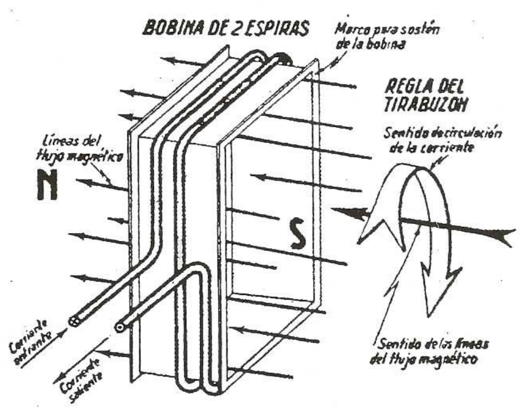
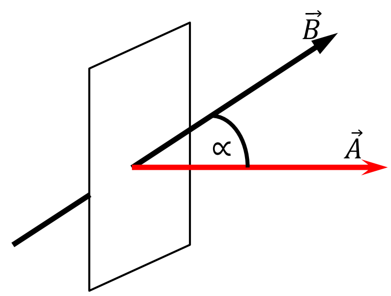
CIRCUITOS MAGNÉTICOS

Un circuito magnético es una sucesión de piezas metálicas ensambladas o vinculadas de manera de contener y encauzar las líneas de flujo hacia un lugar deseado.

Una corriente *i* que circule por espiras, genera un *campo magnético* o *densidad de flujo* $\vec{B}$*.* Este campo tiene dirección y sentido según la regla de la mano derecha.





Definimos flujo magnetico como: $\boxed{\emptyset = \vec{B} \cdot \vec{A} = |B| \cdot |A| \cdot \cos\alpha \qquad [Wb]\ \text{weber}}$

Para una superficie no uniforme: $\emptyset = \int_S B\, \partial s$

La siguiente figura nos muestra un toroide llamado *anillo de Rowland*, consistente en un anillo de sección circular sobre el que están arrolladas *N* espiras, por las que circula una corriente *i*. Experimentalmente se establece que la inducción en el anillo es:

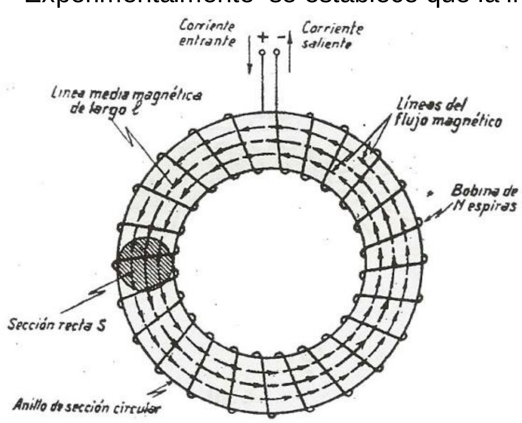


fig. 2

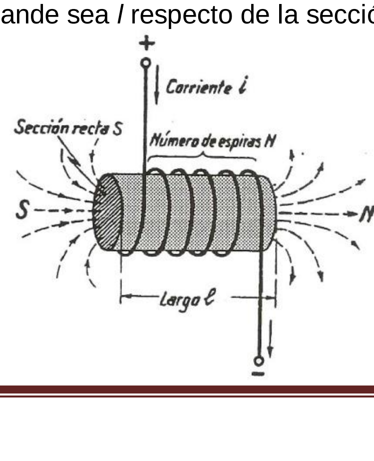
$$\boxed{B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot i}{l} \qquad [B] = [T]\ \text{tesla}}$$

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \quad \left[\frac{H}{m}\right]$ *permeabilidad en el vacío*

Podemos definir una nueva magnitud:

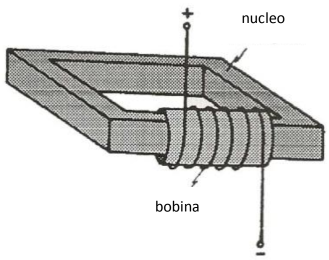
$$\boxed{H = \frac{N \cdot i}{l} \quad \left[\frac{A}{m}\right] \quad \textit{exitación magnética}}$$

Para una bobina se cumplen los mismos principios que para el anillo. La relacion *H* se hace mas cierta mientras tanto mas grande sea *l* respecto de la sección *s.*



Podemos considerar ahora que la bobina arrolla un núcleo ferromagnético. De esta manera las líneas de campo magnético se encauzan e intensifican, asi:

Fig. 4



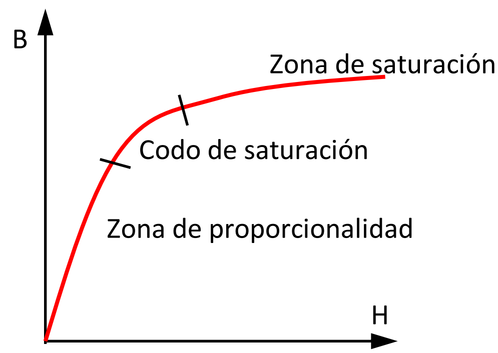
$B = \mu_0 \cdot \mu_r \frac{N \cdot i}{l}$ donde μ_r = *permeabilidad relativa del material*

$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ *permeabilidad*

$$\boxed{\rightarrow B = \mu_0 \cdot \mu_r \frac{N \cdot i}{l} = \mu \cdot H}$$

La *inducción B* aumenta en un material hasta que todos los dominios de este estan orientados de la misma forma (vease anexo circuitos magneticos).

Presentamos la grafica que nos relaciona *B* con *H*.



En esta grafica de inducción versus exitación, μ representa la recta secante entre el origen y el punto correspondiente a la exitación magnética del circuito.

De la ecuación de flujo magnético: $\emptyset = B \cdot A = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot i}{l} \cdot A$

Reordenamos: $\emptyset = \frac{N \cdot i}{\frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}} = \frac{\mathscr{F}}{\mathscr{R}} = \frac{fuerza\ \ magnetomotriz}{reluctancia}$

$\mathscr{F} = N \cdot i$

$\mathscr{R} = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$

$$\boxed{\emptyset = \frac{\mathscr{F}}{\mathscr{R}} \quad \text{Ley de Hopkinson}}$$

Donde la fuerza magnetomotriz está dada en *Amperes vuelta* y la reluctancia en H^{-1}.

La *ley de Hopkinson* es análoga a la *Ley de Ohm* para circuitos eléctricos. A continuacion describiremos algunas de las analogías que existen entre los circuitos magnéticos y los circuitos eléctricos:

$\emptyset = \frac{\mathscr{F}}{\mathscr{R}}$	$i = \frac{E}{R}$
$\mathscr{F}$ fuerza magnetomotriz	ε fuerza electromotriz
$\emptyset$ flujo magnético	i *intensidad de corriente*
$\mathscr{R}$ reluctancia	R resistencia

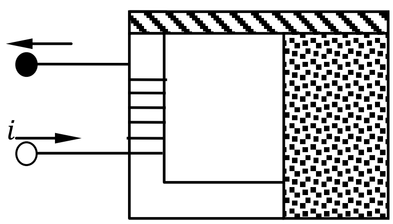
La *reluctancia* $\mathscr{R}$ depende de μ. Mientras más exitado está el material más disminuye μ y mas grande es la reluctancia. Evitamos entonces llegar a la zona de saturación.

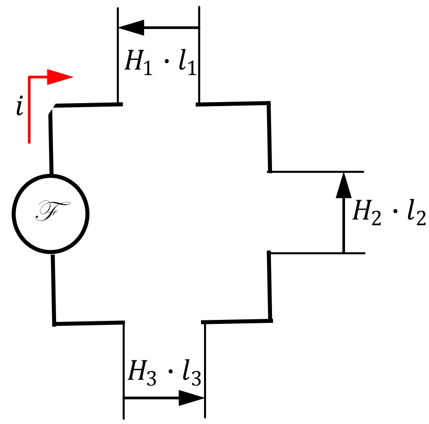
De la relación: $H = \frac{N \cdot i}{l}$ hacemos $H \cdot l = N \cdot i$ pero $\mathscr{F} = N \cdot i$

Entonces: $\boxed{\mathscr{F} = N \cdot i = H \cdot l \rightarrow \text{caída de tensión magnetica}}$

Para la resolución de problemas usamos $\mathscr{R}$ si conocemos μ, caso contrario utilizamos la caída de tensión magnética $H \cdot l$.

En regiones donde *B* varía no es posible aplicar directamente la relación $\mathscr{F} = N \cdot i = H \cdot l$, sino que debemos trabajarla. Dado un circuito como el de la figura hacemos:

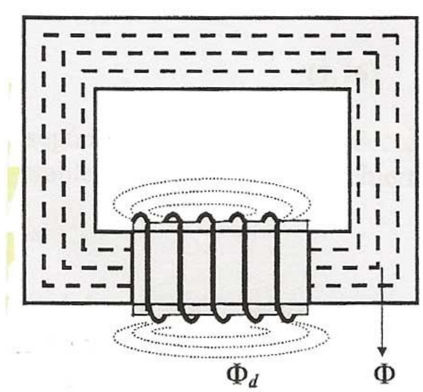




$$\mathscr{F} = N \cdot i = \oint H \cdot dl = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_3 \cdot l_3$$

$$\boxed{\mathscr{F} = N \cdot i = \sum_{i=1}^{n} H_i \cdot l_i \qquad \textit{Ley de circuitación}}$$

Dado un circuito magnetico, por él circula un flujo magnético creado por la bobina. A través de sus elementos las líneas de campo siguen una trayectoria que denominamos *trayectoria media*. Sin embargo, algunas líneas de campo se cierran por el aire cercano a la bobina, en razón de encontrar por ese camino una menor reluctancia. A este flujo que no se concatena completamente con el principal lo llamaremos *flujo disperso.*



Definimos entonces *flujo total* $\emptyset_t$ como la suma del *flujo útil* que está circulando $\emptyset_u$ y del *flujo disperso* generado $\emptyset_d$.

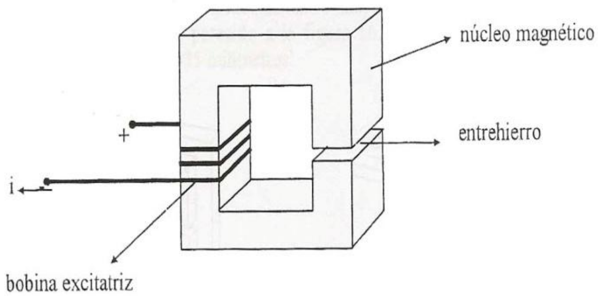
$$\emptyset_t = \emptyset_u + \emptyset_d$$

Definimos tambien como *coeficiente de dispersión* a la relación:

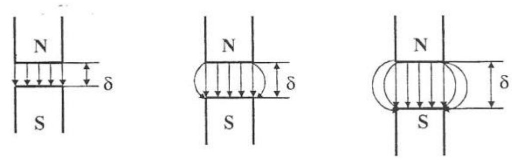
$$\sigma = \frac{\emptyset_d}{\emptyset_t}$$

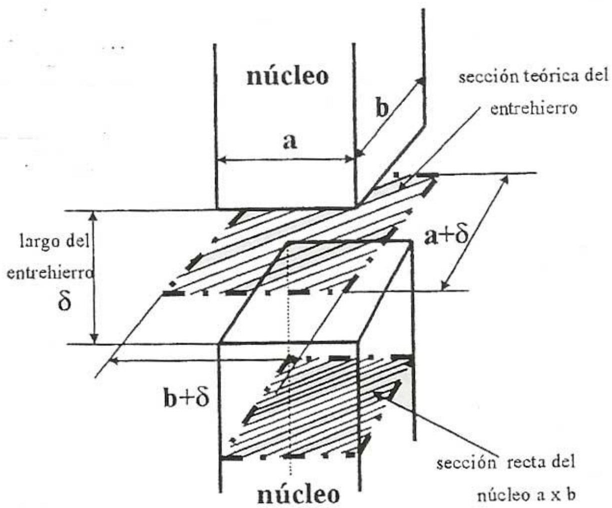
Comunmente el coeficiente de dispersión tiene valores que oscilan entre el 1% y el 3% como máximo.

Otro componente de los circuitos magnéticos son los llamados *entrehierros,* pequeños espacios donde el flujo se establece a través del aire.



Cuando el flujo total creado por la bobina se enfrenta a un entrehierro se produce un *efecto de borde*, que provoca que las lineas de flujo abarquen un área mayor a la del núcleo, es decir, se expanden formando un flujo disperso.





A continuación se presentan dos consideraciones que podemos hacer para tratar problemas con entrehierros y calcular su caída de tensión magnética.

$$\emptyset = B \cdot A$$

$$B_{aire} = \frac{\emptyset}{A} = \frac{\emptyset_u}{a \cdot b} => H_{aire} = \frac{B_{aire}}{\mu_0}$$

Siendo el flujo útil el fujo que atraviesa la sección de aire $a \cdot b$

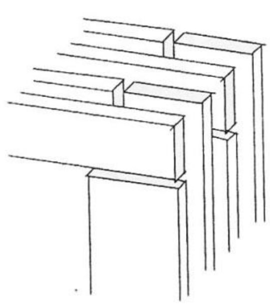
Si el dato es el flujo total, tenemos

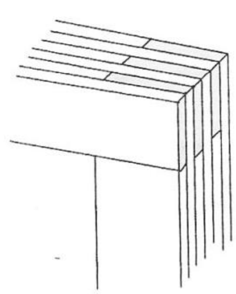
$$B_{aire} = \frac{\emptyset_t}{A_t} = \frac{\emptyset_u + \emptyset_d}{(a+\delta)\cdot(b+\delta)}$$

$$=> H_{aire} = \frac{B_{aire}}{\mu_0}$$

Una vez conocido el H del aire calculamos su caída de tensión magnética como:
$H_{aire} \cdot l_{aire} = H_{aire} \cdot \delta$

Otro factor a tener e cuenta al enfrentarse con circuitos magnéticos es el *factor de laminado* k_l. El factor de laminado nos disminuye el área efectiva del nucleo ya que entre cada lámina del material existe un aislante. La función del laminado es disminuir las pérdidas por corrientes parásitas.





$$k_l = 0{,}85$$

$$A = A_{aparente} \cdot k_l$$

$$A = a \cdot b \cdot k_l = a \cdot b \cdot 0{,}85$$