

Electromagnetismo Aplicado

F.P. Mena

Primavera 2011

0. Introducción

- Idea de este curso:
 - Bases de electromagnetismo
 - Materiales utilizados
 - Aplicación:
 - Modelación - software
 - Diseño - hardware

0. Introducción

- Evaluaciones
 - Tres controles (NC) y un examen (NE)
 - Sesiones de laboratorio (NL):
 - Al menos una: diseño o simulación.
 - Ejercicios
 - Trabajos grupales en clase (NG).
 - Individuales a casa (NI). El día de entrega se tomará un control sobre la tarea (esa será la nota)
 - Nota final:

$$NF = 0.6(0.6NC + 0.4NE) + 0.2(0.3NG + 0.7NI) + 0.2NL$$

0. Introducción

- Evaluaciones
 - Para aprobar este curso:

$$NF = 0.6 \underbrace{(0.6NC + 0.4NE)}_{NCT} + 0.2 \underbrace{(0.3NG + 0.7NI)}_{NTT} + 0.2NL$$

$$NCT, NTT, NL \geq 4.0$$

0. Introducción

- Horario
 - Auxiliaría: Lunes
 - Cátedra: Martes y Jueves
 - Debido a visitas a ALMA, **algunas clases** del Jueves al Lunes



0. Introducción

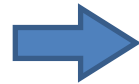
¿Por qué estudiar esto?

0. Introducción

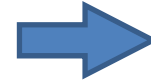
- ¿Por qué estudiar esto?

$$\nabla \times \mathcal{E} = \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t}$$

FI2002:
Fundamentos



$$\nabla \times \mathcal{H} = \mathcal{J} + \frac{\partial \mathcal{D}}{\partial t}$$



Este curso:
Aplicaciones

$$\nabla \cdot \mathcal{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathcal{B} = 0$$

0. Introducción

- ¿Por qué estudiar esto?

$$\nabla \times \mathcal{E} = \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathcal{H} = \mathcal{J} + \frac{\partial \mathcal{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathcal{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathcal{B} = 0$$

Materiales

Aplicaciones:

Cargado por inducción
Líneas de transmisión
Metamateriales eléctricos
Telefonía
Fotónica
Instrumentación para Astronomía

.....

**Teoría +
Simulación**

0. Introducción

- Libro base:
 - CLAYTON & NASAR “*Introduction to Electromagnetic Fields*”, 1998.
 - Disponible en biblioteca
- Otros libros útiles:
 - GRIFFITHS, “*Introduction to Electrodynamics*”, 1999.
 - FEYNMANN, “*Lectures on Physics*”, 1964.
 - HAYT & BUCK, “*Teoría Electromagnética*”, 2006.

Electromagnetismo Aplicado:

I. Principios de Teoría Electromagnética y Propiedades de Medios Materiales

F.P. Mena

Primavera 2011

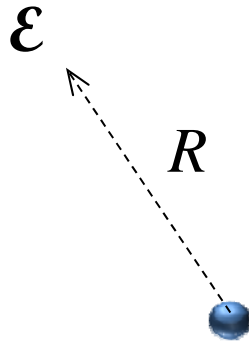
I. Teoría E.M. y Materiales

- Ecuaciones de Maxwell
- Condiciones de frontera
- Funciones de potenciales
- Ecuaciones diferenciales para potenciales.
- Materiales
 - Conductores
 - Dieléctricos
 - Materiales magnéticos.

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss – Forma Integral

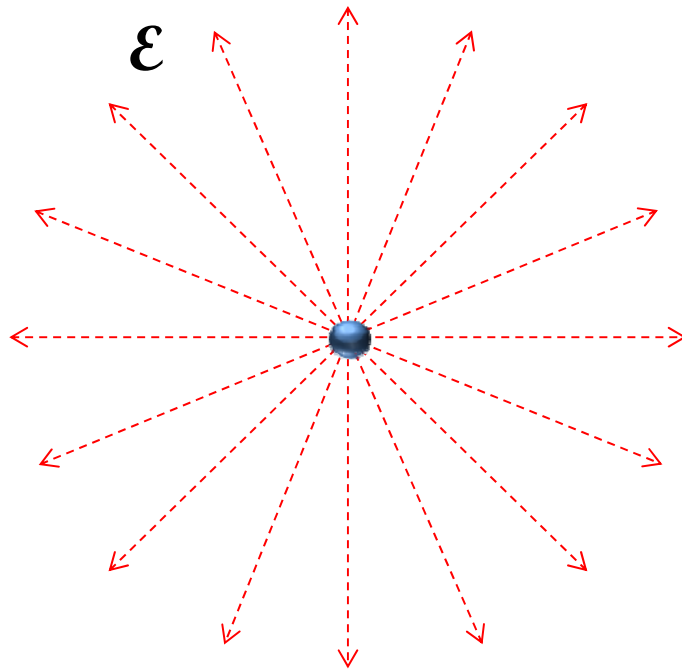
- Campo eléctrico



$$\mathcal{E} = \int_V \frac{\rho_v}{4\pi\epsilon_0 R^2} \mathbf{a}_R dv$$

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss – Forma Integral
 - Campo eléctrico y líneas de fuerza

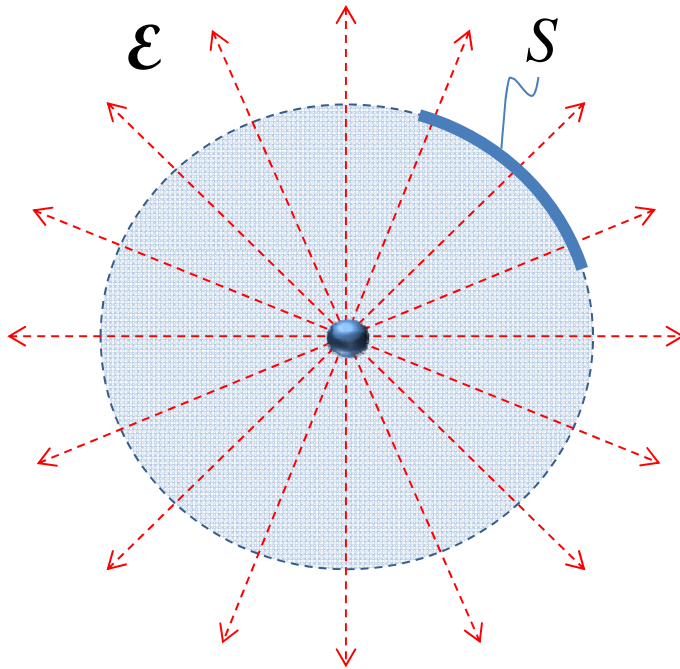


$$\mathcal{E} = \int_V \frac{\rho_v}{4\pi\epsilon_0 R^2} \mathbf{a}_R dv$$

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss – Forma Integral

- Flujo eléctrico

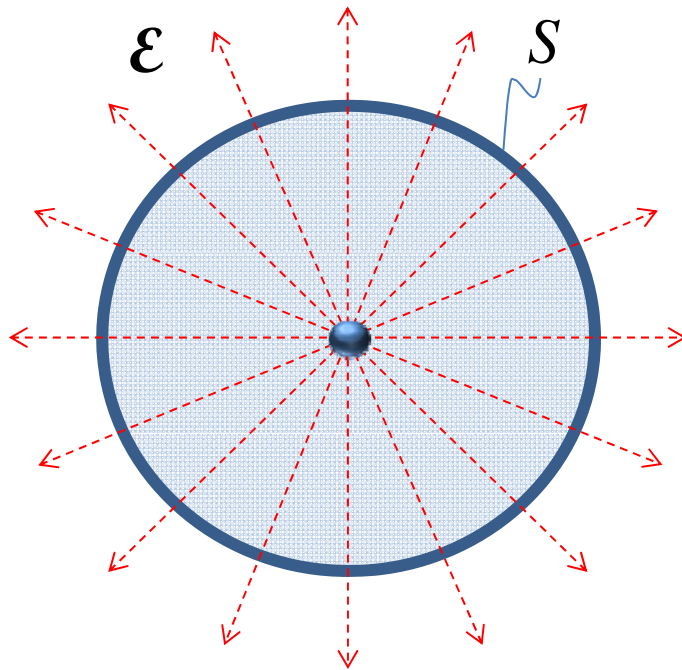


$$\Phi_{\mathcal{E}} \equiv \int_S \mathcal{E} \cdot d\mathbf{a}$$

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss – Forma Integral

- Flujo eléctrico. De la ley de Coulomb se demuestra:



Flujo total = Carga neta encerrada

$$\Phi_{\mathcal{E},\text{tot}} \equiv \oint_S \mathcal{E} \cdot d\mathbf{a} = \frac{1}{\epsilon_0} Q_{\text{enc}}$$

$\Phi_{\mathcal{E},\text{tot}}$ es independiente de la superficie cerrada que se considere

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss – Forma Diferencial

The diagram illustrates the derivation of the differential form of Gauss's Law from its integral form. It consists of four equations arranged in a diamond shape, connected by blue arrows indicating the logical flow of the derivation.

Top equation (Integral form of Gauss's Law):

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{a} = \frac{1}{\epsilon_0} Q_{\text{enc}}$$

Left equation (Integral form of the divergence theorem):

$$\int_V (\nabla \cdot \mathbf{E}) dv$$

Right equation (Definition of enclosed charge):

$$Q_{\text{enc}} = \int_V \rho dv$$

Bottom equation (Differential form of Gauss's Law):

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$$

Arrows indicate the flow: from the top equation to the left and right equations, and from both the left and right equations to the bottom equation.

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss – Forma Diferencial
 - En un material dieléctrico pueden haber **cargas libres** y **cargas ligadas**

$$\rho = \rho_b + \rho_f$$

- El campo eléctrico total es producido por ambas

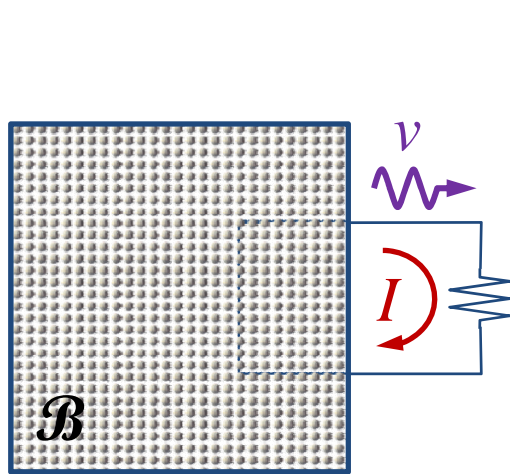
$$\varepsilon_0 \nabla \cdot \mathcal{E} = \rho = \cancel{\rho_b} + \rho_f$$

$-\nabla \cdot \mathcal{P}$

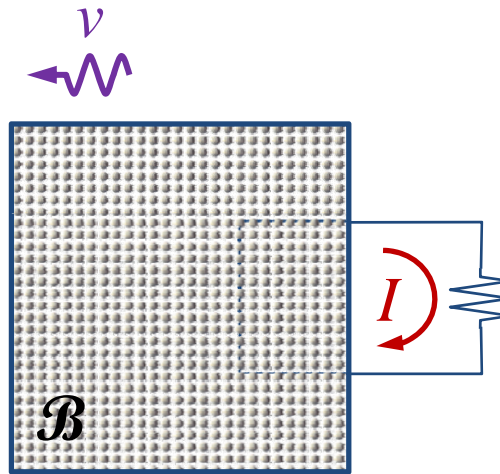
$$\Rightarrow \nabla \cdot \underbrace{(\varepsilon_0 \mathcal{E} + \mathcal{P})}_{\mathcal{D}} = \rho_f \quad \Rightarrow \quad \boxed{\nabla \cdot \mathcal{D} = \rho_f}$$

1. Ecuaciones de Maxwell

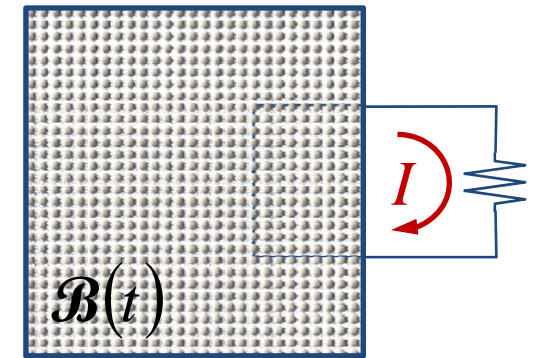
- Ley de Faraday – Forma Integral
 - Hechos experimentales (1831)



Imán fijo
+
circuito (sin fuente)
moviéndose
=
corriente en circuito



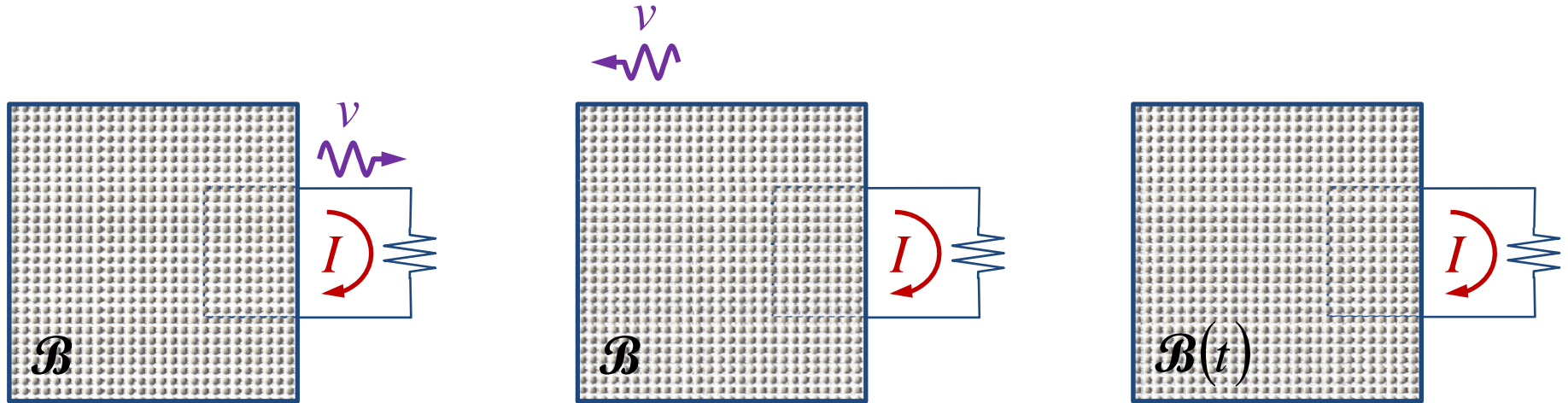
Imán moviéndose
+
circuito (sin fuente) fijo
=
corriente en circuito



Imán con campo
variable
+
circuito (sin fuente) fijo
=
corriente en circuito

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Faraday – Forma Integral
 - Hechos experimentales (1831)



Regla del flujo:
$$V_{\text{ind}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Un campo magnético variable induce un campo eléctrico

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Faraday – Forma Integral

The diagram illustrates the derivation of the integral form of Faraday's Law. It starts with the differential form $V_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi}{dt}$ at the top. Two blue arrows point down from this equation to the terms $\oint \mathcal{E} \cdot d\mathbf{l}$ on the left and $-\frac{d}{dt} \int \mathcal{B} \cdot d\mathbf{a}$ on the right. From these two terms, two more blue arrows point down to a red-bordered box containing the final integral equation: $\oint \mathcal{E} \cdot d\mathbf{l} = -\int \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{a}$.

$$V_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi}{dt}$$
$$\oint \mathcal{E} \cdot d\mathbf{l}$$
$$-\frac{d}{dt} \int \mathcal{B} \cdot d\mathbf{a}$$
$$\oint \mathcal{E} \cdot d\mathbf{l} = -\int \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{a}$$


Un campo magnético variable induce un campo eléctrico

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Faraday – Forma Diferencial

$$\oint \mathcal{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{a}$$

Stoke's theorem

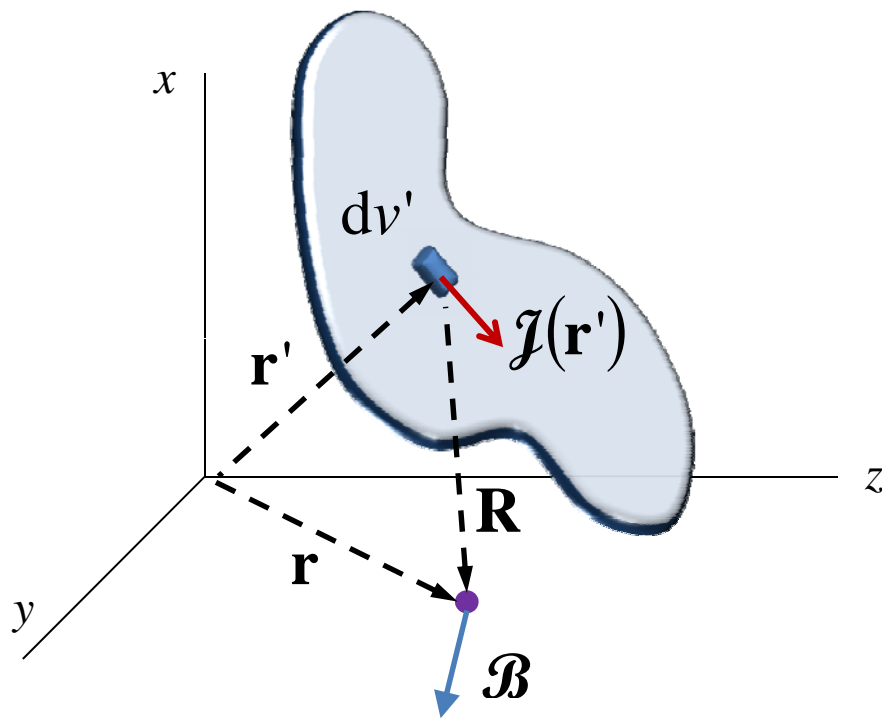


$$\nabla \times \mathcal{E} = \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t}$$

Un campo magnético variable induce un campo eléctrico

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss magnética – Forma Diferencial
 - Ley de Biot-Savart



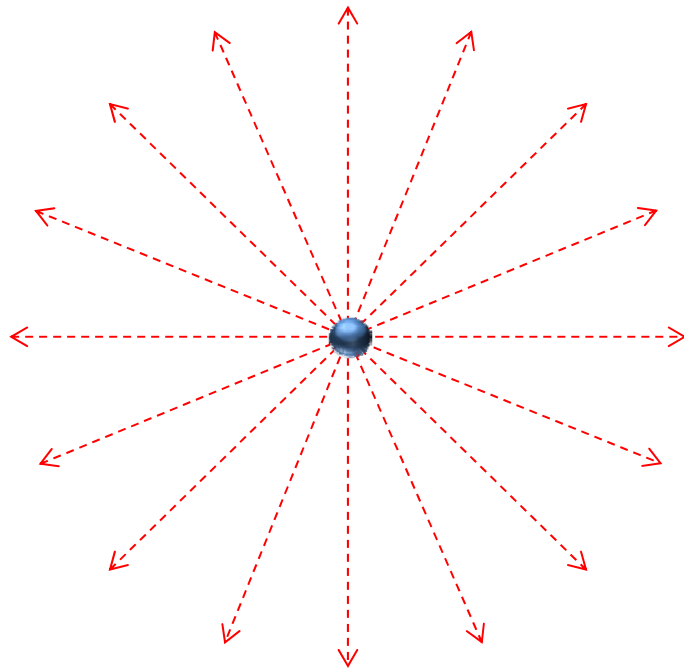
$$\mathcal{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\mathcal{J}(\mathbf{r}') \times \mathbf{R}}{R^2} \cdot d\mathbf{v}'$$



$$\nabla \cdot \mathcal{B} = 0$$

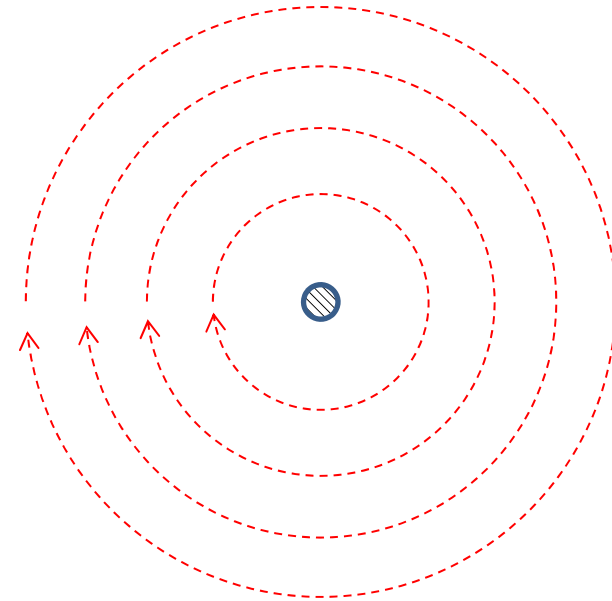
1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss magnética – Forma Diferencial
 - Líneas de fuerza



$$\nabla \cdot \mathcal{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$$

Existencia de cargas eléctricas



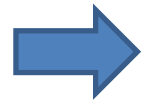
$$\nabla \cdot \mathcal{B} = 0$$

Ausencia de cargas magnéticas

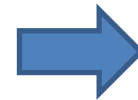
1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss magnética – Forma Integral

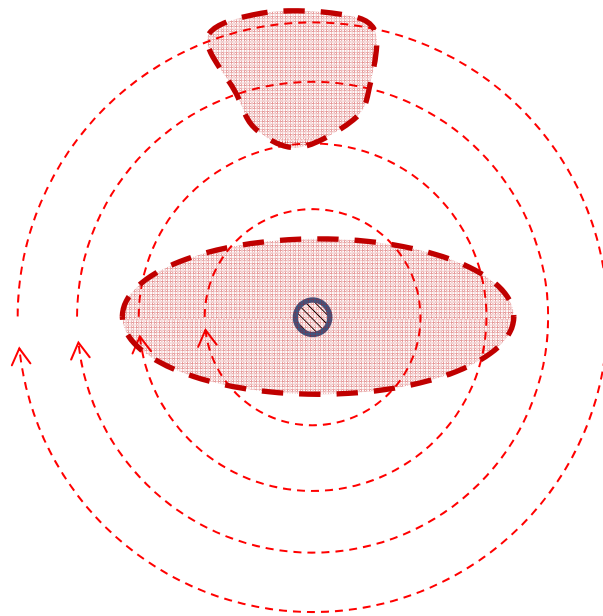
$$\nabla \cdot \mathcal{B} = 0$$



$$\int_V \nabla \cdot \mathcal{B} \, dv = 0$$



$$\oint_S \mathcal{B} \cdot d\mathbf{a} = 0$$



Moraleja del Día

- Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss

Existencia de cargas eléctricas

- Ley de Gauss magnética

Ausencia de cargas magnéticas

- Ley de Faraday

Un campo magnético variable induce un campo eléctrico