

TEMA 2: CAMPO MAGNÉTICO

1. Campo magnético. El vector campo magnético

$\vec{B} \rightarrow$ Campo magnético

Unidad en el S.I. Tesla (T)
 $1\text{T} = 1\text{N}/(\text{C} \times \text{m/s})$

1.1. Fuerza magnética

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

1.2.1. Fuerza magnética sobre una carga puntual. Aplicaciones

- Los tres vectores perpendiculares entre sí:

$$\vec{v} = \vec{v}_\perp \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \omega = \frac{|q|B}{m} \quad \omega = \frac{v}{R} \quad R = \frac{mv_\perp}{|q|B}$$

$R \Rightarrow$ Radio de curvatura

- Velocidad no perpendicular:

$$\vec{v} = \vec{v}_\parallel + \vec{v}_\perp \quad d = v_\parallel T = \frac{2\pi m v_\parallel}{|q|B} \quad R = \frac{mv_\perp}{|q|B}$$

$\vec{B} = cte$

$R \Rightarrow$ Radio de curvatura $d \Rightarrow$ Paso de hélice

- Fuerza de Lorentz $\rightarrow \vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$

- Selector de velocidades $\rightarrow E = v \times B$

1.2.2. Fuerza magnética sobre una corriente eléctrica

1.2.2.1. Fuerza magnética sobre un hilo conductor rectilíneo

$$\vec{F} = Nq(\vec{v} \times \vec{B}) \quad \vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$$

$$N = nSL \quad n \Rightarrow \text{Densidad de portadores de carga}$$

$N \Rightarrow$ Número de electrones
 $SL \Rightarrow$ Volumen del cilindro

1.2.2.2. Fuerza magnética sobre un hilo conductor

$$\vec{F} = \int_L I d\vec{\ell} \times \vec{B} \quad \begin{cases} I = cte \\ \vec{B} = cte \end{cases}$$

1.2.2.3. Fuerza magnética sobre un hilo conductor cerrado

$$\vec{F} = 0$$

1.2.2.3. Fuerza magnética sobre una espira de corriente

$$\sum \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \vec{F}_i = I\vec{L}_i \times \vec{B}$$

Momento dipolar magnético

$$\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}$$

Momento de torsión / Torque

2. Ley de Biot y Savart. Aplicaciones

Ley de Biot y Savart

$$d\vec{B} = K_m \frac{Id\vec{\ell} \times \vec{u}_r}{r^2} \quad K_m = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \text{N/A}^2$$

μ_0 permeabilidad magnética del vacío

2.1. Campo magnético creado por una corriente rectilínea

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi a} [sen\theta_1 + sen\theta_2] \quad L \rightarrow \infty \Rightarrow B_{L \gg a} = \frac{\mu_0}{2\pi a} I$$

2.2. Campo magnético creado por una espira de corriente

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2} \frac{IR^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \vec{j} \quad a \gg R \Rightarrow \vec{B}_{a \gg R} \approx \frac{\mu_0}{2} \frac{IR^2}{a^3} \vec{j}$$

3. Fuerza magnética entre corrientes paralelas

$$F_1 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} L_1 \quad F_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} L_2 \quad \left. \begin{array}{l} F_1 \\ F_2 \end{array} \right\} \quad F_2 = \frac{F_1}{L_2} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d}$$

4. Ley de Ampère. Aplicaciones

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I \quad B = \frac{\mu_0}{2\pi r} I \vec{u}_r$$

4.1. Campo magnético creado por un toroide

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

4.2. Campo magnético creado por un solenoide

$$B = \mu_0 nI \Rightarrow n = \frac{N}{L}$$

5. Flujo magnético. Ley de Gauss para el campo magnético.

$$\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

5.1. Ley de Gauss para el campo magnético

$$\oiint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

6. Propiedades magnéticas de la materia

Dipolo eléctrico

VECTOR POLARIZACION

$$\vec{P} = \frac{d\vec{p}}{dV} \quad \vec{E} = \vec{E}_o + \vec{E}_i$$

Dipolo magnético

VECTOR MAGNETIZACION

$$\vec{M} = \frac{d\vec{m}}{dV} \quad \vec{M} = \text{momento magnético unidad de volumen}$$

6.1. Magnitudes Magnéticas

Intensidad de campo magnético \vec{H}

Susceptibilidad χ_m

Permeabilidad μ

$$\vec{B}_{ext} = \mu_0 \vec{H}$$

$$\vec{B}_T = \mu \vec{H} \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = 1 + \chi_m$$

Clasificación de los materiales

En función del comportamiento de sus moléculas frente a un campo magnético exterior.

Tipo de material	Se cumple	Susceptibilidad	Permeabilidad
Diamagnético	$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$	$\chi_m < 0$	$\mu < \mu_0$
Paramagnético	$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$	$0 < \chi_m \ll 1$	$\mu \geq \mu_0$
Ferromagnético	$\vec{M} \neq \chi_m \vec{H}$	$\chi_m \gg 0$	$\mu \gg \mu_0$

6.1.1. Diamagnéticos (aprox. "aislante")

$$\chi_m < 0 \quad \mu < \mu_0$$

6.1.2. Paramagnéticos (aprox. "aislante")

$$0 < \chi_m \ll 1 \quad \mu > \mu_0 \quad M = C \frac{B}{T}$$

6.1.3. Ferromagnéticos (aprox. "conductor")

$$\chi_m = f(B_{ext}) \quad \mu \gg \mu_0$$

7. Fenómenos de inducción electromagnética.

7.1. Ley de Faraday

Lev de Faraday y Lenz

$$|\varepsilon| = \frac{d\phi_m}{dt} = \frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

7.2. Ley de Lenz

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

7.3. Fuerza electromotriz debida al movimiento

7.3.1. Varilla conductora móvil en un campo magnético

$$V_{ab} = [\varepsilon] = vBL$$

7.3.2. Varilla conductora móvil que forma un circuito

$$|\varepsilon| = \frac{d\phi_m}{dt} = vBL$$

7.3.3. Trabajo y energía del proceso: Estudio energético

- Potencia entregada:

$$P = \frac{(vBL)^2}{R}$$

- Potencia disipada en R:

$$P_R = \frac{(vBL)^2}{R}$$

8. Inducción mutua

$$\varepsilon = -M_{12} \frac{dI_1}{dt}$$

$$\varepsilon = -M_{21} \frac{dI_2}{dt}$$

$$M = (\text{henrios} \rightarrow \text{H})$$

$$M_{12} = M_{21} = N_2 \frac{d\phi_{e2}}{dI_1} = N_1 \frac{d\phi_{e1}}{dI_2}$$

8.1. Autoinducción

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$$

N = números de espiras en la bobina

- Constante de proporcionalidad es L $\rightarrow L = N \frac{d\phi_e}{dI}$

8.1.1. Asociación de autoinducciones

Serie	Paralelo
$L_{eq} = L_1 + L_2$	$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$

8.2. Generador de fem sinusoidal

$$\varepsilon(t) = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt} [NBS \cos \omega t] = NBS \omega \sin \omega t = \varepsilon_o \sin \omega t$$

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_o \sin \omega t$$

$$I(t) = I_o \sin \omega t; I_o = \frac{\varepsilon_o}{R}$$

9. Densidad de energía del campo magnético

9.1. Energía almacenada en un inductor:

densidad de energía del campo magnético

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \quad \text{solenoides} \quad \left\{ \begin{array}{l} L = \mu_0 \frac{N^2}{L} S \\ B = \mu_0 \frac{N}{L} I \end{array} \right\} \Rightarrow U = \frac{1}{2} B^2 SL_s \Rightarrow \eta_B = \frac{U}{V_s} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$

permeabilidad

B \rightarrow Campo magnético en el interior del solenoide

L \rightarrow Autoinducción del solenoide

10. Dispositivos electrónicos en circuitos

10.1. Circuitos de corriente continua

10.1.1. Resistencia en un circuito de corriente continua

$$t_0 = 0 \rightarrow I_0 = \frac{V}{R} \quad t_{final} \rightarrow I_f = \frac{V}{R} \quad V = V_R$$

10.1.2. Condensador en un circuito de corriente continua: Transitorio RC

$$t_0 = 0 \rightarrow I_0 = \frac{V}{R} \quad t_{final} \rightarrow I_f = 0 \quad V = V_R(t) + V_C(t)$$

10.1.3. Autoinducción en un circuito de corriente continua: Transitorio RL

$$t_0 = 0 \rightarrow I_0 = 0 \quad t_{final} \rightarrow I_f = \frac{V}{R} \quad V = V_R(t) + V_L(t)$$

10.2. Transitorio RC

10.2.1. Carga de un condensador

$$V = V_R(t) + V_C(t)$$

$$V = I(t)R + \frac{Q(t)}{C}$$

$\tau = RC$, Constante de tiempo

$$t = 0 \rightarrow Q_0 = 0; V_{C0} = 0$$

$$V_{R0} = V; I_0 = \frac{V}{R}$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = 0; Q_f = Q_{max} = VC$$

$$V_{Rf} = 0; V_{Cf} = V$$

$$I(t) = I_0 e^{-t/RC}$$

$$Q(t) = Q_{max}(1 - e^{-t/RC})$$

$$V_R(t) = V e^{-t/RC}$$

$$V_C(t) = V(1 - e^{-t/RC})$$

10.2.2. Descarga de un condensador

$$V_R(t) = V_C(t)$$

$$I(t)R = \frac{Q(t)}{C}$$

$\tau = RC$, Constante de tiempo

$$t = 0 \rightarrow Q(0) = Q_0; V_{C0} = \frac{Q_0}{C}$$

$$I(0) = I_0 = \frac{V_{C0}}{R} = \frac{Q_0}{RC}$$

$$t_{final} \rightarrow Q_f = 0; V_{Cf} = 0$$

$$I_f = 0; V_{Rf} = 0$$

$$Q(t) = Q_0 e^{-t/RC}$$

$$I(t) = I_0 e^{-t/RC}$$

$$V_R(t) = V_{C0} e^{-t/RC}$$

$$V_C(t) = V_{C0} e^{-t/RC}$$

10.3. Transitorio RL

$$V = I(t)R + L \frac{dI(t)}{dt}$$

$$I(t)R = -L \frac{dI(t)}{dt}$$

$\tau = L/R$, Constante de tiempo

$$t_0 = 0 \rightarrow I_0 = 0; V_{L0} = V$$

$$t_0 = 0 \rightarrow I_0$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = \frac{V}{R}$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = 0$$

$$I(t) = \frac{V}{R}(1 - e^{-Rt/L})$$

$$I(t) = I_0 e^{-Rt/L}$$

$$V = V_R(t) + V_L(t)$$

3. Circuitos eléctricos

Elemento	Resistor	Condensador	Inductancia
Magnitud	Resistencia	Capacidad	Inducción
Unidad	Ohmio (Ω)	Faradio (F)	Henrio (H)
Símbolo			
Relación circuital	$V = IR$	$I(t) = C \frac{dV(t)}{dt}$	$V(t) = L \frac{dI(t)}{dt}$

4. Otros datos

Razón	0°	30°	45°	60°	90°
$sen \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$tan \alpha$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	-