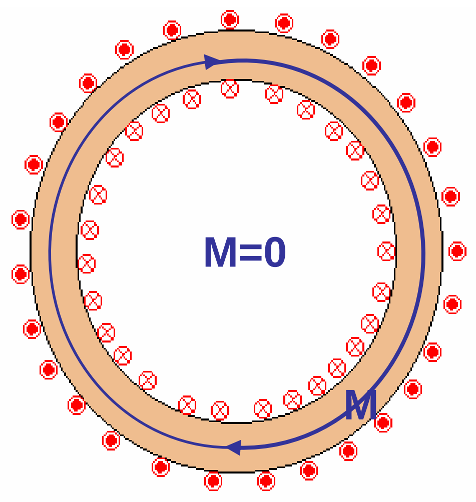
$$\mathbf{M} = \frac{\chi}{\mu}\mathbf{B}$$



H=0

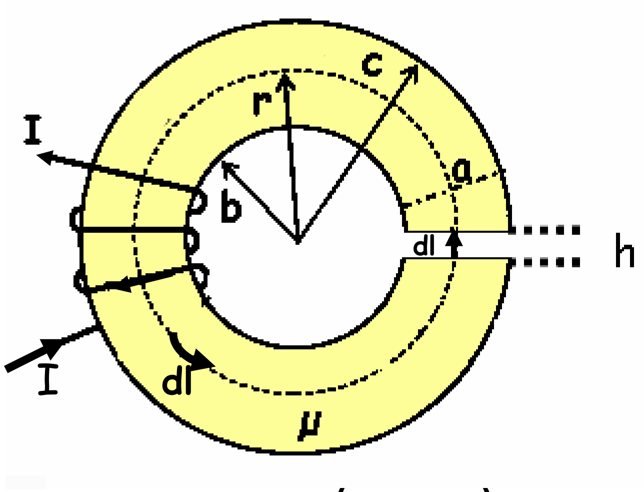


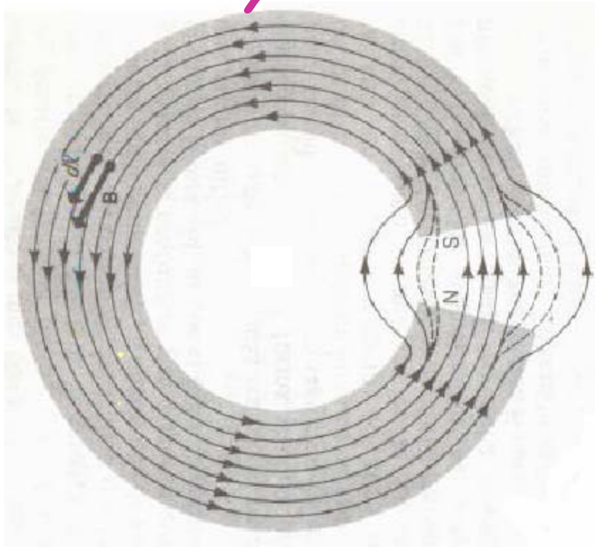
B=0



M=0

Toroide de material magnético lineal con N espiras de corriente I y entre hierro





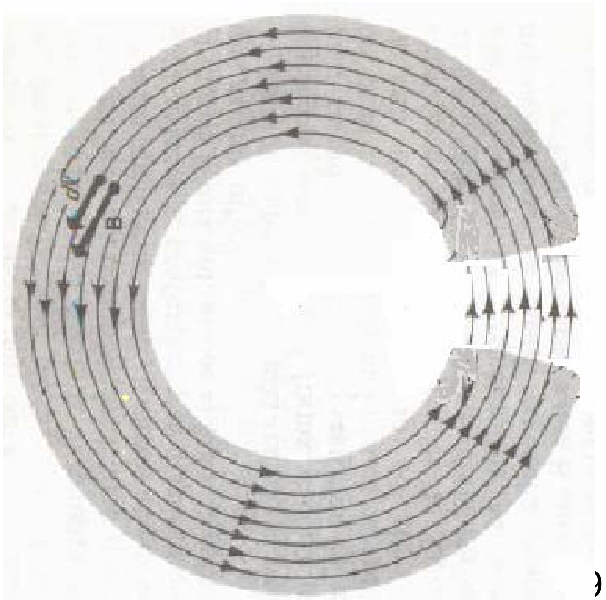
$$\vec{B} = \mu \, \vec{H}$$

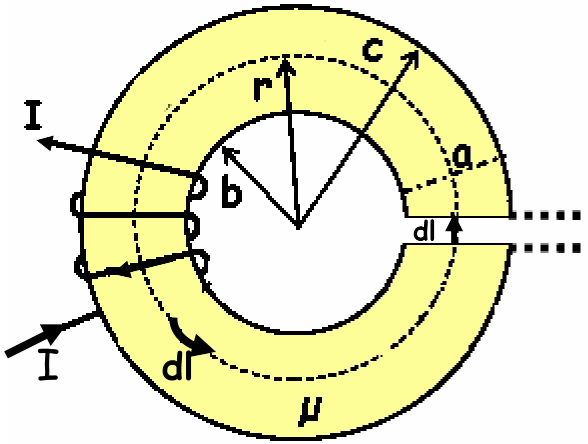
$$\vec{M} = \chi_m \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{H}$$

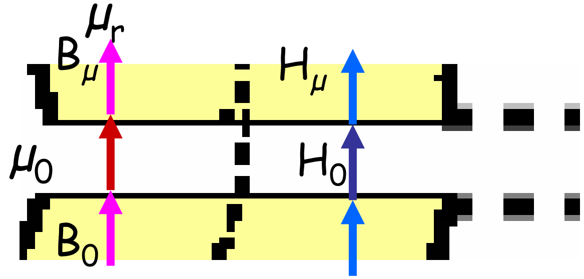
$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I$$

$$L = 2\pi R = 2\pi\left(b + a/2\right)$$

SUPONER
- $\mu = cte$
- $h << L$
- **No existe flujo disperso (por condiciones de contorno)**
- $a << b$







Por condiciones de contorno

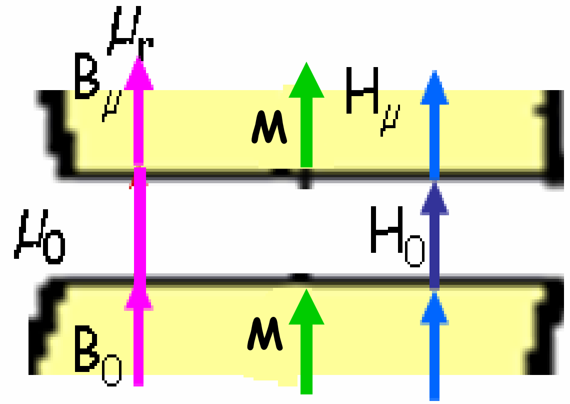
$$\oiint \vec{B} \bullet d\vec{A} = 0$$

$$B_0 = B_\mu = B$$

$$\oint \vec{H} . d\vec{l} = \oint H(r)\, dl = \int_0^h H_0(r)\, dl + \int_0^h H_\mu(r)\, dl = NI$$

$$\int_0^h \frac{B(r)}{\mu_0} dl + \int_0^h \frac{B(r)}{\mu} dl = NI \quad \longrightarrow \quad B(b < r < c) = \frac{NI}{\left(\frac{h}{\mu_0} + \frac{L-h}{\mu}\right)}$$

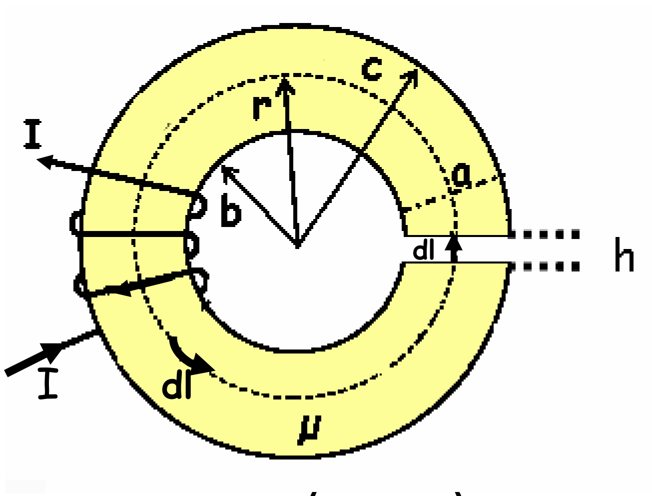
$$\vec{B} = \mu\, \vec{H} \quad \longrightarrow \quad \begin{cases} H_\mu(b < r < c) = \dfrac{NI\mu_0}{\mu h + (L-h)\mu_0} \\ H_0(b < r < c) = \dfrac{NI\mu}{\mu h + (L-h)\mu_0} \end{cases}$$

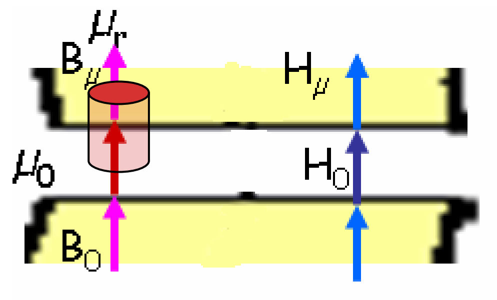


$$\vec{M} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{H} \quad \longrightarrow \quad M(b < r < c, \mu) = \frac{NI}{\mu h + (L-h)\mu_0}(\mu - \mu_0)$$

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

Toroide de material ferromagnético ,N espiras de corriente I y entre hierro





Por condiciones de contorno

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

$$B_0 = B_\mu = B$$

$$L = 2\pi R = 2\pi\left(b + a/2\right)$$

$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \oint H(r)\,dl = \int_0^h B(r)\,dl + \int_0^h H_\mu(r)\,dl = NI$$

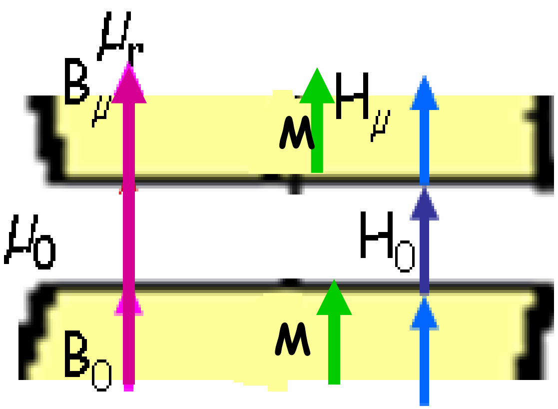
SUPONER
- $h \ll L$
- **No existe flujo disperso (por condiciones de contorno)**
- $a \ll b$

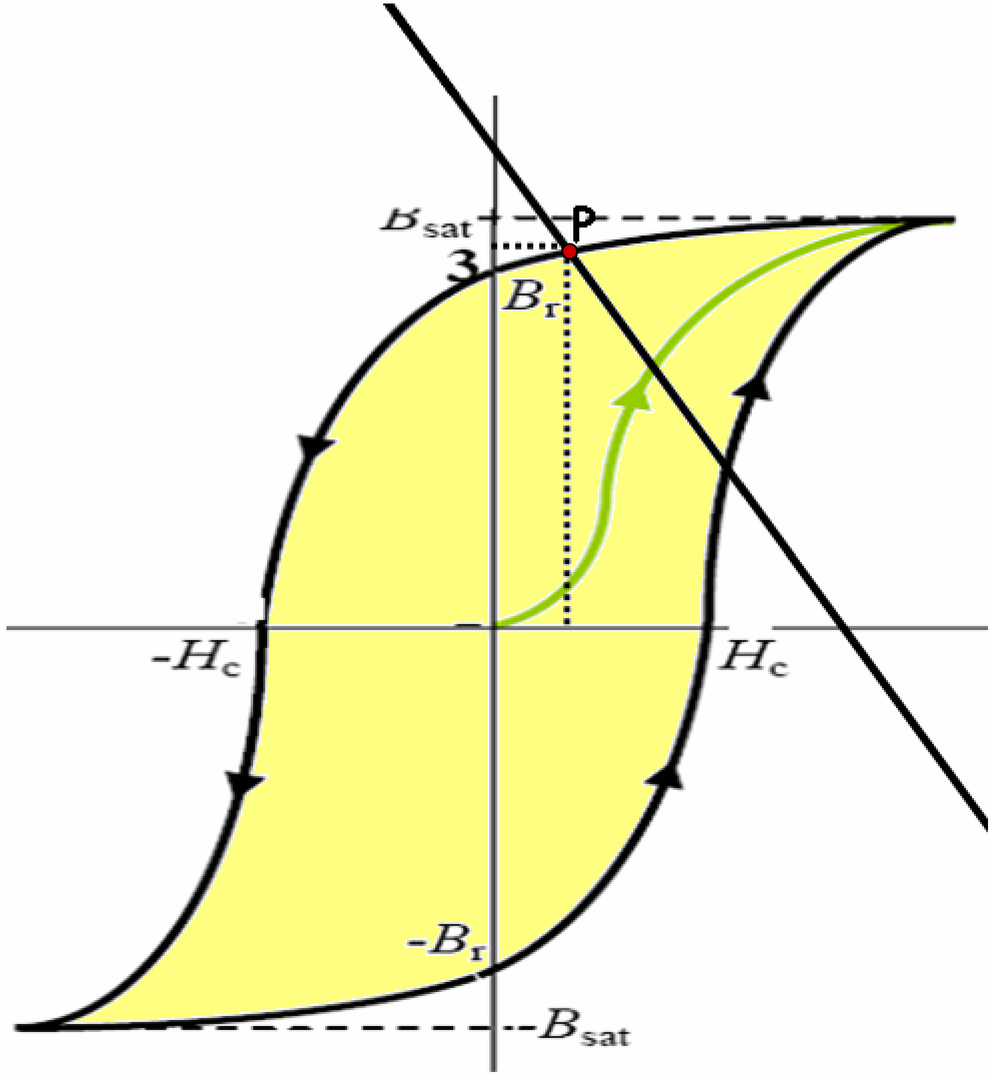
$$\frac{B}{\mu_0}h + H_\mu(L-h) = NI$$

La interseccion de la recta $\mathbf{B = NI\frac{\mu_0}{h} - \frac{\mu_0}{h}(L-h)H_\mu}$

"Recta de Carga" o "de trabajo", su pendiente es negativa y aumenta cuando h disminuye

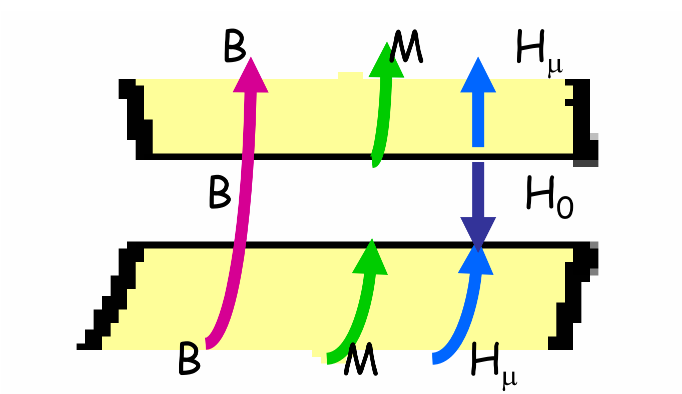
La intersección con la con la curva de histéresis define el valor de **B** (Punto **P**)

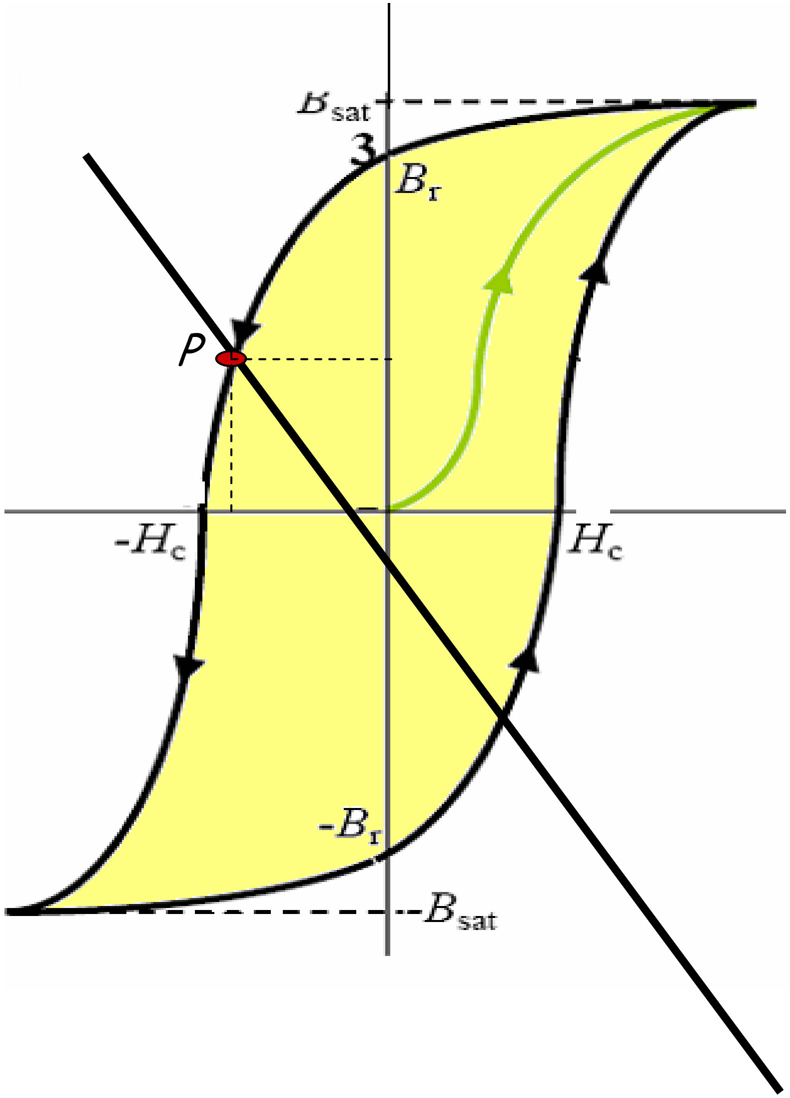




$$\text{Si} \quad I = 0 \Rightarrow B = -\frac{\mu_0}{h}(L-h)H_\mu$$

B y **H** tienen sentido contrario en el material. La existencia de un entehierro **h** produce que **B** se corra desde **Br** hasta **P** si **h** disminuye la recta es más vertical y **P** se acerca a **Br**.
Si h es grandes, aumenta el flujo disperso disminuyendo **B** en el material





$$\mathbf{Si}\quad \mathbf{I=0 \Rightarrow B = -\frac{\mu_0}{h}(L-h)H_\mu}$$