



## Mecánica de Sólidos

### 4.9. Interpretación de los gráficos de colores de esfuerzos y deformaciones

---

Universidad Nacional de Colombia sede Manizales  
Departamento de Ingeniería Civil

Michael Heredia Pérez  
[mherediap@unal.edu.co](mailto:mherediap@unal.edu.co)

Docente Ocasional  
Ingeniero Civil  
Esp. en Estructuras  
Maestrando en Estructuras – Investigación

# Advertencia

Estas presentaciones son solo una herramienta didáctica para guiar la clase, el estudiante no debe tomarlas como material de estudio y debe dirigirse a la literatura recomendada.



## 4.9. Interpretación de los gráficos de colores de esfuerzos y deformaciones

4.9.1. Interpretación de los gráficos  $s_x$ ,  $s_y$  y  $t_{xy}$

4.9.2. Interpretación de los gráficos de las deformaciones  $e_x$ ,  $e_y$ ,  $e_z$ ,  $g_{xy}$

4.9.3. Interpretación de los gráficos de los esfuerzos principales y esfuerzo cortante máximo

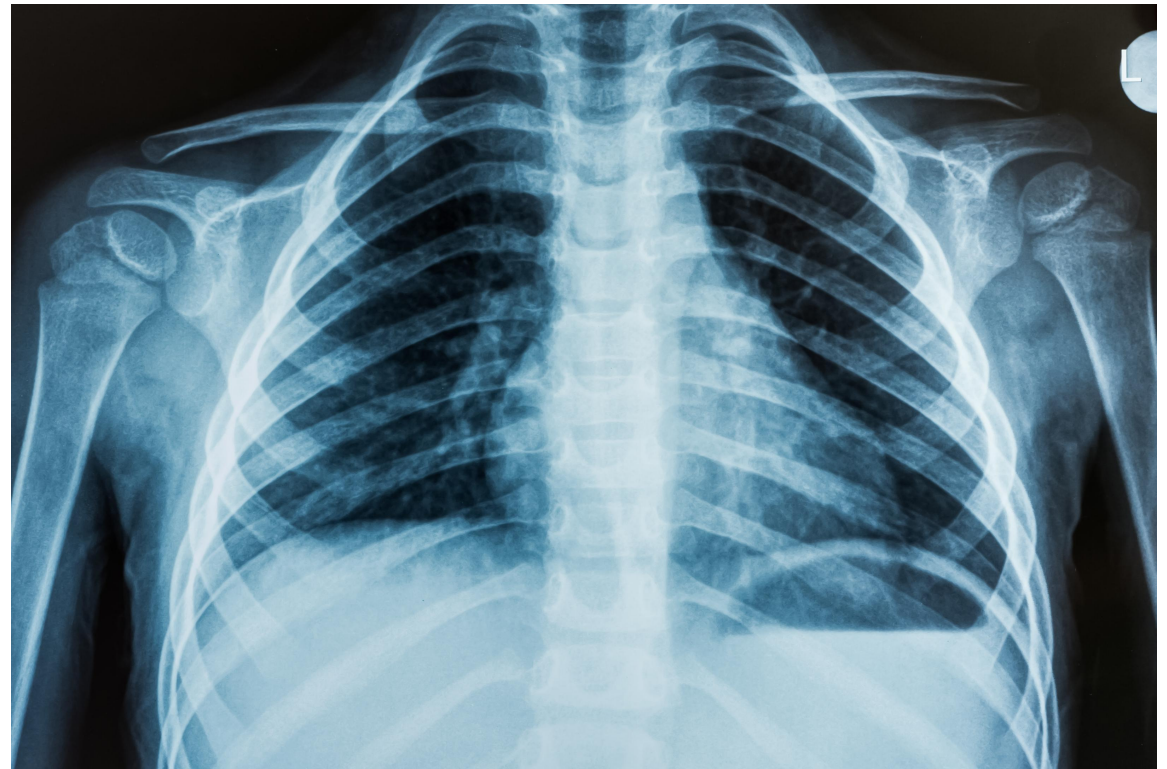
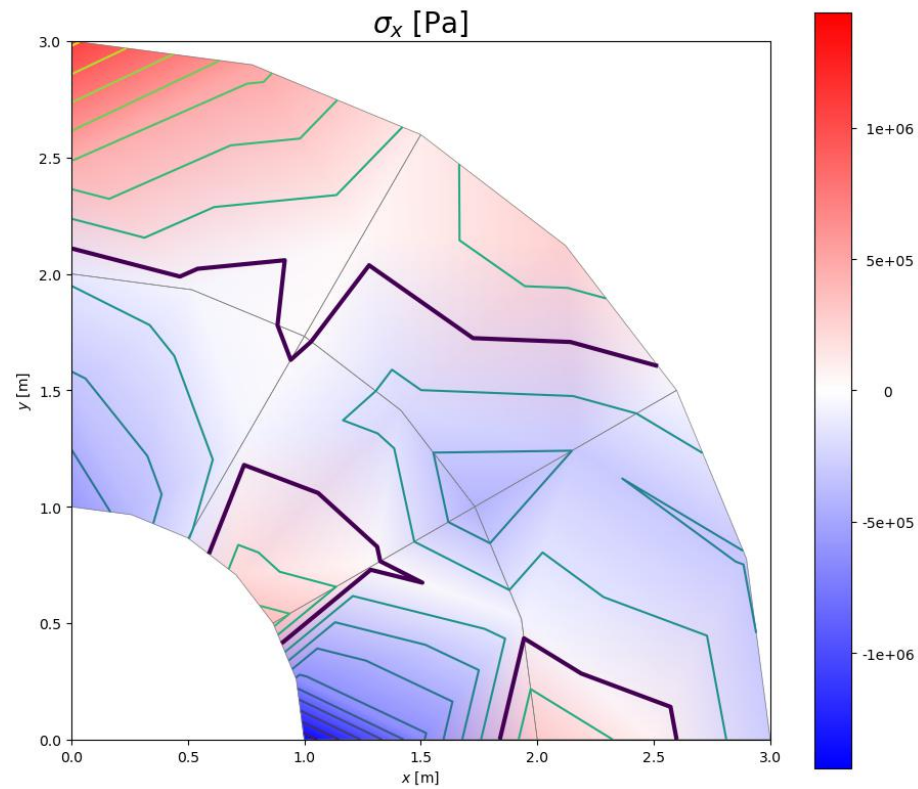
4.9.4. Relación de los diagramas de colores de una viga con sus diagramas de cortante y momento

4.9.5. Disposición de los flejes si la viga estuviera hecha con concreto reforzado

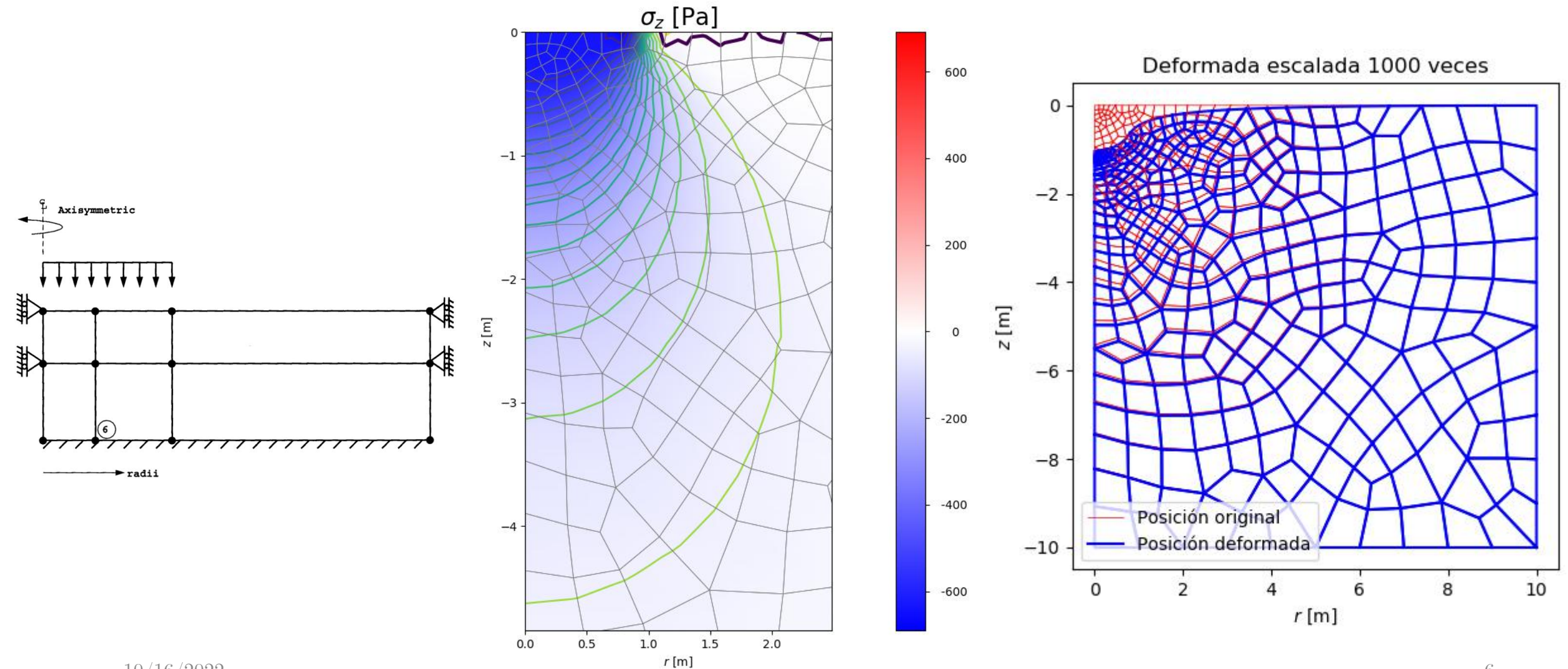
# Conceptos base

- Condiciones de frontera
- Eje, fibra y plano principal
- Preprocesado y posprocesado
- Contextualización de la interpretación de gráficos en el diseño estructural

# Los gráficos son radiografías de las estructuras

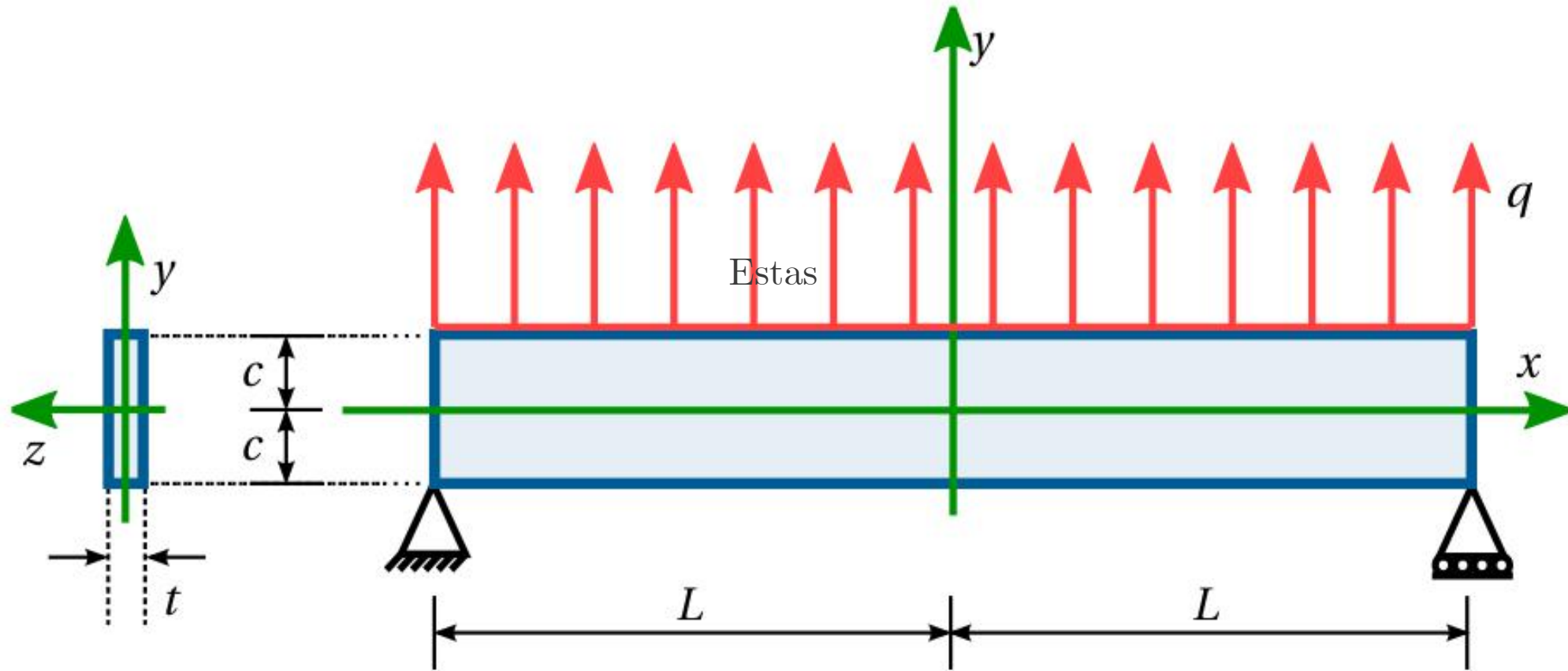


# ¿Cómo relaciono esfuerzos y deformaciones?





## 4.9. Interpretación de los gráficos de esfuerzos y deformaciones



**Figura 4.18:** *Viga referida en el ejemplo de la Sección 4.9.*

## 4.9. Interpretación de los gráficos de esfuerzos y deformaciones

- Condiciones de frontera:

$$\begin{array}{ll} \tau_{xy}(x, y = \pm c, z) = 0 & (\tau_{xy} = 0 \text{ en el borde superior e inferior de la viga}) \\ \sigma_y(x, y = -c, z) = 0 & (\text{el borde inferior no soporta cargas}) \\ \sigma_y(x, y = +c, z) = \frac{q}{t} & (\text{el borde superior soporta la carga distribuida}) \end{array}$$

- Fuerza cortante V y momento flector M en los extremos:

$$\begin{aligned} V(\pm L) &= - \int_{-c}^c \int_0^t \tau_{xy}(\pm L, y, z) \, dz \, dy = \pm qL \\ M(\pm L) &= - \int_{-c}^c \int_0^t \sigma_x(\pm L, y, z) y \, dz \, dy = 0; \end{aligned}$$

- Fuerza axial en toda su longitud:

$$f_{\text{axial}}(x) = \int_{-c}^c \int_0^t \sigma_x(x, y, z) \, dz \, dy = 0$$



## 4.9. Interpretación de los gráficos de esfuerzos y deformaciones

- Esfuerzos en el interior de la viga:

$$\sigma_x(x, y, z) = -\frac{q}{2I} \left( x^2 y - \frac{2}{3} y^3 + \frac{2}{5} c^2 y - L^2 y \right)$$

$$\sigma_y(x, y, z) = -\frac{q}{2I} \left( \frac{1}{3} y^3 - c^2 y - \frac{2}{3} c^3 \right)$$

$$\sigma_z(x, y, z) = 0$$

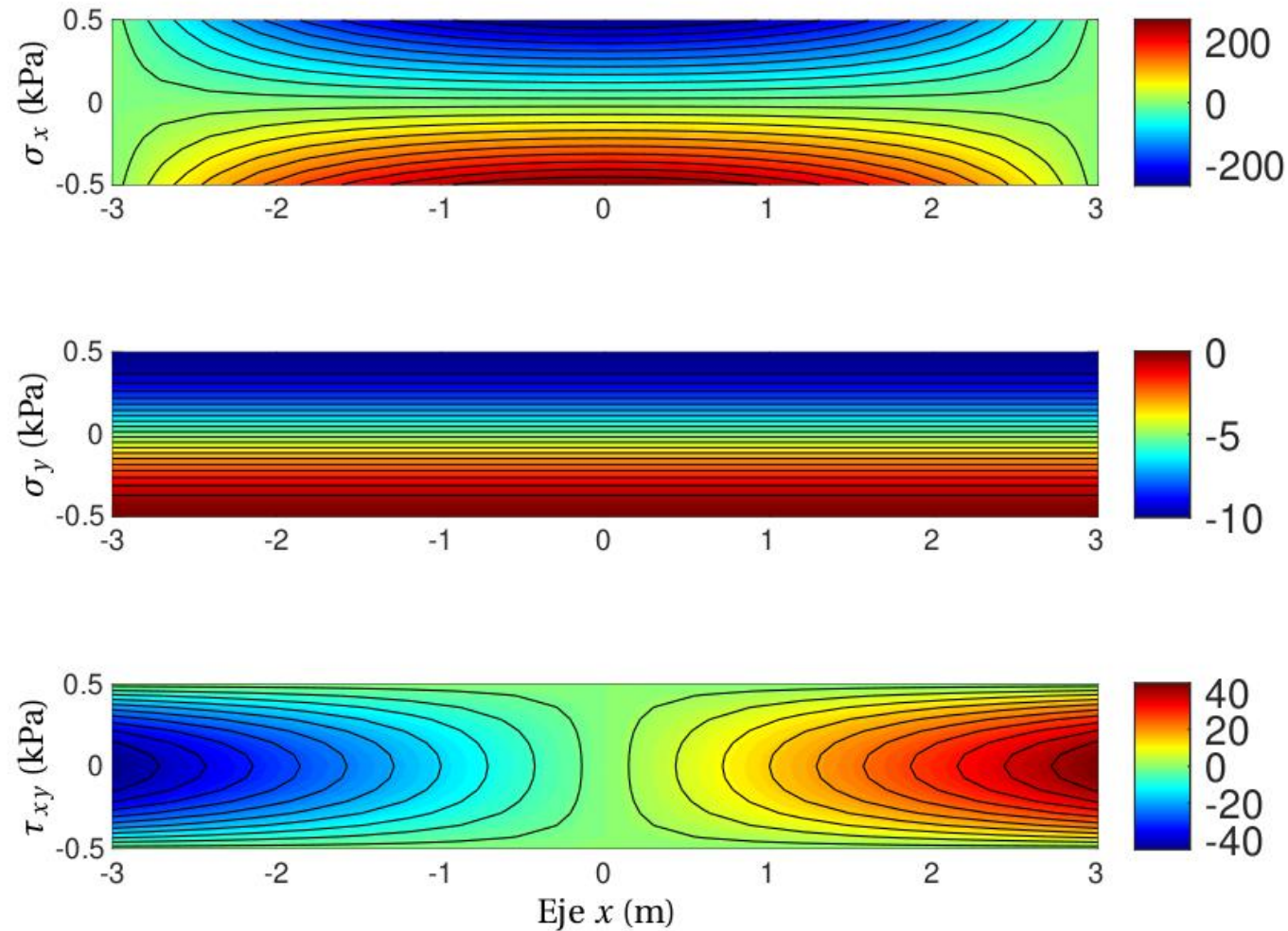
$$\tau_{xy}(x, y, z) = -\frac{q}{2I} (c^2 - y^2) x$$

$$\tau_{xz}(x, y, z) = 0$$

$$\tau_{yz}(x, y, z) = 0.$$

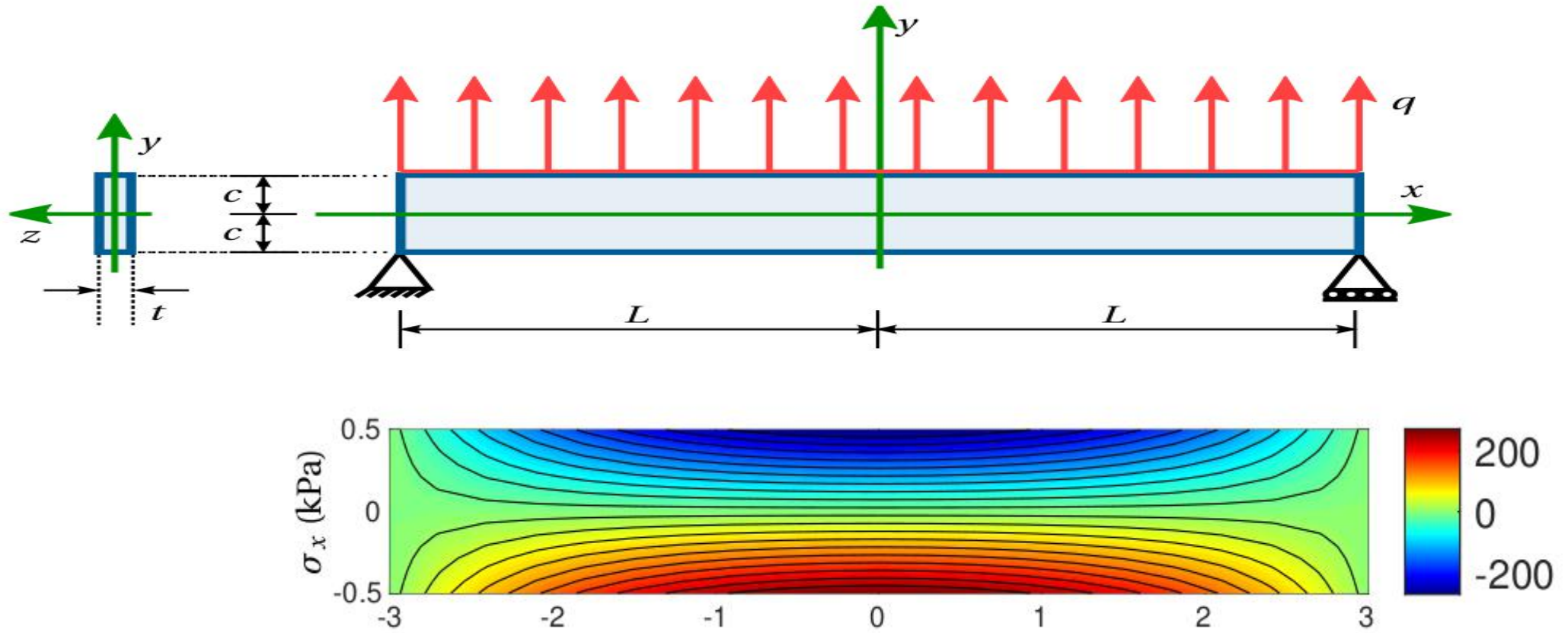
Los esfuerzos son independientes de la profundidad en  $z$ .

## 4.9.1. Interpretación de los gráficos de esfuerzos $\sigma_x$ , $\sigma_y$ , $\tau_{xy}$

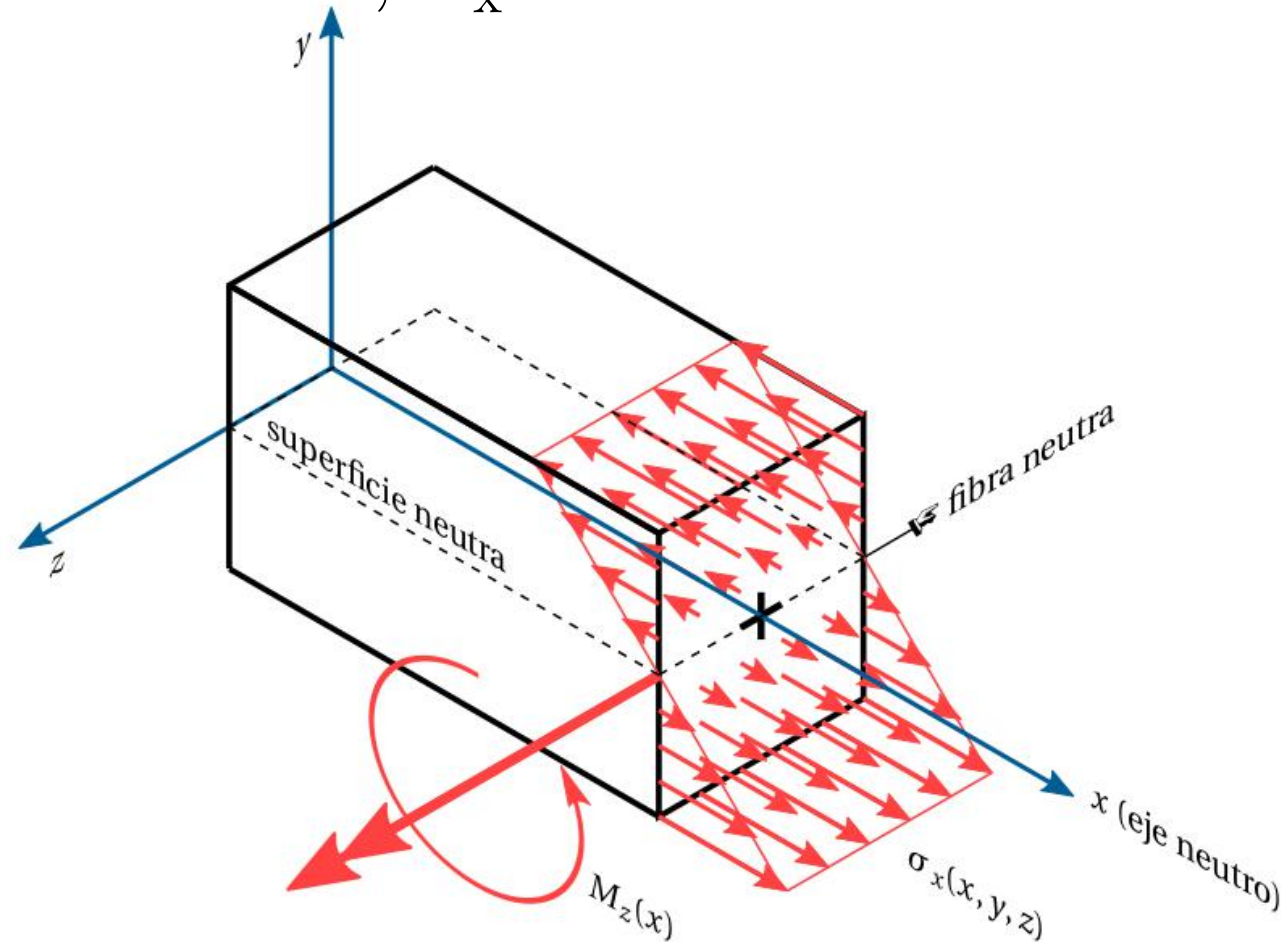


**Figura 4.19:** Esfuerzos  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  y  $\tau_{xy}$  de la viga analizada en la Sección 4.9.

# Esfuerzo normal en $x$ , $\sigma_x$

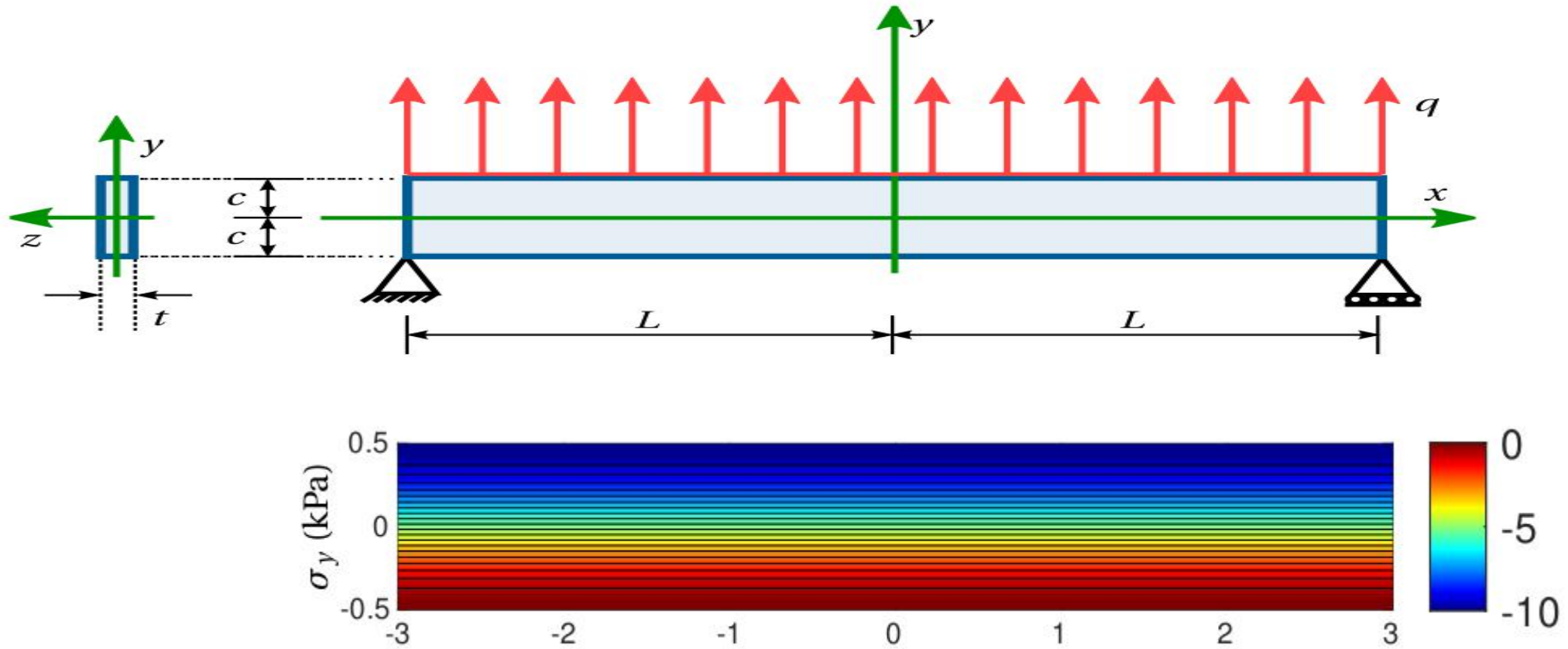


# Esfuerzo normal en $x$ , $\sigma_x$

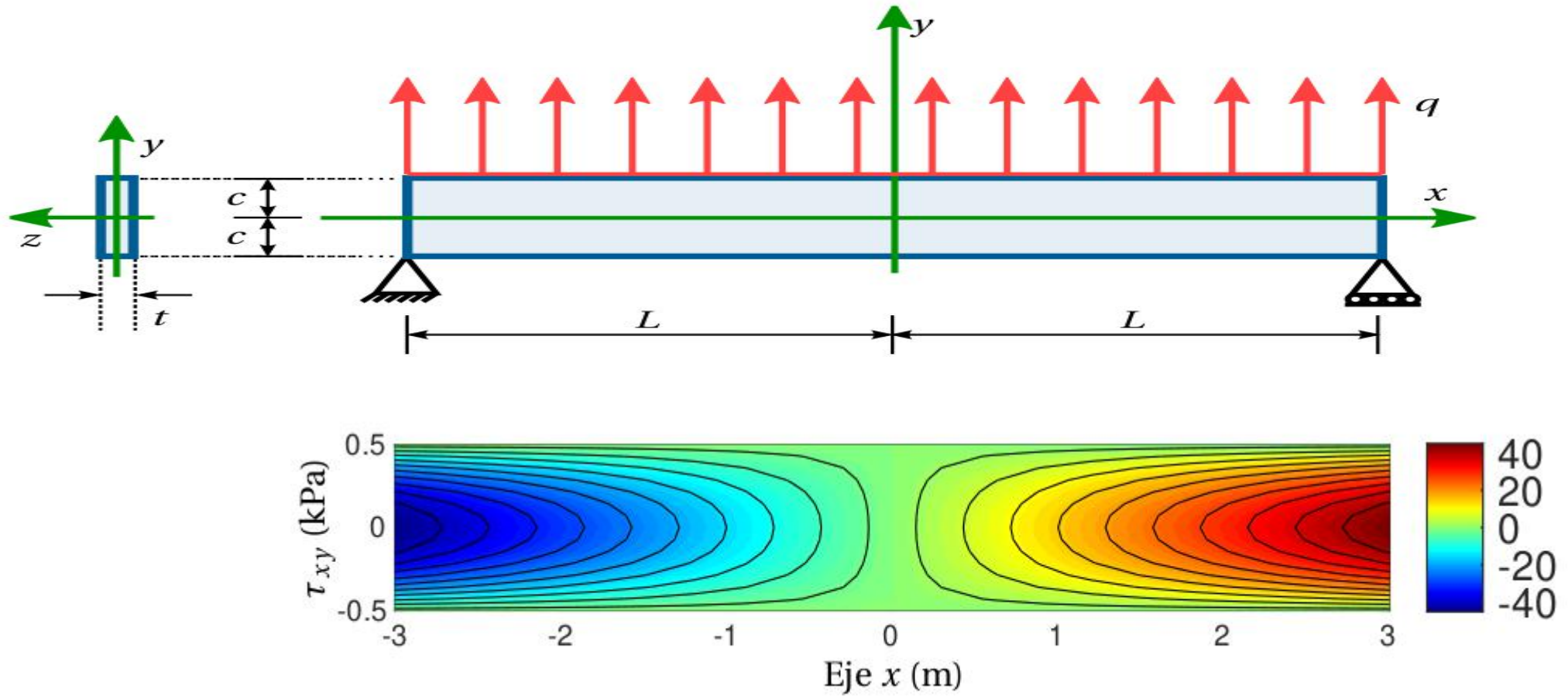


**Figura 9.7:** Un momento de flexión positivo es aquel que produce tracción en la fibra inferior de la viga. Este momento es generado por los esfuerzos  $\sigma_x$  que varían de forma lineal con respecto al eje  $y$ . Observe que  $M_z(x) = M(x)$  puede entenderse como la magnitud de un momento formado por los esfuerzos  $\sigma_x$  alrededor del eje  $z$  de acuerdo con la regla de la mano derecha en la sección transversal ubicada en la posición  $x$ .

Esfuerzo normal en  $y$ ,  $\sigma_y$

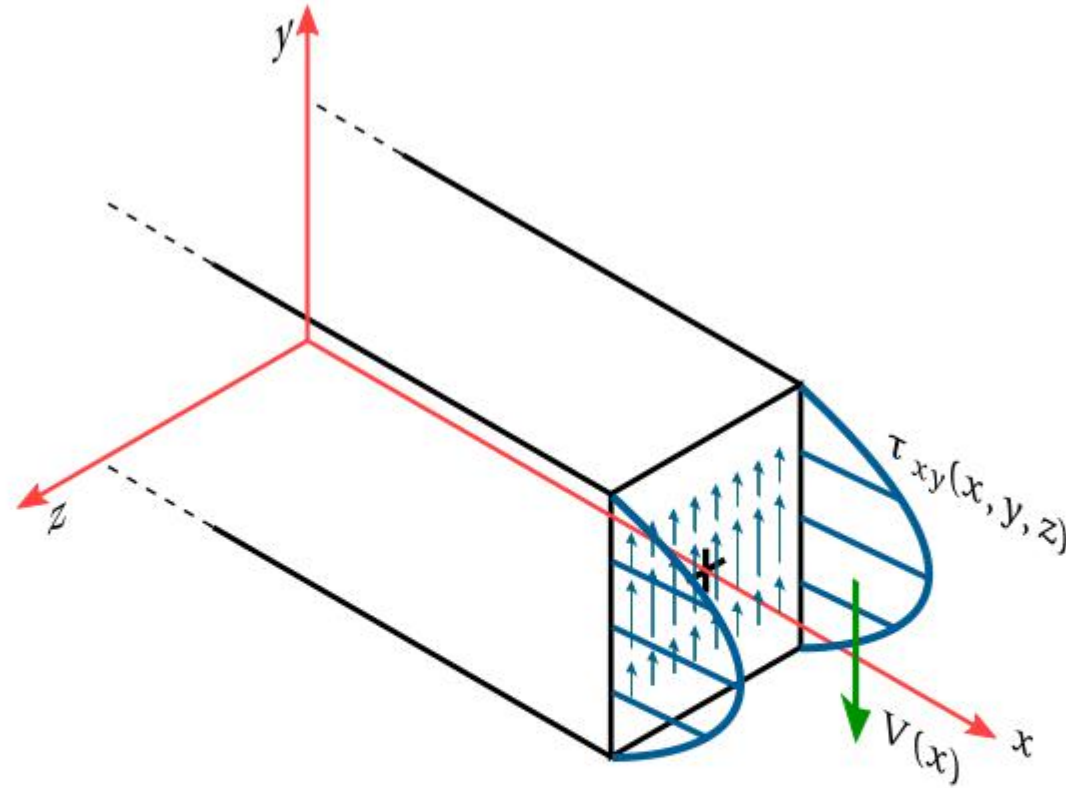


# Esfuerzo cortante en $xy$ , $\tau_{xy}$





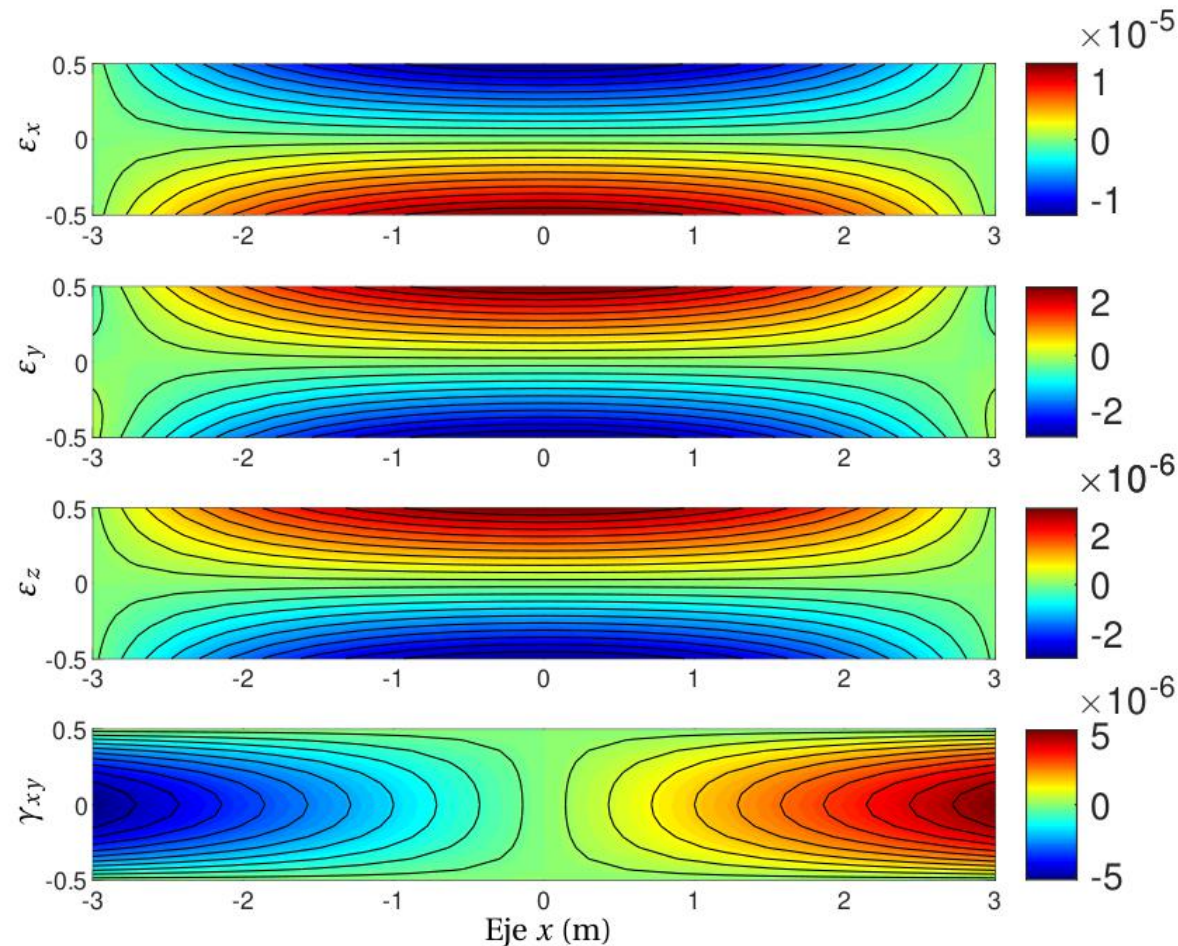
# Esfuerzo cortante en $xy$ , $\tau_{xy}$



**Figura 9.10:** La fuerza cortante es la resultante de sumar las contribuciones de fuerzas generadas por los esfuerzos cortantes  $\tau_{xy}$  mostrados (ver ecuación (9.15)); estos esfuerzos, en el caso de una viga de sección rectangular, varían de forma parabólica con respecto al eje  $y$ . La fuerza cortante es positiva cuando la resultante de los esfuerzos cortantes  $\tau_{xy}$  mostrados apunta en la dirección contraria al eje  $y$ , de acuerdo con la convención de signos establecida en la Figura 9.8.

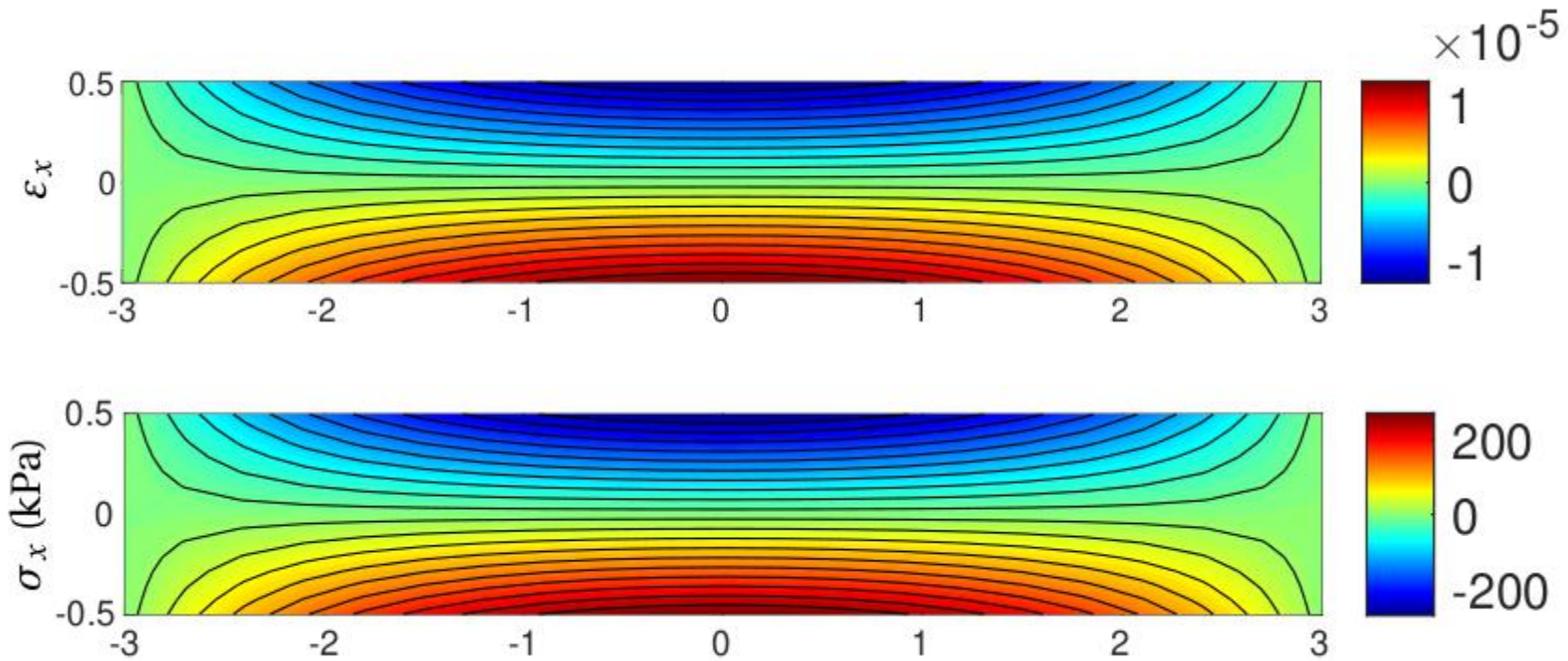
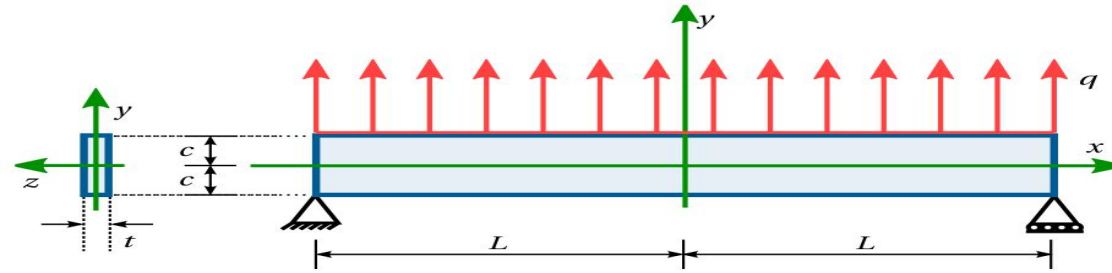
## 4.9.2. Interpretación de los gráficos de las deformaciones

$\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$ ,  $\epsilon_z$ ,  $\gamma_{xy}$



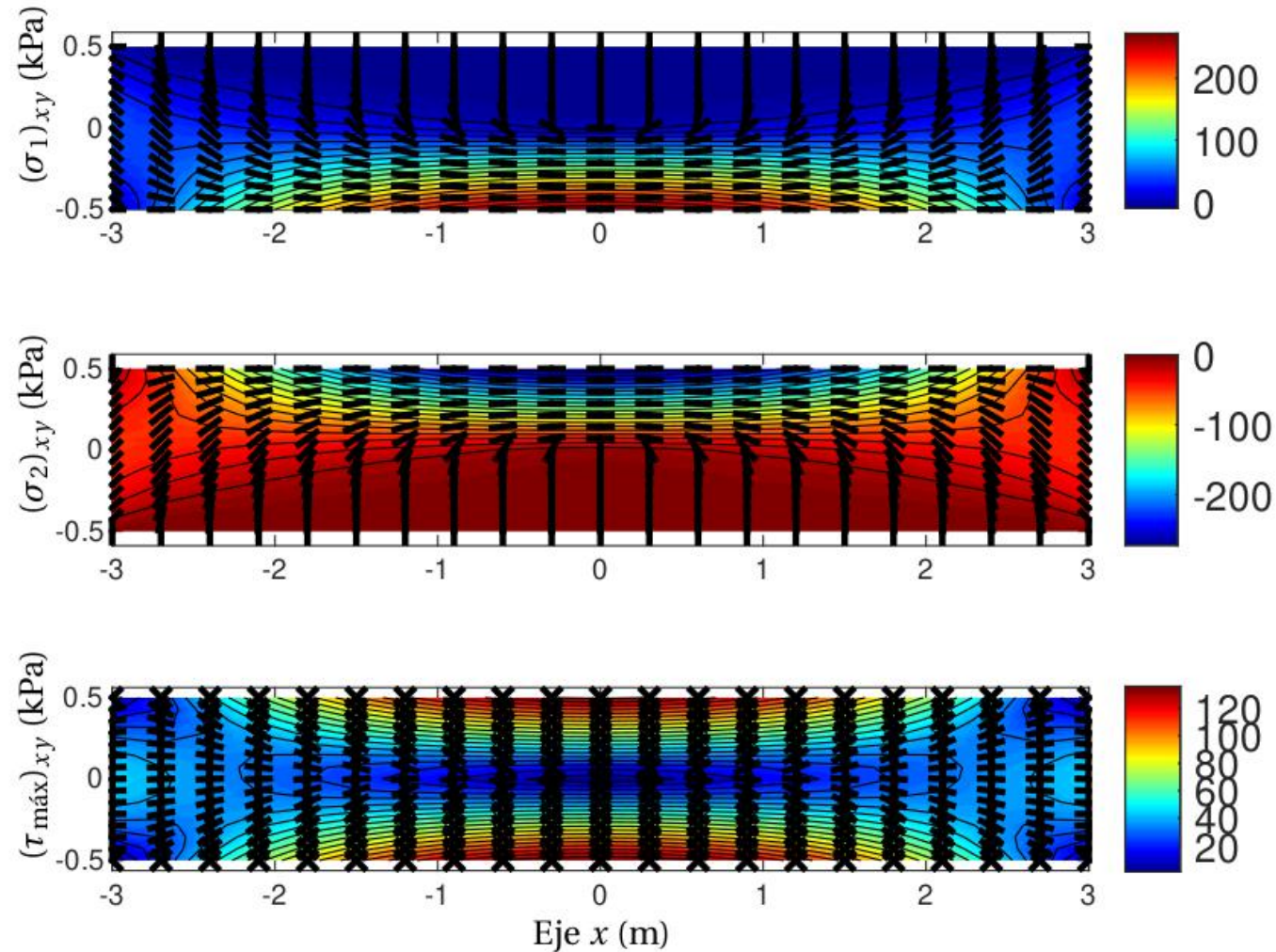
**Figura 4.20:** Deformaciones longitudinales  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$ ,  $\epsilon_z$  y deformación angular  $\gamma_{xy}$  en la viga analizada en la Sección 4.9.

# Deformación longitudinal en $x$ , $\epsilon_x$





### 4.9.3. Interpretación de los gráficos de los esfuerzos principales y esfuerzo cortante máximo

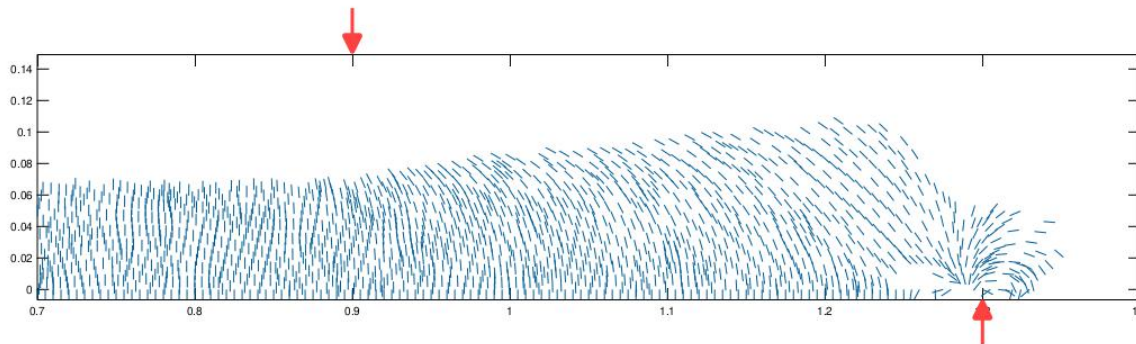


**Figura 4.21:** Esfuerzos principales en la viga analizada en la Sección 4.9.

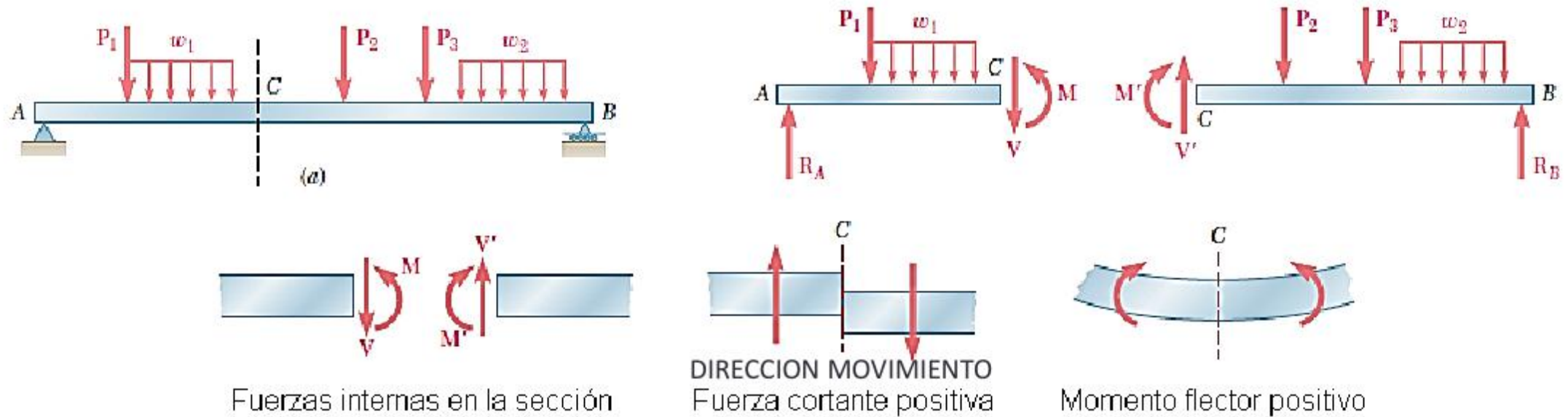
### 4.9.3. Interpretación de los gráficos de los esfuerzos principales y esfuerzo cortante máximo



**Figura 4.24:** Grietas en una viga de concreto reforzado de 140 cm de longitud, 15 cm de altura y 10 cm de ancho. La viga aquí mostrada es una doblemente reforzada (acero longitudinal superior e inferior); adicionalmente, tiene flejes en los tercios extremos, es decir, el tercio central de la luz no tiene flejes. Los apoyos están separados 120 cm y las cargas puntuales, las cuales son de igual magnitud, se aplicaron a 40 cm de los apoyos. La foto superior muestra el patrón de agrietamiento de dicha viga; la foto intermedia es un acercamiento de la mitad derecha; la figura inferior muestra el ángulo de inclinación  $\theta_2$  para aquellas posiciones en las cuales el esfuerzo  $(\sigma_1)_{xy}$  es mayor que la resistencia a tracción del concreto  $f_t$ , es decir,  $(\sigma_1)_{xy} > f_t$ ; dicho patrón de agrietamiento se calculó mediante un programa de elementos finitos, asumiendo que el material de la viga tiene un comportamiento lineal elástico. Observe que el patrón de agrietamiento de la viga coincide, en gran medida, con aquel dado por las inclinaciones  $\theta_2$ . Estas fotografías fueron tomadas por el autor en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales; los ensayos fueron realizados por el profesor Juan Pablo Herrera Castaño y sus alumnos en el curso Diseño de Estructuras de Concreto I.



# Convención de signos en vigas

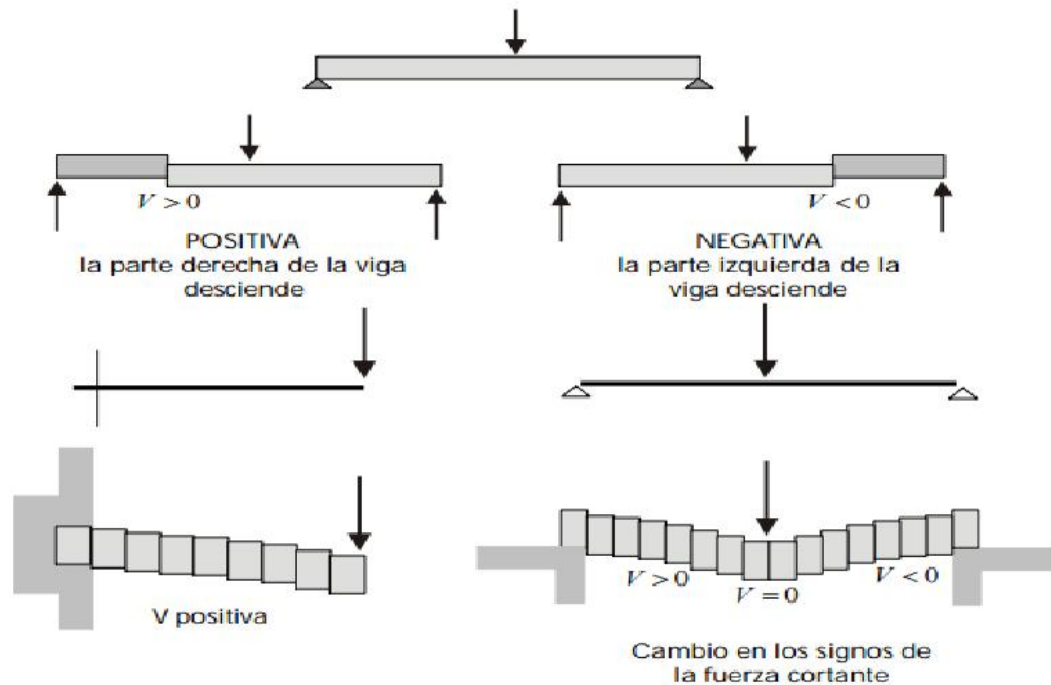


Curso de Estática; [Herrera, 2018]

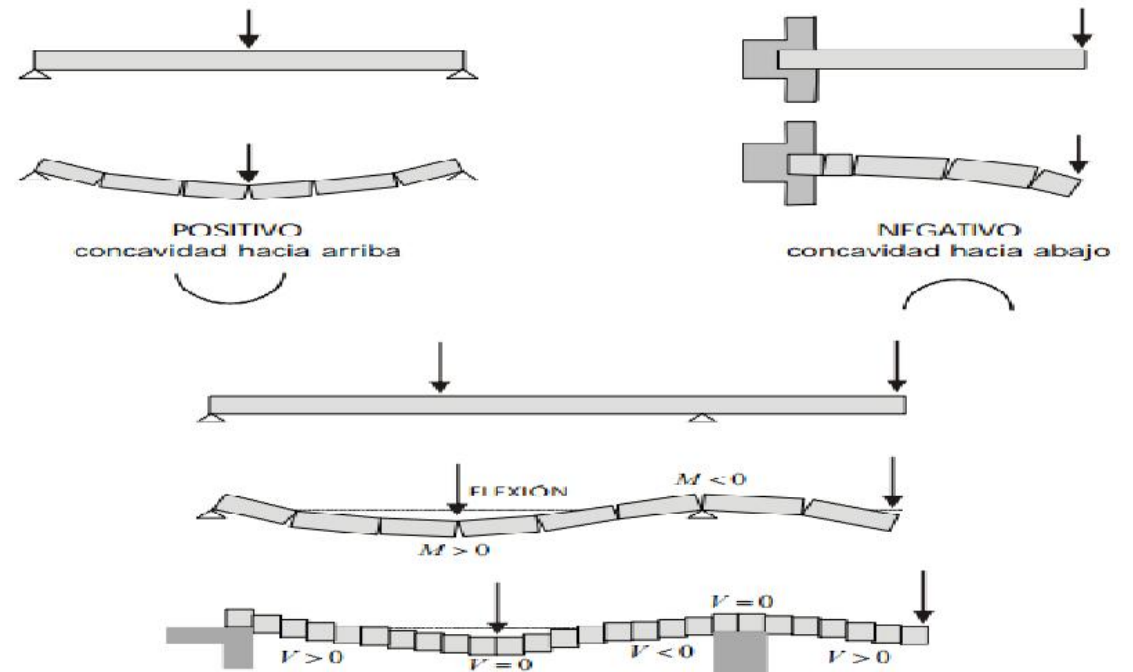


# Convención de signos en vigas

- Significado físico del signo de la fuerza cortante:



- Significado físico del signo del momento flector:



## 4.9.4. Relación de los diagramas de colores de una viga con sus diagramas de cortante y momento

- Fuerza cortante  $V(x)$

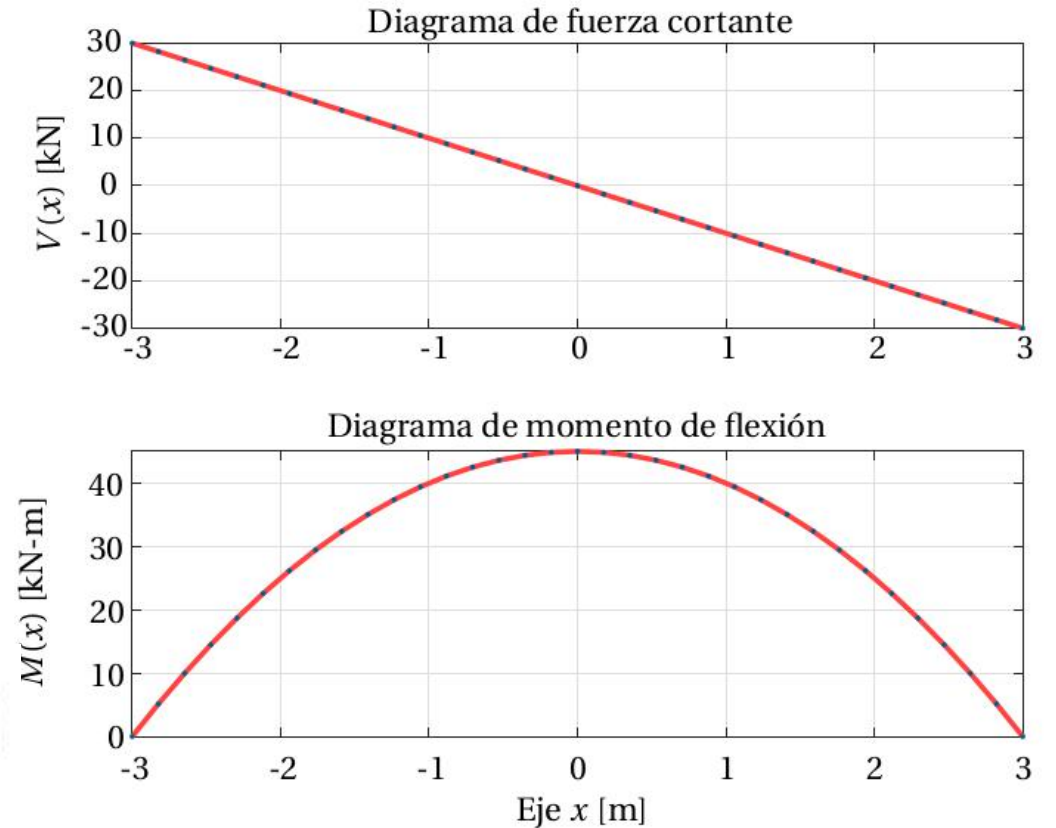
$$V(x) = - \int_{-c}^c \int_0^t \tau_{xy}(x, y, z) dz dy$$

$$\longrightarrow V(x) = qx$$

- Momento flector  $M(x)$

$$M(x) = - \int_{-c}^c \int_0^t y \sigma_x(x, y, z) dz dy$$

$$\longrightarrow M(x) = -\frac{q}{2}(L^2 - x^2)$$



**Figura 4.25:** Diagrama de fuerzas cortantes  $V$  y momentos de flexión  $M$  en la viga analizada en la Sección 4.9. Recuerde que la carga aplicada es  $q = -10$  kN/m.

#### 4.9.5. Disposición de los flejes si la viga estuviera hecha con concreto reforzado

# Referencias

- Álvarez Diego A. (2022) - *Notas de clase del curso mecánica de sólidos*. En preparación. (main.pdf)