

ESTRUCTURA DE MATERIA 1  
PRIMER CUATRIMESTRE DE 2025

PRÁCTICA 0  
TENSORES

---

**Problema 1.** DELTA DE KRONECKER Y DENSIDAD TENSORIAL DE LEVI-CIVITA

La delta de Kronecker es un tensor isótropo de segundo orden cuyas componentes están dadas por

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = j \\ 0 & \text{si } i \neq j \end{cases}$$

con  $1 \leq i, j \leq 3$ . La densidad tensorial de Levi-Civita es un pseudotensor de tercer orden con componentes

$$\varepsilon_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si } \{i, j, k\} \text{ son una permutación par de la terna } \{1, 2, 3\} \\ -1 & \text{si } \{i, j, k\} \text{ son una permutación impar de la terna } \{1, 2, 3\} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

(I) Verifique, en el caso de versores cartesianos, que ambas densidades tensoriales son isótropas; es decir, que sus componentes son las mismas en cualquier sistema de coordenadas.

(II) Visualice gráficamente la densidad tensorial  $\varepsilon_{ijk}$ . ¿Cuántos elementos tiene?

(III) Compruebe la identidad:

$$\varepsilon_{ijk}\varepsilon_{pqr} = \begin{vmatrix} \delta_{ip} & \delta_{iq} & \delta_{ir} \\ \delta_{jp} & \delta_{jq} & \delta_{jr} \\ \delta_{kp} & \delta_{kq} & \delta_{kr} \end{vmatrix}$$

(IV) Verifique las siguientes identidades:

(I)  $\varepsilon_{ijk}\varepsilon_{irs} = \delta_{jr}\delta_{ks} - \delta_{js}\delta_{kr}$

(II)  $\varepsilon_{ijk}\varepsilon_{pqk} = \delta_{ip}\delta_{jq} - \delta_{iq}\delta_{jp}$

(III)  $\varepsilon_{ijk}\varepsilon_{ijk} = 6$

(IV)  $\delta_{mn}\delta_{mn} = 3$

(V) Verifique que:

(I)  $(\mathbf{A} \times \mathbf{B})_i = \varepsilon_{ijk}A_jB_k$

(II)  $(\nabla \times \mathbf{C})_i = \varepsilon_{ijk}\frac{\partial C_k}{\partial x_j}$

**Problema 2.** DESCOMPOSICIÓN DE UN TENSOR DE SEGUNDO ORDEN

Demuestre que todo tensor de segundo orden  $\sigma_{ij}$  ( $1 \leq i, j \leq n$ ) se puede descomponer como

$$\sigma_{ij} = \lambda\delta_{ij} + s_{ij} + a_{ij}$$

donde  $\lambda$  es un escalar,  $s_{ij}$  es un tensor simétrico de traza nula, y  $a_{ij}$  es un tensor antisimétrico.

**Problema 3.** IDENTIDADES VECTORIALES EMPLEANDO NOTACIÓN INDICIAL

Sean  $\mathbf{u}$ ,  $\mathbf{v}$ ,  $\mathbf{w}$  y  $\mathbf{s}$  cuatro vectores, y  $\psi$  y  $\phi$  dos funciones escalares. Utilizando notación indicial, verifique las siguientes identidades:

$$(I) \quad \mathbf{u} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{w}) = \mathbf{v} \cdot (\mathbf{w} \times \mathbf{u}) = \mathbf{w} \cdot (\mathbf{u} \times \mathbf{v})$$

$$(II) \quad \mathbf{u} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{w}) = \mathbf{v}(\mathbf{u} \cdot \mathbf{w}) - \mathbf{w}(\mathbf{u} \cdot \mathbf{v})$$

$$(III) \quad (\mathbf{u} \times \mathbf{v}) \cdot (\mathbf{w} \times \mathbf{s}) = (\mathbf{u} \cdot \mathbf{w})(\mathbf{v} \cdot \mathbf{s}) - (\mathbf{u} \cdot \mathbf{s})(\mathbf{v} \cdot \mathbf{w})$$

$$(IV) \quad \nabla \cdot \mathbf{r} = 3, \text{ donde } \mathbf{r} = (x, y, z)$$

$$(V) \quad \nabla \times \mathbf{r} = 0$$

$$(VI) \quad \nabla r = \frac{\mathbf{r}}{r}, \text{ donde } r = |\mathbf{r}|$$

$$(VII) \quad \nabla \left( \frac{1}{r} \right) = -\frac{\mathbf{r}}{r^3}$$

$$(VIII) \quad \nabla \times \nabla \phi = 0$$

$$(IX) \quad \nabla \cdot (\nabla \times \mathbf{u}) = 0$$

$$(X) \quad \nabla^2 \psi = \nabla \cdot (\nabla \psi)$$

$$(XI) \quad \nabla^2(\phi\psi) = \phi\nabla^2\psi + \psi\nabla^2\phi + 2\nabla\phi \cdot \nabla\psi$$

$$(XII) \quad \nabla(\phi\psi) = \phi\nabla\psi + \psi\nabla\phi$$

$$(XIII) \quad \nabla \cdot (\mathbf{u} \times \mathbf{v}) = \mathbf{v} \cdot (\nabla \times \mathbf{u}) - \mathbf{u} \cdot (\nabla \times \mathbf{v})$$

$$(XIV) \quad \nabla \cdot (\phi\mathbf{u}) = \phi\nabla \cdot \mathbf{u} + \mathbf{u} \cdot \nabla\phi$$

$$(XV) \quad \nabla \times (\phi\mathbf{u}) = \phi\nabla \times \mathbf{u} + \nabla\phi \times \mathbf{u}$$

$$(XVI) \quad \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{v}) = \mathbf{u}(\nabla \cdot \mathbf{v}) - \mathbf{v}(\nabla \cdot \mathbf{u}) + \mathbf{v} \cdot \nabla\mathbf{u} - \mathbf{u} \cdot \nabla\mathbf{v}$$

$$(XVII) \quad \nabla(\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}) = \mathbf{u} \cdot \nabla\mathbf{v} + \mathbf{v} \cdot \nabla\mathbf{u} + \mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{v}) + \mathbf{v} \times (\nabla \times \mathbf{u})$$

$$(XVIII) \quad \nabla^2\mathbf{u} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{u}) - \nabla \times \nabla \times \mathbf{u}$$

$$(XIX) \quad \mathbf{u} \cdot \nabla\mathbf{u} = \frac{1}{2}\nabla(\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}) - \mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{u})$$