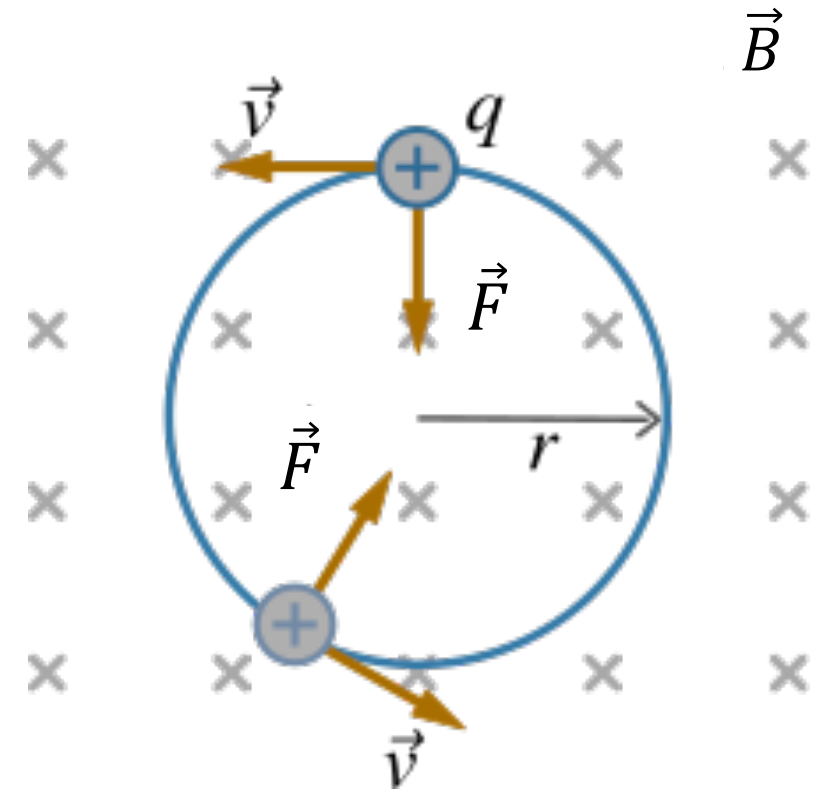


Movimiento de una carga en campo magnetico uniforme

- Supongamos que $\vec{v}$ es perpendicular a $\vec{B}$
- La ecuación de movimiento de una carga q de masa m y velocidad $\vec{v}$ en un campo magnético uniforme $\vec{B}$ es:

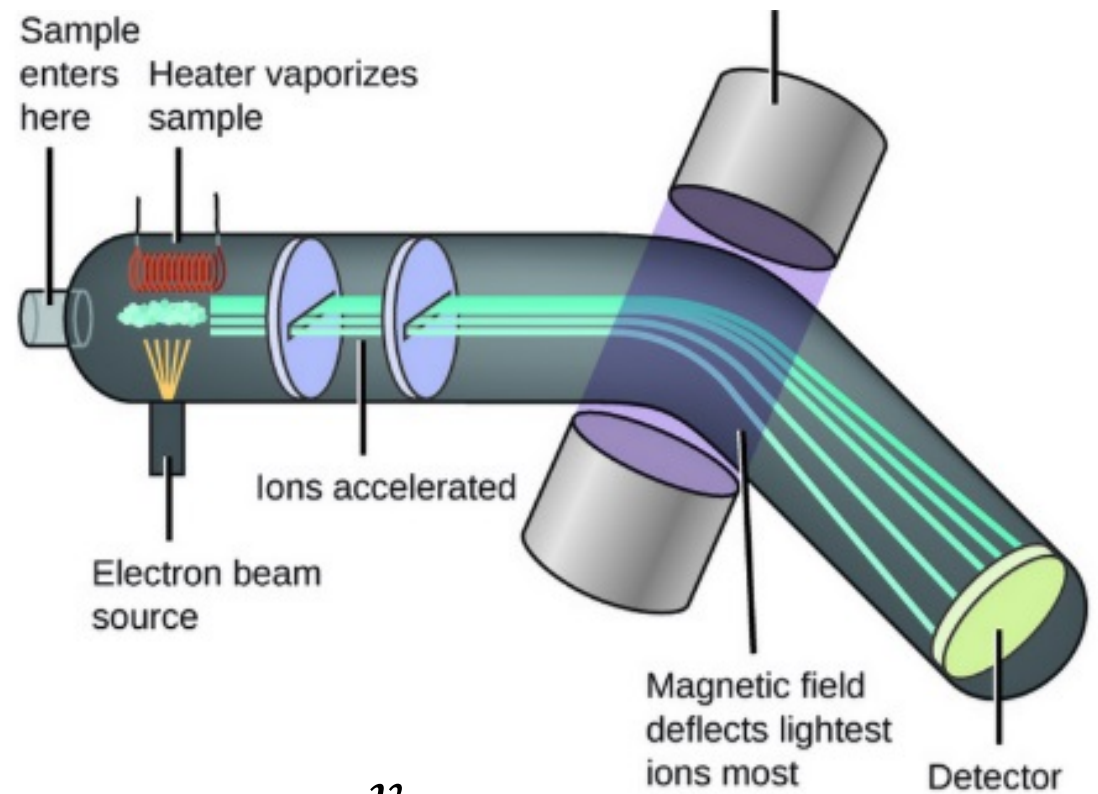
$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

- Es decir que la fuerza $\vec{F}$ **es perpendicular** a $\vec{v}$ y produce una curvatura en la trayectoria de la partícula **pero no cambia v ni su energía cinética.**



Aplicaciones:
Espectrómetro
de masa

(separa iones
de acuerdo a
su masa)

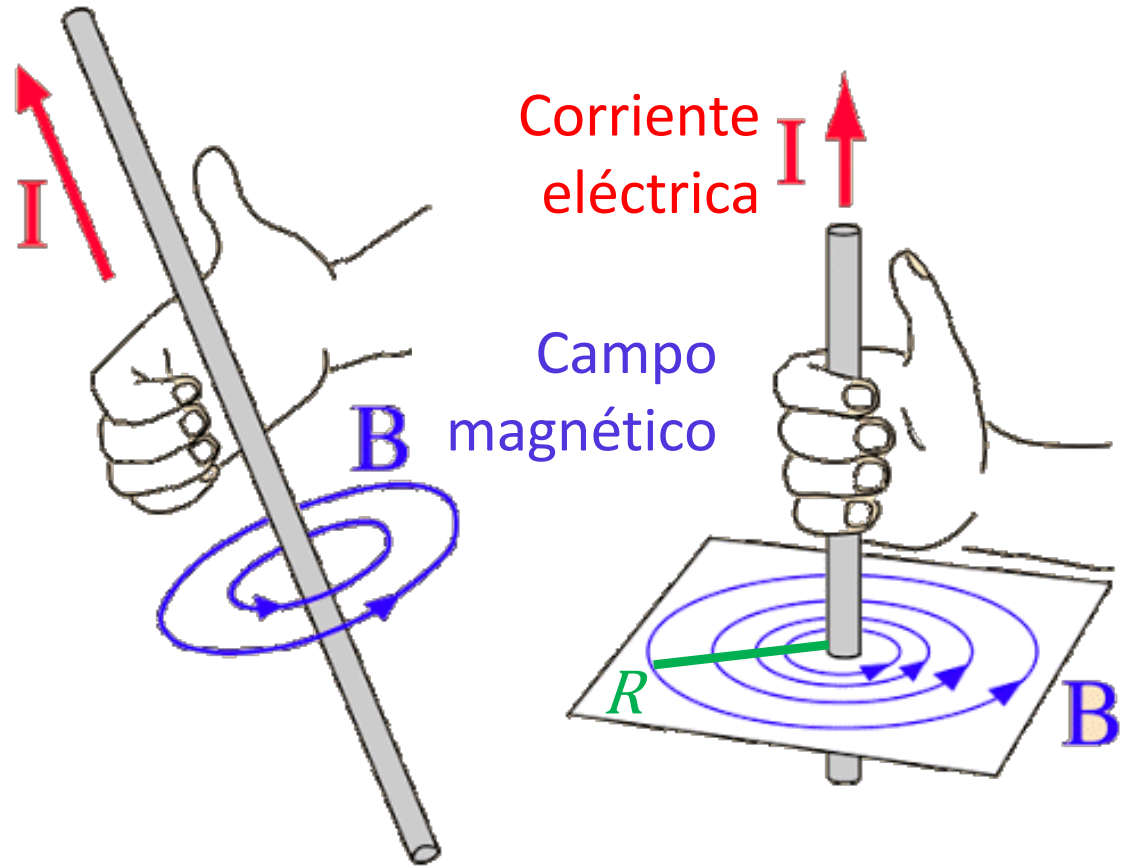


$$r_g = \frac{v_{\text{perp}}}{|q|B} m$$

Campo magnético de un hilo recto de corriente

- **Experimentalmente**, se sabe que el campo magnético de un hilo recto de corriente I genera un campo en el sentido de las líneas azules.
- También **experimentalmente** se obtiene que B es proporcional a la corriente I e inversamente proporcional a la distancia al hilo R .

$$B \propto \frac{I}{R}$$



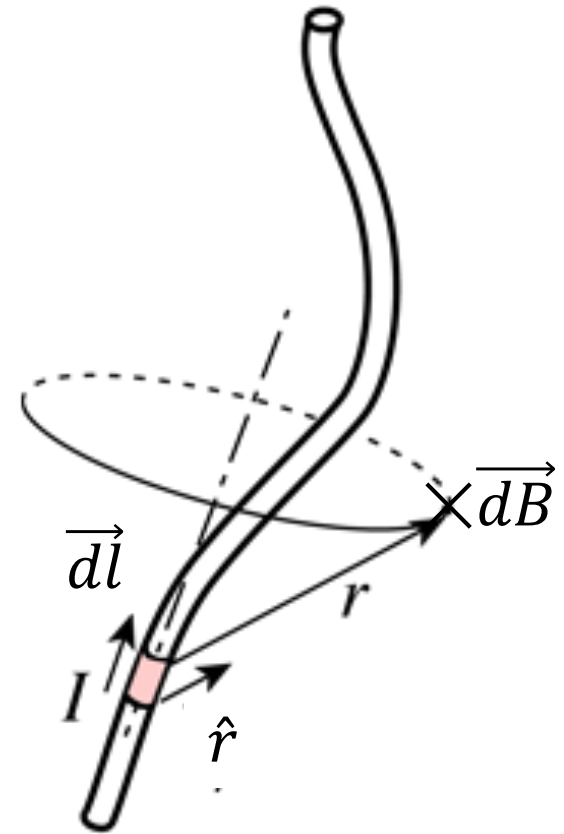
Monopolos eléctricos y magnéticos

- El campo eléctrico de un hilo de carga decae como $E \propto \frac{1}{R}$ ya que sumabamos monopolos eléctricos cuyos campos decaían como $\frac{1}{R^2}$.
- Hasta ahora, no hay evidencia de la existencia de monopolos magnéticos, pero si existieran, el campo magnético generado por uno de ellos vararía como $\frac{1}{R^2}$.
- Sin embargo, este pensamiento indica que si dividiéramos el hilo de corriente en tramos infinitesimales, el campo magnético generado por cada uno de ellos debería variar como $\frac{1}{R^2}$.

Ley de Biot-Savart

- Biot y Savart plantearon un formalismo para obtener el campo a partir de contribuciones de elementos de corriente $I\vec{dl}$.
- El diferencial de campo magnético $\vec{dB}$ a partir de un elemento de corriente $I\vec{dl}$ en el punto $\vec{r} = r\hat{r}$ se puede escribir como:

$$\vec{dB} = \frac{C}{r^2} I\vec{dl} \times \hat{r}$$



Ley de Biot-Savart

- Mediante experimentos se comprueba que en el sistema SI.

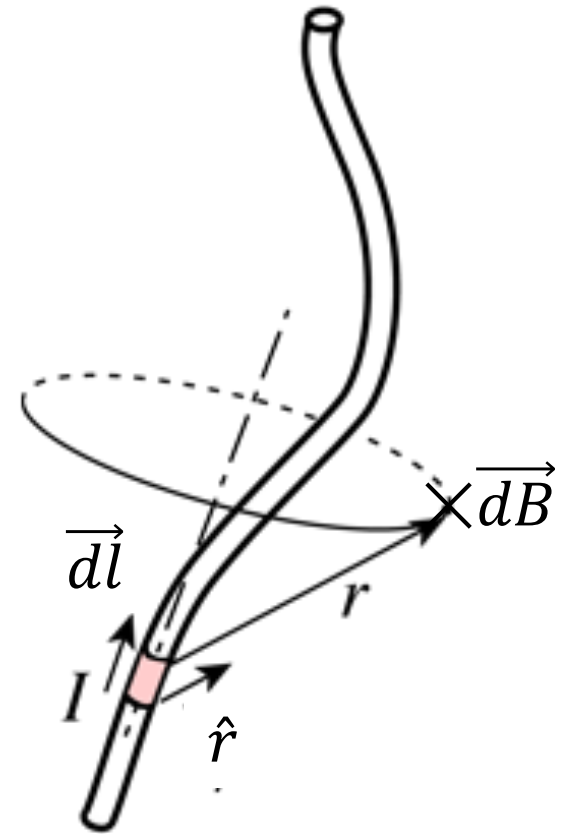
$$C = 10^{-7} \frac{N}{A^2}$$

- Entonces, por similitud con la electrostática se define la permeabilidad magnética del vacío μ_0 tal que:

$$C = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

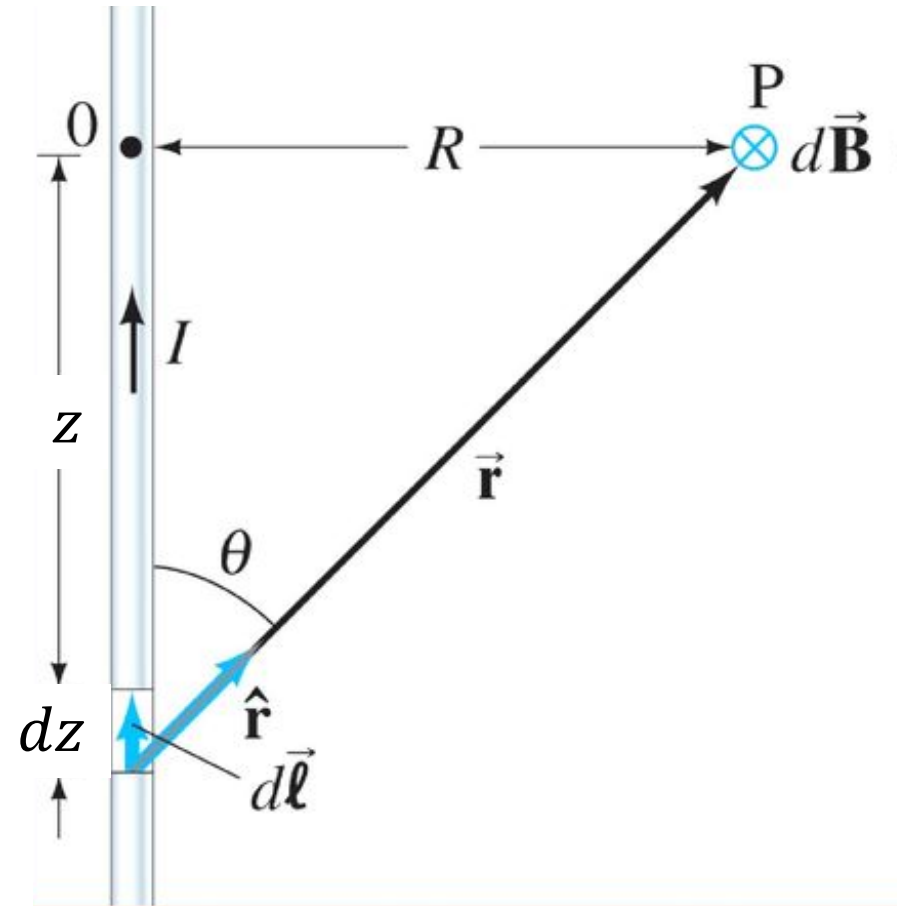
- Entonces

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2} = 1,25 \cdot 10^{-6} \frac{N}{A^2}$$



Campo magnético de un hilo infinito

- Consideremos una corriente I a lo largo de un hilo paralelo al eje z .
- El elemento de corriente es
$$I d\vec{\ell} = I dz \hat{z}$$
- Desde el elemento de corriente, el punto P donde evaluo $d\vec{B}$ se indica con el vector $\vec{r} = r\hat{r}$ que forma un ángulo θ con el eje z .
- R es la distancia desde el eje a P .

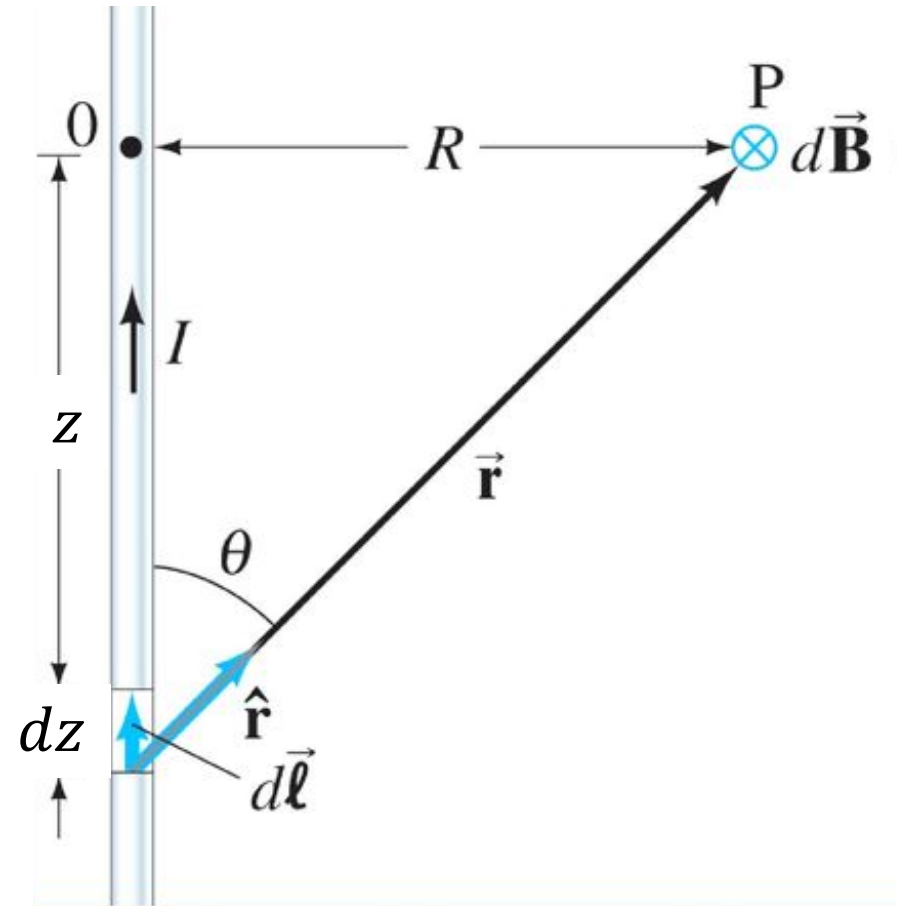


Campo magnético de un hilo infinito

- Por la ley de la mano derecha $d\vec{B}$ se dirige hacia adentro de la pantalla ($\hat{\phi}$ en coordenadas cilíndricas). Integrando a lo largo del hilo tengo $\vec{B}$.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{Idz \sin \theta}{r^2} \hat{\phi}$$

- Donde $r^2 = \frac{R^2}{(\sin \theta)^2}$ y $-z = \frac{R}{\tan \theta}$



Campo magnético de un hilo infinito

- Lo anterior indica que

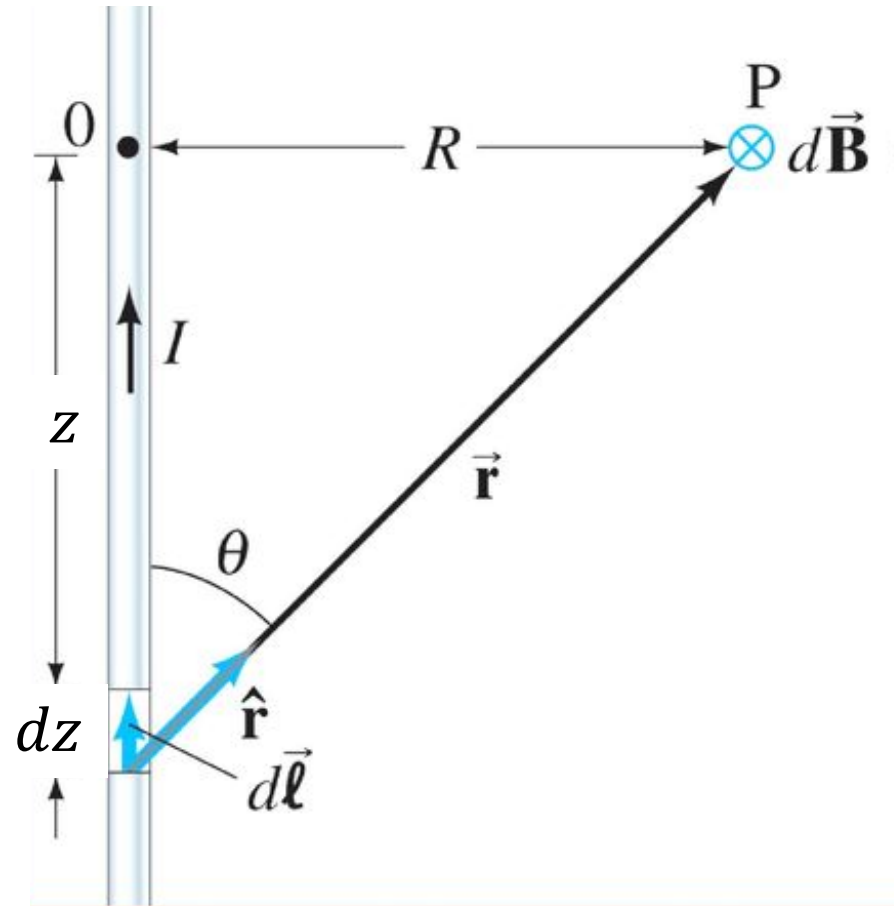
$$dz = \frac{R}{(\sin \theta)^2} d\theta$$

- Poniendo todo en función de R y θ

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^\pi \frac{\sin \theta}{R} d\theta \hat{\phi}$$

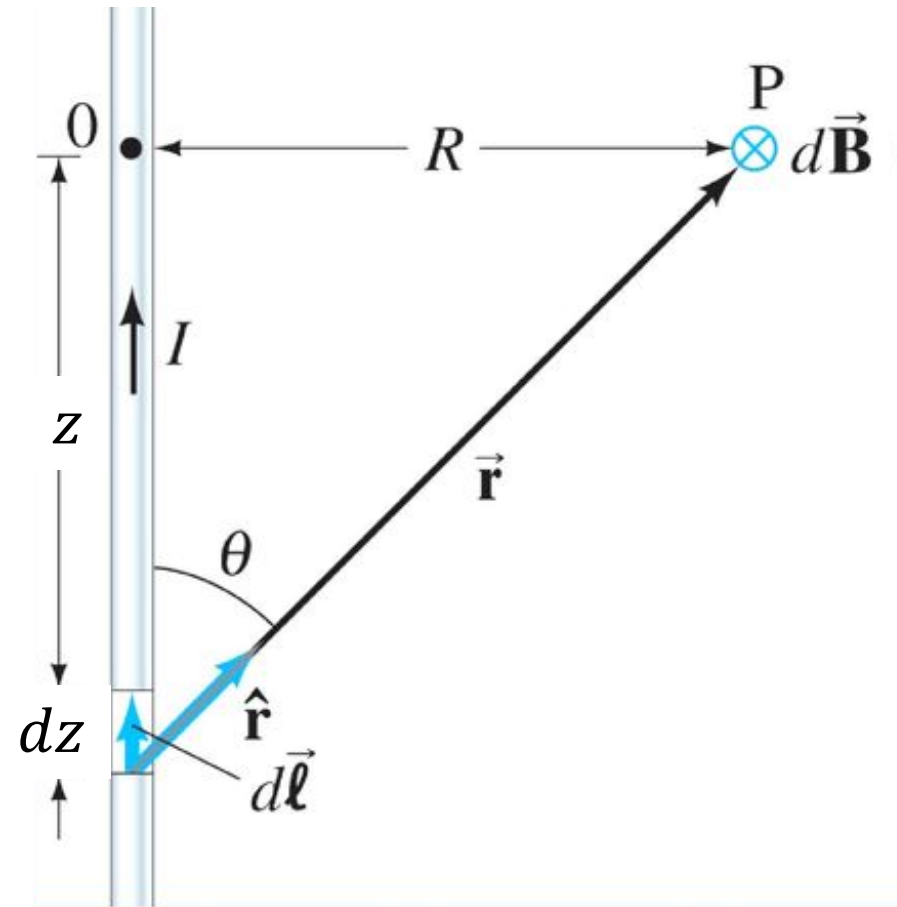
- Entonces

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

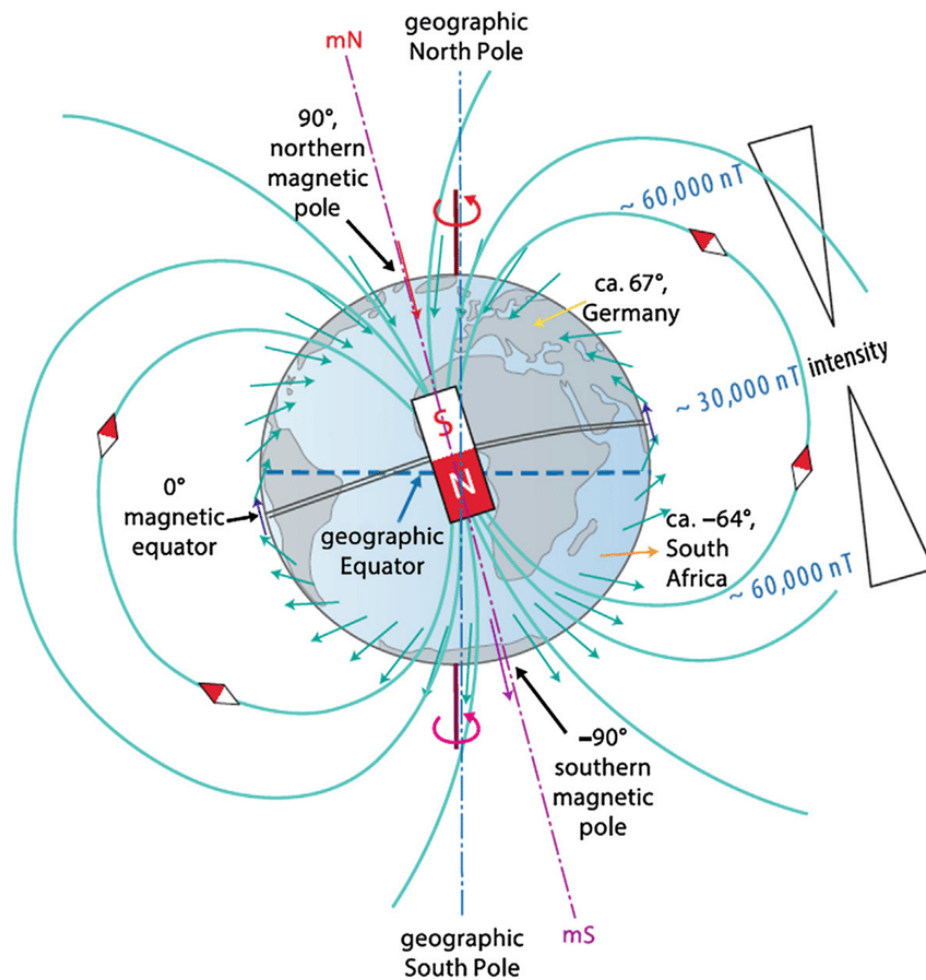


Campo magnético de un hilo infinito

- Entonces si tenemos
 - $R = 10 \text{ cm}$
 - $I = 100 \text{ A}$
- $B \sim 2 \cdot 10^{-4} \text{ T} = 2 \text{ Gauss}$
- $1 \text{ Gauss} = 10^{-4} \text{ T}$
- $1 \text{ nanoTesla} = 10^5 \text{ Gauss}$



El campo magnético terrestre



La brújula indica la dirección del campo magnético terrestre

Pregunta

- ¿Cuánto me tengo que alejar de un hilo con $I = 100 \text{ A}$ para que el campo terrestre sea más importante?

Campo magnético terrestre en CABA

Fuente. <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml?useFullSite=true#igrfwmm>

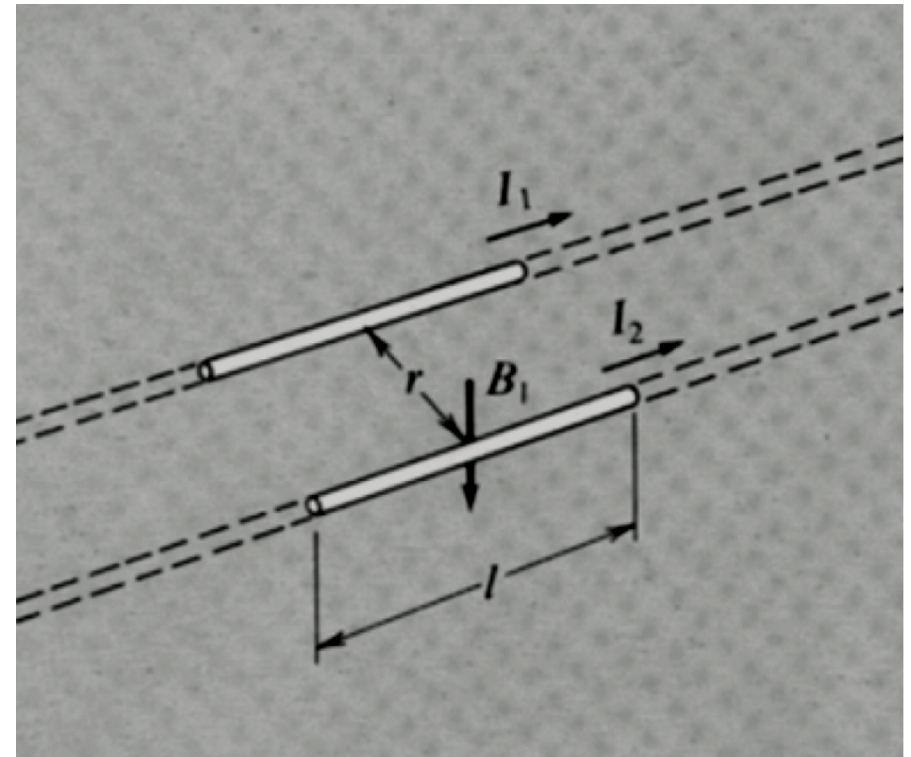
Model Used:	WMM-2020						
Latitude:	34° 36' 30" S						
Longitude:	58° 22' 24" W						
Elevation:	0.0 km Mean Sea Level						
Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2020-09-28	-9° 25' 6"	-40° 15' 59"	17,352.6 nT	17,118.7 nT	-2,839.6 nT	-14,698.6 nT	22,741.2 nT
Change/year	-0° 9' 33"/yr	-0° 13' 36"/yr	-82.4 nT/yr	-89.2 nT/yr	-34.0 nT/yr	-48.1 nT/yr	-31.8 nT/yr
Uncertainty	0° 25'	0° 13'	128 nT	131 nT	94 nT	157 nT	145 nT

El campo en CABA es aproximadamente 0,2 G

Fuerza entre hilos de corriente

- Supongamos dos hilos rectilíneos largos paralelos con corrientes I_1 e I_2 separados por una distancia r .
- La corriente I_1 da lugar a un campo magnético B_1 e la altura del hilo 2:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$$



Fuerza entre hilos de corriente

- Supongamos que I_2 consta de n_2 cargas por unidad de longitud de carga q_2 a una velocidad v_2 .

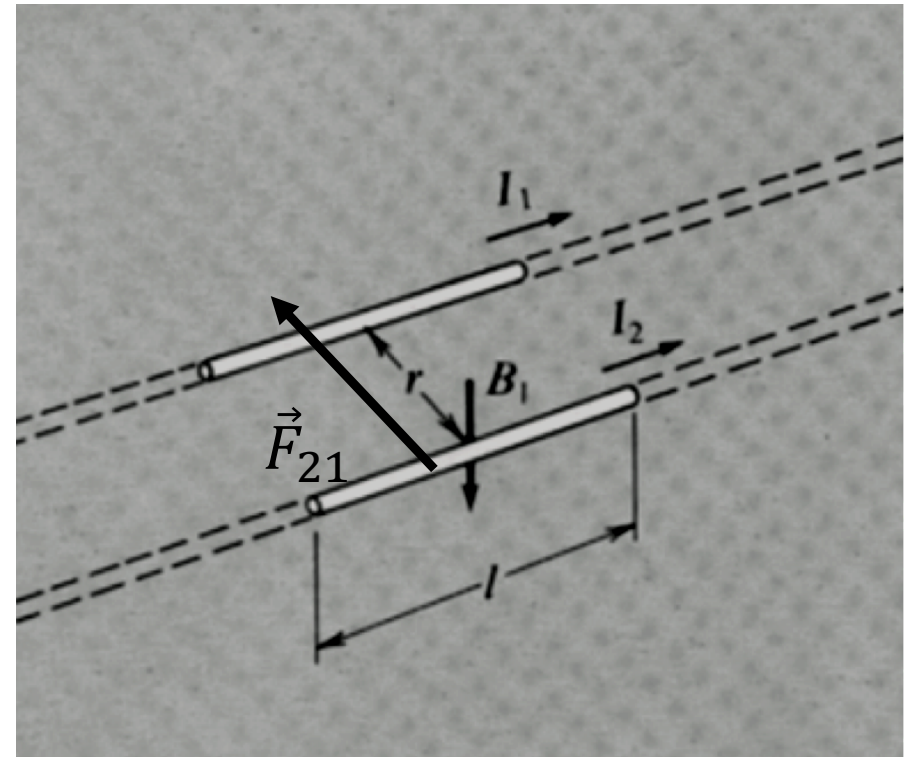
$$I_2 = n_2 q_2 v_2$$

- La fuerza de Lorentz sobre cada carga es:

$$q_2 v_2 B_1$$

- Por lo tanto, la fuerza por unidad de distancia es

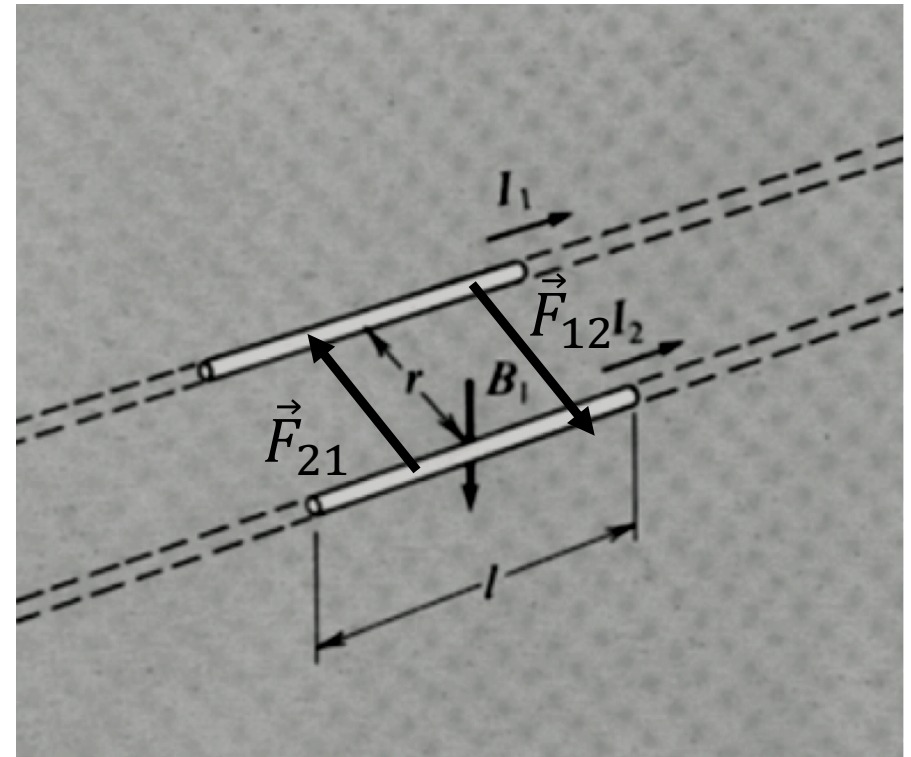
$$F_{21} = I_2 B_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$



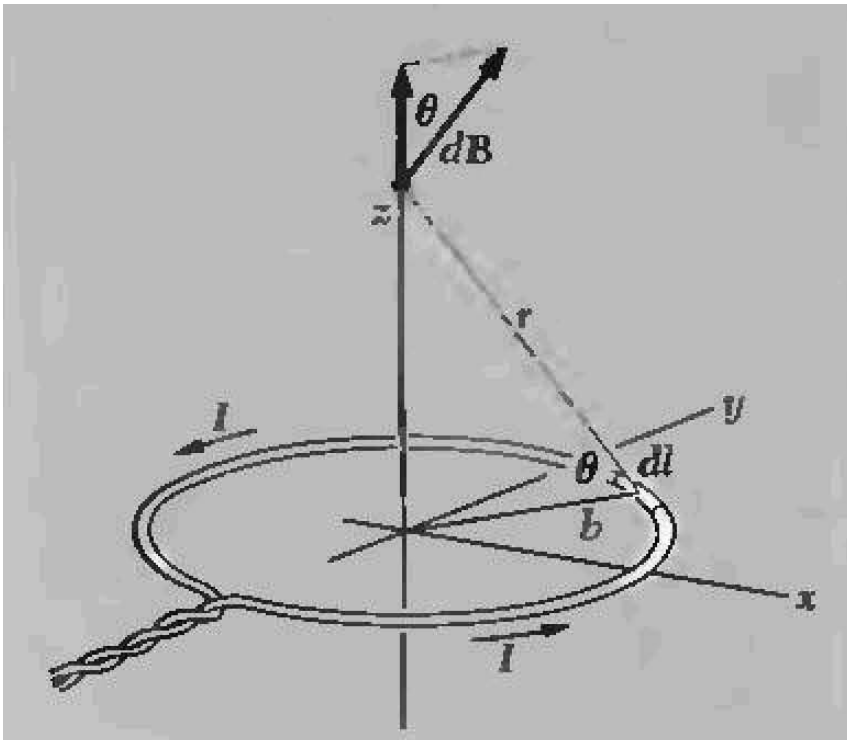
Fuerza entre hilos de corriente

- La dirección de $\vec{F}_{21}$ por la regla de la mano derecha da una atracción entre los cables, ya que la fuerza que el hilo 2 le hace al 1 es igual y opuesta.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$



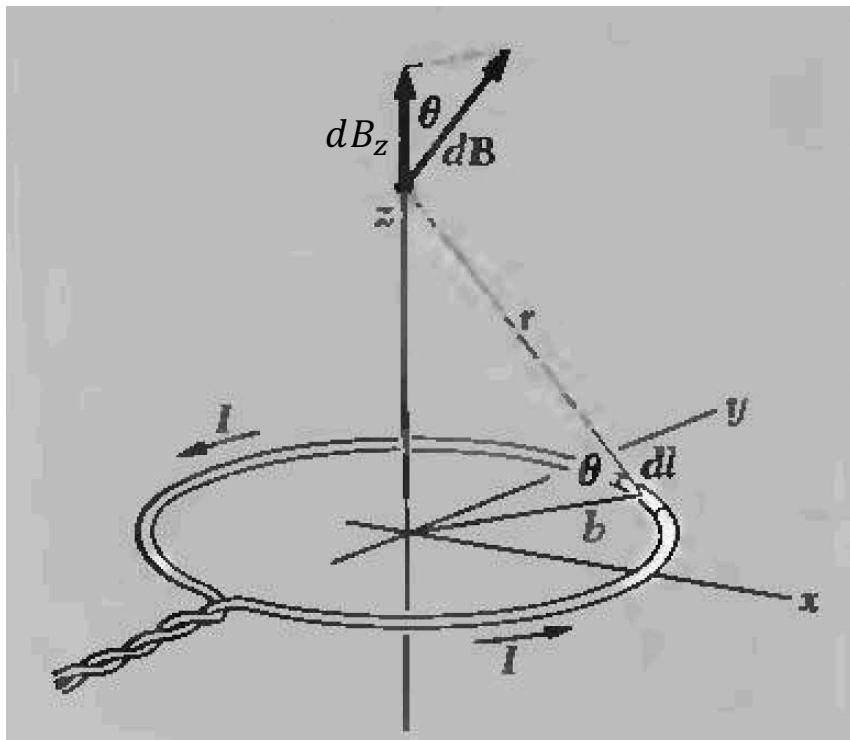
Espira circular



- Espira plana circular de radio b por la que circula una corriente I .
- Vamos a calcular el campo en el eje de simetría z .
- Podemos esperar que el campo en el eje z será a lo largo del eje z .

$$\vec{B}(0,0,z) = B(z)\hat{z}$$

Espira circular

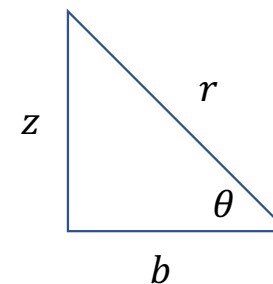


- Usando Biot-Savart calculemos el diferencial de la componente z del campo:

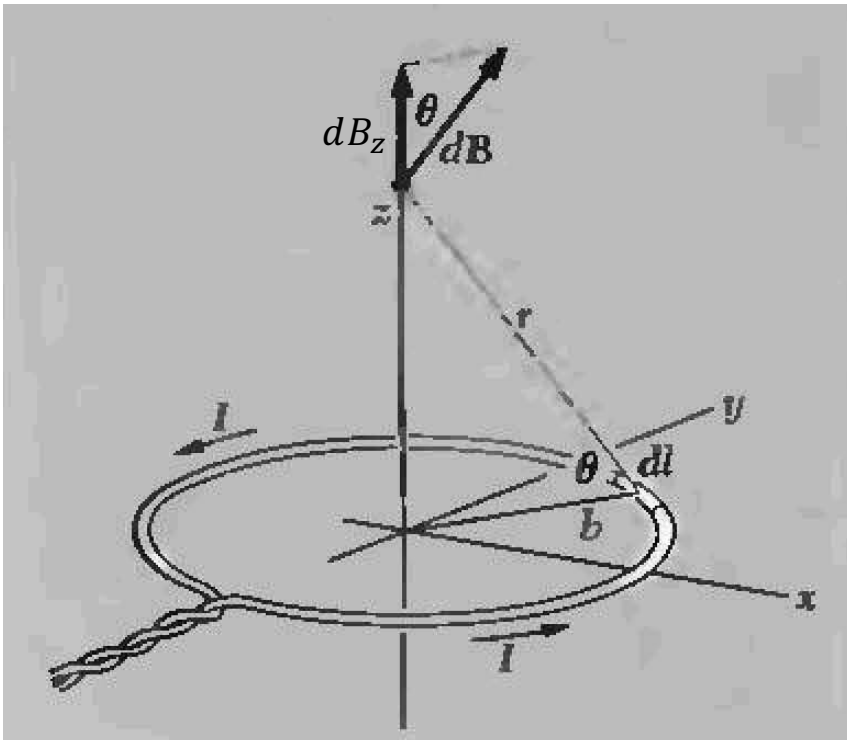
$$dB_z = dB \cos \theta = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2} \cos \theta$$

- Donde r es la distancia del elemento de corriente al punto de evaluación y θ es el ángulo entre r y el radio de la espira b .

Atentxs al triángulo



Espira circular



- Simplificando :

$$B_z = \frac{\mu_0}{2} \frac{I b^2}{r^3}$$

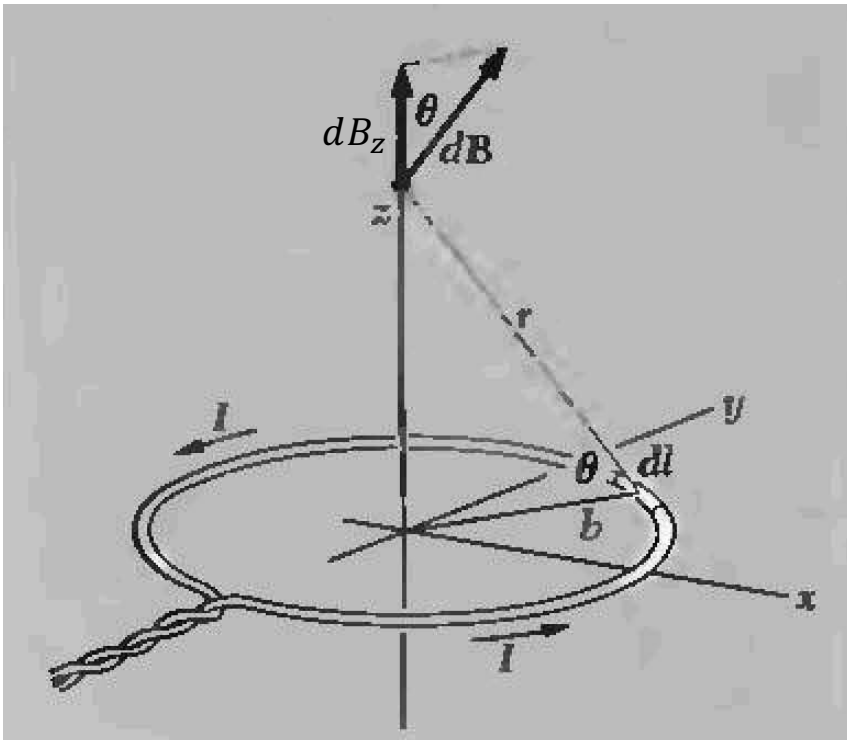
- Donde r es función de z :

$$r = \sqrt{b^2 + z^2}$$

- Entonces en el eje z :

$$\vec{B}(0,0,z) = B_z \hat{z} = \frac{\mu_0}{2} \frac{I b^2}{[\sqrt{b^2 + z^2}]^3} \hat{z}$$

Espira circular



- Simplificando :

$$B_z = \frac{\mu_0}{2} \frac{I b^2}{r^3}$$

- Donde r es función de z :

$$r = \sqrt{b^2 + z^2}$$

- Entonces en el eje z :

$$\vec{B}(0,0,z) = B_z \hat{z} = \frac{\mu_0}{2} \frac{I b^2}{[\sqrt{b^2 + z^2}]^3} \hat{z}$$