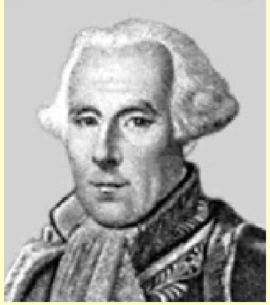
Lección 7: Fuentes del campo magnético

Jean-Baptiste Biot

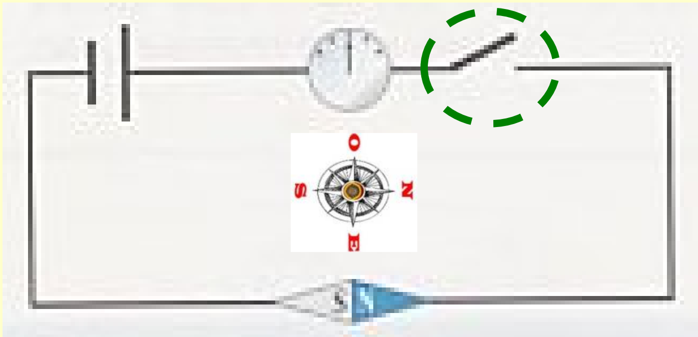


Félix Savart

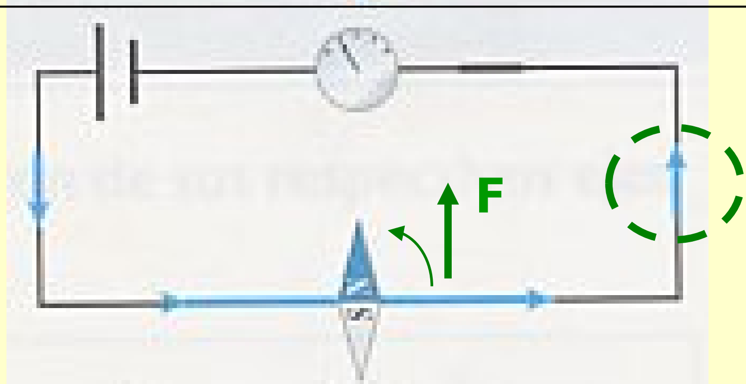
- Experimento de Oersted.
- Ley de Biot y Savart.
  - Líneas del campo magnético
  - campo magnético creado por una espira circular
- Ley de Ampère (A.L.). Aplicaciones
  - Conductor rectilíneo recorrido por una corriente
  - Bobina o solenoide

André Marie Ampère

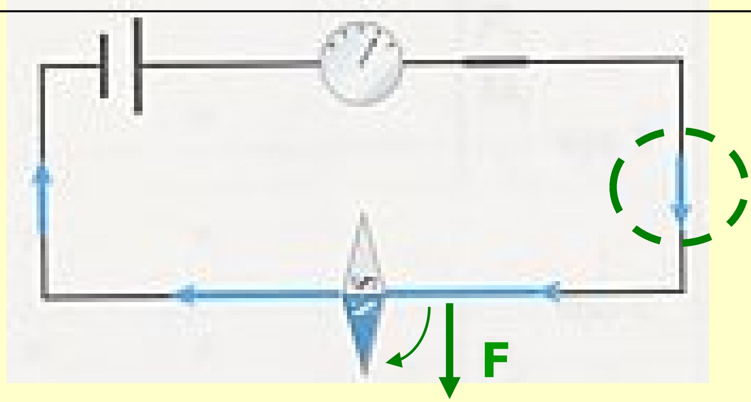
Experimento de Oersted. 1820



- 1. Si el interruptor está off, no hay corriente y la brújula apunta en dirección norte-sur



- 2. Si el interruptor está on, la corriente alinea la brújula en dirección perpendicular a la corriente.



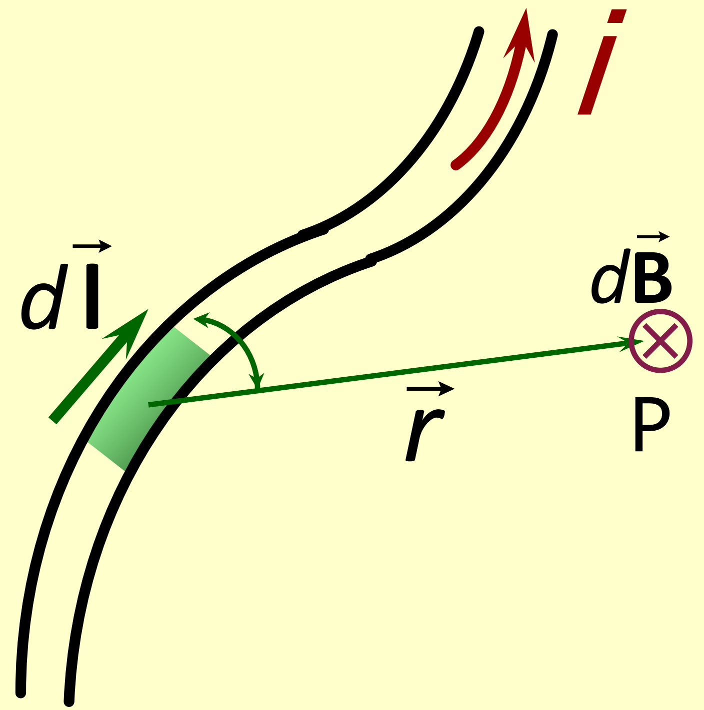
- 3. Si la corriente circula en dirección opuesta, la brújula se alinea en dirección opuesta.

Una corriente eléctrica crea un campo magnético

Tipler, capítulo 27,2

Ley de Biot y Savart

- El campo magnético creado por una corriente es perpendicular a la corriente, y depende de la intensidad de corriente y de la distancia a ella.
- El campo magnético creado por un elemento de corriente ($Id\vec{l}$) en un punto P es:



$$d\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{id\vec{\mathbf{l}}\times\vec{\mathbf{r}}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{id\vec{\mathbf{l}}\times\vec{\mathbf{u}}_r}{r^2} \qquad \vec{\mathbf{u}}_r = \frac{\vec{\mathbf{r}}}{r}$$

La direccíón de $\vec{dl}$ es la misma que la de i

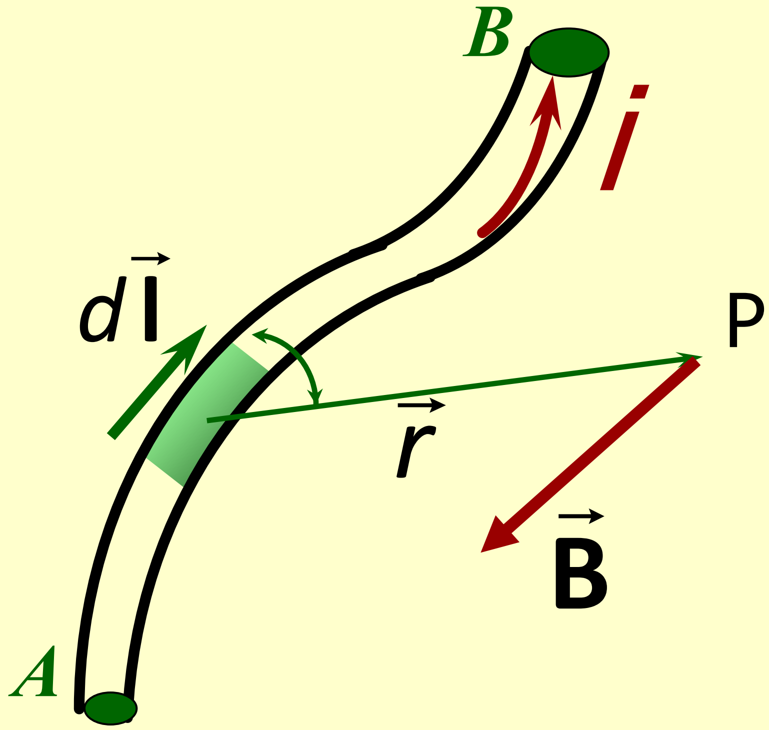
μ_0 (permitividad magnética del vacío)=$4\pi 10^{-7}$ Tm/A

Tipler, capítulo 27-2

Ley de Biot y Savart

- El campo magnético creado por un trozo finito del conductor es la suma (integral) de cada elemento de corriente en P:

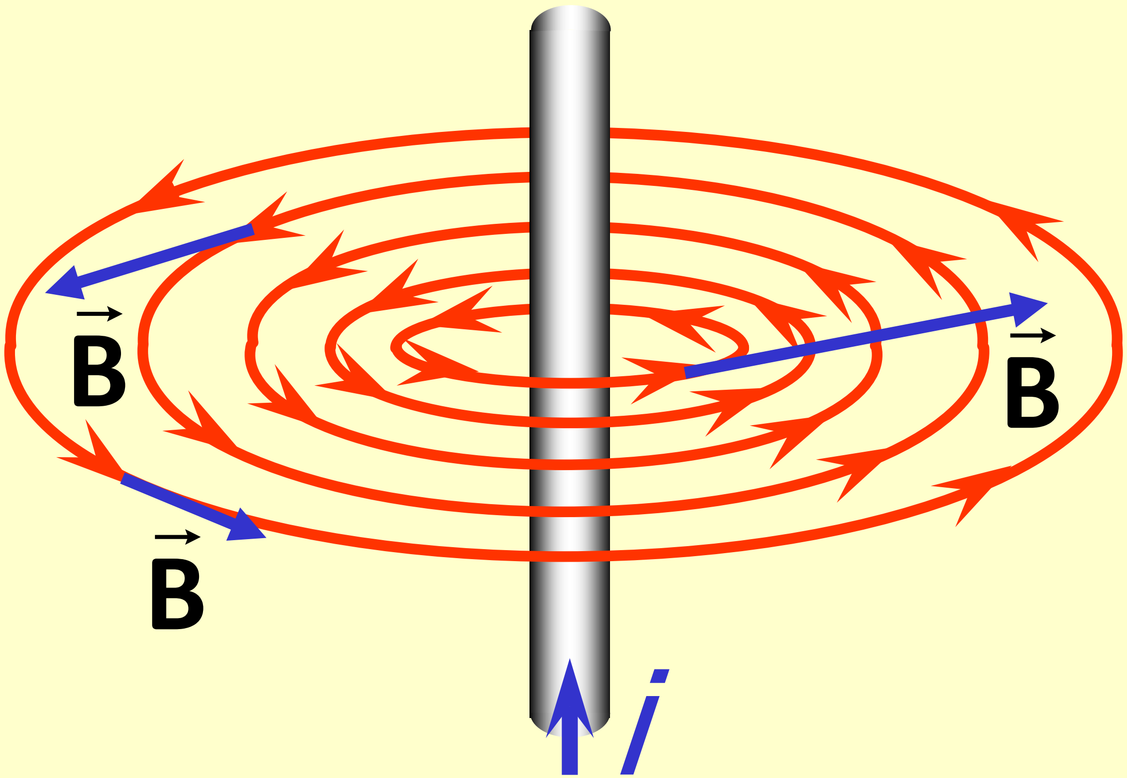
$$\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0 i}{4\pi}\int_A^B \frac{d\vec{\mathbf{l}} \times \vec{\mathbf{r}}}{r^3}$$



Esta ecuación puede aplicarse a conductores de diferentes formas: conductores rectilíneos, circulares, …….

Líneas de campo magnético

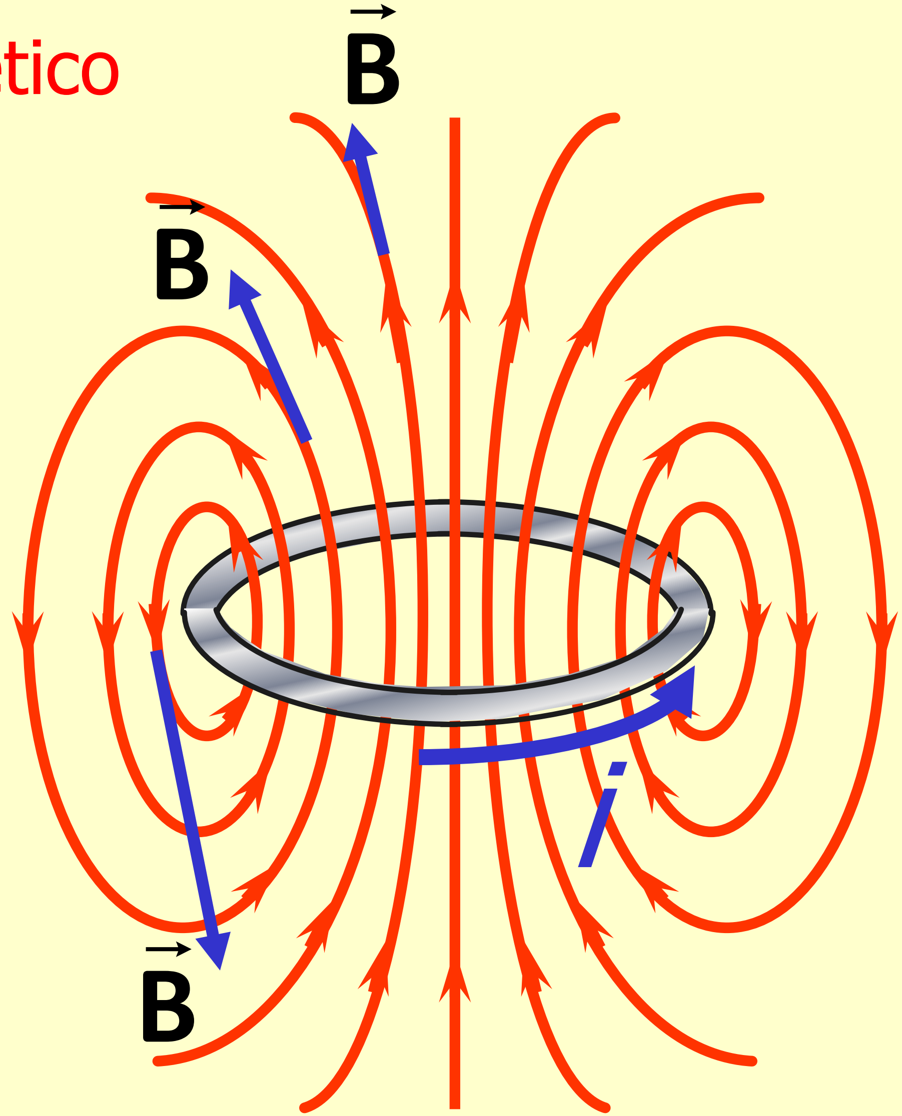
- Las líneas del campo magnético creado por un conductor rectilíneo con corriente son circulares alrededor del conductor:



La dirección del campo la da la regla de la mano derecha. Tipler, capítulo 27.2

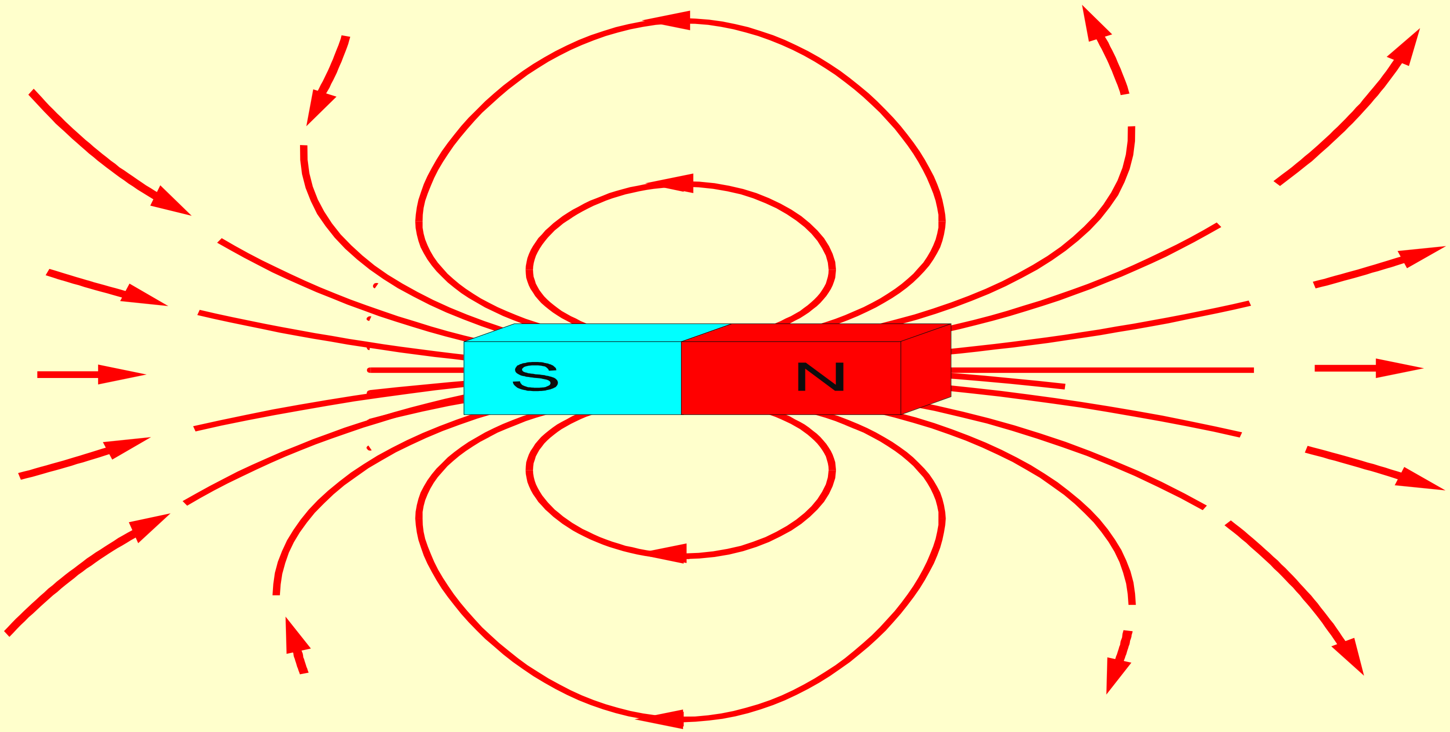
Líneas de campo magnético

- Líneas del campo magnético creado por una espira circular:



https://www.youtube.com/watch?v=V-M07N4a6-Y

Líneas de campo magnético



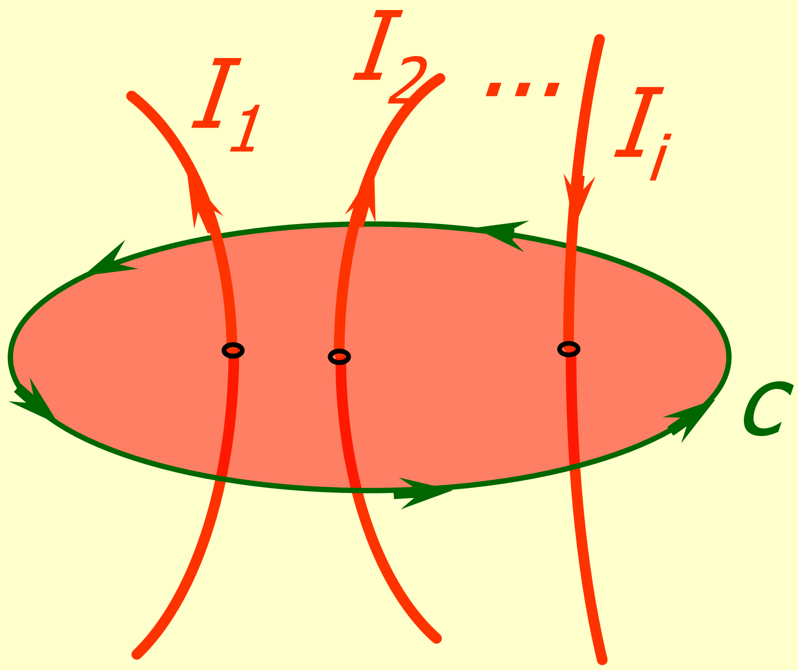
- Como los polos magnéticos no pueden existir aislados (polo norte o polo sur), cualquier línea de campo que salga de un polo norte debe ir a un polo sur, por lo que todas las líneas de campo magnético son líneas cerradas.

Ley de Ampère.

- La ley de Ampère relaciona la integral del campo magnético a lo largo de una línea cerrada con la intensidad que atraviesa una superficie limitada por esa línea. La línea cerrada C debemos elegirla nosotros (si es posible, debería ser una línea de campo magnético):

$$\oint_c \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = \mu_0 \sum_i I_i$$

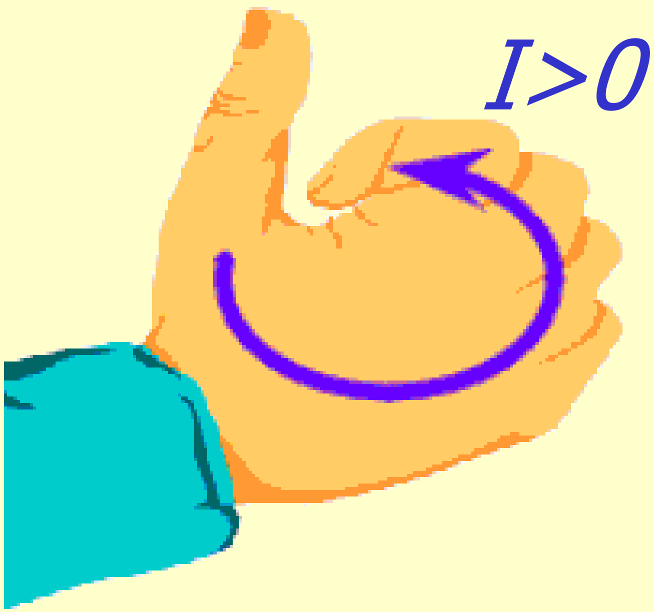
Ley de Ampère

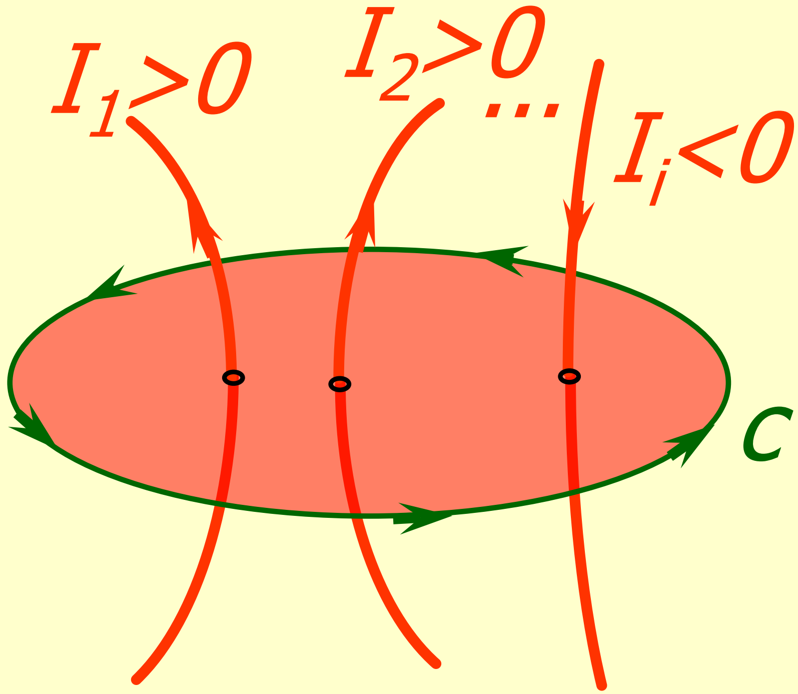


Tipler, capítulo 27.4

Ley de Ampère

- Cada intensidad tiene su propio signo, según la regla de la mano derecha o del tornillo.





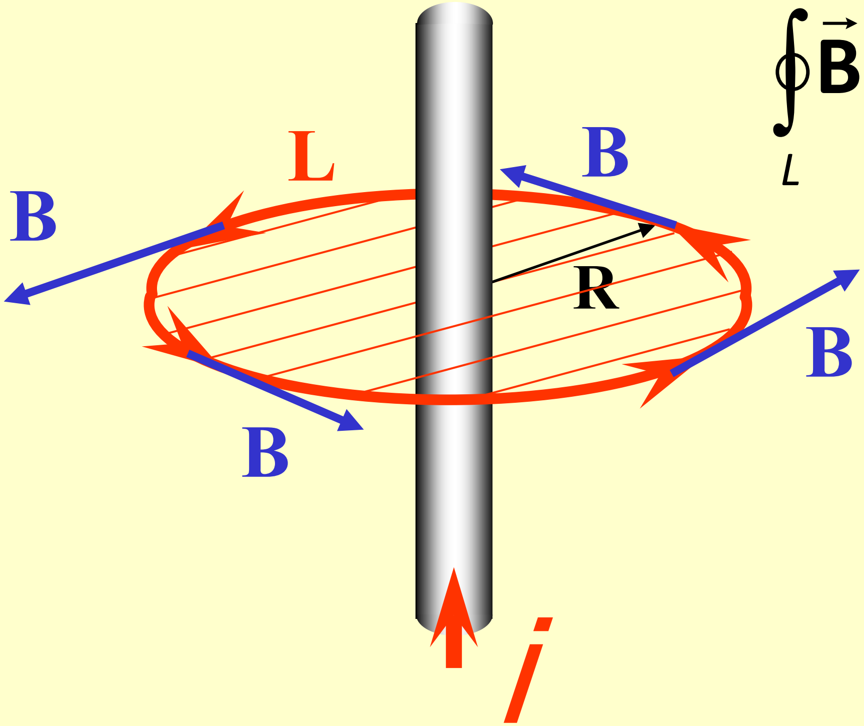
- La ley de Ampère es equivalente (en Electromagnetismo), a la ley de Gauss de la Electrostática.

Ley de Ampère

- Se usa para calcular campos magnéticos en los casos en que exista simetría.
- Para calcular fácilmente la integral de línea, la línea cerrada C elegida debería tener dos propiedades:
  - a) *El módulo del campo magnético debería ser constante en todos los puntos de la línea cerrada C.*
  - b) *El vector campo magnético (B) debería ser paralelo a la línea cerrada C en todos los puntos de C.*
- En ese caso: $$\oint_c \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = \oint_c B\,dl = B\oint_c dl = BL$$

Aplicación de A.L: conductor rectilíneo con corriente.

- Sea un conductor rectilíneo indefinido con corriente. Sus líneas de campo son circunferencias. Tomando una de ellas (de radio R), la aplicación de A.L conduce a:



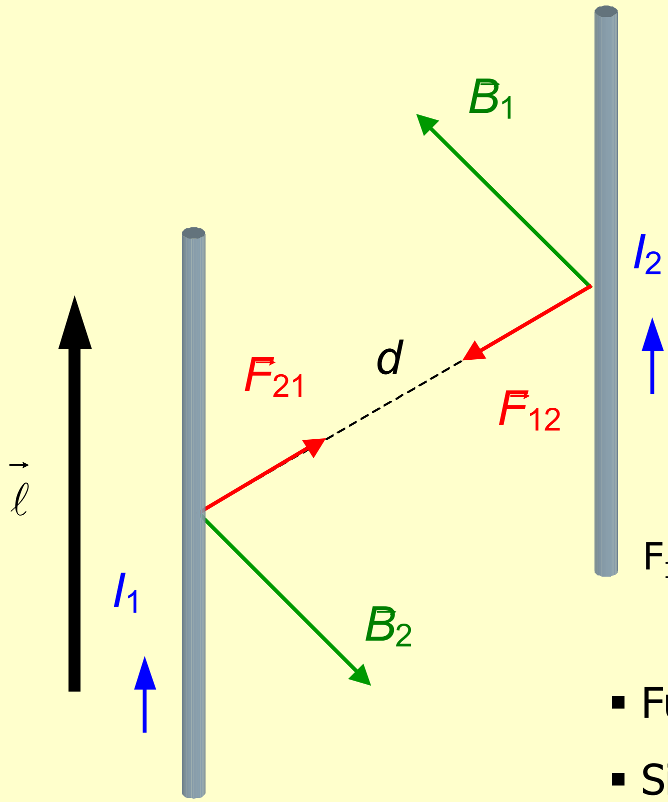
$$\oint_L \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = B \oint_L dl = B \cdot 2\pi R = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

Tipler, capítulo 27.4

Fuerza entre dos conductores rectilíneos con corriente

- Un conductor crea un campo magnético en el segundo conductor, y una fuerza aparece sobre este. Lo mismo ocurre en el primer conductor.



$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \qquad B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

$$\frac{F_{12}}{\ell} = \frac{F_{21}}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

F_{12}/ℓ y F_{21}/ℓ es la fuerza por unidad de longitud en cada conductor

- Fuerza atractiva
- Si I_1 y I_2 tienen direcciones opuestas, la fuerza es repulsiva

http://www.youtube.com/watch?v=43AeuDvWc0k

Tipler, capítulo 27.4

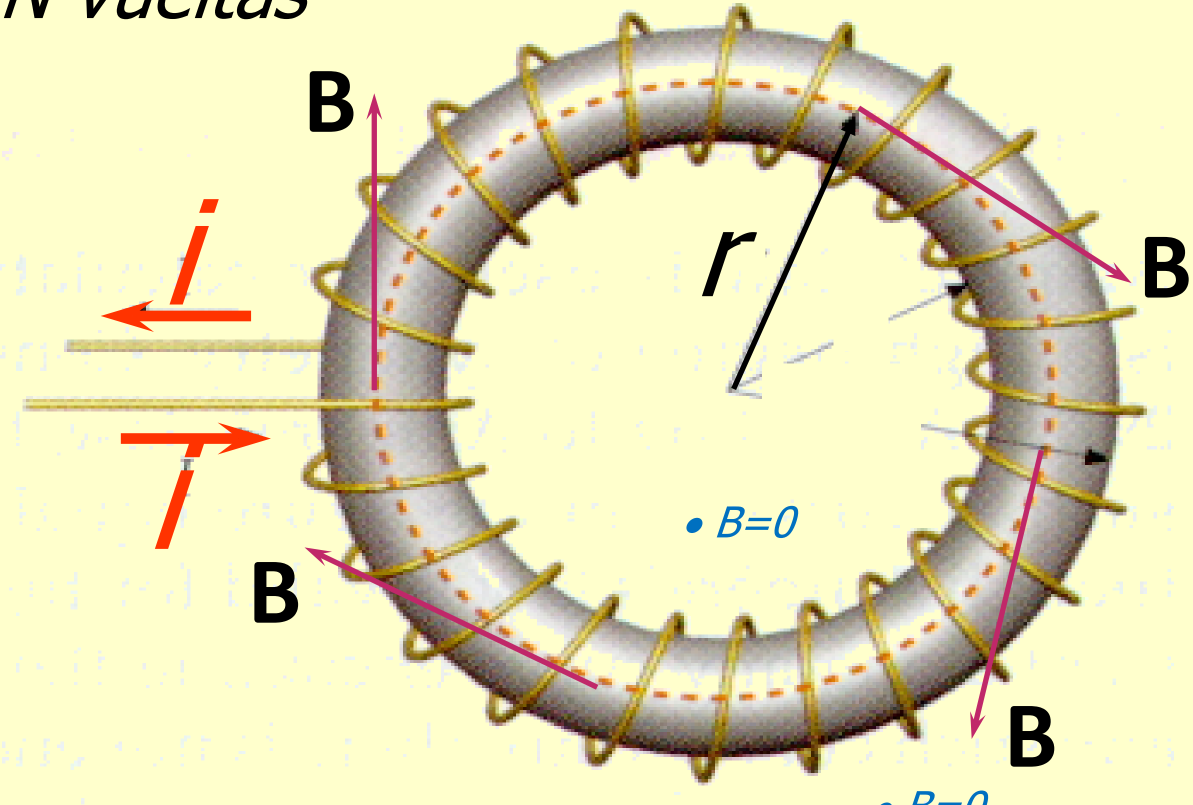
Aplicación de A.L: toroide (solenoide circular).

- Aplicando A.L. a cualquier punto del eje del toroide (radio r) y al círculo encerrado por esta línea:

$$\oint_L \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = B \oint_L dl = B \cdot 2\pi r = \mu_0 N I$$

$$B = \frac{\mu_0 N i}{2\pi\, r}$$

N vueltas

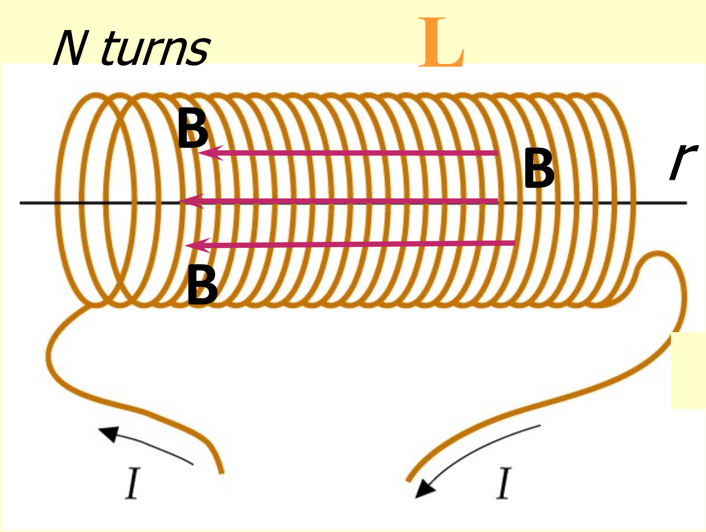


Aplicando A.L. en puntos fuera del toroide, resulta que el campo magnético es cero en cualquier punto fuera del toroide.

Tipler, capítulo 27.4

Aplicación de A.L: solenoide.

- Si L>>>r, el campo magnético dentro de un solenoide puede considerarse uniforme, y nulo fuera de él. Del campo creado por un toroide (L=2πR) (R es el radio de la línea media):



$$B = \frac{\mu_0 N i}{L} = \mu_0 n i$$

$$n = \frac{N}{L}$$ Número de vueltas por unidad de longitud

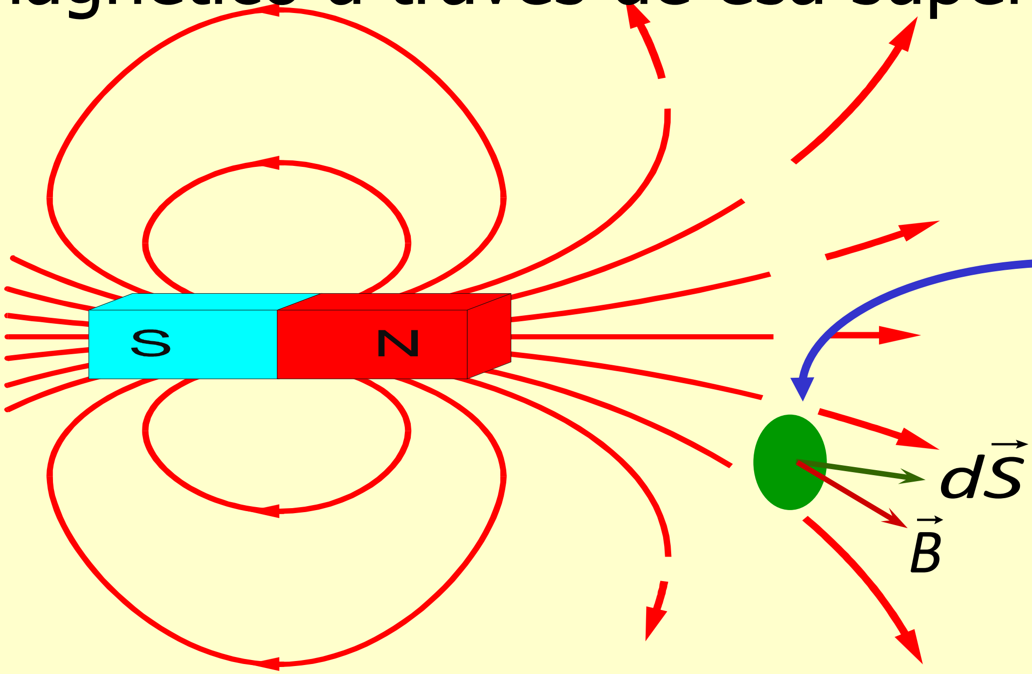
Momento magnético de un solenoide: $\vec{\mu} = Ni\vec{S}$

El momento magnético por unidad de volumen dentro de un solenoide se llama magnetización:

$$\vec{M} = \frac{\vec{\mu}}{V} = \frac{Ni\vec{S}}{SL} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$$

Flujo magnético

- Dada una superficie elemental $\overrightarrow{dS}$, se define el flujo magnético a través de esa superficie como:



$$d\phi = \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{S}}$$

- Unidad: Weber
- $Wb = T\,m^2$

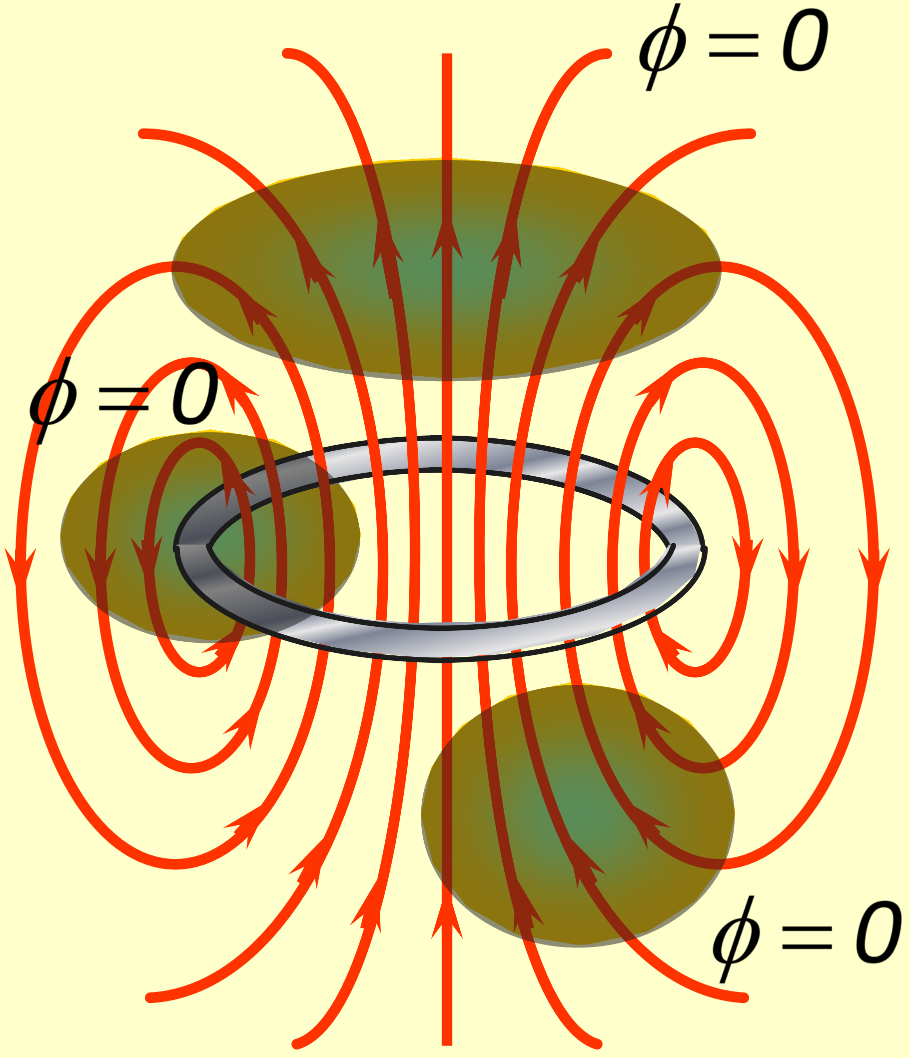
- Si la superficie es finita (superficie S): $$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

- Tipler, capítulo 28.1

Flujo magnético

- En cualquier superficie cerrada, como las líneas del campo magnético son líneas cerradas, todas las líneas que entran deben salir, por lo que el flujo magnético a través de una superficie cerrada siempre es cero:

$$\int_{\textit{Superficie cerrada}} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$



Flujo entrante (-) igual a flujo saliente (+)

Ecuaciones de Maxwell de la Magnetostática

- En 1865, J.C. Maxwell enunció sus cuatro famosas ecuaciones de Maxwell, un resumen de los campos electromagnéticos. Para campos magnéticos estacionarios (no variables en el tiempo), estas ecuaciones son:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

- E es conservativo

$$\int_{Superficie\ Cerrada} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum Q_i}{\varepsilon_0}$$

- Ley de Gauss

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_i$$

- Ley de Ampere

$$\int_{Superficie\ cerrada} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

- Monopolos no existen

En la Magnetodinámica, es necesario modificar estas ecuaciones, aparece un campo eléctrico no conservativo, y hay que añadir un término nuevo a la ley de Ampere.