



ESTRUCTURAS IB

UNIDAD 4:

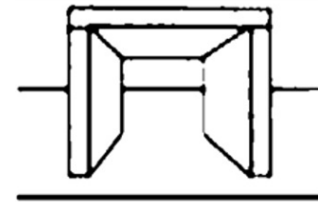
RESISTENCIA DE MATERIALES

VERIFICACION DE RIGIDEZ

Las diversas **MATERIALIDADES** y **TIPOS ESTRUCTURALES** forman **SISTEMAS ESTRUCTURALES**, los cuales dentro de “arquitectura” deben garantizar:

ESTABILIDAD

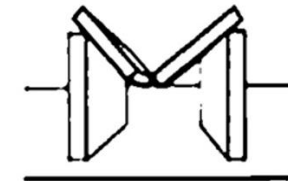
La **ESTABILIDAD** de una estructura es la que garantiza que la misma, entendida en su conjunto, cumple las condiciones de la estática, al ser solicitada por las acciones exteriores que pueden actuar sobre ella.



ESTABILIDAD

RESISTENCIA

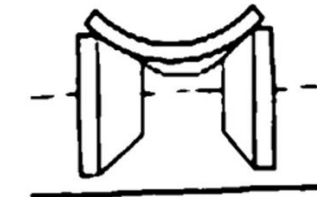
La **RESISTENCIA** es la que obliga a que no se superen las resistencias del material y a que no se produzca rotura en ninguna sección.



RESISTENCIA

DEFORMACION LIMITADA

La **DEFORMACION LIMITADA** significa que se mantenga dentro de ciertos límites la deformación que van a producir las cargas al actuar sobre la estructura.



DEFORMACIÓN LIMITADA

TODAS LAS ESTRUCTURAS SE DEFORMAN
¿Porque importa limitar la deformación?

¿Porque importa limitar la deformación?



¿Porque importa limitar la deformación?



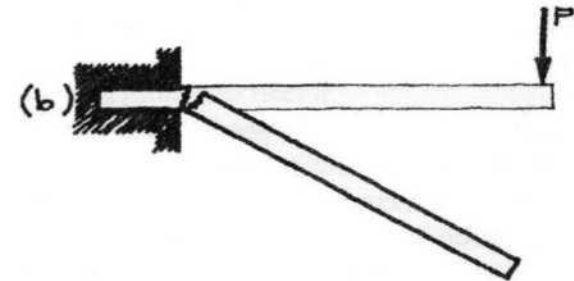
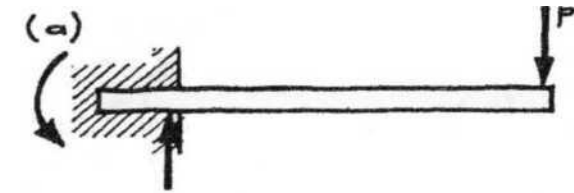
Una viga (elemento flexionado) no solo debe resistir sin romperse; también debe **LIMITAR SU DEFORMACIÓN** para garantizar el correcto funcionamiento del edificio

No debe confundirse **RESISTENCIA** con **RIGIDEZ**:

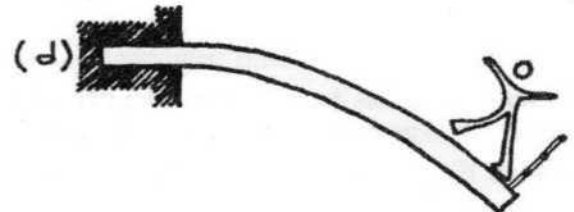
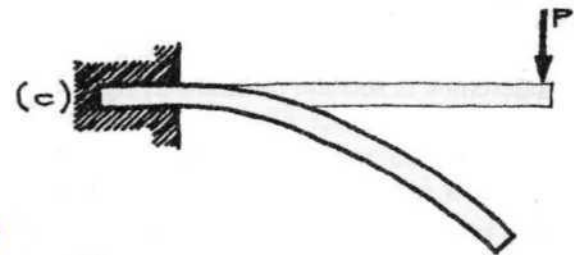
La **RESISTENCIA** está relacionada con la **rotura**, que lleva al colapso total o parcial de la estructura. Fig. a) y b).

La **RIGIDEZ** está relacionada con las **deformaciones** (recuperables o no) que produce la acción. Fig. c) y d).

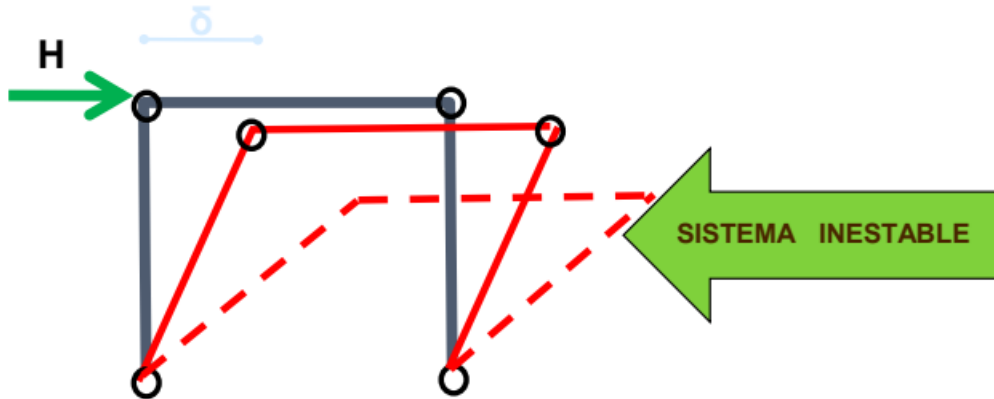
PROBLEMA DE RESISTENCIA



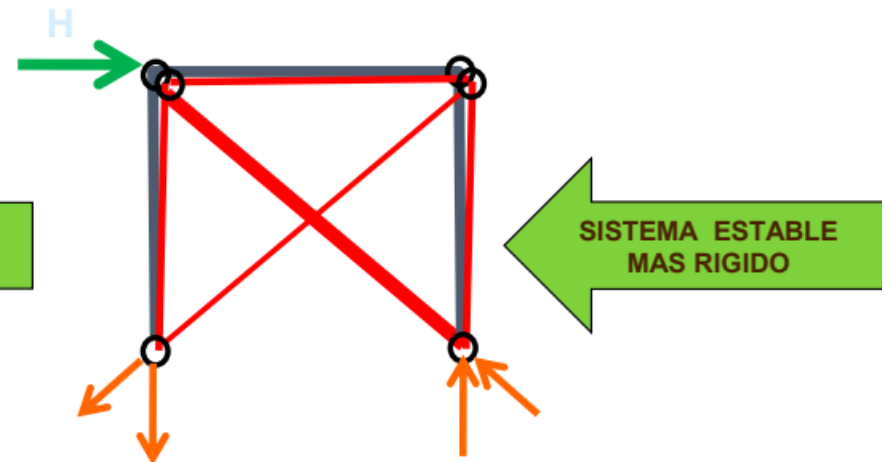
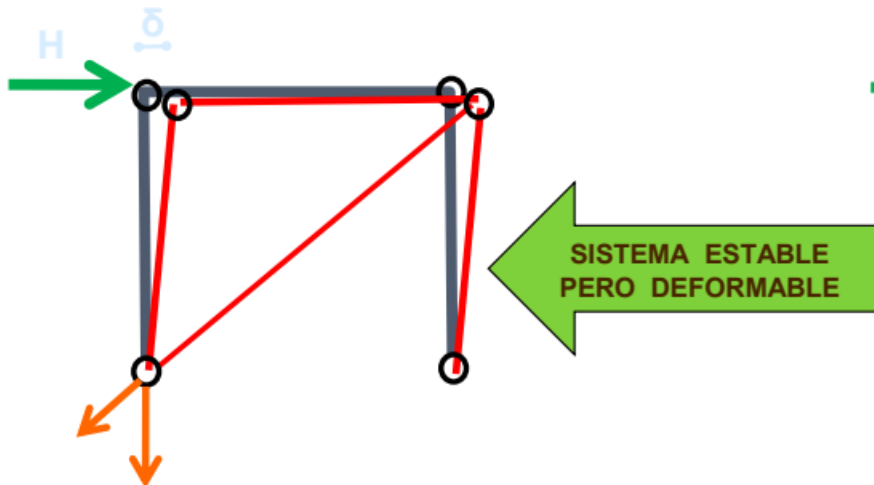
PROBLEMA DE RIGIDEZ



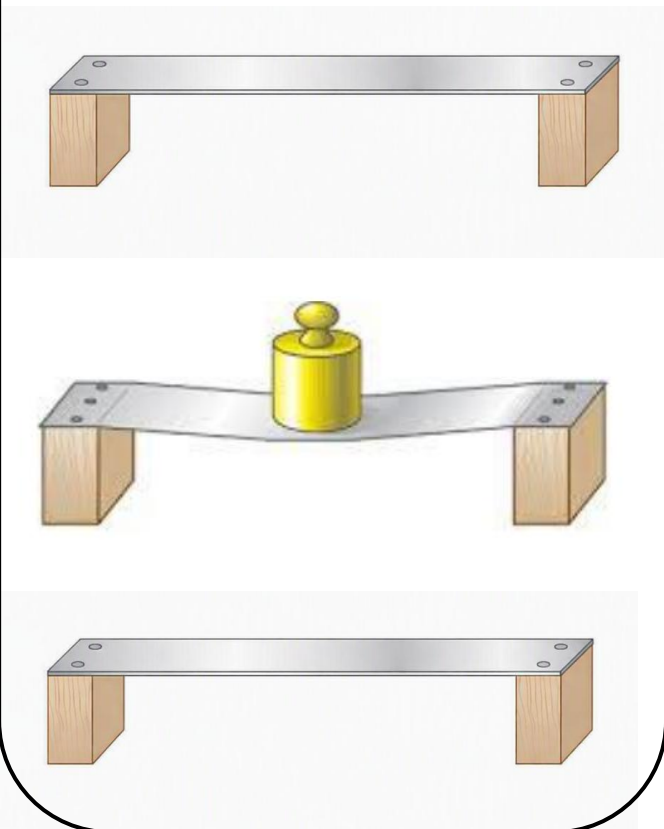
Tampoco debe confundirse falta de **RIGIDEZ** con falta de **ESTABILIDAD DEL EQUILIBRIO**



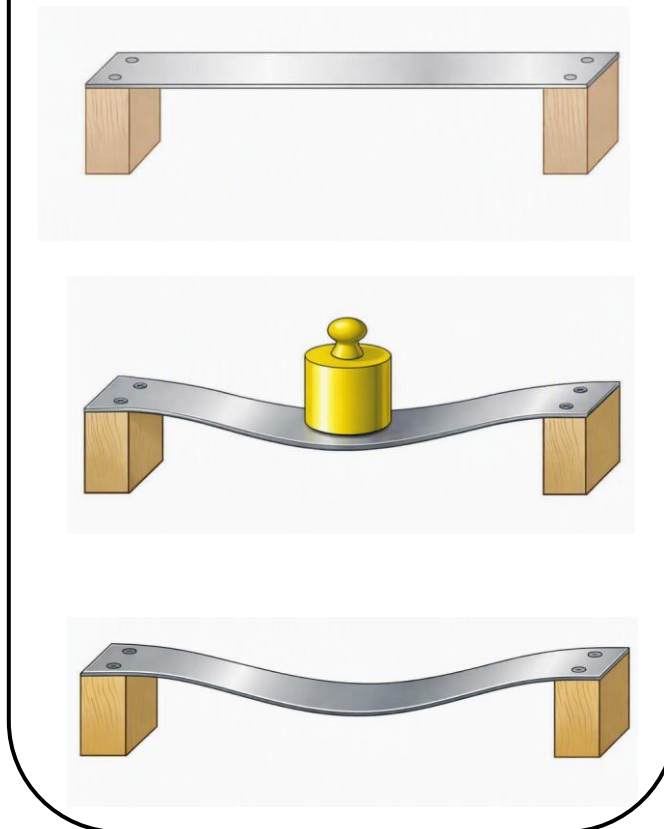
El desplazamiento δ es tan grande que no puede hablarse de deformación, sino de transformación de la estructura



Deformación Elástica



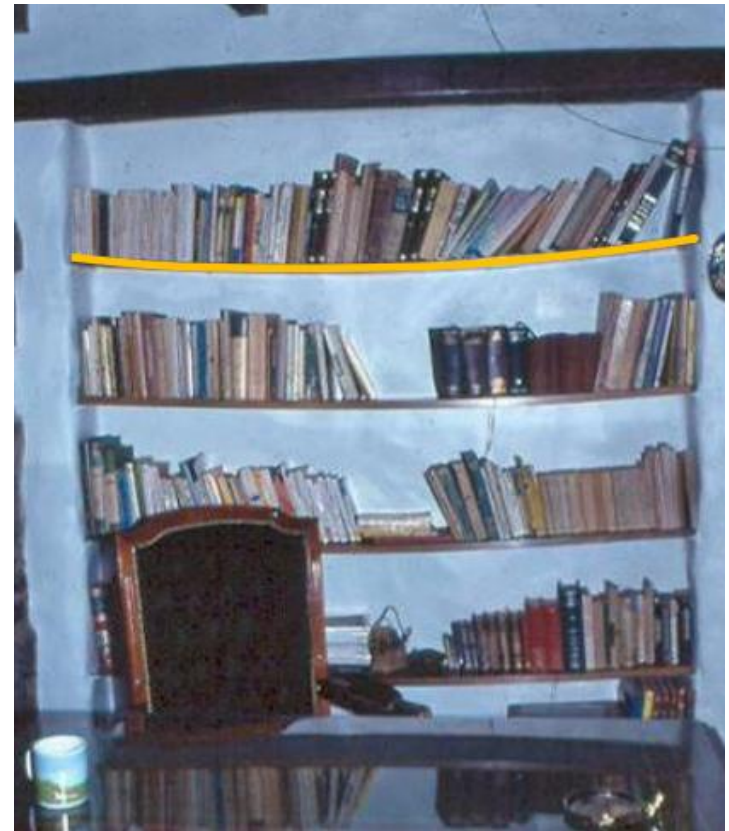
Deformación Plástica



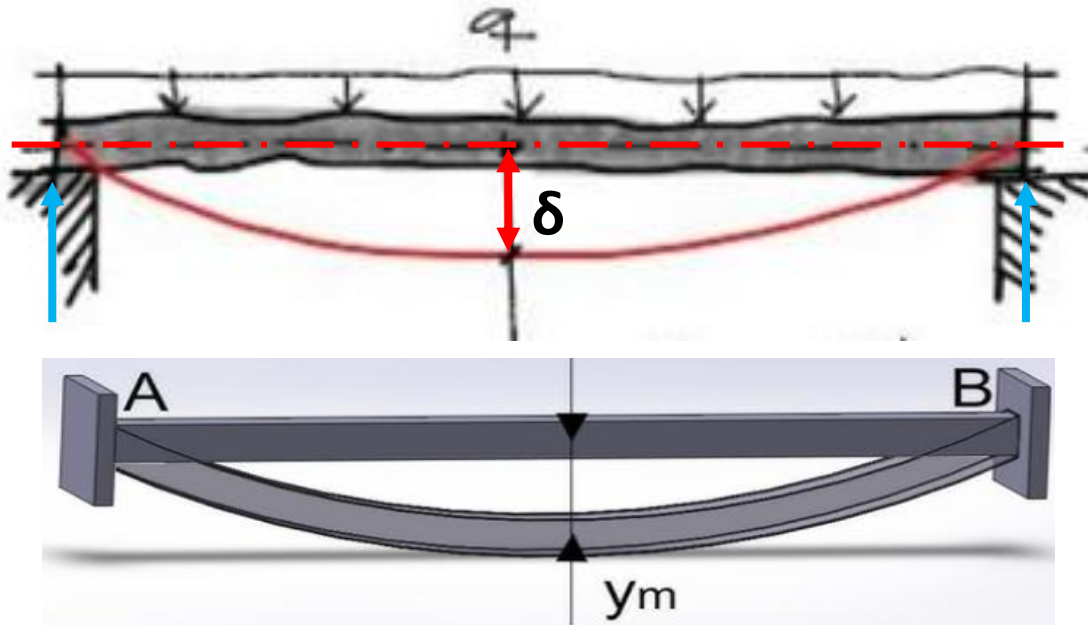
ROTURA



Deformación Plástica



Viga solicitada a Flexión:



δ : deformación o flecha para el presente esquema es un desplazamiento vertical de un punto de la viga respecto a su posición inicial.
Su unidad es en “cm”

¿Qué variables influyen en la deformación?

Factores que controlan la deformación:

- **CARGAS** (puntuales o distribuidas)
- **LUCES** (continuidad estructural)
- **EL MATERIAL** (Módulo de Elasticidad)
- **LA SECCIÓN** (Momento de Inercia)
- **VINCULOS** (tipos)

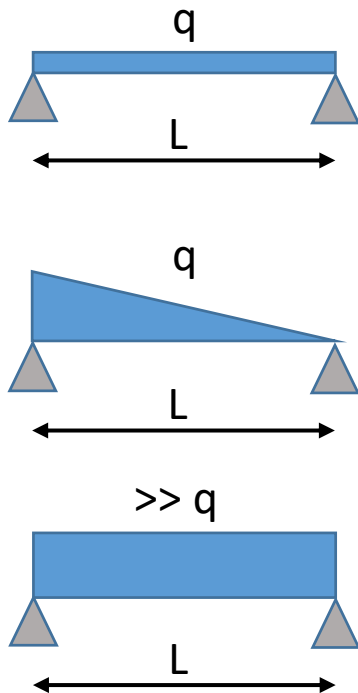
Límites de deformación, reglamento:

- **Material**
- **Destino** (uso)
- **Criterio** profesional de ajuste

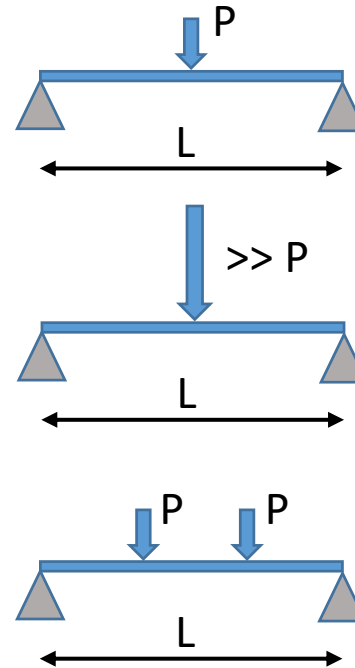
Flecha diseño < Flecha límite admisible

- CARGAS**

Cargas **distribuidas**: “**q**”

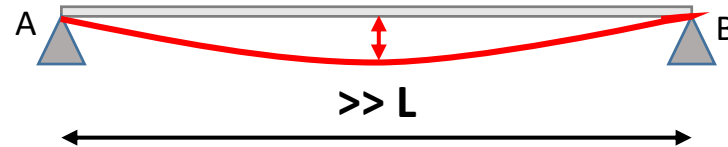
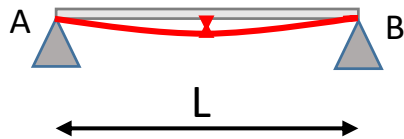


Cargas **puntuales**: “**P**”



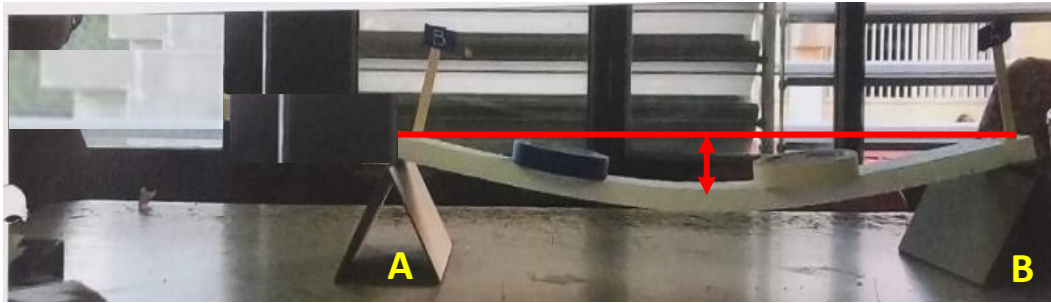
- ✓ A menor carga, MENOR DEFORMACIÓN
- ✓ A mayor carga, MAYOR DEFORMACIÓN

- LUCES

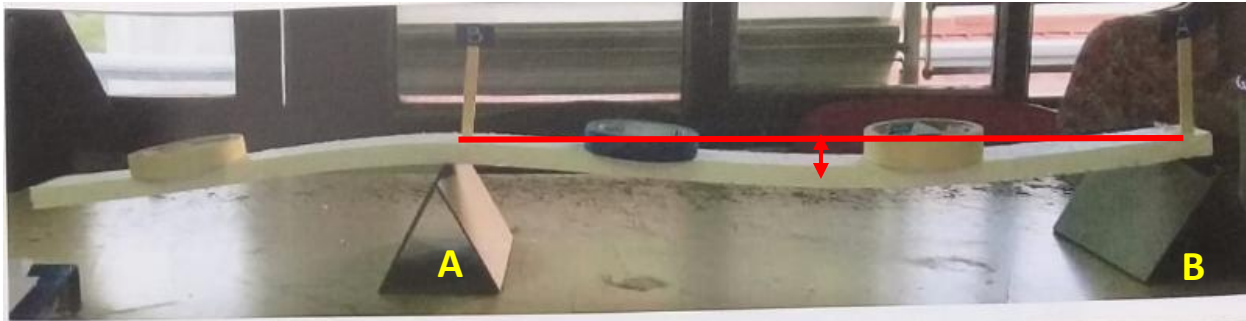


- ✓ A menor luz a cubrir, MENOR DEFORMACIÓN
- ✓ A mayor luz a cubrir, MAYOR DEFORMACIÓN

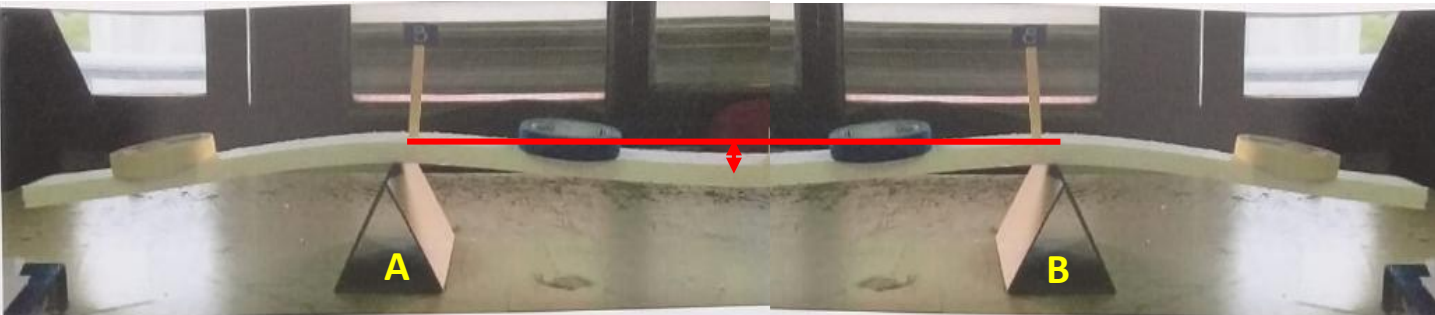
- **LUCES, la continuidad estructural: disminuye deformación del tramo A/B**



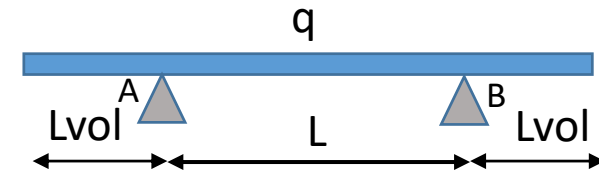
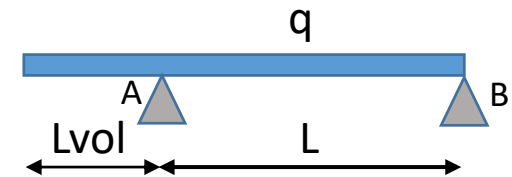
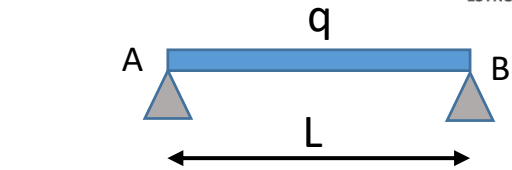
Viga de 1 tramo simplemente apoyada



Viga de 1 tramo simplemente apoyada con un voladizo



Viga de 1 tramo simplemente apoyada con dos voladizos



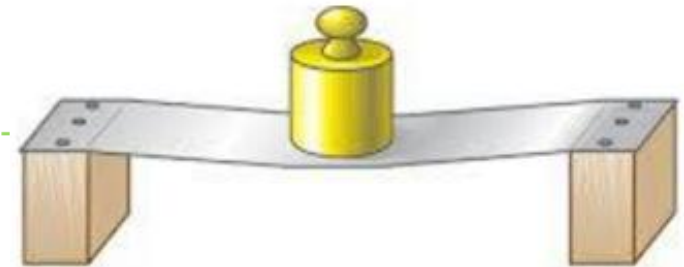
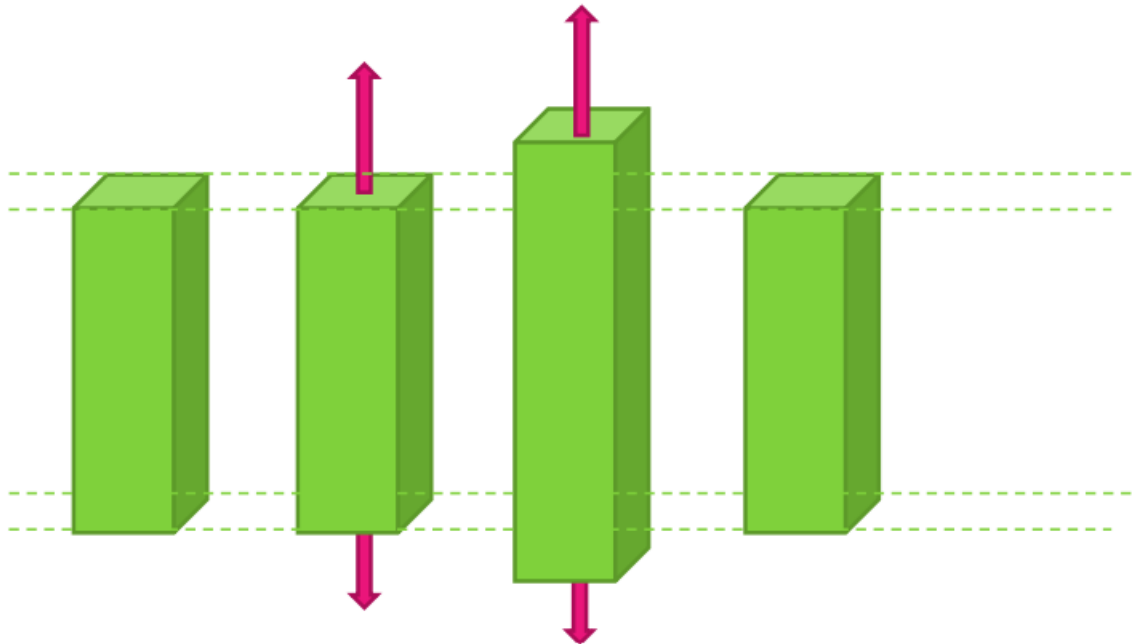
**DECISIONES
PROYECTUALES**
que propician la
**EFICIENCIA
ESTRUCTURAL**

- **EL MATERIAL**

¿TODOS LOS MATERIALES SE COMPORTAN IGUAL CUANDO LOS SOMETEMOS A ALGUN ESFUERZO?

Comportamiento ELASTICO

Se aplica una fuerza sobre un área, el material se deforma pero al retirarse la fuerza la pieza vuelve a su forma original

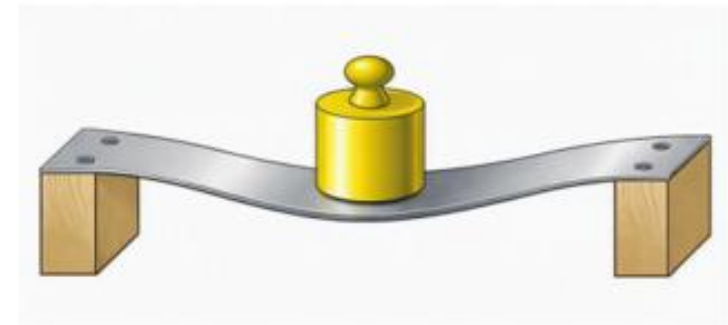
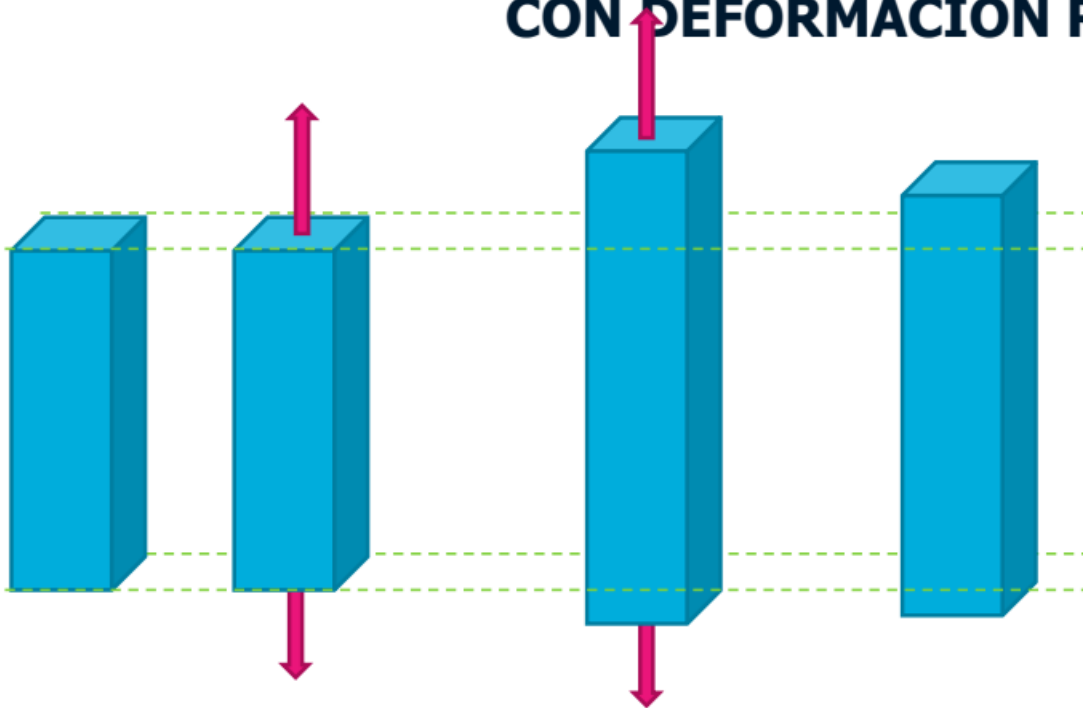


- EL MATERIAL

¿TODOS LOS MATERIALES SE COMPORTAN IGUAL CUANDO LOS SOMETEMOS A ALGUN ESFUERZO?

Comportamiento PLASTICO

Se aplica una fuerza sobre un área, el material se deforma pero al retirarse la fuerza la pieza **QUEDA CON DEFORMACION RESIDUAL**



- **EL MATERIAL: Módulo de Elasticidad (E)**

El Módulo de Elasticidad (E) representa la **RIGIDEZ MECÁNICA** del material, establece cual es su capacidad de deformación al aplicarle tensión, en otras palabras **mide ¿cuán rígido es?** Depende de la composición interna del material:



Goma de borrar

1° “E” alto



Plastilina

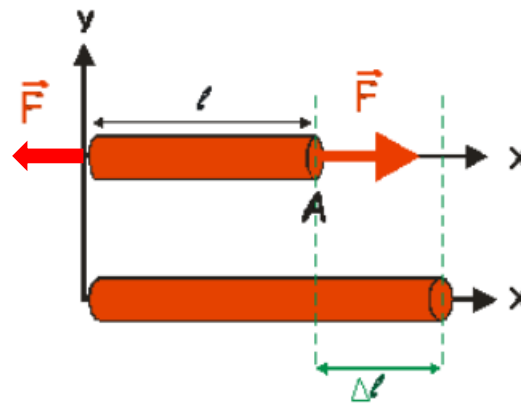
2° “E” bajo

1°: Un material con un módulo de elasticidad **alto es más rígido** y se deforma menos.

2°: Un material con un módulo de elasticidad **bajo es menos rígido** y se deforma más, ante la misma carga y con la misma geometría.

Podríamos ejemplificar: el 1° caso podría ser acero y el 2° caso podría ser madera.

TODOS LOS MATERIALES SE DEFORMAN



$$f = \frac{P}{A}$$

TENSION

Las unidades son correspondientes a la relación (fuerza / área)
 $\left(\frac{kg}{cm^2}\right) o \left(\frac{t}{cm^2}\right) o \left(\frac{t}{m^2}\right)$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

DEFORMACION ESPECIFICA

Cuanto se estira en función de la longitud original

UNIDAD = $\left(\frac{cm}{cm}\right) o \left(\frac{m}{m}\right)$

Aplicando una **Fuerza (F)** en un **Área (A)**, obtendremos una tensión.

Esta tensión provoca una **Deformación Especifica (ε)**
A mayor tensión mayor deformación

- EL MATERIAL: Módulo de Elasticidad (**E**)

Ley de Hooke:

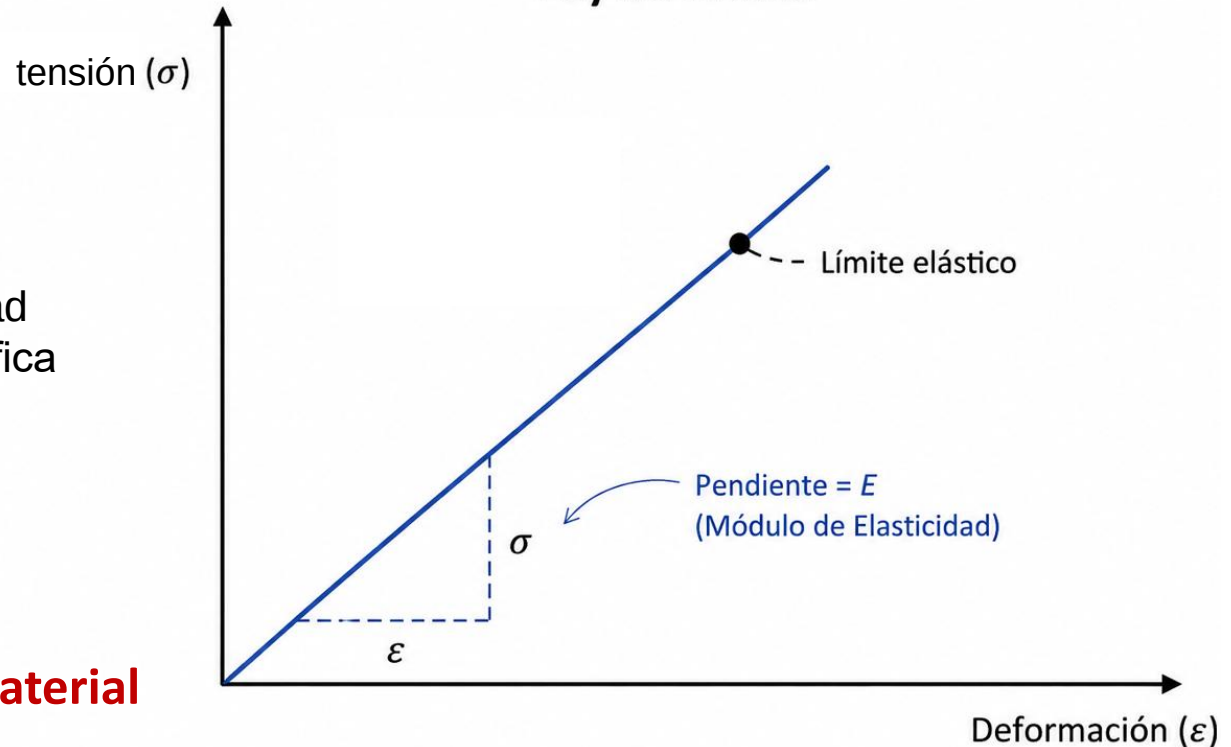
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

- σ = tensión
- E = módulo de elasticidad
- ε = deformación específica

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

¿Qué tan rígido es el material
y
cuánto se deforma?

Ley de Hooke



E = módulo de elasticidad (rigidez del material)

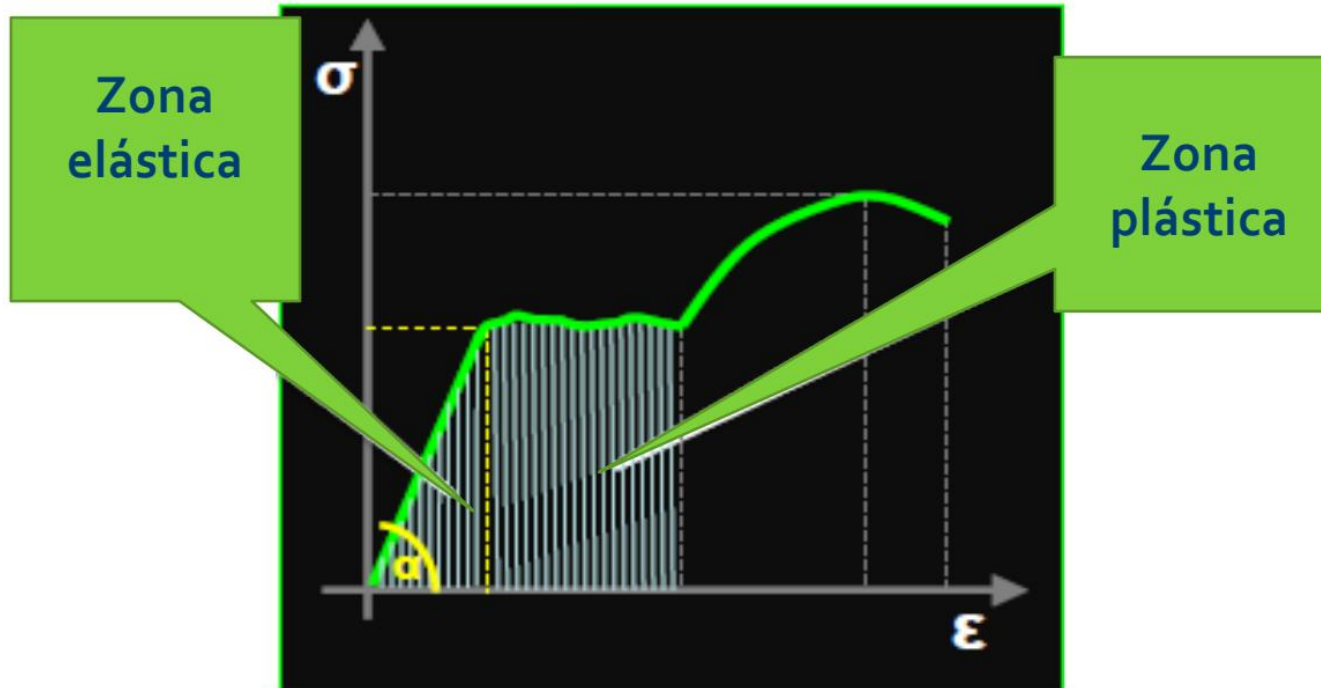
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Esto permite interpretar que, para una misma tensión:

- si **E** es **grande**, el material es rígido y la deformación ε es **pequeña**;
- si **E** es **pequeño**, el material es flexible y la deformación ε es **mayor**.

- **EL MATERIAL: Módulo de Elasticidad (E)**

Es la magnitud que representa la rigidez propia de cada material frente a **esfuerzos axiales o flectores**, independientemente de la forma, el tamaño y los vínculos de la pieza estructural.

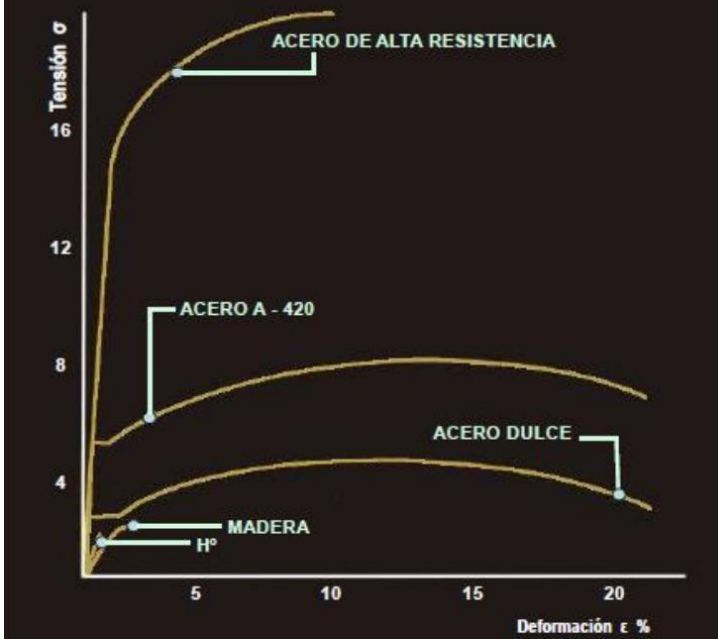


ZONA ELASTICA: Las tensiones son proporcionales a las deformaciones
Al desaparecer el esfuerzo el material recupera la forma original

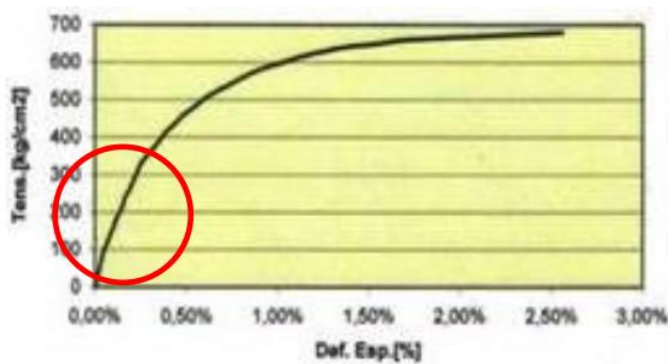
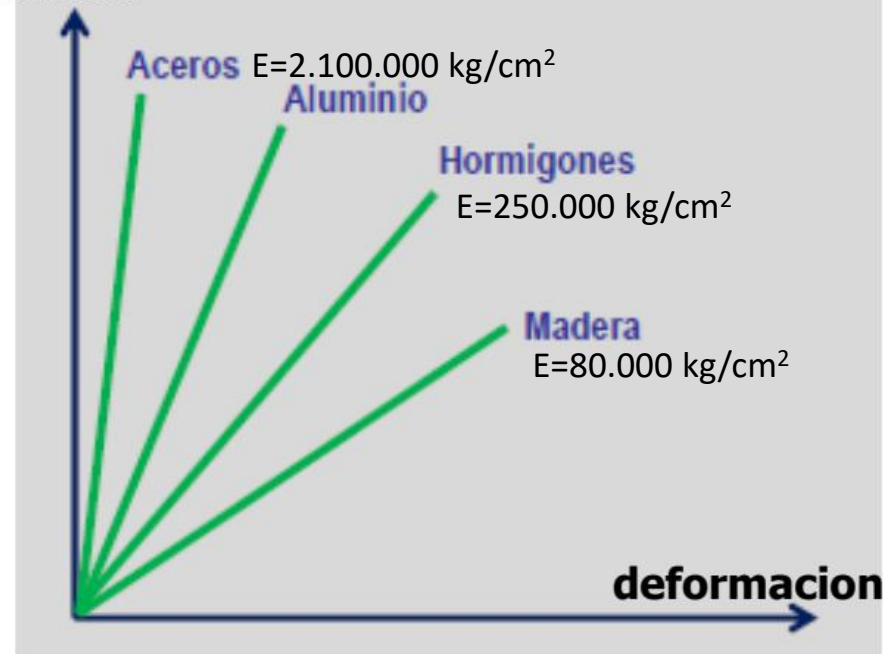
ZONA PLASTICA: Las tensiones NO son proporcionales a las deformaciones
Al desaparecer el esfuerzo el material queda con deformaciones permanentes

- EL MATERIAL: Módulo de Elasticidad (E)

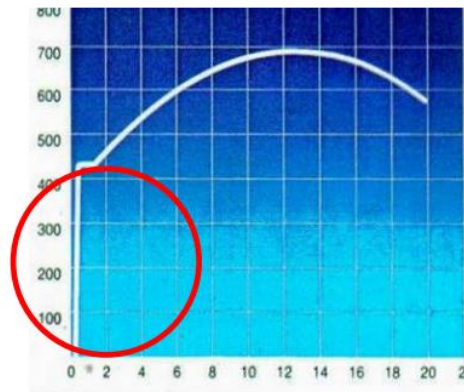
Comparativa de diferentes tipos de aceros:



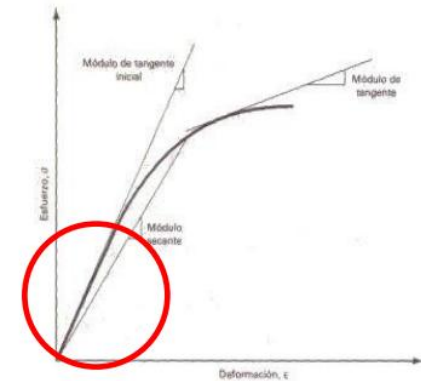
tension



Madera



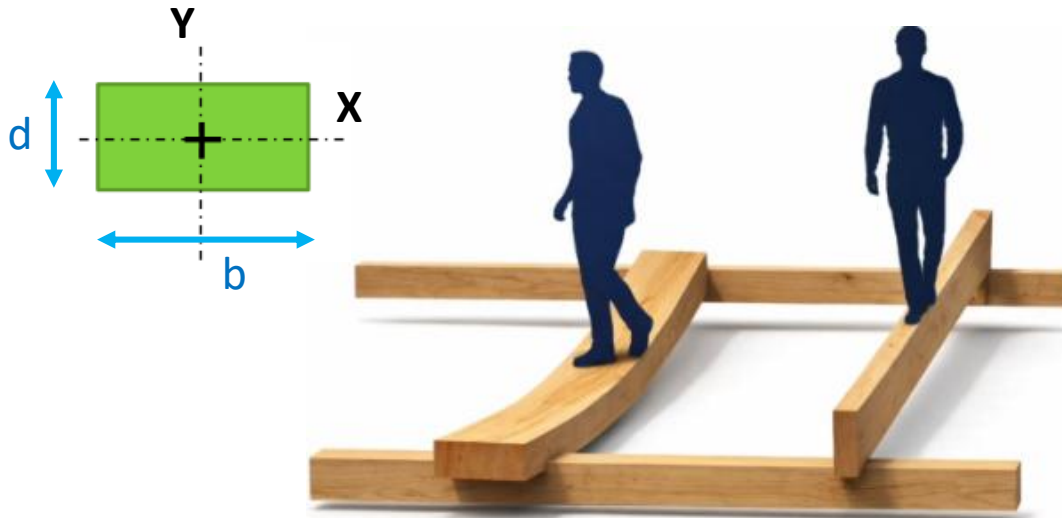
Acero

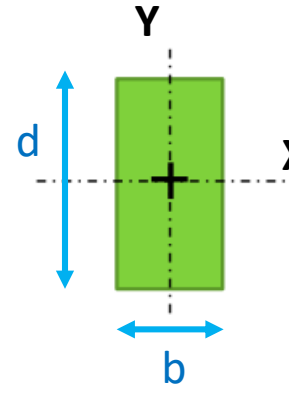


Hormigón

- **LA SECCIÓN** (Momento de Inercia)

El **Momento de Inercia (I)** cuantifica la capacidad de una sección para oponerse a la curvatura bajo cargas, es la **RIGIDEZ GEOMÉTRICA** de la sección que se opone a la deformación

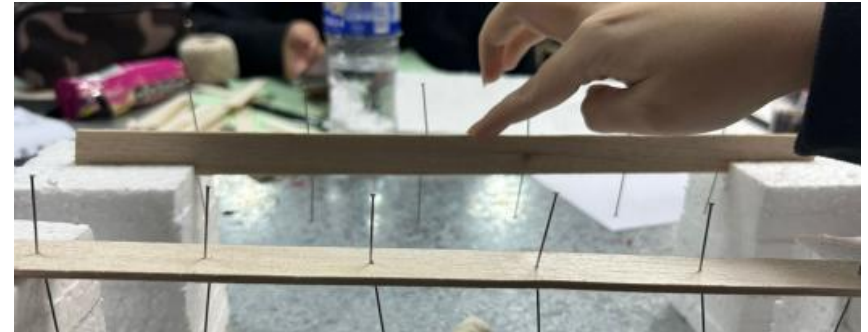




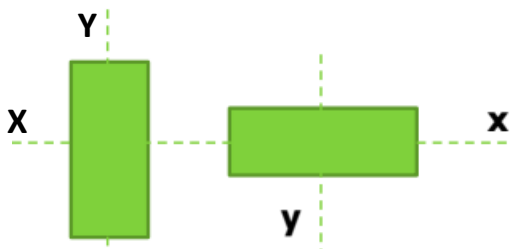
The diagram shows a rectangular cross-section with width b and height d . The horizontal axis is labeled x and the vertical axis is labeled y . The center of the rectangle is marked with a black cross.

$$I_{x-x} = \frac{b \cdot d^3}{12}$$

$$I_{y-y} = \frac{d \cdot b^3}{12}$$

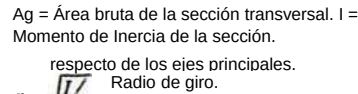


Sección:
Igual área
Igual costo



Solo se debe decidir como **ORIENTAR** esa sección para obtener **mayor o menor RIGIDEZ** a la deformación. Si se propone **EFICIENCIA flexional** corresponde elegir la orientación con **mayor momento de inercia (I_x)**, ya que el material se encuentra lo mas alejado del eje posible.

**IPN según
IRAM-IAS
U 500-511**



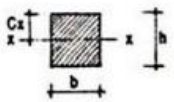
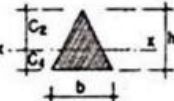
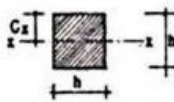
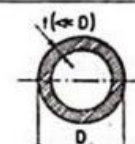
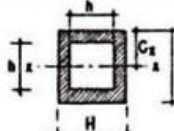
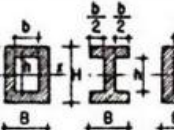
The diagram shows an I-beam cross-section with a vertical Y-Y axis and a horizontal X-X axis. The web has a height h_w and thickness t_w . The flanges have a width b_f and thickness t_f . The total height of the section is h . The distance from the neutral axis to the top and bottom flange centroids is y_f . The distance from the neutral axis to the outer edges of the flanges is y . The distance from the neutral axis to the inner edges of the flanges is y_w . The distance from the neutral axis to the outer edges of the web is y_{tw} .



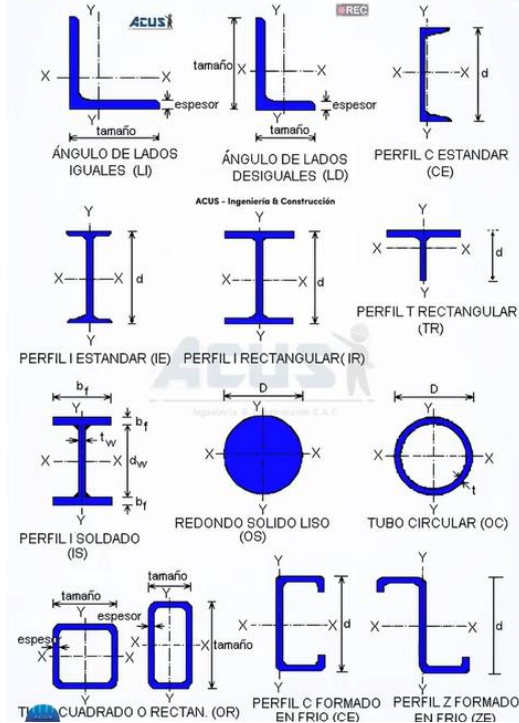
p	Dimensiones						Relaciones		Ag	Peso	Ix						Iy						Y-Y						Agujeros en el Ala		Distancia agujero al borde	Esp.	J	Cw	X _c	x _l (10) ⁻¹	Acero F-24			
											X-X						Y-Y						Carga Alma		Carga Ala Sup.															
	d	bf	tf	hw	tw=r.	rj	6l 2tf	hw tw			cm ⁴	Kg/m	cm ⁴	S*	rx	Qx	Zx	cm ⁴	cm ⁴	Sy	ry	Qy	1,5.Sy	Zy	mm	mm	W _x	ti	cm ⁴	cm*	MPa	MPa ¹					La	L ₁	L _P	L ₂
	mm	mm	mm	mm	mm	mm									cm	cm'	cm'	cm'	cm'	cm'	cm	cm'	cm'	cm'	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm*	MPa	MPa ¹					cm	cm	cm	cm
80	80	42	5,9	59	3,9	2,3	3,56	15,1	7,57	5,94	77,8	19,5	8,20	11,4	22,8	6,29	8,00	0,91	2,46	4,50	4,93	22	6,4	10	4,43	0,71	87,5	32815	0,70	47	260	42	230							
100	100	50	6,8	75	4,5	2,7	3,68	16,7	10,6	8,34	171	34,2	4,01	19,9	39,8	12,2	4,88	1,07	4,02	7,32	8,04	28	6,4	11	5,05	1,31	268	30082	1,00	55	283	49	248							
120	120	58	7,7	92	5,1	3,1	3,77	18,0	14,3	11,1	328	54,7	4,81	31,8	63,6	21,5	7,41	1,23	6,12	11,12	1234	32	8,4	13	5,67	2,23	685	28382	139	63	309	57	269							
140	140	66	8,6	109	5,7	3,4	3,84	19,1	18,3	14,3	573	81,9	5,61	47,7	95,4	35,2	10,7	1,40	8,85	16,05	17,70	34	11	16	6,29	3,56	1540	27117	1,56	72	339	65	293							
160	160	74	9,5	125	6,3	3,8	3,89	19,8	22,8	17,9	935	117	6,40	68,0	136	54,7	143	1,55	1238	22,20	24,55	40	11	17	6,91	5,40	3138	26190	1,80	80	365	72	313							
180	180	82	10,4	142	6,9	4,1	3,94	20,6	27,9	21,9	1450	161	730	93,4	187	81,3	19,8	1,71	16,50	29,70	33,00	44	13	19	7,53	7,89	5924	25442	2,04	88	393	79	335							
200	200	90	11,3	159	7,5	4,5	3,98	21,9	33,4	26,3	2140	214	8,00	125	250	117	26,0	1,87	21,58	39,00	43,16	48	13	21	8,15	11,2	10520	24894	2,22	96	422	86	359							
220	220	98	12,2	176	8,1	4,9	4,02	21,7	39,5	31,1	3060	278	8,80	162	324	162	33,1	2,02	27,61	49,65	5531	52	13	23	8,77	15,3	17760	24432	2,42	104	450	93	381							
240	240	106	13,1	192	8,7	5,2	4,05	22,1	48,1	36,3	4250	354	9,59	206	412	221	41,7	2,20	34,68	62,55	69,37	56	17	25	9,39	20,6	28730	24017	2,58	113	484	102	407							
260	260	113	14,1	208	9,4	5,6	4,01	22,1	53,3	41,9	5740	442	10,4	257	514	288	51,0	2,32	42,56	76,50	85,11	60	17	26,5	10,15	27,5	44070	23925	2,65	119	509	107	428							
280	280	119	15,2	225	10,1	6,1	391	22,3	61,0	47,9	7590	542	11,1	316	632	364	61,3	2,45	51,07	91,80	102,1	62	17	28,5	11,04	36,4	64580	24009	2,64	126	539	113	454							
300	300	123	16,2	241	10,8	6,5	3,86	22,3	69,0	54,3	9800	653	11,9	381	762	451	72,3	2,56	60,29	108,3	120,6	64	21	30,5	11,83	48,7	91850	23987	2,68	132	563	118	473							
320	320	131	17,3	258	11,5	6,9	3,79	22,4	77,7	61,0	12510	782	12,7	457	914	555	84,7	2,67	70,96	127,1	141,9	70	21	30,5	12,72	59,7	128800	24038	2,67	137	589	123	495							
340	340	137	18,3	274	12,2	7,3	3,74	22,3	86,7	68,0	15700	923	13,5	540	1080	674	98,4	2,80	82,35	147,6	164,7	74	21	31,5	13,51	74,3	176300	24009	2,71	144	617	130	518							
360	360	143	19,5	290	13,0	7,8	3,67	22,3	97,0	76,1	19610	1090	14,2	638	1276	818	114	2,90	95,96	171,6	191,9	76	23	33,5	14,50	94,2	240100	24207	2,64	149	643	134	541							
380	380	149	20,5	306	13,7	√2	3,63	22,3	107	84,0	24010	1260	15,0	741	1482	975	131	3,02	109,8	196,4	219,6	82	23	33,5	15,29	115	318700	24262	2,65	155	672	140	565							
400	400	153	21,6	323	14,4	8,6	3,59	22,4	118	92,4	29210	1460	15,7	857	1714	1160	149	3,13	125,3	223,5	251,0	86	23	34,5	16,18	140	419600	24270	2,65	181	696	145	586							
425	425	163	23,0	343	15,3	9,2	3,54	22,4	132	104	36970	1740	16,7	1020	2040	1440	176	3,30	148,1	284,0	296,3	88	25	37,5	17,30	177	587500	24280	2,63	170	734	153	618							
450	450	170	24,3	363	16,2	9,7	3,50	22,4	147	115	45850	2040	17,7	1200	2400	1730	203	3,43	170,7	304,5	341,4	94	25	38,0	18,35	220	791100	24306	2,65	176	764	159	643							
475	475	173	25,6	384	17,1	10,3	3,48	22,5	163	128	56480	2380	18,6	1400	2800	2090	235	3,60	197,5	352,5	394,9	96	28	41,0	19,37	270	1067000	24318	2,67	185	803	167	675							
500	500	183	27,0	404	18,0	10,8	3,43	22,4	179	141	68740	2750	19,6	1620	3240	2480	268	3,72	225,7	402,2	451,4	100	28	42,5	20,53	329	1403000	24375	2,65	191	831	172	699							
MO	MO	200	30,0	446	19,0	11,9	3,33	23,4	212	166	99180	3610	21,6	2120	4240	3490	349	4,02	292,3	523,5	584,6	110	28	45,0	23,00	472	2389000	24188	2,69	207	892	186	750							

- LA SECCIÓN (Momento de Inercia)

Anexo II: PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA SECCIÓN

Nº	SECCION	AREA	C _x	I _x	S _x	Nº	SECCION	AREA	C _x	I _x	S _x
1		bh	$\frac{h}{2}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$	6		$\frac{bh}{2}$	$C_x = \frac{2}{3}h$ $C_y = \frac{1}{2}h$	$\frac{bh^3}{36}$	$W_x = \frac{bh^2}{24}$ $W_y = \frac{bh^2}{12}$
2		h ²	$\frac{h}{2}$	$\frac{h^4}{12}$	$\frac{h^3}{6}$	7		$\frac{\pi}{4}D^2$ $0.79D^2$ $3.14R^2$	$\frac{D}{2} = R$	$\frac{\pi D^4}{64}$ $0.05D^4$ $0.79R^4$	$\frac{\pi D^3}{32}$ $0.1D^3$ $0.79R^3$
3		h ²	$\frac{h}{\sqrt{2}}$	$\frac{h^4}{12}$	$\frac{\sqrt{2}}{12}h^3 = 0.12h^3$	8		$\pi D^2 = 6.28R^2$	$\frac{D}{2} = R$	$\frac{\pi D^4}{8} = 0.39D^4$ $3.14R^4$	$\frac{\pi D^3}{4} = 0.79D^3$ $3.14R^3$
4		H ² - h ²	$\frac{H}{2}$	$\frac{H^4 - h^4}{12}$	$0.12 \frac{H^4 - h^4}{H}$	9		$\frac{\pi}{2}R^2$ $1.57R^2$	$C_x = 0.58R$ $C_y = 0.42R$	0.11R ⁴	$W_x = 0.19R^3$ $W_y = 0.26R^3$
5		BH - bh	$\frac{H}{2}$	$\frac{BH^3 - bh^3}{12}$	$\frac{BH^2 - bh^2}{6H}$	10		πR^2	$C_x = 0.36R$ $C_y = 0.64R$	0.30R ⁴	$W_x = 0.83R^3$ $W_y = 0.47R^3$

TIPOS DE PERFILES DE ACERO



En perfiles de acero:
datos de Momento de Inercia en las
tablas del fabricante

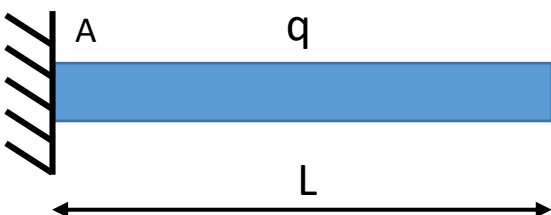
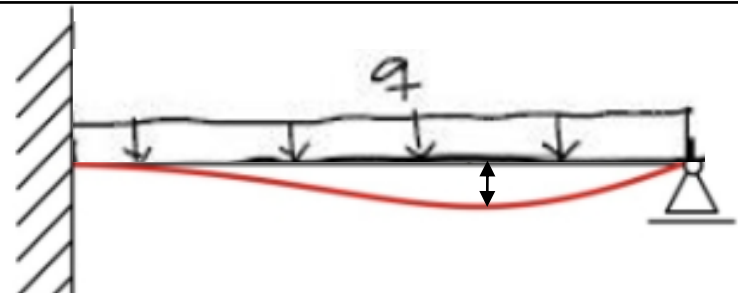
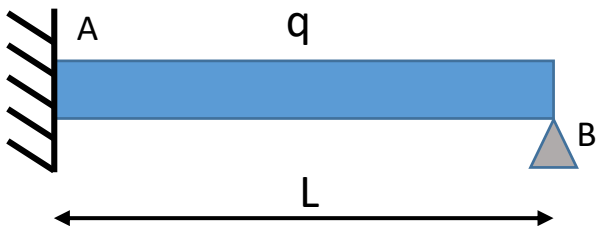
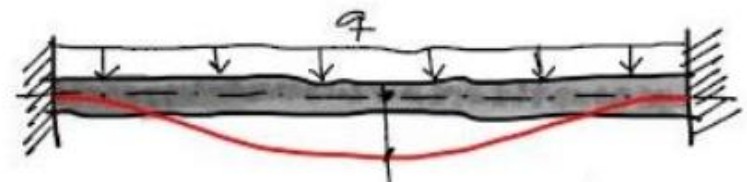
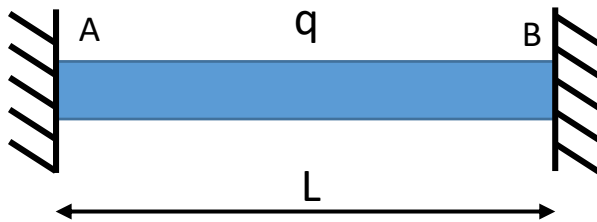
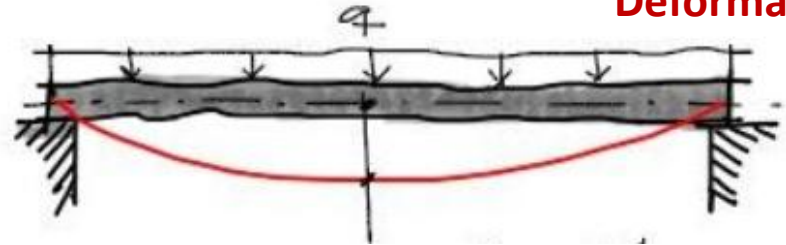
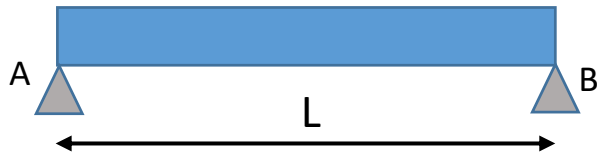
- VINCULOS (tipos)**

Las **restricciones a la rotación** que se producen en los apoyos debido al tipo de vínculo “empotrado” **hacen reducir la deformación y le otorgan mayor rigidez a la viga.**

Esquemas

q

Deformada



El caso de voladizo **al tener un borde libre** su **deformación es mayor**, por lo tanto posee menor rigidez

Rigidez a flexión

Si:

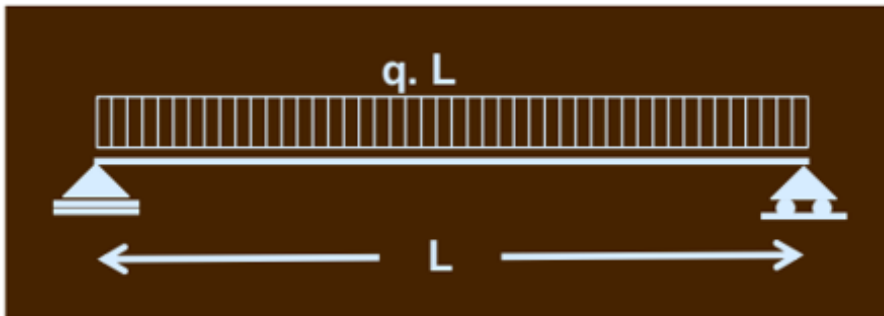
- “E” representa la **rigidez mecánica propia del material**;
- “I” representa la **rigidez geométrica de la sección para resistir la flexión**;
- “E*I” representa la **rigidez a flexión de la viga**.

Entonces la rigidez flexional de una viga depende de la combinación entre el módulo de elasticidad E y el momento de inercia I, pero además depende de las condiciones de sus bordes (restricciones a la rotación)

La interpretación es directa:

- mayor carga → **mayor deformación**;
- mayor luz → **mucha mayor deformación**;
- mayor E → **menor deformación**;
- mayor I → **menor deformación**.

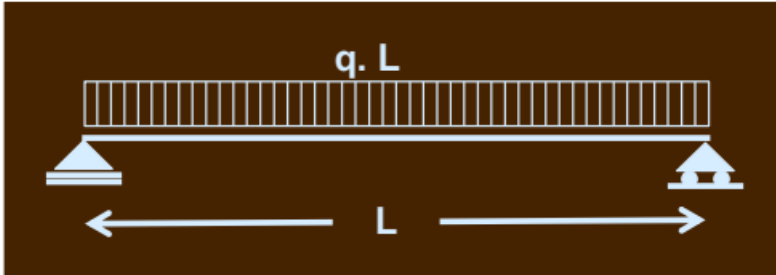
Por eso, en las fórmulas de flecha aparece **$q \cdot L^4$** en el numerador y **$E \cdot I$** en el denominador



Flecha diseño:

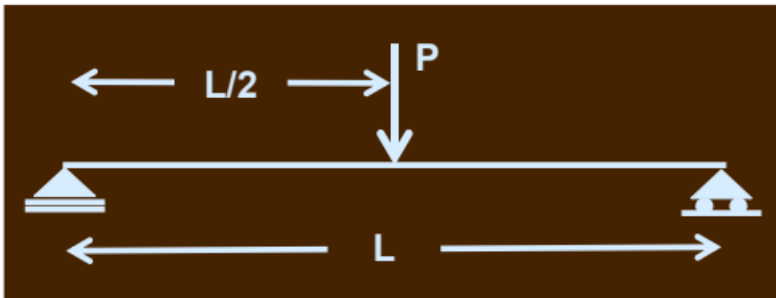
$$f_{max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{I \cdot E}$$

DEFLEXIONES PARA VIGAS SEGÚN EL ESTADO DE CARGAS



Flecha diseño:

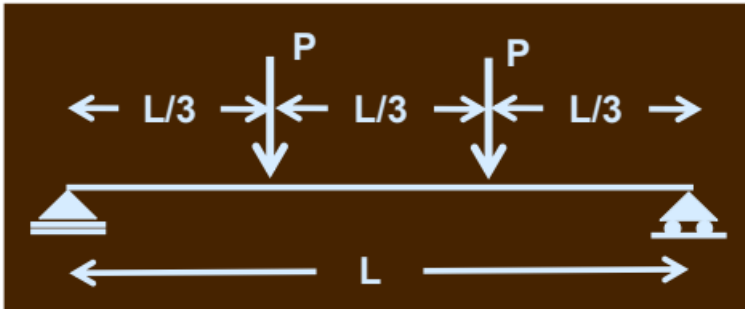
$$f_{max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{I \cdot E}$$



Flecha diseño:

$$f_{max} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot I \cdot E}$$

q * L⁴ en el
numerador y
E*I en el
denominador



Flecha diseño:

$$f_{max} = \frac{23 \cdot P \cdot L^3}{648 \cdot I \cdot E}$$



Flecha diseño:

$$f_{max} = 0,01304 \cdot \frac{Q \cdot L^3}{I \cdot E}$$

DEFORMACIONES MAXIMAS EN MADERA-REGLAMENTO CIRSOC 601

Destino	Deformación Instantánea	Deformación Final
Viviendas y oficinas	Luz/360	Luz/ 300
Comercio, Recreación e Institucional	Luz/360	Luz/240
Industria y rurales	-----	Luz/200

DEFORMACIONES MAXIMAS EN ACERO-REGLAMENTO CIRSOC 301-EL

Destino	Deformación admisible
Techos en general	Luz/200
Techos con carga frecuente de personas (no mantenimiento) Pisos en general	Luz/250
Pisos o techos que soporten elementos y revestimientos susceptibles de fisuración	Luz/300

Ejercicio ejemplo en el aula virtual

Curso	Participantes	Calificaciones	Competencias
GENERAL	▼ TEÓRICOS	▼ PRÁCTICOS	▼ COMISIONES
Inicio	Clases teóricas	Bibliografía	Material complementario

UNIDAD 4 VERIFICACIÓN RIGIDEZ Y RESISTENCIA. Madera y Acero



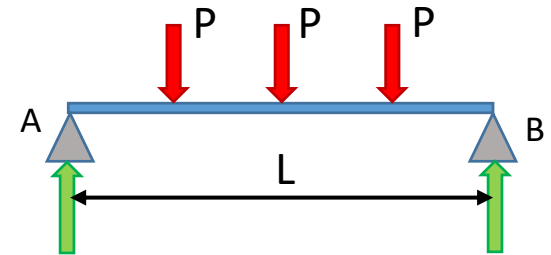
Unidad 4: Verificación Rigidez

Cálculo de deformación en madera y acero

$$f_{lmax} = \frac{19}{384} \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I} = \frac{19}{384} \cdot \frac{182 \text{ kg} \cdot (300 \text{ cm})^3}{65000 \text{ kg/cm}^2 \cdot 2866 \text{ cm}^4} = 1,30 \text{ cm}$$

Deformación Instantánea de Cálculo: **1,30 cm**

Deformación Admisible: $Luz/360 = 300 \text{ cm} / 360 = 0,83 \text{ cm}$



A Controlar: **Flecha diseño** < **Flecha límite admisible.....VERIFICA**

Flecha diseño: 1,30cm > **Flecha límite admisible: 0,83 cm...¡¡NO VERIFICA!!**

Se debe **aumentar el MOMENTO DE INERCIA**, cambiando la sección por una mayor hasta cumplir con: **Flecha diseño** < **Flecha límite admisible.....VERIFICA!!!**