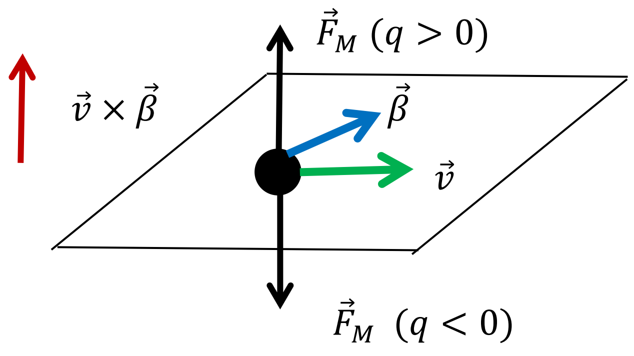
## FUERZA QUE UN CAMPO MAGNÉTICO EJERCE SOBRE UNA CARGA EN MOVIMIENTO. LEY DE LORENTZ

De la misma manera que el espacio que rodea a un planeta o a una carga eléctrica tiene unas propiedades que definimos por medio del campo gravitatorio o del campo eléctrico respectivamente, el espacio que rodea a un imán tiene una propiedad que definimos por medio del vector campo magnético, que denotamos por $\vec{\beta}$. **En el sistema internacional, la unidad de campo magnético es Tesla.** Se sabe que una carga en movimiento dentro de un espacio donde existe un campo magnético sufre una fuerza que viene dada por la expresión

$$\boldsymbol{\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{\beta})}$$




Según vemos en la expresión **ES FUNDAMENTAL entender el concepto de producto vectorial** por lo que hacemos, a costa de parecer cansos, hincapié en las siguientes características de la fuerza magnética y del producto vectorial del cual proviene:

Por ser producto vectorial de los vectores velocidad y campo magnético, **la fuerza magnética tendrá la dirección perpendicular al plano formado por los dos vectores, velocidad y campo magnético. Imaginarse por lo tanto el plano formado por la velocidad y el campo magnético es por ello fundamental.**

Conocida la dirección nos hace falta saber el **sentido.** Según la definición del producto vectorial de dos vectores el sentido del vector que resulta de la operación **es en el que se mueva un sacacorchos al girar llevando el primer vector sobre el segundo**. Si miramos la figura anterior, sabemos que la fuerza es perpendicular al plano formado por la velocidad y el campo**. El sentido del producto vectorial $\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\boldsymbol{\beta}}$ será en el que se mueva el sacacorchos al llevar el primer vector, la velocidad, sobre el segundo, el campo**. *Si miramos desde arriba*, **veremos girar el tornillo en sentido contrario a las agujas del reloj y, por lo tanto, se acercará a nuestros ojos. Si, por el contrario, vemos un tornillo girar en el sentido de las agujas del reloj el tornillo se alejará de nuestros ojos.** *Tenemos que ver, por lo tanto, que, en nuestro caso, ese sentido es hacia "arriba" y que por lo tanto la fuerza sobre una carga positiva tendrá ese sentido y el contrario si la carga es negativa* (**si se multiplica a un vector por un número positivo** *el resultado es* **otro vector**, *más largo o más corto, pero* **del mismo sentido**. **Si el número es negativo el sentido del vector resultante es el contrario**). *Por eso, en la figura, se han dibujado las fuerzas sobre una carga positiva y otra negativa*.

**Si hubiéramos mirado desde abajo, habríamos visto el tornillo girar en el sentido de las agujas del reloj y entonces se alejaría de nuestros ojos. Por lo tanto, da igual desde donde miremos, el sentido saldrá el mismo.**

De todas formas, si visualmente no tenemos claro cuál es el vector fuerza, siempre tenemos a mano la definición matemática que nos llevará sin duda al resultado correcto. Recordamos aquí la operación:

$$\begin{cases} \vec{v} = (v_x, v_y, v_z) \\ \vec{\beta} = (\beta_x, \beta_y, \beta_z) \end{cases} \rightarrow \vec{v} \times \vec{\beta} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ \beta_x & \beta_y & \beta_z \end{vmatrix}$$

Y de módulo

$$\left|\vec{v} \times \vec{\beta}\right| = v \cdot \beta \cdot sen\alpha$$

Siendo $\alpha$ el ángulo que forman ambos vectores.

Por último, para deducir la dirección y el sentido de la fuerza magnética podemos utilizar la regla de la **mano derecha**. A nosotros personalmente no nos gusta (utilizarla puede llevar, a veces, a contorsiones "complicadas"), pero bueno…para gustos están los colores y por eso la damos aquí también:

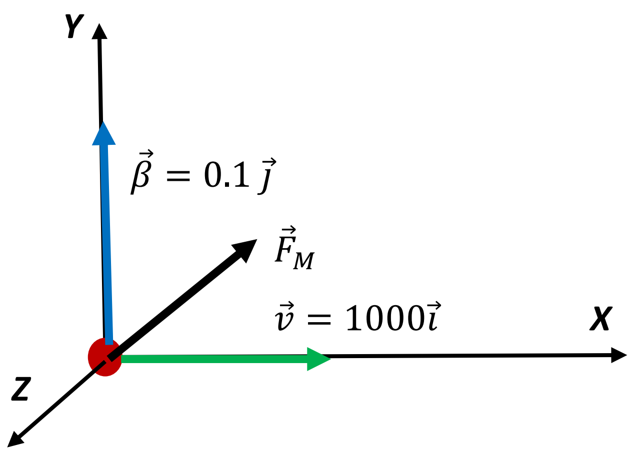
**El dedo índice ha de llevar la dirección y el sentido de la velocidad, el corazón la dirección y sentido del campo magnético**. Entonces la fuerza sobre las cargas positivas tendrá la dirección y sentido del dedo pulgar. Si la carga es negativa, la fuerza será de sentido contrario al marcado por el pulgar

De la expresión que nos da la fuerza magnética, se deduce, como hemos dicho, que es perpendicular a la velocidad. Por lo tanto, su trabajo es cero y no puede modificar la velocidad. Podemos concluir que **si sobre una carga sólo actúa la fuerza magnética SE CONSERVA LA ENERGÍA CINÉTICA.**

***Ejemplo***

***Un electrón lleva una velocidad v=1000 m/s en la dirección del eje X y sentido positivo. Penetra en un campo magnético $\boldsymbol{\beta = 0.1\,T}$ que tiene la dirección del eje Y en sentido positivo. Calcular la fuerza que experimenta el electrón. $\boldsymbol{q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} C}$***

Como siempre, un dibujo nos ayuda mucho para resolver



Si lo hacemos visualmente, tenemos que ver que **la fuerza** ha de ser **perpendicular al plano formado por los vectores velocidad y campo magnético**, o lo que es lo mismo, **al plano XY**. Por lo tanto, tiene la dirección del eje Z. Para ver el sentido, hemos de llevar el vector velocidad sobre el vector campo. **Mirando desde nuestra posición, delante de la pizarra, giramos entonces en el sentido contrario a las agujas del reloj y el tornillo entonces viene hacia nuestros ojos, hacia "afuera" de la pizarra**. Por lo tanto, el producto vectorial tiene el sentido del eje ***Z*** positivo. Pero, como a ese producto vectorial **hay que multiplicarlo por la carga del electrón que es negativa**, concluimos que **la fuerza sobre él tiene el sentido del eje Z negativo**.

Sabiendo el sentido, el módulo del producto vectorial viene dado, como se ha dicho, por

$$\left|\vec{F}_M\right| = |q|v \cdot \beta \cdot sen\alpha$$

Y en nuestro caso:

$$\left|\vec{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{M}}\right| = |q|v \cdot \beta \cdot sen\alpha = 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 1000 \cdot 0.1 = \mathbf{1.6 \cdot 10^{-17}}\ \boldsymbol{N}$$

De todas formas, si tenemos dudas, **siempre lo podemos hacer con la definición de producto vectorial:**

$$\vec{\boldsymbol{F}} = -1.6 \cdot 10^{-19} \begin{vmatrix} \vec{\imath} & \vec{\jmath} & \vec{k} \\ 1000 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \end{vmatrix} = \mathbf{-1.6 \cdot 10^{-17}}\vec{\boldsymbol{k}}$$

**Por último, un convenio sobre los vectores perpendiculares al plano de "la pizarra". Si el sentido es hacia "fuera de ella", hacia nuestros ojos se denota por el símbolo $\odot$. Con el símbolo $\otimes$ en caso contrario**.

Veamos, en las dos siguientes lecciones, a qué tipos de movimientos da lugar la fuerza magnética cuando actúa sobre una carga.