

Fórmulario de Teoría Electromagnética

Melendez Bustamante Luis Fernando
Instituto Politécnico Nacional

I. CAMPOS ELÉCTRICOS ESTÁTICOS

Campos Eléctricos Estáticos	
Ley de Coulomb	$F = k_e \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$
Constante de Coulomb	$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
Campo eléctrico (punto)	$\vec{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{e}_r$
Campo eléctrico (línea)	$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \hat{e}_r$
Campo eléctrico (plano)	$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{e}_n$
Potencial eléctrico (general)	$V = - \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$
Potencial eléctrico (punto)	$V = k_e \frac{q}{r}$
Trabajo eléctrico	$W = q\Delta V$
Energía potencial	$U = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$
Capacitancia (general)	$C = \frac{Q}{V}$
Capacitancia (placas paralelas)	$C = \epsilon \frac{A}{d}$
Capacitancia (coaxial)	$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln(b/a)}$
Capacitancia (esférica)	$C = 4\pi\epsilon a$
Densidad de energía eléctrica	$W_e = \frac{1}{2} \epsilon E^2$
Dipolo eléctrico (campo)	$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p(3\cos^2\theta - 1)}{r^3} \hat{e}_r$
Fuerza de Lorentz (completa)	$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$
Potencial dipolo eléctrico	$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p} \cdot (\vec{r} - \vec{r}')}{ \vec{r} - \vec{r}' ^3}$

TABLE I.1

FÓRMULAS DE CAMPOS ELÉCTRICOS ESTÁTICOS

II. LEYES DE GAUSS

Leyes de Gauss	
Diferencial (eléctrico)	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v$
Integral (eléctrico)	$\oint \vec{D} \cdot d\vec{S}' = Q_{enc}$
Diferencial (magnético)	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$
Integral (magnético)	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S}' = 0$
Ley de Gauss (eléctrico)	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S}' = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$
Condición frontera (E)	$\epsilon_1 E_{1n} - \epsilon_2 E_{2n} = \rho_s$
Condición frontera (D)	$E_{1t} = E_{2t}$
Esfera (carga puntual)	$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{e}_r$
Cilindro (línea carga)	$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \hat{e}_r$
Potencial (esfera conductora)	$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (r \geq R)$

TABLE II.1

FÓRMULAS DE LAS LEYES DE GAUSS

III. CAMPOS MAGNÉTICOS ESTÁTICOS

Campos Magnéticos Estáticos	
Ley Biot-Savart	$d\vec{H} = \frac{Id\vec{l}' \times \hat{e}_r}{4\pi r'^2}$
Campo magnético (alambre)	$\vec{H} = \frac{I}{2\pi r} \hat{e}_\phi$
Fuerza magnética (alambre)	$d\vec{F} = Id\vec{l}' \times \vec{B}$
Ley de Ampère (integral)	$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l}' = I_{enc}$
Ley de Ampère (diferencial)	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$
Condición frontera (B)	$B_{1n} = B_{2n}$
Condición frontera (H)	$\vec{H}_{1t} - \vec{H}_{2t} = \vec{K}$
Fuerza de Lorentz	$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$
Campo magnético (solenoides)	$\vec{H} = \frac{NI}{l} \hat{e}_z$
Campo magnético (toroide)	$\vec{H} = \frac{NI}{2\pi r} \hat{e}_\phi$
Momento magnético (espira)	$\vec{m} = IA$
Campo (espira circular)	$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2R} \hat{e}_z$
Par dipolo magnético	$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$
Campo dipolo magnético	$\vec{B} = \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3} (2\cos\theta \hat{e}_r + \sin\theta \hat{e}_\theta)$

TABLE III.1

FÓRMULAS DE CAMPOS MAGNÉTICOS ESTÁTICOS

IV. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS - PARTE 1

Ondas Electromagnéticas	
Velocidad propagación	$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$
Impedancia intrínseca	$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$
Ecuación onda (eléctrico)	$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$
Relación E y H	$\vec{E} = \eta \vec{H} \times \hat{e}_k$
Vector Poynting	$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$
Longitud de onda	$\lambda = \frac{v}{f}$

TABLE IV.1

FÓRMULAS BÁSICAS DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

V. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS - PARTE 2

Ondas Electromagnéticas Avanzadas	
Atenuación (conductores)	$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon} \right)^2} - 1 \right)}$
Potencia promedio	$P_{\text{avg}} = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*)$
Constante propagación	$\gamma = \alpha + j\beta$
Constante de fase	$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon} \right)^2} + 1 \right)}$
Profundidad de penetración	$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$
Índice de refracción	$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$
Reactancia inductiva	$X_L = \omega L$
Reactancia capacitiva	$X_C = \frac{1}{\omega C}$

TABLE V.1

FÓRMULAS AVANZADAS DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

VIII. RELACIONES Y CONSTANTES

Relaciones y Constantes	
Permitividad del vacío	$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
Permeabilidad del vacío	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
Velocidad de la luz	$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Relación D y E	$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$
Relación D, E y P	$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$
Vector de polarización	$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$
Relación B y H	$\vec{B} = \mu \vec{H}$
Permitividad compleja	$\epsilon_c = \epsilon - j \frac{\sigma}{\omega}$
Impedancia del vacío	$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 376.73 \Omega$

TABLE VIII.1

RELACIONES Y CONSTANTES FUNDAMENTALES

VI. LEYES DE MAXWELL

Leyes de Maxwell	
Ley de Gauss (eléctrico)	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v$
Ley de Gauss (magnético)	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$
Ley de Faraday (diferencial)	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Ley de Ampère-Maxwell (dif.)	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$
Ley de Faraday (integral)	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{S}'$
Ley de Ampère-Maxwell (int.)	$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \frac{d}{dt} \int \vec{D} \cdot d\vec{S}'$
Ley de Ampère (conductores)	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \sigma \vec{E}$

TABLE VI.1

FÓRMULAS DE LAS LEYES DE MAXWELL

VII. MAGNETOSTÁTICA Y TRANSFORMADORES

Magnetostática y Transformadores	
Reluctancia	$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu A}$
Flujo magnético	$\Phi = BA$
Densidad de flujo magnético	$B = \mu H$
Ley de Faraday (fem)	$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$
Inductancia (solenoides)	$L = \frac{\mu N^2 A}{l}$
Inductancia mutua	$M = k \sqrt{L_1 L_2}$
Fuerza electromotriz inducida (general)	$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt}$
Relación de transformación	$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$
Fem inducida (transformador)	$V_2 = M \frac{dI_1}{dt}$
Energía almacenada (inductor)	$W_m = \frac{1}{2} LI^2$
Relación de corrientes (transformador)	$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$

TABLE VII.1

FÓRMULAS DE MAGNETOSTÁTICA Y TRANSFORMADORES

IX. GLOSARIO

$\hat{e}_r, \hat{e}_\phi, \hat{e}_n, \hat{e}_k$ Vectores unitarios

α	Coefficiente de atenuación
β	Constante de fase
γ	Constante de propagación
δ	Profundidad de penetración
ϵ	Permitividad del medio
ϵ_0	Permitividad del vacío
ϵ_r	Constante dieléctrica relativa
χ_e	Susceptibilidad eléctrica
η	Impedancia intrínseca
F	Fuerza eléctrica
\vec{E}	Campo eléctrico
\vec{D}	Desplazamiento eléctrico
\vec{H}	Campo magnético
\vec{B}	Densidad de flujo magnético
I	Corriente eléctrica
\vec{J}	Densidad de corriente
k_e	Constante de Coulomb
λ	Densidad de carga lineal
L	Inductancia
M	Inductancia mutua
\vec{m}	Momento magnético
μ	Permeabilidad del medio
μ_0	Permeabilidad del vacío
μ_r	Permeabilidad relativa
ν	Frecuencia
\vec{P}	Vector de polarización
Φ	Flujo magnético
\Re	Reluctancia
ρ_v	Densidad de carga volumétrica
ρ_s	Densidad de carga superficial
\vec{K}	Corriente superficial
q	Carga eléctrica
r	Distancia radial
σ	Conductividad eléctrica
$\vec{\tau}$	Par (torque)
v	Velocidad de propagación
V	Potencial eléctrico
\mathcal{E}	Fuerza electromotriz
ω	Frecuencia angular
X_L	Reactancia inductiva
X_C	Reactancia capacitiva
A	Área de sección transversal
B_{\max}	Densidad de flujo máxima
f	Frecuencia
k	Coefficiente de acoplamiento
k_e, k_h	Constantes de pérdidas
l	Longitud
N	Número de espiras
p	Momento dipolar eléctrico
P	Potencia
t	Espesor
Z	Impedancia