PEPE RÓDENAS BORJA
(abril 2015)

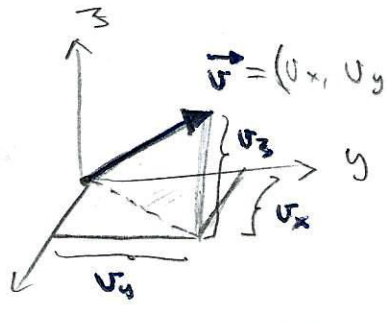
(FÍSICA 2º BACH)

CAMPO MAGNÉTICO & INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

TEMA 5 (resumen provisional)

1 INTRODUCCIÓN & CONOCIMIENTOS PREVIOS.

1.1.- VECTORES en 3D. Notación y representaciones.



$\vec{i} = (1,0,0)$
$\vec{j} = (0,1,0)$
$\vec{k} = (0,0,1)$

↳ con estos $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ escribimos:

$$\vec{v} = v_x\,\vec{i} + v_y\,\vec{j} + v_z\,\vec{k}$$

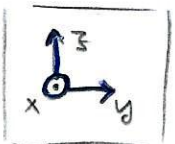
(p.ej, el vector $\vec{v} = (3,-1,5)$ se escribe también $\vec{v} = 3\vec{i} - \vec{j} + 5\vec{k}$)

CÁLCULO del MÓDULO:
$$\boxed{|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}} \quad (1)$$

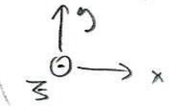
▶ OTRA REPRESENTACIÓN:

- $\otimes$ un vector que entra perpendicularmente en el papel (también: ×). "se le ve la cola".
- $\odot$ un vector que sale perpendicularmente del papel (también: •). "se le ve la punta"

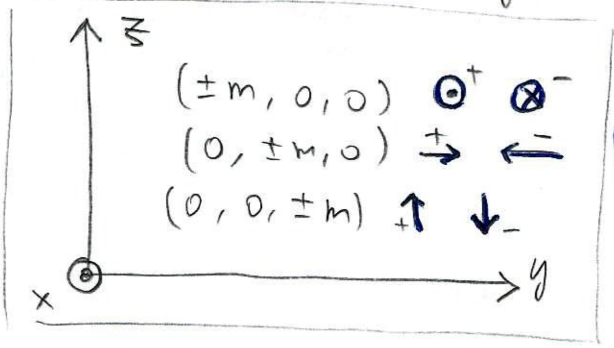
↳ se usa para ejes y para vectores:



muchas veces, los ejes se ponen así:



▶ Con esta representación, un vector $\vec{v}$ de módulo $m > 0$, $|\vec{v}| = m$, se dibuja muy fácilmente siempre que sea paralelo a uno de los ejes:

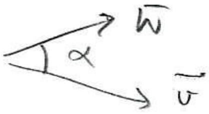


(2)

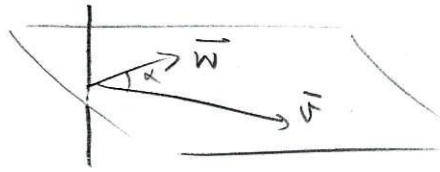
1.2.- EL "PRODUCTO VECTORIAL"

Sean $\vec{v} = (v_1, v_2, v_3)$ $\vec{w} = (w_1, w_2, w_3)$. Definimos su "producto vectorial", $\vec{v} \times \vec{w}$, como un tercer vector $\vec{p}$ tal que:

- $\boxed{|\vec{p}| = |\vec{v}| \cdot |\vec{w}| \cdot \operatorname{sen} \alpha}$ (3)

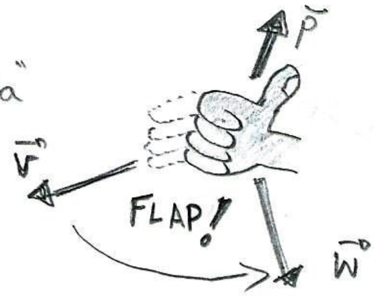


- dirección: perpendicular al plan que $\vec{w}$ y $\vec{v}$ definen:



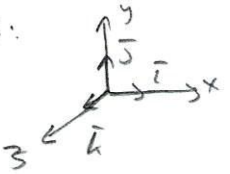
- sentido: "regla de la mano derecha"

si hacemos $\vec{v} \to \vec{w}$



(abatimos $\vec{v}$ sobre $\vec{w}$ por el camino más corto)

EJEMPLOS:



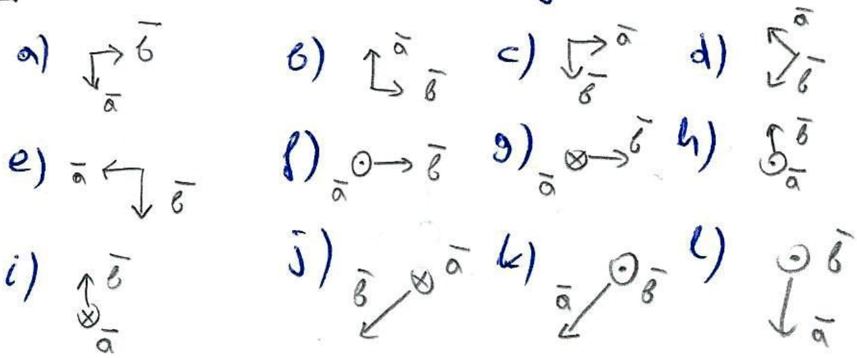
$$\begin{cases} \vec{i} \times \vec{j} = \vec{k} \\ \vec{j} \times \vec{i} = -\vec{k} \\ \vec{k} \times \vec{i} = \vec{j} \\ \dots \end{cases}$$

NOTA: también se puede calcular así:

$$\vec{v} \times \vec{w} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ w_x & w_y & w_z \end{vmatrix}$$ (4)

EJERCICIOS:

P.1 Si $|\vec{a}| = |\vec{b}| = 1$, dibuja $\vec{a} \times \vec{b}$ en cada caso:

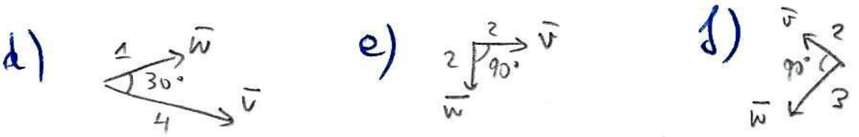


P.2 Expresa el resultado de $\vec{v} \times \vec{w}$ en cada caso (es decir: di los tres componentes (a, b, c)).

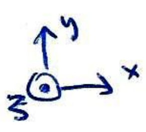
a) $\vec{v} = (1,0,0)$, $\vec{w} = (0,1,0)$

b) $\vec{v} = (0,1,0)$, $\vec{w} = (1,0,0)$

c) $\vec{v} = (6,0,0)$, $\vec{w} = (0,3,0)$



(**NOTA:** en los tres ejercicios (d), (e) y (f), el sistema de ejes está orientado según:



)

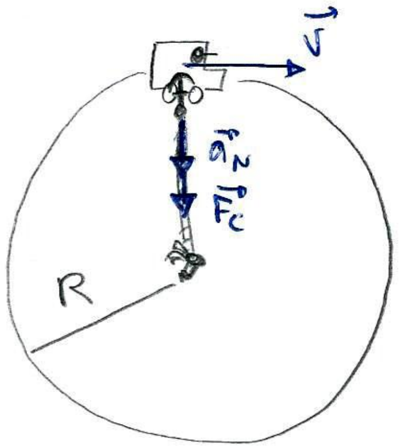
PEPE RÓDENAS BORJA (FÍSICA 2º BACH)

(abril 2015)

CAMPO MAGNÉTICO & INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

TEMA 5 (resumen provisional)

1.3.- REPASO del MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME (MCU)



T: periodo (s) ← tiempo una vuelta

ω: velocidad angular (rad/s)

(5) $\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}}$ ← radianes avanzados en una vuelta

(6) $\boxed{v = \frac{2\pi R}{T} = \omega R}$ ← espacio recorrido en una vuelta. v: velocidad lineal (m/s)

2ª ley de Newton: $\vec{F} = m\vec{a}$ ← fuerza total (o "resultante")

En el MCU, la $\vec{a}$ se llama "centrípeta" o "normal", y su módulo vale:

(7) $\boxed{a_N = \frac{v^2}{R}}$ (m/s²)

NOTA: la $\vec{F}$ se llama "centrípeta", $\vec{F}_c$.

"Ecuación de movimiento angular" para el MCU: como $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ ← ángulo girado en el tiempo Δt, entonces si en $t=0$ estamos en φ_0, en t estaremos en: $\boxed{\varphi(t) = \varphi_0 + \omega t}$ (8)

1.4.- SOLUCIONES de los EJERCICIOS.

P.1

a/ ⊙ b/ ⊗ c/ ⊗ d/ ⊙

e/ ⊙ f/ ↑ g/ ↓ h/ ←

i/ → j/ ↖ k/ ↖ l/ ←

P.2

a/ $(0,0,1) = \vec{k}$ b/ $(0,0,-1) = -\vec{k}$ c/ $(0,0,18) = 18\vec{k}$

d/ $(0,0,2) = 2\vec{k}$ e/ $(0,0,-4) = -4\vec{k}$ f/ $(0,0,6) = 6\vec{k}$

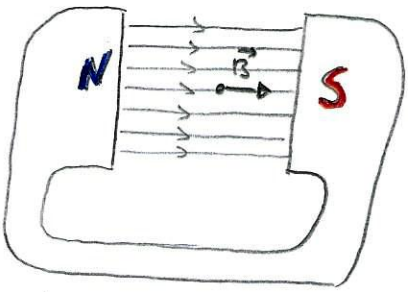
2 LA FUERZA MAGNÉTICA

2.1.- $\vec{B}$ de UN IMÁN

▶ El "campo magnético" $\vec{B}$ sirve para describir las fuerzas relacionadas con imanes y cables de corriente eléctrica.

▶ La unidad S.I. del $\vec{B}$ es el tesla (T).

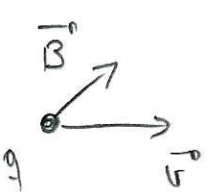
▶ Describimos el campo $\vec{B}$ de un imán como el de la figura mediante sus líneas de campo:



← $\vec{B}$ tiene orientación constante y uniforme entre los polos NORTE y SUR de este imán, y apunta hacia el polo sur. (NOTA: este tipo de imanes se parece un poco a los condensadores de campo $\vec{E}$).

2.2.- $\vec{F}_m$ sobre CARGA EN MOVIMIENTO

▶ La fuerza que ejerce un campo $\vec{B}$ sobre una carga eléctrica q depende de los valores de $\vec{B}$ y q, pero también de la velocidad a la que se mueve q:



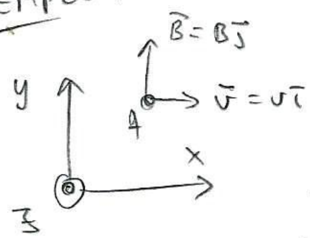
(9) $$\boxed{\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}}$$

← llamado "FUERZA de LORENZ"

⇐ fuerza magnética que siente la carga q, que viaja a velocidad $\vec{B}$, en el seno del campo magnético $\vec{B}$ ≫

(10)
$|\vec{F}_m| = |q| \cdot |\vec{v}| \cdot |\vec{B}| \cdot \operatorname{sen} \alpha$
dirección: $\perp$ a $\vec{v}$ y $\vec{B}$
sentido: $q>0$, $\vec{v} \to \vec{B}$ mano derecha
$q<0$, contrario a $\vec{v} \to \vec{B}$ mano derecha.

EJEMPLO:

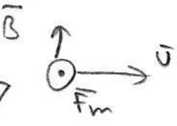


$q = 1$ C

$\boxed{\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}} =$

$= 1 \cdot (v\vec{i}) \times (B\vec{j}) =$

$= v \cdot B \cdot \underbrace{\operatorname{sen} 90°}_{=1} \vec{k} = \boxed{vB\vec{k}}$ ⇒



Pepe Ródenas Borja
(abril 2015)

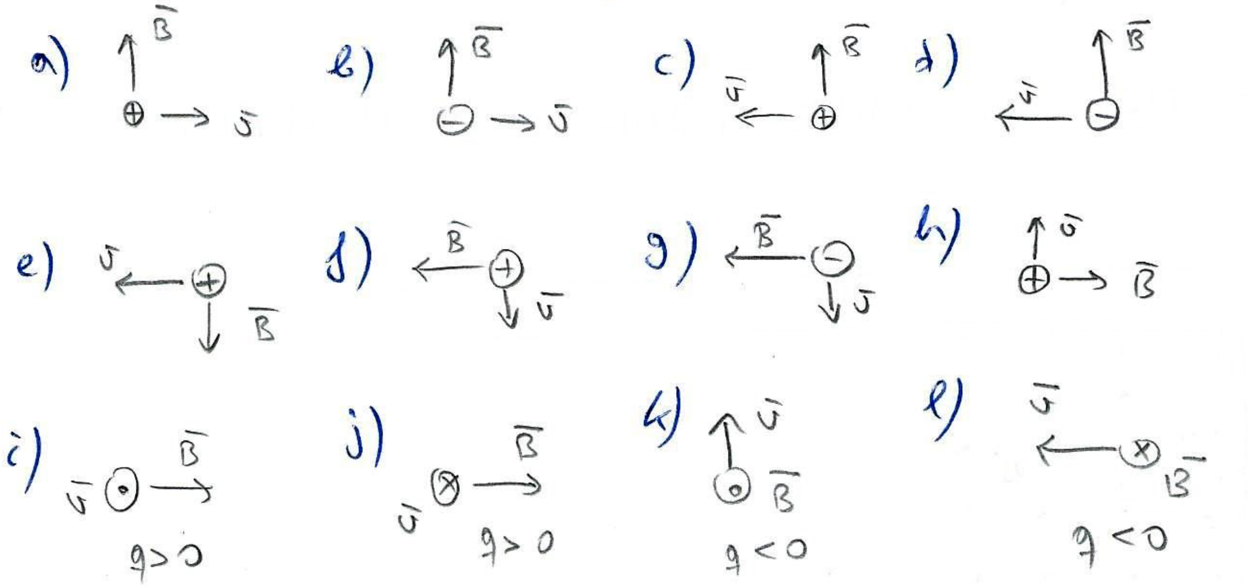
Física 2º Bach

Campo magnético & inducción electromagnética.

Tema 5 (resumen provisional)

▷ Ejercicios:

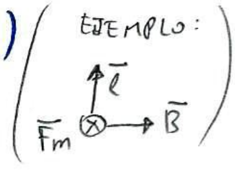
P.3 Si tenemos las siguientes configuraciones de $\vec{B}$ y $\vec{v}$, dibuja $\vec{F_m}$ en cada caso (¡cuidado!: ⊕ quiere decir $q>0$, ⊖ quiere decir $q<0$):



2.3 - $\vec{F_m}$ sobre "ELEMENTO de CORRIENTE" (cable recto y corto por el que circula corriente eléctrica).

▷ Imaginemos que situamos entre los polos de un imán como el de 2.1. un trozo pequeño de cable conductor por el que circula una intensidad I. Como la corriente eléctrica son cargas en movimiento, sentirá una $\vec{F_m}$. Para calcularla, usamos un vector $\vec{l}$, cuyo módulo es la longitud del cable y su orientación es la del sentido de la corriente que lo atraviesa (a y b son los extremos del cable):

$$\boxed{\vec{F_m} = I\,\vec{l} \times \vec{B}} \quad (11)$$

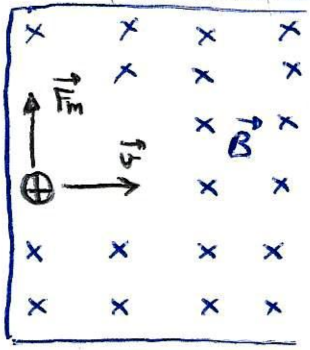


▷ COMENTARIOS: en el caso del imán de 2.1, como $\vec{B}$ es uniforme, podemos aplicar la ecuación **[11]** también para cables largos. En general, para aplicar **[11]** tiene que cumplirse que $\vec{B}$ valga lo mismo en todos los puntos del cable (si no, hay que integrar).

Para cables cuadrados entre N y S del imán de 2.1, por ejemplo, aplicaríamos **[11]** para cada lado del cable por separado.

2.4.- MCU en CAMPOS MAGNÉTICOS UNIFORMES.

▷ Imaginemos que una partícula de $q>0$ y masa m entra en una región donde hay un $\vec{B}$ constante y uniforme, de manera que $\vec{v} \perp \vec{B}$ (entra con velocidad perpendicular al $\vec{B}$):

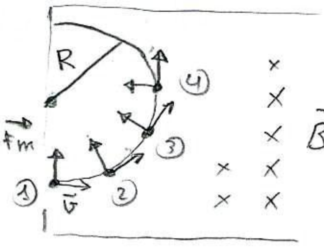


- Como $\vec{F}_m \perp \vec{v} \Rightarrow W_{F_m} = 0 \Rightarrow \vec{F}_m$ nunca modifica $|\vec{v}|$ de la partícula, sólo dirección.
- Como $|\vec{F}_m| = |q||\vec{v}||\vec{B}|\underbrace{\operatorname{sen} 90°}_{=1} = |q| v B$ = constante, la modificación de la dirección será la misma todo el tiempo (a_N = constante)

$\Rightarrow$

$\Rightarrow$ la partícula describirá un MCU:

$$\frac{v^2}{R} \underset{\text{(MCU)}}{=} a_N \underset{\text{(2ª NEWT)}}{=} \frac{F_m}{m} \underset{\text{(}F_m\text{ LORENT)}}{=} \frac{|q| v B}{m} \Rightarrow \boxed{R = \frac{v\, m}{|q| B}} \quad \textbf{(12)}$$



▷ COMENTARIOS: i/ si $q<0$, F_m tendrá sentido contrario, y la partícula describirá otra trayectoria circular: en el ejemplo, $\left\{ \begin{array}{l} \leftarrow \text{si } q>0 \\ \leftarrow \text{si } q<0 \end{array} \right\}$.
ii/ si en la región entran dos partículas con misma v y q, distinguimos sus masas comparando los R.

2.5.- SOLUCIONES de los EJERCICIOS

P.3

a/ ⊙	b/ ⊗	c/ ⊗	d/ ⊙
e/ ⊙	f/ ⊗	g/ ⊙	h/ ⊗
i/ ↑	j/ ↓	k/ ←	l/ ↑

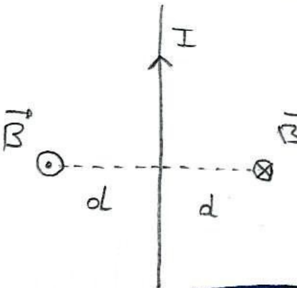
PEPE RÓDENAS BORJA
(abril 2015)

3 LAS FUENTES del CAMPO $\vec{B}$

3.1.- CABLES, ESPIRAS & BOBINAS

▶ CONDUCTOR RECTILÍNEO INFINITO recorrido por corriente I:

i) CAMPO en el PLANO del PAPEL:



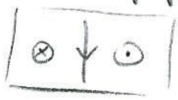
$\mu_0 = 4\pi\, 10^{-7}\ T \cdot m/A$

("permeabilidad magnética del vacío")

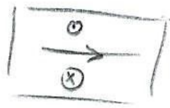
- MÓDULO: $\boxed{B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi d}}$ (13)
- DIRECCIÓN: $\vec{B} \perp$ al papel.
- SENTIDO: lo da regla mano derecha agarrando el cable con pulgar orientado como la corriente.

... ii) EN OTROS PUNTOS, o para otras posiciones del cable: no tenemos más que imaginar que movemos el papel:

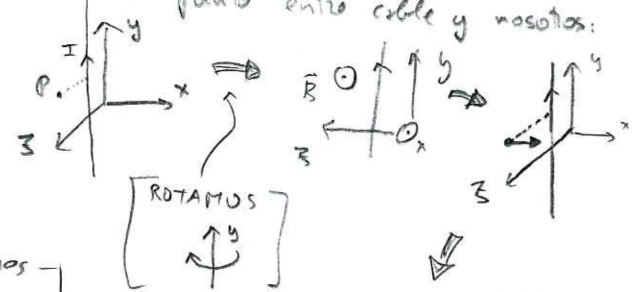
"I baja":



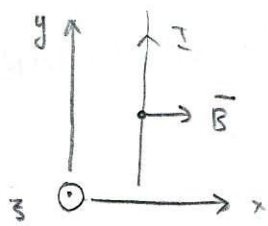
"I a dcha":



"En punto entre cable y nosotros":



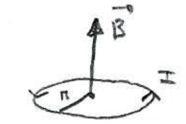
en resumen:



... etcétera.

iii) LÍNEAS de CAMPO: circunferencias perpendiculares al cable y con centro en el, recorridas en el sentido que indica la regla de la mano derecha:

▶ ESPIRA CIRCULAR (de radio R, recorrida por I):



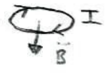
I en sentido AH ("anti-horario")

i) EN el CENTRO: $\boxed{B = \dfrac{\mu_0 I}{2R}}$ (14)

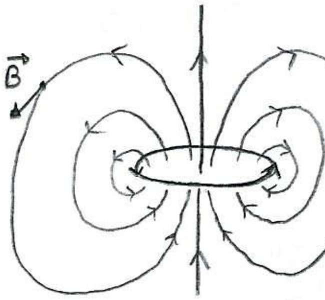
- $\vec{B} \perp$ espira
- SENTIDO: regla de la mano derecha con pulgar según $\vec{B}$ y resto de dedos según corriente.

→ en otros puntos, las líneas de campo nos dicen la orientación de $\vec{B}$ (ver pág. siguiente).

→ si I en sentido H ("horario"):



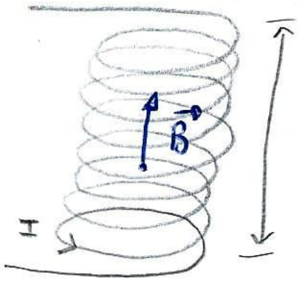
ii) LÍNEAS de CAMPO de la ESPIRA CIRCULAR:



este esquema es para el plano del papel. Para las líneas en otros puntos, no tenemos más que rotar el dibujo alrededor del eje de la espira.

I en sentido AH ~~sent~~ (en sentido H, las líneas son iguales pero su orientación es opuesta).

SOLENOIDE HELICOIDAL (o "Bobina") recorrido por corriente I:



N: número de vueltas (o de espiras)

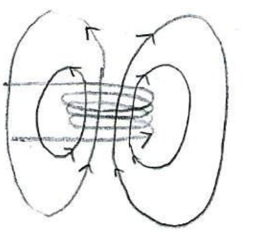
L: longitud del solenoide

i) CAMPO en EL INTERIOR:

- $\vec{B}$ paralelo al EJE
- SENTIDO: regla mano derecha con I de las espiras.
- MÓDULO: $$\boxed{B = \frac{\mu_0 N I}{L}} \quad (15)$$

NOTA: en cualquier punto del interior, no sólo en el eje. (Es decir: es un campo uniforme).

ii) EN OTROS PUNTOS: líneas de CAMPO:



I en sentido AH

- En el interior son paralelas
- En el exterior se parecen a las de la espira
- Para I en sentido H son iguales, pero su orientación es opuesta.

COMENTARIOS GENERALES sobre las FUENTES del CAMPO $\vec{B}$:

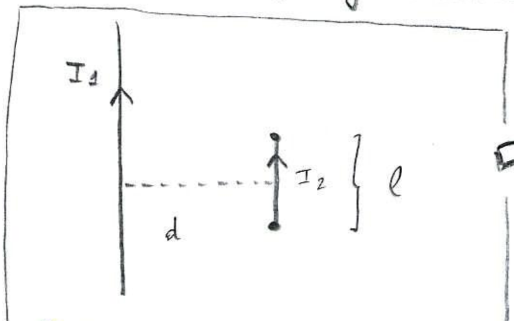
i) En general, «el campo $\vec{B}$ lo crea (y también lo siente) cualquier carga eléctrica en movimiento». Las corrientes que hemos estudiado no son más que un conjunto de cargas en movimiento, y constituyen los ejemplos más sencillos de fuentes del campo magnético.

ii) Contrariamente al campo $\vec{E}$, en el cual las líneas de campo salían de las cargas ⊕ y desaparecían en las ⊖, las de campo $\vec{B}$ no nacen ni mueren de/en las corrientes o cargas en movimiento: son LÍNEAS CERRADAS. (Con la excepción de la que viene del ∞ y vuelve al ∞).

PEPE RÓDENAS BORSA
(abril 2015)

3.2.- FUERZAS entre CORRIENTES RECTILÍNEAS PARALELAS

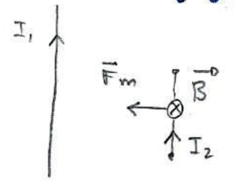
Supongamos un cable rectilíneo indefinido (de longitud muy grande, o "infinita") recorrido por I_1, y un trozo de cable de longitud l, paralelo al primero, a distancia d y recorrido por I_2:



«CASO "MISMO SENTIDO" I_1, I_2»

• APLICANDO [13] y [11] vemos que

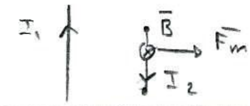
i) mismo sentido



$\vec{F}_m$ atractiva y de MÓDULO:

$$\boxed{F_m = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}\, l} \quad (16)$$

• ANÁLOGAMENTE, «para "SENTIDOS OPUESTOS" I_1, I_2»:



$\vec{F}_m$ repulsiva y de mismo MÓDULO que antes ([16]).

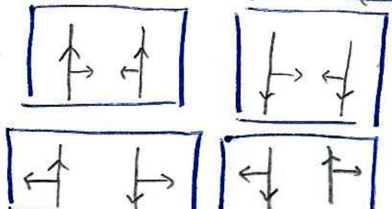
ii) sentidos opuestos

• APLICACIONES:

a) [16] sirve también para el cable I_2 muy largo, $l \gg$, pero como eso supondría $l \to \infty$, $F_m \to \infty$. Se suele pasar la l dividiendo a la izquierda de [16] y hablar de f_m, "fuerza magnética por unidad de longitud (entre dos cables paralelos)":

MISMO SENTIDO:

SENTIDOS OPUESTOS:



"ATRACCIÓN"

"REPULSIÓN"

en los 4 casos, $\boxed{f_m = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}}$ (17)

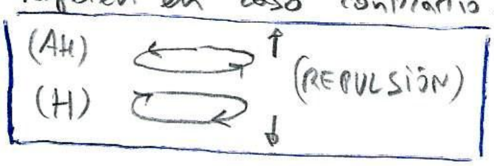
(unidad S.I.: N/m)

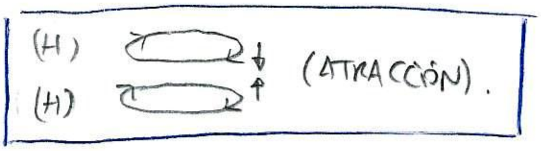
(18)

NOTA: esta f_m es tanto la que el cable 1 ejerce sobre el cable 2 como al contrario.

b) Cuando dos pequeños tramos pertenecientes a circuitos distintos se encuentran cerca el uno del otro y en posición aproximadamente paralela, aunque estrictamente la ecuación [17] no sea aplicable, sí se pueden deducir los comportamientos de repulsión y atracción con el esquema [18].

Esto permite entender, por ejemplo, por qué dos espiras como las de la figura se atraen si sus I van en el mismo sentido, y se repelen en caso contrario:



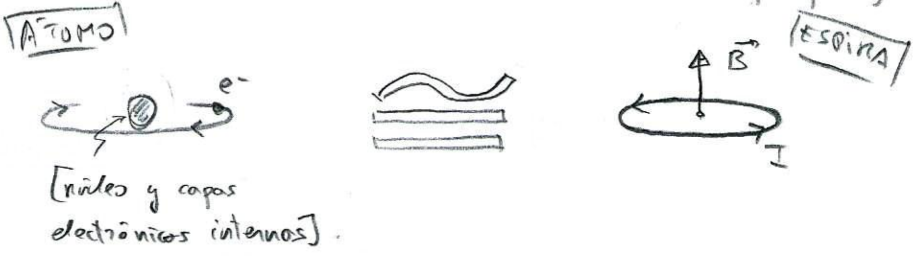


(19)

3.3.- IMANES y ELECTROIMANES

▶ MODELO SENCILLO para el MAGNETISMO de ÁTOMOS:

Supongamos átomos con Z impar ⟹ el electrón más externo causará un campo $\vec{B}$, al describir órbitas circulares, similar al de una espira (supongamos que los efectos magnéticos de los otros electrones se compensan entre sí por parejas):

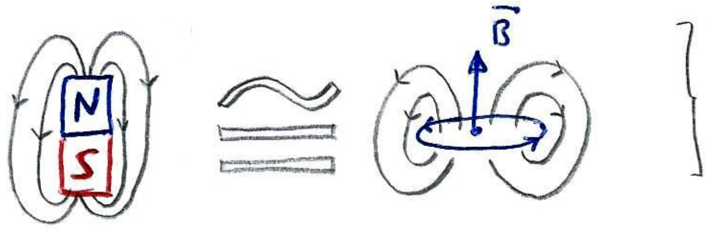


NOTA: la I gira en sentido contrario al e⁻ porque $q_e < 0$, y la I siempre se define como el movimiento de q positivas.

POR TANTO, describimos el comportamiento magnético de cada átomo como si se tratara de una espira, que podemos caracterizar gráficamente indicando la orientación del $\vec{B}$ que crea en su centro.

▶ MODELO ELEMENTAL para IMANES:

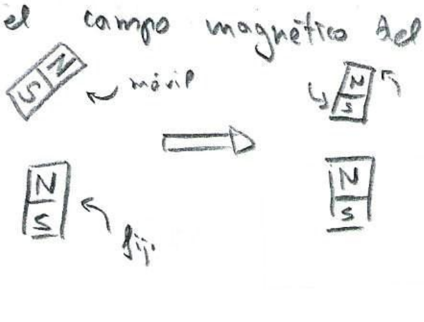
Se puede comprobar (con el experimento de las limaduras metálicas) que las líneas de campo de un imán de barra son similares a las de la espira:



por tanto, modelizamos estos imanes también con espiras. Atendiendo a [19], así reproducimos la atracción entre polos distintos y la repulsión entre polos iguales.

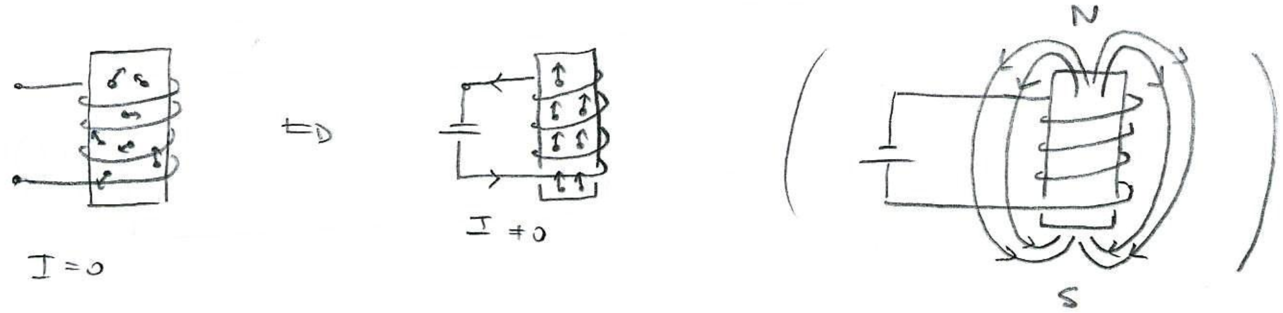
▶ MODELO ~~SOLENOIDAL~~ PARA ~~IMANES NATURALES~~ ELECTROIMANES:

Con el anterior modelo de imán ≃ espira no sólo reproducimos la atracción/repulsión entre polos, sino que también el hecho de que si sujetamos un imán de barra junto a otro no alineado con él, el campo magnético del primero tiende a alinear el segundo:



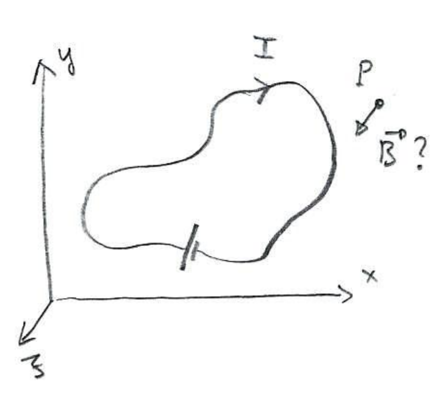
Se puede demostrar que este fenómeno también sucede entre espiras. Es más: si se coloca una espira en el seno de un $\vec{B}_{ext}$, uniforme y constante, se puede demostrar que su efecto sobre la espira será intentar girarla para orientar el $\vec{B}$ de la espira como el $\vec{B}_{ext}$.

Eso es lo que sucede cuando colocamos un material metálico, cuyos átomos (vistos como espiras/pequeños imanes de barra) tienen cierta libertad para dejarse reorientar, en el interior de un solenoide por el que circula una I: el campo del solenoide reorienta todos los átomos, de modo que los efectos magnéticos de éstos se suman a los del solenoide, y esto es lo que llamamos un electroimán:



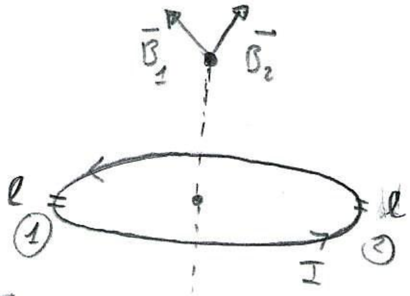
3.4.- PARTÍCULAS Y ELEMENTOS de CORRIENTE. Casos complejos

▶ Supongamos el caso más general posible de lo que se llama "magnetostática": un cable conductor recorrido por una corriente continua I (continua quiere decir constante en el tiempo), de modo que este cable constituye un circuito cerrado de forma arbitraria.



Nos podemos preguntar qué campo $\vec{B}$ crea este circuito en un cierto punto P del espacio. Ninguna de las ecuaciones [13], [14] ni [15] nos sirven para tal propósito en un caso tan general.

El procedimiento adecuado para ello es el siguiente: nos fijamos en un trozo "j" del cable lo suficientemente pequeño para considerarlo rectilíneo, y calculamos su contribución al campo total, $\vec{B}_j$, en el punto P. Haremos lo mismo para todos los trozos del cable, y luego sumamos todas las contribuciones:



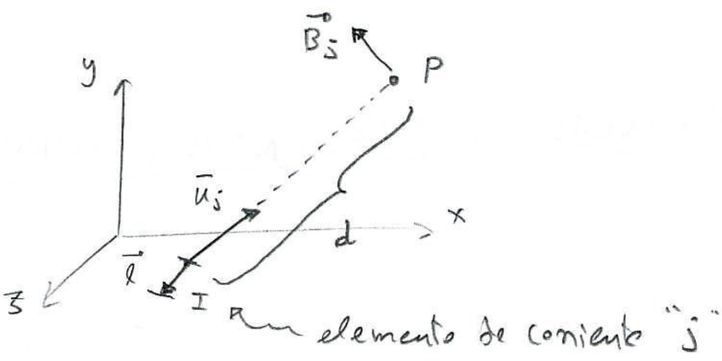
contribución de los trozos 1 y 2, de longitudes l, al campo total en un punto P del eje de una espira.

$$\boxed{\vec{B}_{TOTAL}(P) = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_j + \dots + \vec{B}_N} = \sum_{j=1}^{N} \vec{B}_j \quad (20)$$

La fórmula que permite calcular $\vec{B}_j$, la contribución del "elemento de corriente" j al campo total en P, se llama ley de Biot y Savart y se escribe así:

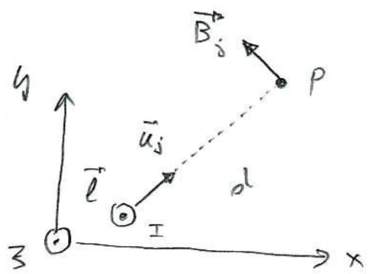
$$\boxed{\vec{B}_j = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\vec{l} \times \vec{u}_j}{d^2}} \quad (21)$$

Siendo $\vec{u}_j$ el vector de modulo unidad que sale del elemento j y mira hacia P (es como el $\vec{u}_R$ de campo $\vec{E}$), d la distancia al punto, y $\vec{l}$ el vector que une los extremos del elemento j en el sentido de la corriente.

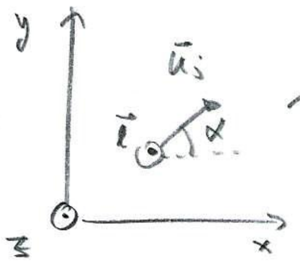


COMENTARIOS:

a) Representación alternativa de la anterior figura:



b) Para calcular $\vec{u}_j$, si está contenido en uno de los tres planos coordenados (es decir, una de sus componentes es nula —en el caso de la figura, sería la $u_z = 0$ —), podemos usar una técnica similar a la del campo eléctrico y el ángulo con la horizontal:



$$\vec{u}_j = (\cos\alpha,\ \text{sen}\,\alpha,\ 0)$$

En casos más complicados, se procede así: Sean (x, y, z) los coordenadas del punto P y (x_0, y_0, z_0) los de la posición del elemento j. Entonces, $\vec{r}_j = (x - x_0,\ y - y_0,\ z - z_0)$ es el vector que sale del elemento y llega a P. Con este vector calculamos:

$$\boxed{\vec{u}_j = \frac{\vec{r}_j}{|\vec{r}_j|}} \quad (22)$$

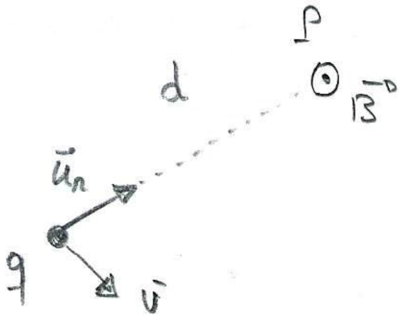
(también se escribe, a veces, $\hat{r}_j = \vec{u}_j$).

c) Estrictamente, para hacer la suma [20] deberíamos hacer cada elemento de corriente infinitamente pequeño, lo cual conduciría a hacer N —el número total de elementos de corriente— infinitamente grande: $\vec{B}_{TOTAL} = \lim_{N \to \infty} \sum_{j=1}^{N} \vec{B}_j$, lo cual constituye el cálculo de una integral. En muchos casos prácticos, sin embargo, tan sólo deberemos evaluar cualitativamente las características del campo en P, y no será necesario plantear tal integral. → para hacer la integral, [21] se escribe así: $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$.

d) La ecuación [21] no tiene sentido por sí sola; es decir: un único elemento de corriente no crearía ese campo $\vec{B}$ en P. Sólo tiene sentido como herramienta para evaluar su contribución al campo que crea en P el circuito entero.

e) También existe una <u>ley de Biot y Savart</u> para <u>el campo que hace</u> en P cada <u>una de las partículas</u> que forman la corriente del circuito estudiado:

(23) $$\boxed{\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\, q\, \frac{\vec{v} \times \vec{u}_r}{d^2}}$$



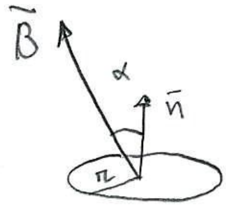
Campo que crea en P una partícula, que va a velocidad $\vec{v}$ y tiene carga q, sobre un punto P a distancia d en la dirección $\vec{u}_r$.

NOTA: como pasa con [21], estrictamente esta ecuación no es cierta por sí sola —el campo que q crea en P no es ése—, sino que sirve solamente para calcular su contribución al campo total en P cuando forma parte de un circuito.

4 INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

4.1.- FLUJO MAGNÉTICO:

imaginemos una espira circular de radio r (o rectangular de lados l y L). Definimos un vector $\vec{n}$, de módulo uno $|\vec{n}| = 1$, perpendicular al plano de la espira (orientado hacia un lado o el otro de manera arbitraria). Si hay un campo $\vec{B}$ uniforme en la región donde se halla la espira, que forma un ángulo α con el vector $\vec{n}$, entonces definimos:



$$\boxed{\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha} \quad (24)$$

«FLUJO MAGNÉTICO» a través de una espira.

S.I.: [Wb] "weber" $\quad 1\ Wb = 1\ T \cdot m^2$

$A = \pi r^2$ (el área de la espira, si es rectangular sería $A = l \cdot L$).

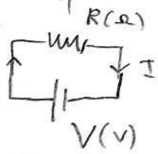
NOTA: si el circuito es un solenoide (o "bobina") de N vueltas (o espiras), entonces: $\boxed{\Phi(\text{bobina}) = N \cdot \Phi(1\ \text{espira})}$ (25).

Pepe Ródenas Borja
(abril 2015)

4.2.- INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA:

fenómeno consistente en que si $\frac{d\Phi}{dt} \neq 0$, aparece una corriente ("inducida") en el circuito, I_{ind}, que a su vez creará otro campo magnético, $\vec{B}_{ind}$ ("inducido"), en sentido opuesto a $\vec{n}$ si $\Phi\uparrow$ y en el mismo si $\Phi\downarrow$.

- COMENTARIO: Φ puede variar porque B cambia, porque α cambia, o porque A cambia.
- LEY de OHM:



$\boxed{I \cdot R = V}$ (26) → en inducción, se escribe así: $\boxed{I \cdot R = \varepsilon}$ (27)

"IR es igual a Venir"

y al voltaje ε le llamamos "fuerza electromotriz"

- LEY de INDUCCIÓN (de FARADAY-LENZ):

$$\boxed{\varepsilon_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt}} \quad (28) \quad \underset{[27]}{\Longrightarrow} \quad I_{ind} = \frac{\varepsilon_{ind}}{R}$$

← resistencia del circuito ("DATO").

el signo ⊖ se interpreta con el vector $\vec{n}$, y se llama "REGLA de LENZ". La "LEY de FARADAY" es $|\varepsilon_{ind}| = \left|\frac{d\Phi}{dt}\right|$

- CRITERIO de SIGNOS: ahora ya no siempre hablaremos, en el contexto de inducción, de I positivas. Su signo nos lo dice el sentido de la corriente ("horario" H, o "antihorario" AH):

(NOTA: si $\downarrow\vec{n}$, los sentidos H y AH serían I ⊕, I ⊖.)

- si I va con $\vec{n}$ según la regla de la mano derecha, es ⊕:

$\Longrightarrow \boxed{I > 0}$ (Sucede cuando $\boxed{\Phi\downarrow \Rightarrow \vec{B}_{ind} \text{ va como } \vec{n}}$).

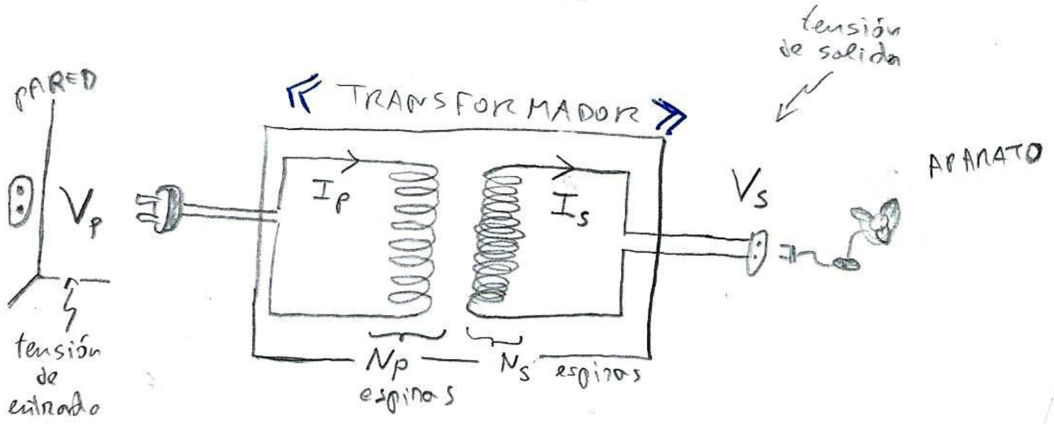
- si I va contra $\vec{n}$ según la regla de la mano derecha, es ⊖:

$\Longrightarrow \boxed{I < 0}$ (Sucede cuando $\boxed{\Phi\uparrow \Rightarrow \vec{B}_{ind} \text{ va contra } \vec{n}}$).

4.3.- TRANSFORMADORES

: en corriente alterna, la tensión V (o voltaje, o diferencia de potencial) varía en el tiempo de forma sinusoidal. El valor numérico que se suele dar, por ejemplo 220 voltios, está en relación con la amplitud de esta oscilación.

La tensión V de alterna que suministran los enchufes de las casas no siempre es la que va bien para los aparatos que necesitamos usar. Se convierte a otra tensión utilizando un transformador, que está constituido por dos circuitos, formados por espiras, que interaccionan entre sí mediante el fenómeno de inducción, de modo que las variaciones en el tiempo de sus flujos a través de cada espira "se acoplan", y pasan a tener la misma derivada, $\frac{d\Phi(t)}{dt}$ (*):



← aquí no nos interesan sentidos: tomamos $V_p, V_s > 0$.

El circuito "de entrada" se llama PRIMARIO, y tiene una bobina de N_p espiras

El circuito "de salida" se llama SECUNDARIO, y tiene una bobina de N_s espiras

⇓ ← ley de FARADAY → ⇓

$$V_p = N_p \left|\frac{d\Phi_p(t)}{dt}\right| \qquad V_s = N_s \left|\frac{d\Phi_s(t)}{dt}\right|$$

[*] ⇒ $$\frac{V_p}{N_p} = \frac{V_s}{N_s} \Rightarrow \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (*,*).$$

NOTA: recordemos que la potencia P (UNIDAD S.I.: W, vatio, siendo 1 W = 1 J/s) consumida en un circuito es:

$$\boxed{P = IV} \quad (29) \quad = I^2R = V^2/R$$

Como suponemos que toda la energía del secundario viene de la que gasta el primario (se la transmite), entonces $P_p = P_s \Rightarrow I_pV_p = I_sV_s$, por [29].

En resumen, con [*,*] podemos decir que:

$$\boxed{\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}} \quad (30)$$