

Tema 5

FUENTES DEL CAMPO MAGNÉTICO

9.1 Ley de Biot-Savart.

9.2 Campo magnético de una espira de corriente.

9.3 Fuerza entre corrientes paralelas.

9.4 Ley de Ampère.

9.5 Campo magnético creado por un solenoide.

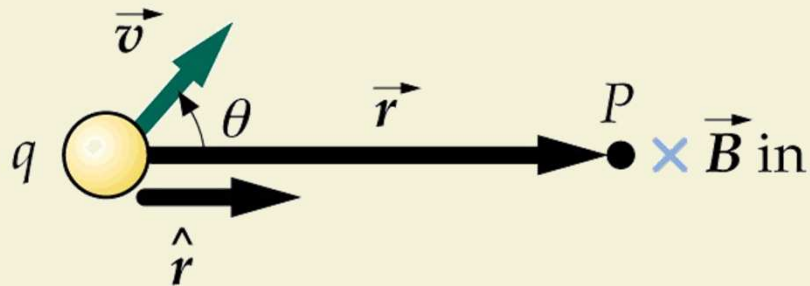
9.6 Ley de Gauss para el magnetismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso; Finn. "Física ". Cap. 24 y 26. Addison-Wesley Iberoamericana.
- Gettys; Keller; Skove. "Física clásica y moderna". Cap. 27. McGraw-Hill.
- Halliday; Resnick. "Fundamentos de física". Cap. 34, 36 y 37. CECSA.
- Roller; Blum. "Física". Cap. 35. Reverté.
- Serway. "Física". Cap. 30. McGraw-Hill.
- Tipler. "Física". Cap. 26. Reverté.

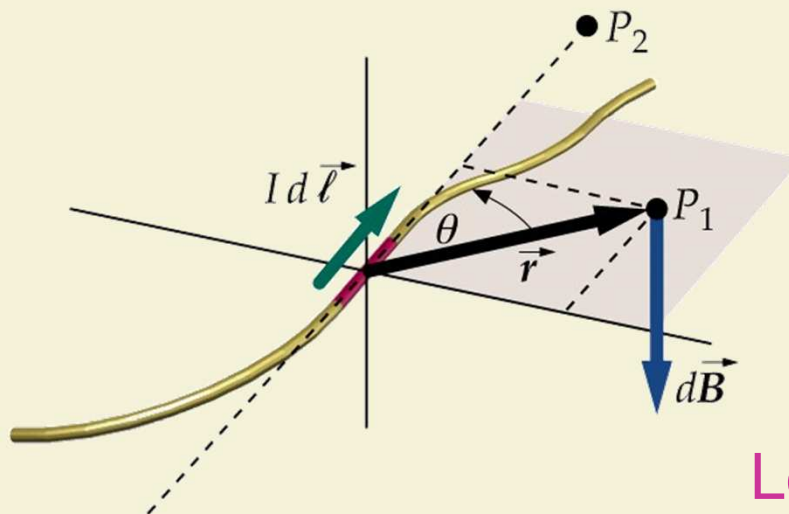
9.1 Ley de Biot-Savart

Campo magnético creado por cargas puntuales en movimiento



$$\vec{B} = k_m \frac{q \vec{v} \times \vec{u}_r}{r^2}$$

Campo magnético creado por un elemento de corriente



$$d\vec{B} = k_m \frac{I d\vec{l} \times \vec{u}_r}{r^2}$$

Ley de Biot-Savart

Constantes de
proporcionalidad

$$k_m = 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m/A}$$



Permeabilidad del vacío

La fuente de campo eléctrico es la carga puntual (q), mientras que, para el campo magnético, es la carga móvil (qv) o un elemento de corriente ($I d\vec{l}$).

Analogías y diferencias entre campo eléctrico y campo magnético

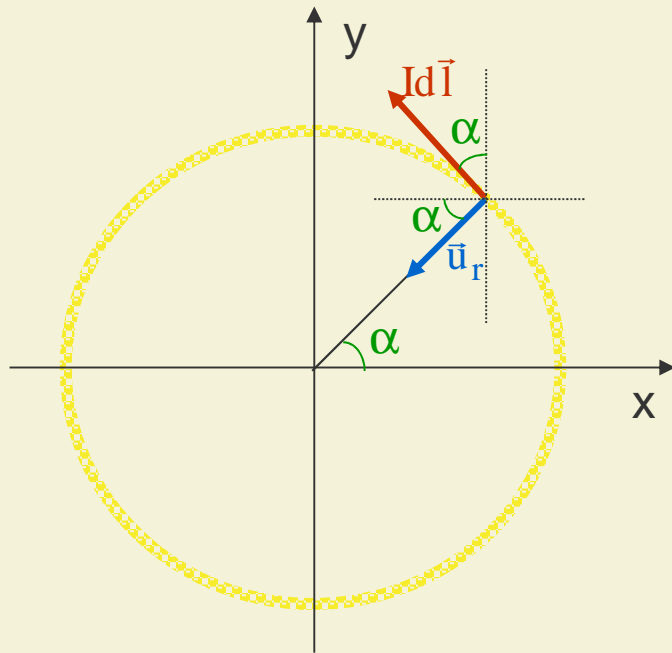
Analogías

- ☀ Ambos decrecen con el cuadrado de la distancia.
- ☀ Tienen una constante de proporcionalidad definida.

Diferencias

- ☀ La dirección de \vec{E} es radial, mientras que la de \vec{B} es perpendicular al plano que contiene a $I d\vec{l}$ y \vec{r}
- ☀ Existe la carga puntual aislada, pero no el elemento de corriente aislado.

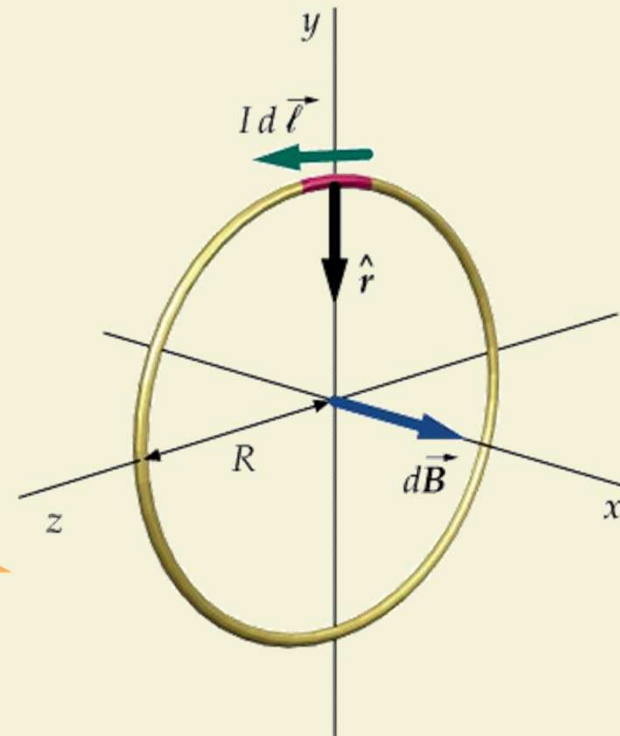
9.2 Campo magnético de una espira de corriente



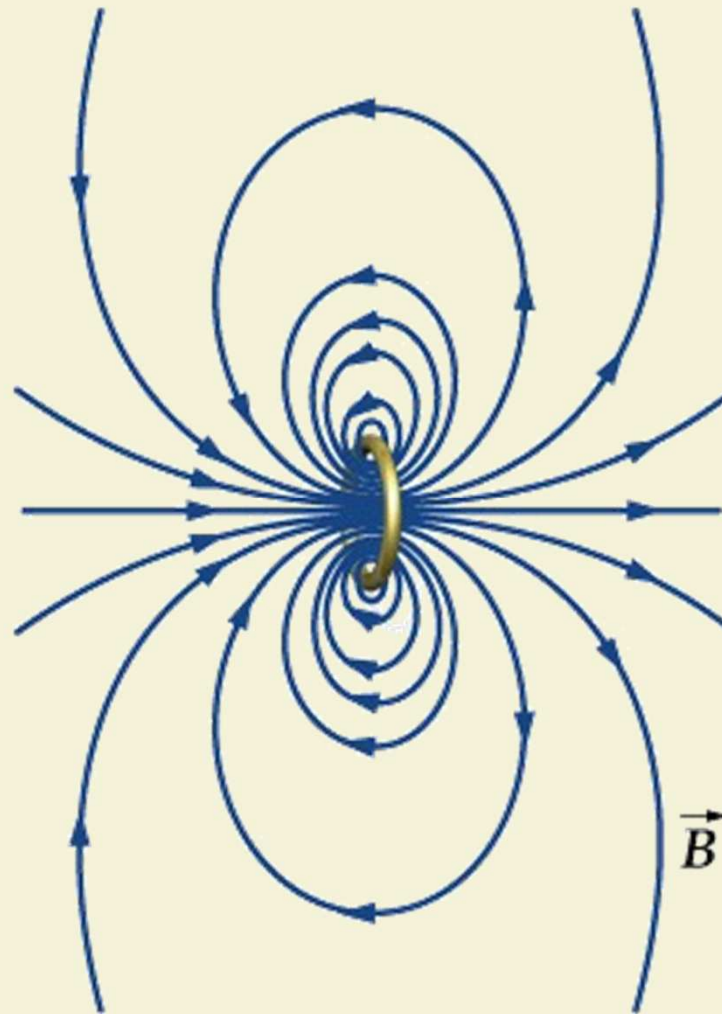
En una espira circular el elemento de corriente siempre es perpendicular al vector unitario

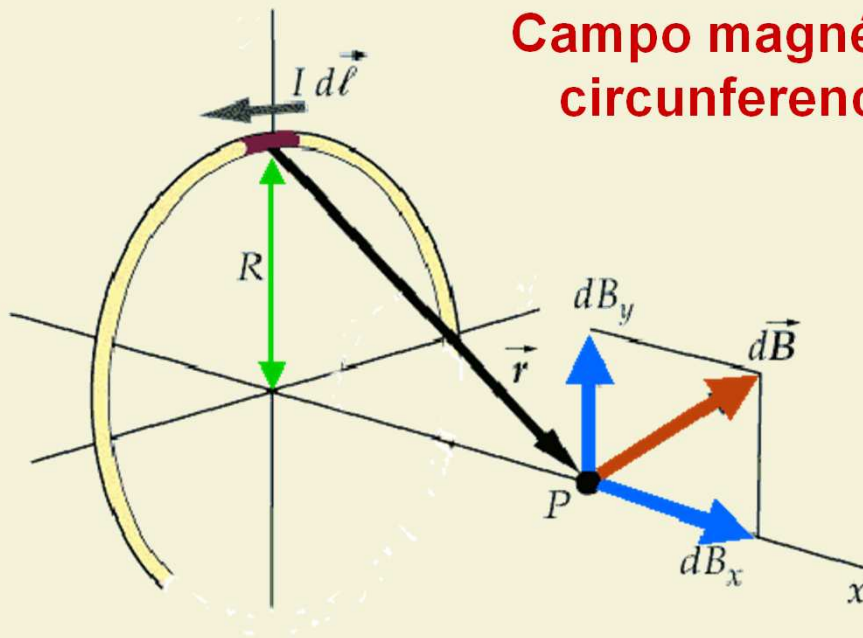


$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2R} \vec{k}$$



Líneas de campo magnético de una espira de corriente circular





Campo magnético creado por un arco de circunferencia en un punto de su eje.

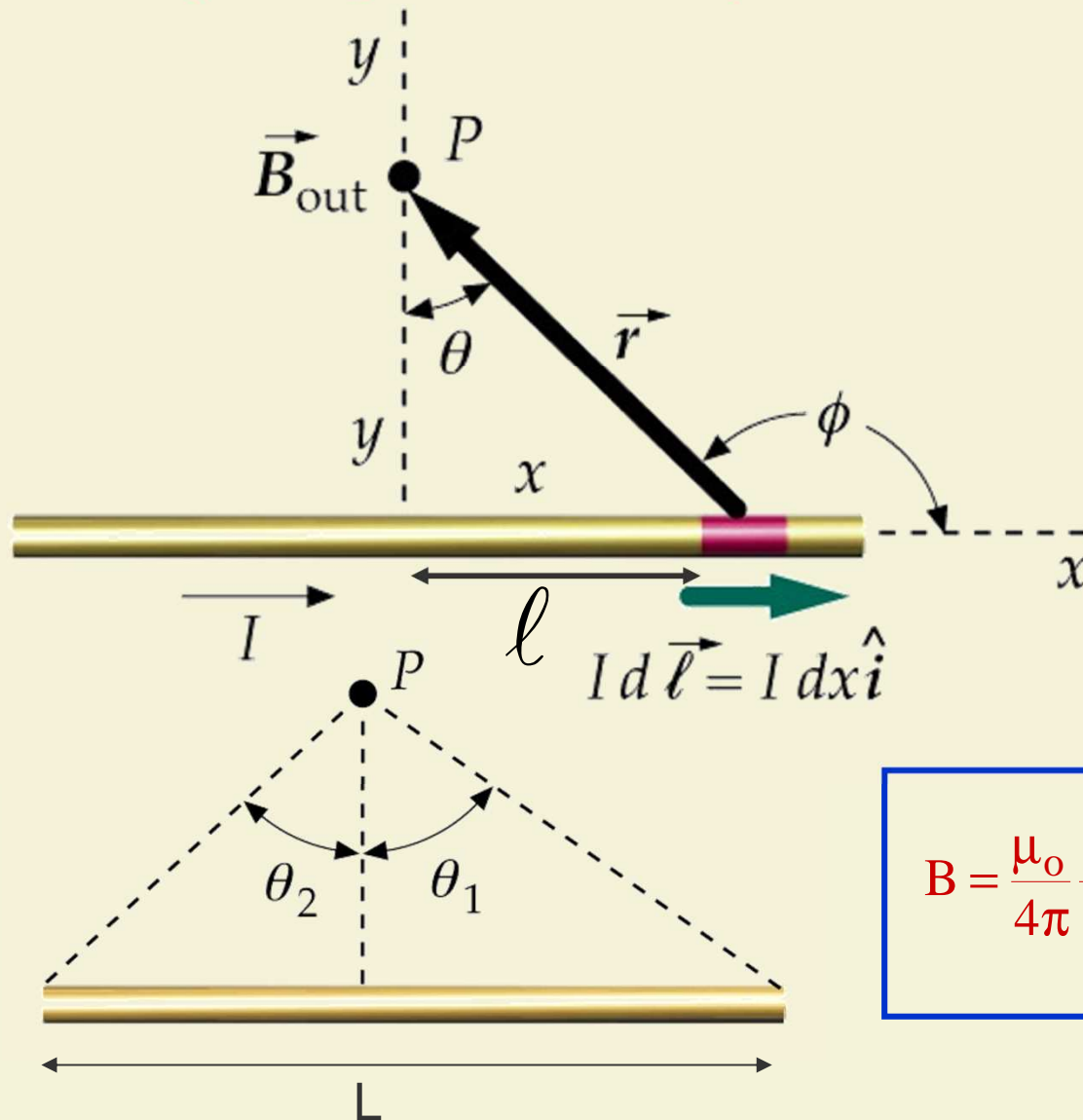
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I R}{(x^2 + R^2)^{3/2}} [R\phi \vec{i} + x \sin\phi \vec{j} + x(1 - \cos\phi) \vec{k}]$$

Campo magnético creado por una espira circular en un punto de su eje ($\phi=2\pi$)

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2} \frac{I R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \vec{i}$$



Campo magnético creado por una corriente rectilínea



$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi y} (\sin\theta_1 + \sin\theta_2)$$

● Casos particulares

- *Campo magnético en un punto de la mediatriz*

En este caso $\sin\theta_1 = \sin\theta_2 = \frac{L/2}{\sqrt{y^2 + \frac{L^2}{4}}}$

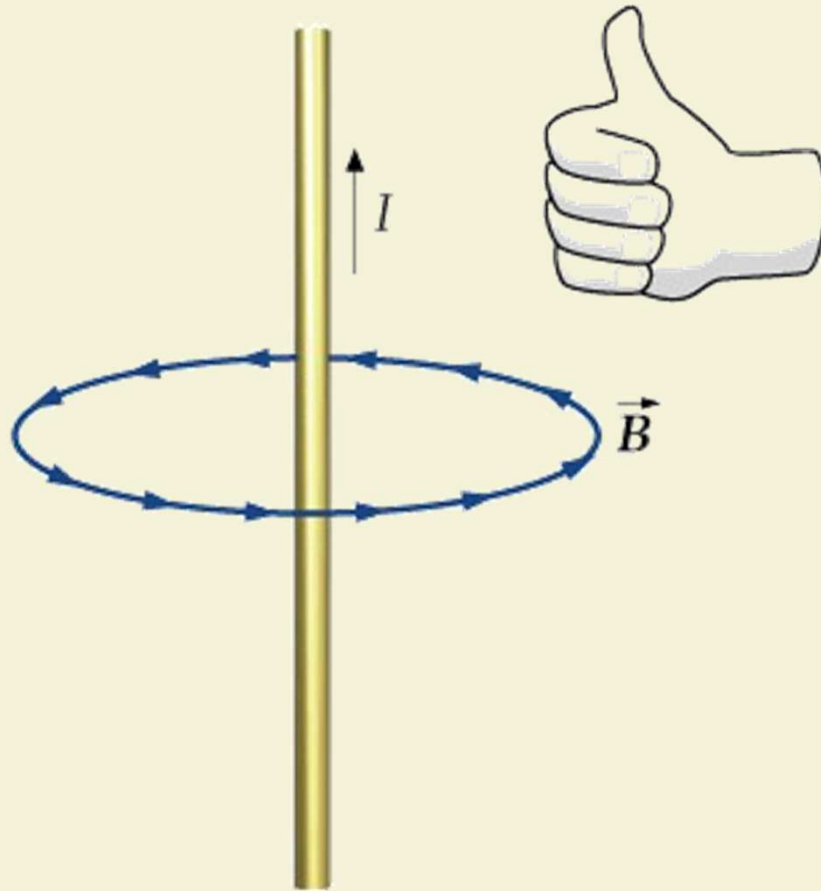
$$B = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I}{y} \frac{L}{\sqrt{y^2 + \frac{L^2}{4}}}$$

- *Campo magnético creado por una corriente infinita*

En este caso $\theta_1 \rightarrow \frac{\pi}{2}$
 $\theta_2 \rightarrow \frac{\pi}{2}$

$$\vec{B} = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{I}{y} \vec{u}_n$$

Líneas de campo magnético creado por una corriente rectilínea

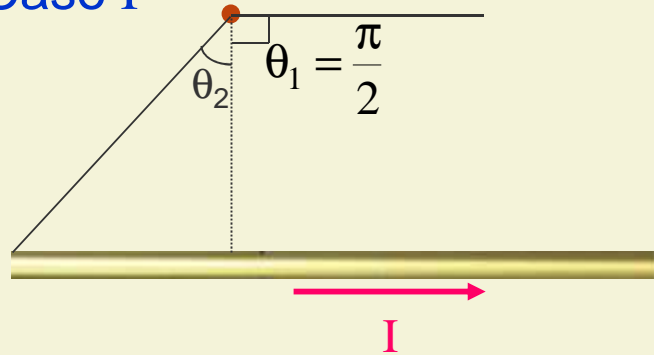


Cálculo de campos magnéticos debidos a segmentos semiinfinitos

Expresión general

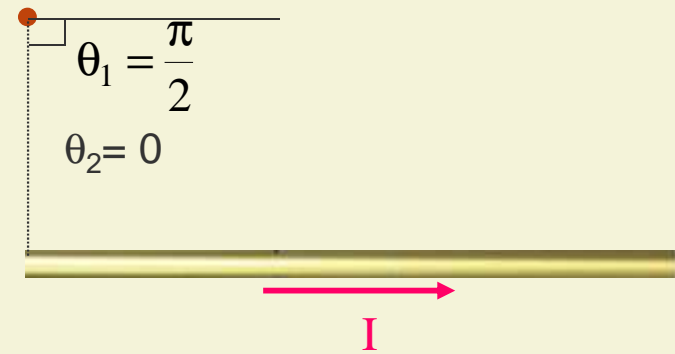
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{y} (\sin\theta_1 + \sin\theta_2)$$

Caso I



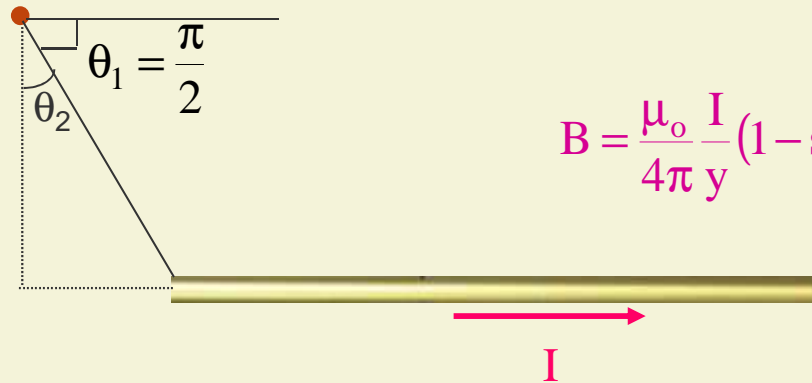
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{y} (1 + \sin\theta_2)$$

Caso II



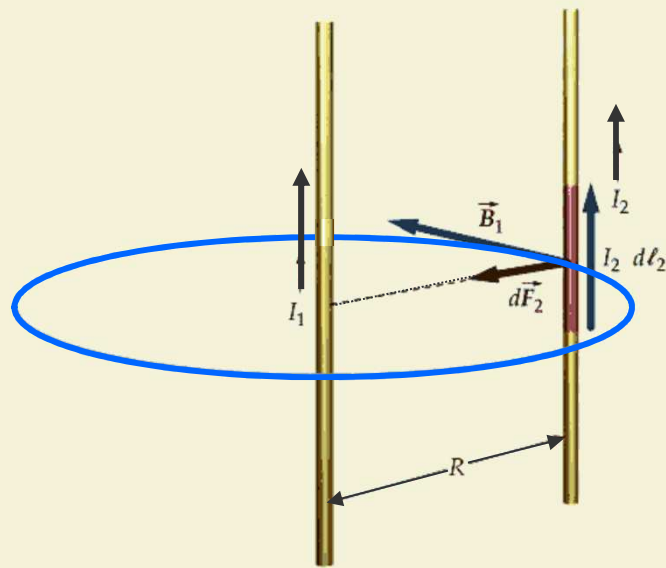
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{y} = \frac{1}{2} B_{\text{Hilo Infinito}}$$

Caso III



$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{y} (1 - \sin\theta_2)$$

9.3 Fuerza entre corrientes paralelas



Tomando el sistema de referencia habitual

$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_o}{2\pi R} I_1 (-\vec{i})$$

$$\vec{B}_2 = \frac{\mu_o}{2\pi R} I_2 (\vec{i})$$

Veamos cuál es la fuerza que ejerce una corriente sobre la otra

$$\vec{F}_1 = I_2 \vec{l}_2 \times \vec{B}_1 = I_2 l_2 B_1 \sin \frac{\pi}{2} = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{R} (-\vec{j})$$

$$\vec{F}_2 = I_1 \vec{l}_1 \times \vec{B}_2 = I_1 l_1 B_2 \sin \frac{\pi}{2} = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{R} \vec{j}$$

Iguals y de
sentido contrario

Conclusión



Dos corrientes paralelas por las que circula una corriente se atraerán si las corrientes circulan en el mismo sentido, mientras que si las corrientes circulan en sentidos opuestos se repelen.

Definición de amperio

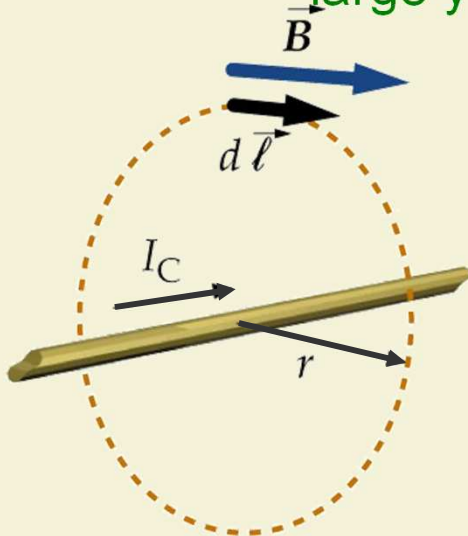
Un amperio es la intensidad de corriente que, circulando en el mismo sentido por dos conductores paralelos muy largos separados por un metro ($R=1\text{ m}$), producen una fuerza atractiva mutua de $2 \cdot 10^{-7}\text{ N}$ por cada metro de conductor.

9.4 Ley de Ampère

La ley de Ampère, relaciona la componente tangencial del campo magnético, alrededor de una curva cerrada C, con la corriente I_c que atraviesa dicha curva.

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_c \quad C: \text{cualquier curva cerrada}$$

Ejemplo 1: Campo magnético creado por un hilo infinitamente largo y rectilíneo por el que circula una corriente.

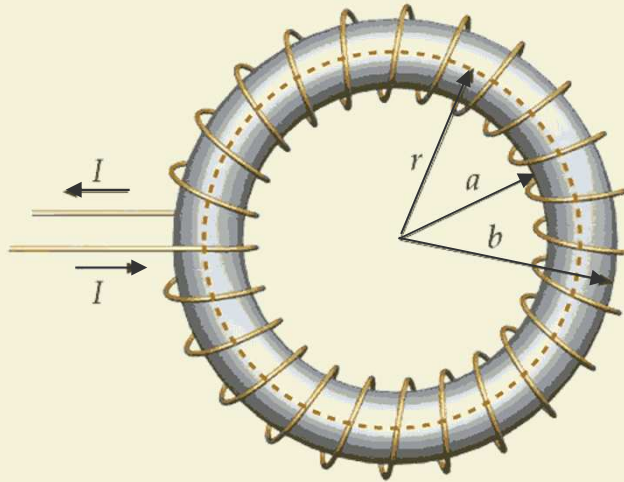


Si la curva es una circunferencia $\vec{B} \parallel d\vec{l}$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_C B dl = B \oint_C dl = B 2\pi R = \mu_0 I_c$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I_c}{2\pi R} \vec{u}_n$$

Ejemplo 2: Campo magnético creado por un toroide.



Como curva de integración tomamos una circunferencia de radio r centrada en el toroide. Como B es constante en todo el círculo:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_C B dl = B \oint_C dl = B 2\pi R = \mu_0 I_c$$

Para $a < r < b$



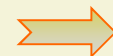
$$I_c = NI$$



$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{NI}{r} \vec{u}_n$$

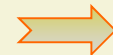
Casos particulares

$$r < a \Rightarrow \vec{B} = 0$$



No existe corriente a través del círculo de radio r .

$$r > b \Rightarrow \vec{B} = 0$$



La corriente que entra es igual a la que sale.

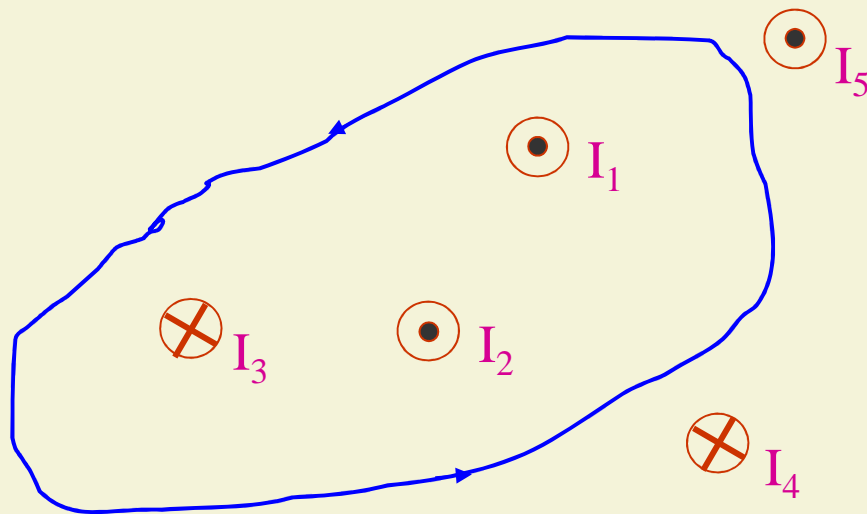
Si $(b-a) \ll \text{radio medio}$



\vec{B} es uniforme en el interior.

Caso general

En el caso en el que la curva de integración encierre varias corrientes, el signo de cada una de ellas viene dado por la regla de la mano derecha: *curvando los dedos de la mano derecha en el sentido de la integración, el pulgar indica el sentido de la corriente que contribuye de forma positiva.*

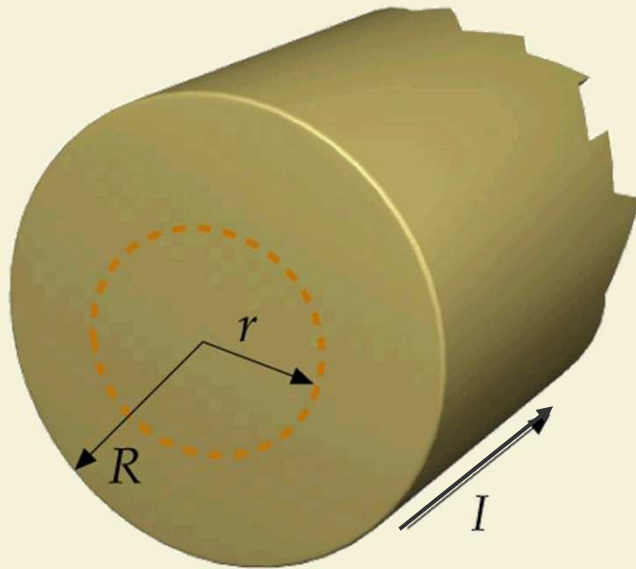


$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_c$$

donde

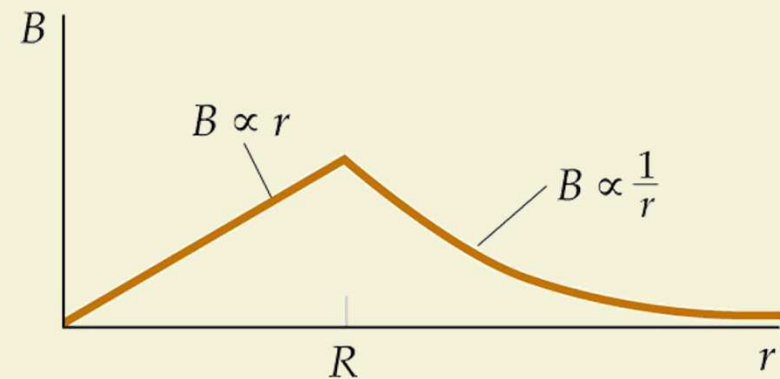
$$I_c = I_1 + I_2 - I_3$$

Ejemplo: Cálculo del campo magnético producido por un alambre recto y largo que transporta una corriente I .



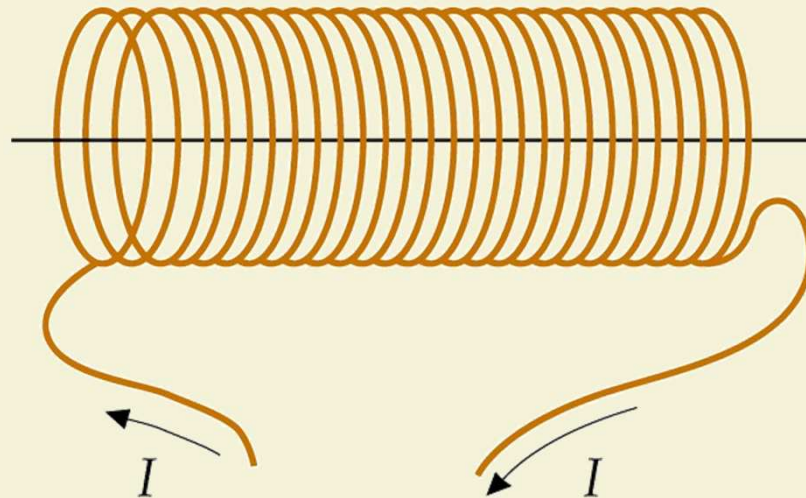
$$r < R \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r$$

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



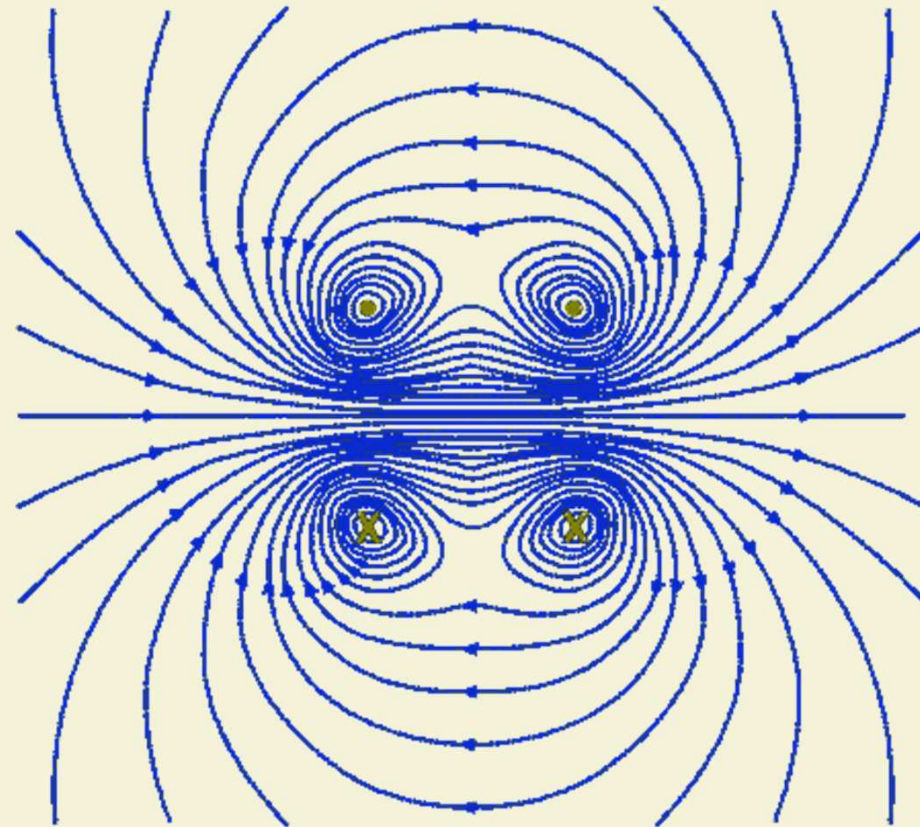
9.5 Campo magnético creado por un solenoide

Un solenoide es un alambre arrollado en forma de hélice con espiras muy próximas entre sí. Se puede considerar como una serie de espiras circulares situadas paralelamente que transportan la misma corriente.

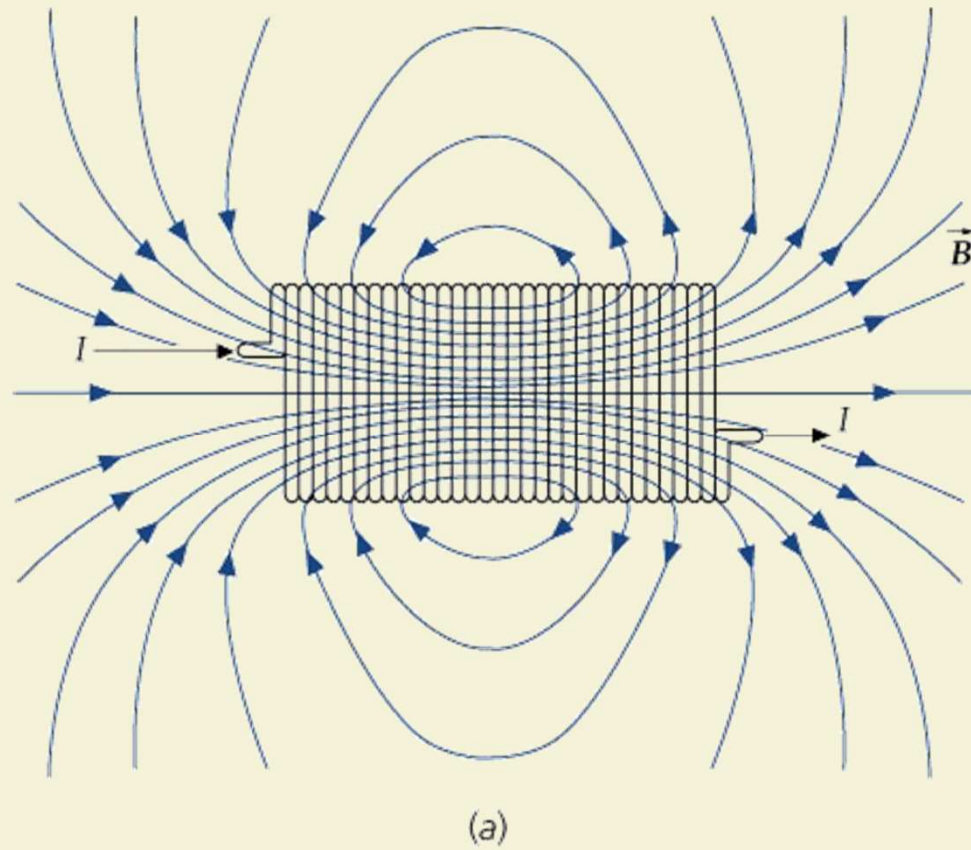


Desempeña en el magnetismo un papel análogo al de un condensador de placas paralelas, ya que el campo magnético en su interior es intenso y uniforme.

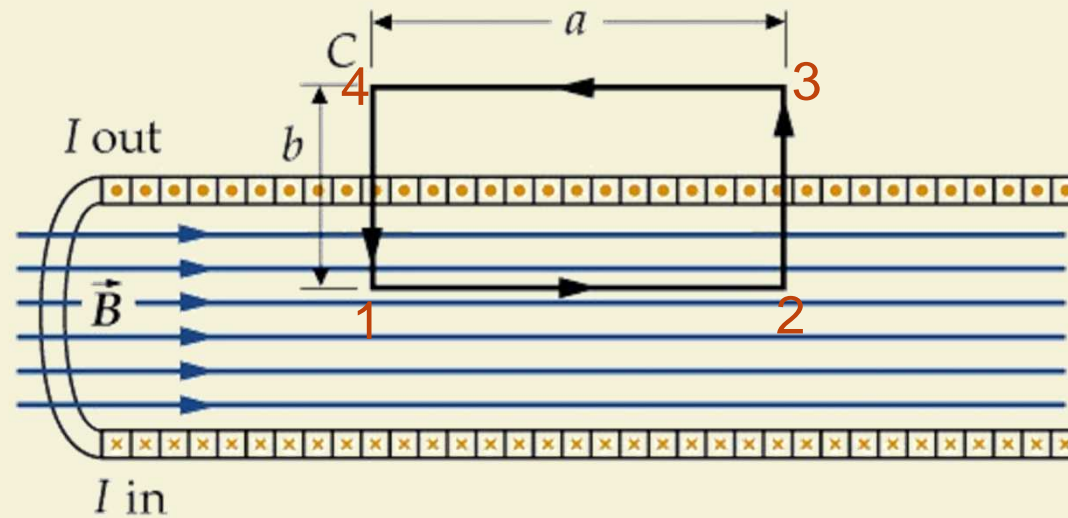
Líneas de campo magnético debido a dos espiras paralelas por las que circula la misma corriente.



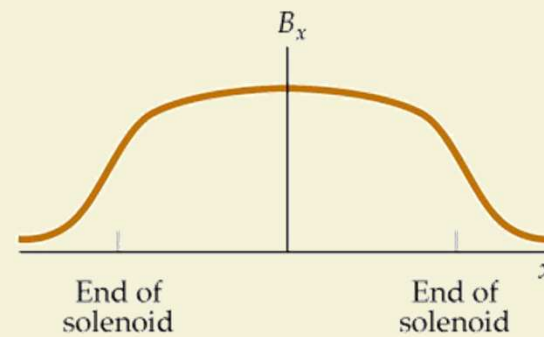
Líneas de campo magnético debido a un solenoide



Cálculo del campo magnético creado por un solenoide

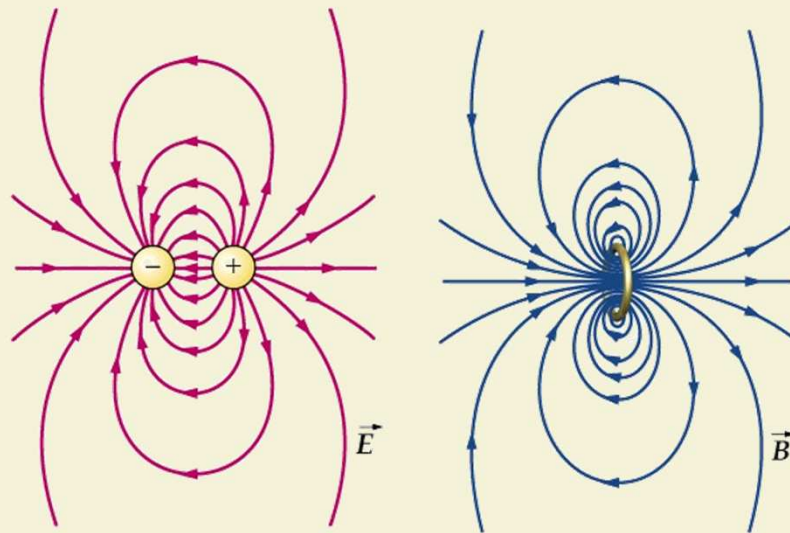


$$B = \mu_0 n I$$



9.6 Ley de Gauss para el magnetismo

Diferencia entre líneas de campo eléctrico y líneas de campo magnético



Las primeras comienzan y terminan en las cargas, mientras que las segundas son líneas cerradas.

$$\phi_m = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$



No existen puntos a partir de los cuales las líneas de campo convergen o divergen



No existe el monopolo magnético