



ESTRUCTURAS II: ELEMENTOS COMPRIMIDOS

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño

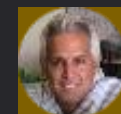
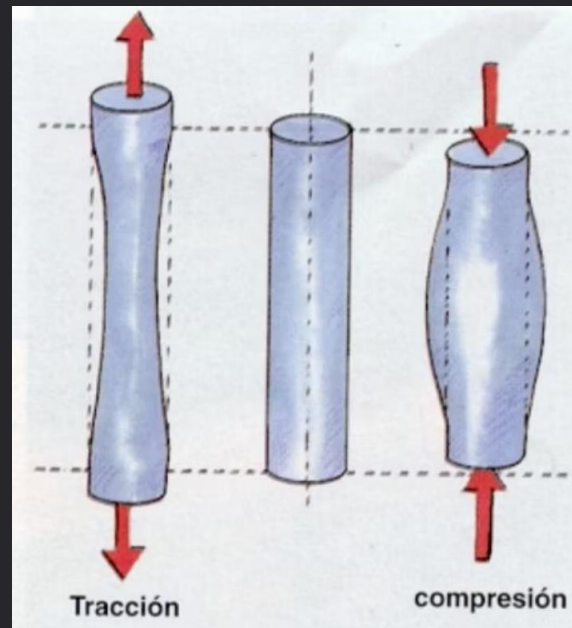
Ing. Civil Daniel Videla - 2025



Fundamentos de la Compresión

La compresión ocurre cuando dos fuerzas actúan en la misma dirección y sentido contrario, provocando que el **elemento se acorte y se deforme**.

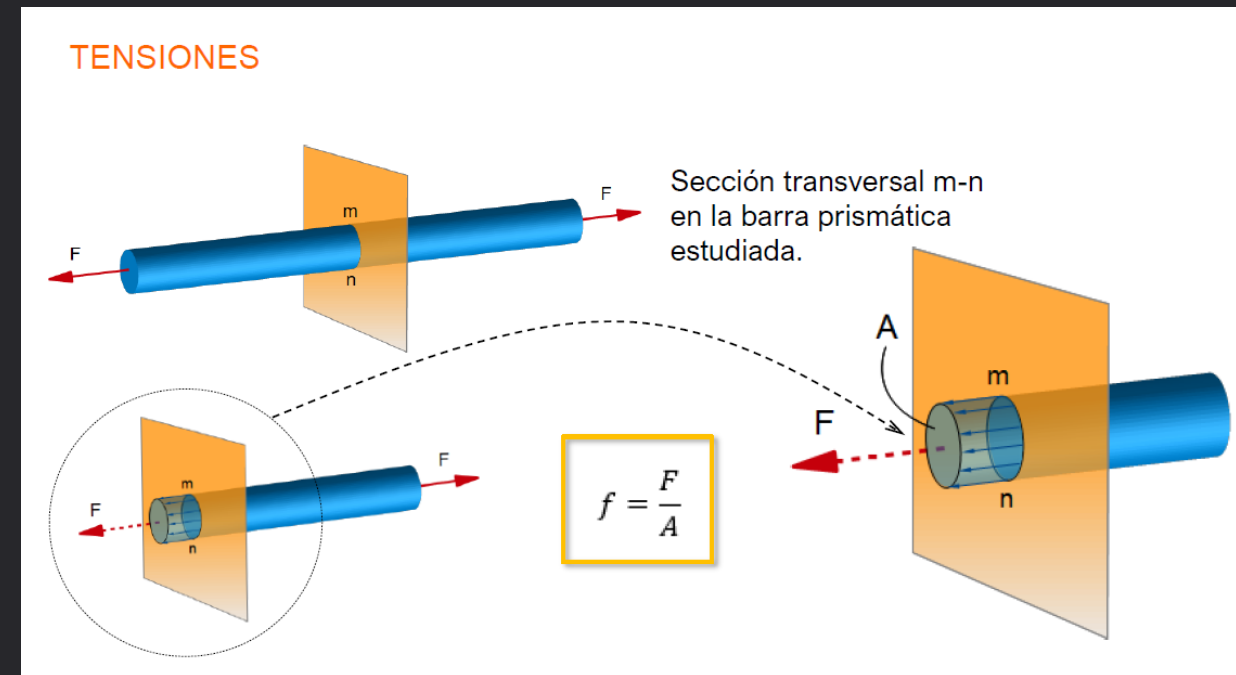
Este fenómeno es fundamental en el diseño estructural, especialmente en elementos como columnas y pilares que soportan cargas verticales.



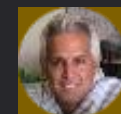
Miembros Sometidos a Compresión

Los miembros en compresión, como las **columnas**, están sujetos principalmente a cargas axiales, generando **tensiones normales** en la sección transversal del elemento estructural.

El comportamiento de estos elementos es **crítico** para el diseño seguro de estructuras sometidas a compresión, donde su **dimensionamiento adecuado** previene fallos catastróficos.



Diseño estructural I Guía de Estudio 5B– ARQ. – FI - UNCuyo



por Daniel Videla

Estabilidad Estructural

Definición

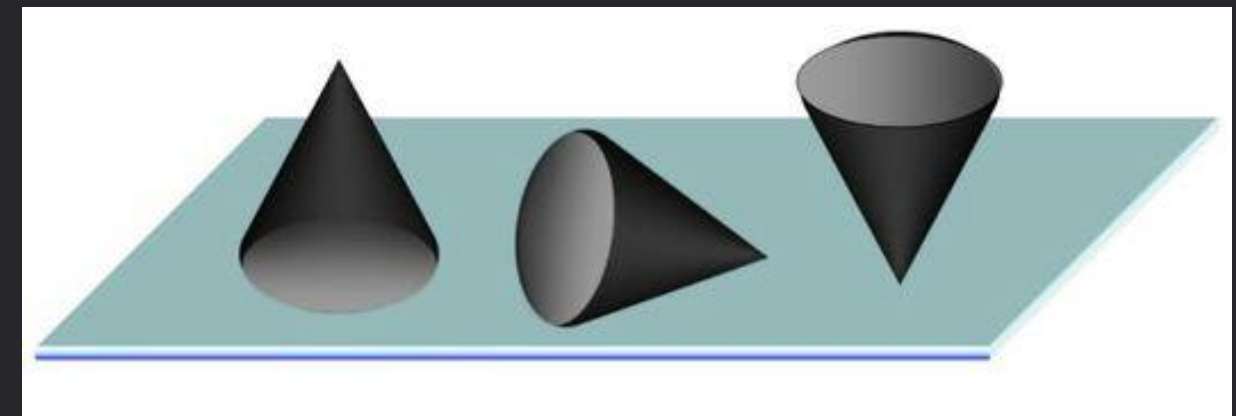
Propiedad del sistema para mantener su estado durante la acción de fuerzas exteriores. Si no lo hace, se considera **inestable**.

Condiciones

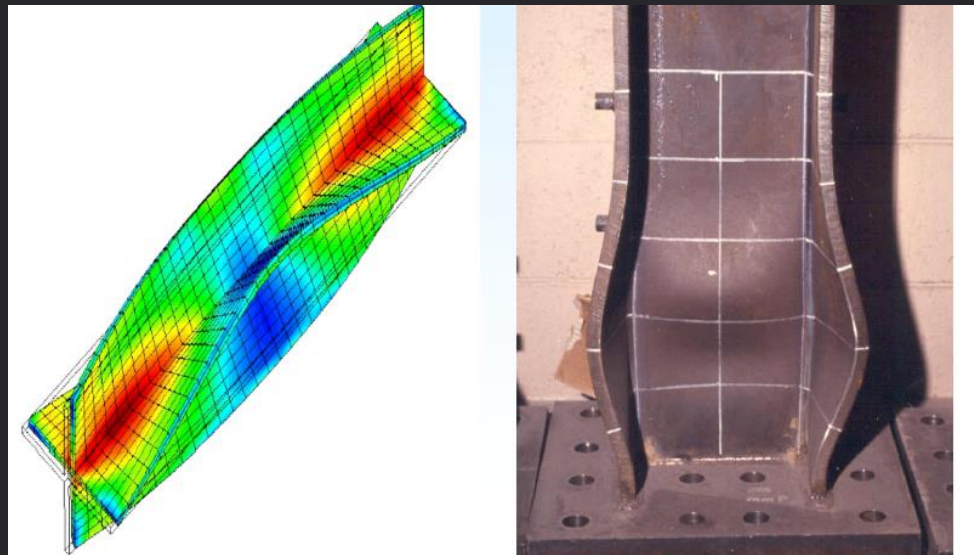
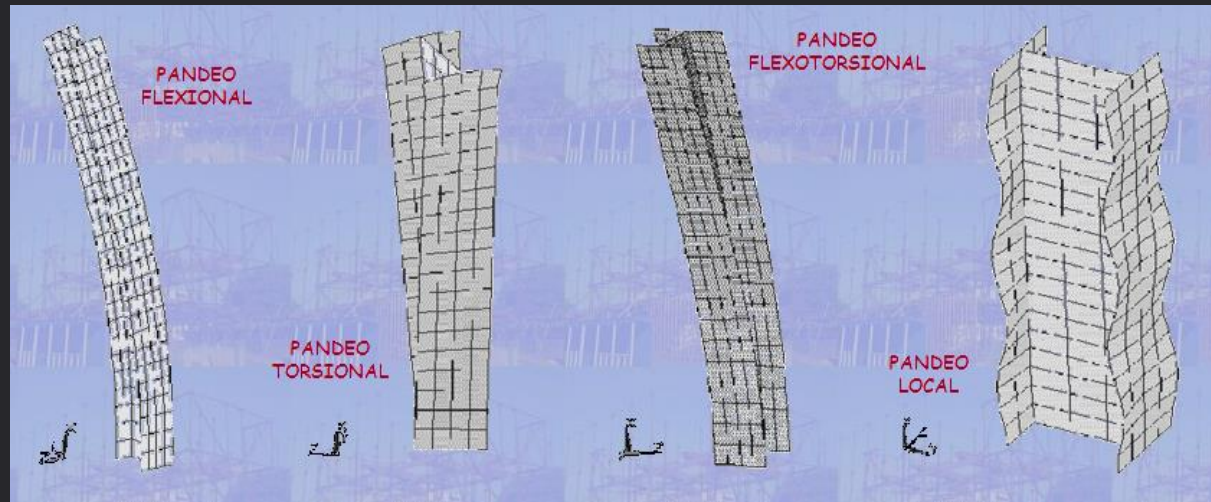
- Es **necesario** pero no suficiente que las fuerzas estén en equilibrio.
- Es **suficiente** que el equilibrio de fuerzas sea **estable**

Consideraciones

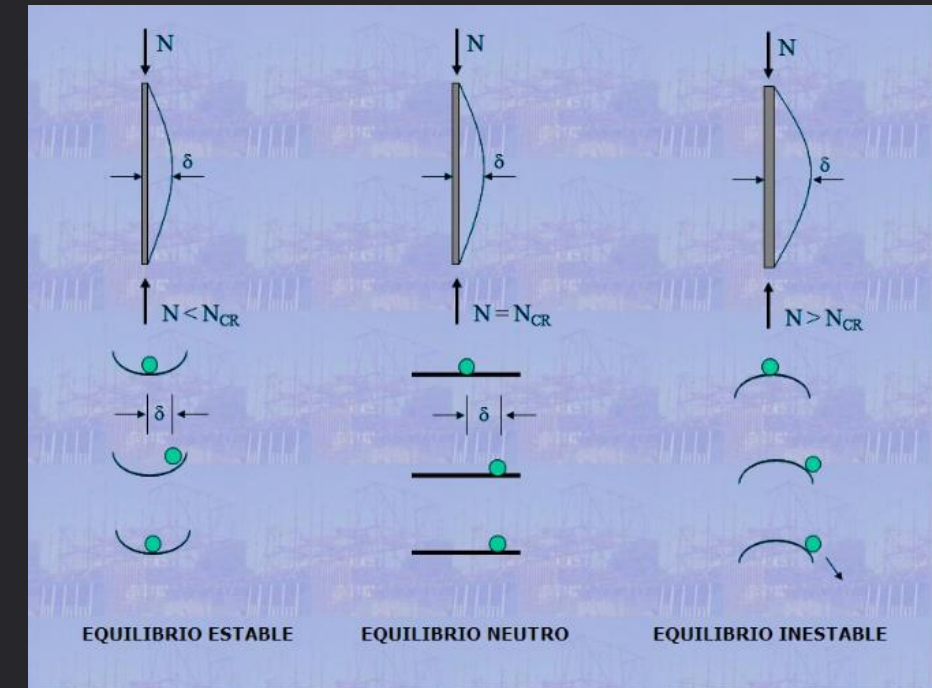
Si el equilibrio no es estable, cualquier perturbación, por pequeña que sea, alejará al sistema de su configuración inicial.



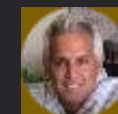
Inestabilidad y Pandeo



El fenómeno de **pérdida de equilibrio de la estabilidad** en cuerpos elásticos, se observa claramente en una barra esbelta sometida a compresión axial.



El pandeo representa uno de los **modos de falla más crítico** en elementos estructurales sometidos a compresión, especialmente en columnas esbeltas de acero o madera.



Factores que Determinan la Resistencia Estructural



Forma de la Sección

La geometría y dimensiones de la sección transversal influyen directamente en la capacidad de carga del elemento.



Longitud: Altura de la columna

La altura de la columna determina su esbeltez, factor crítico en la resistencia al pandeo.



Conexiones, Vínculos y/o Apoyos

El tipo de conexiones en los extremos modifica la longitud efectiva y la capacidad de carga.



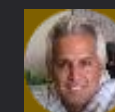
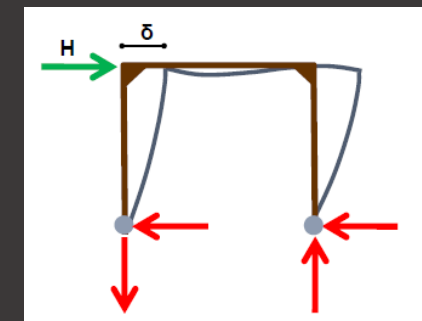
Materiales

Las propiedades mecánicas de los materiales determinan la resistencia y rigidez.

Criterios de Diseño:

$$\text{E.L.S.: } \delta_{\max} \leq \delta_{\text{adm}}$$

$$\text{E.L.U.: } R_d = \phi \cdot R_n \geq R_u$$



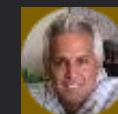
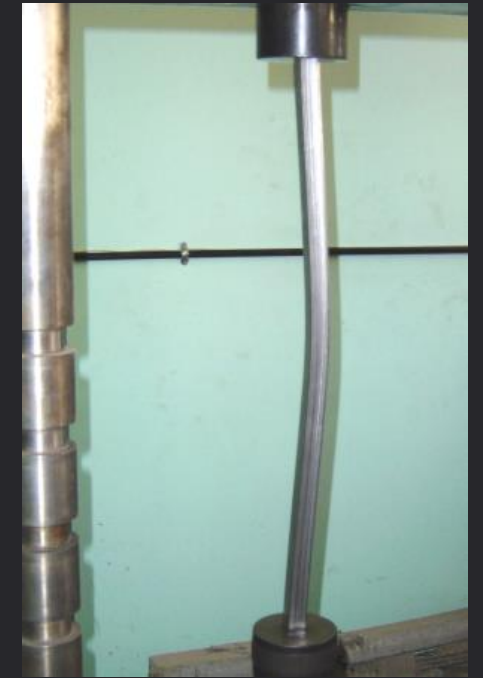
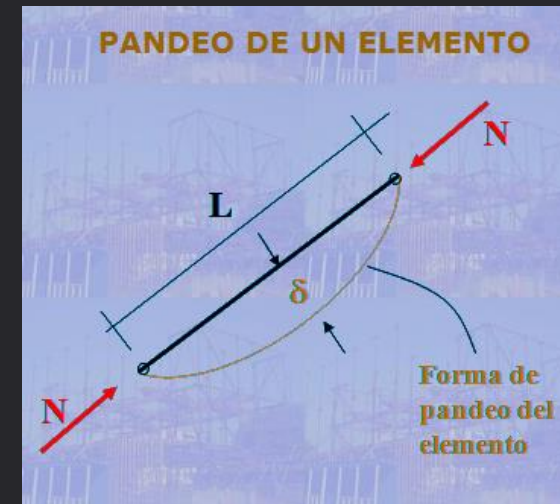
Pandeo: Inestabilidad por Flexión Lateral

El pandeo ocurre al aplicar fuerzas de compresión en los extremos de una **barra delgada**, provocando que no permanezca recta, sino que se acorte y **flexione fuera de su eje**.

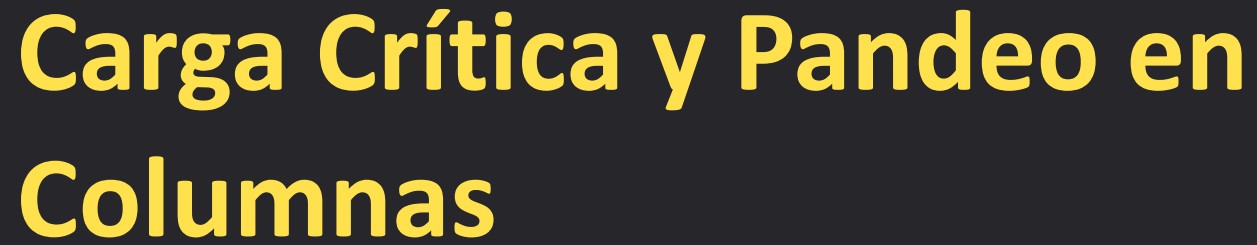
Este fenómeno crece rápidamente, aumentando la excentricidad de la carga y conduciendo al colapso estructural si no se dimensiona adecuadamente.

La **falla de un miembro en compresión** está relacionada con:

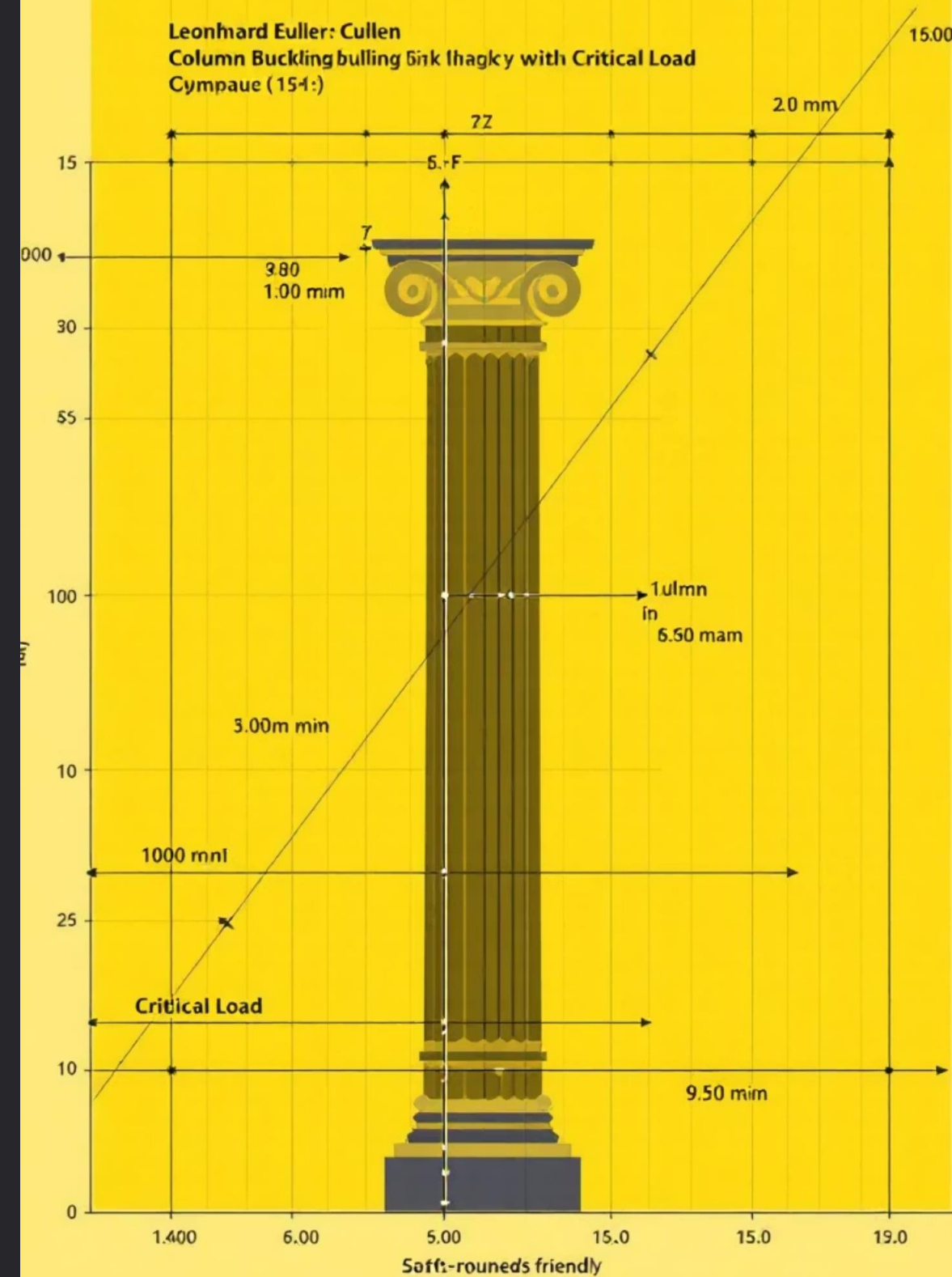
- Resistencia.
- Rigidez del material.
- Geometría (relación de esbeltez)



por Daniel Videla



El Estudio de los factores que determinan la estabilidad estructural de columnas sometidas a compresión axial, está basado en los principios establecidos por Leonhard Euler en 1740.



Carga Crítica [Pcr]: Conceptos Fundamentales

Leonhard Euler (1740) estableció la carga crítica de pandeo, como el valor de carga que hace que se alcance el **Equilibrio Indiferente** en una columna comprimida axialmente:

$$P < P_{cr}$$

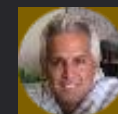
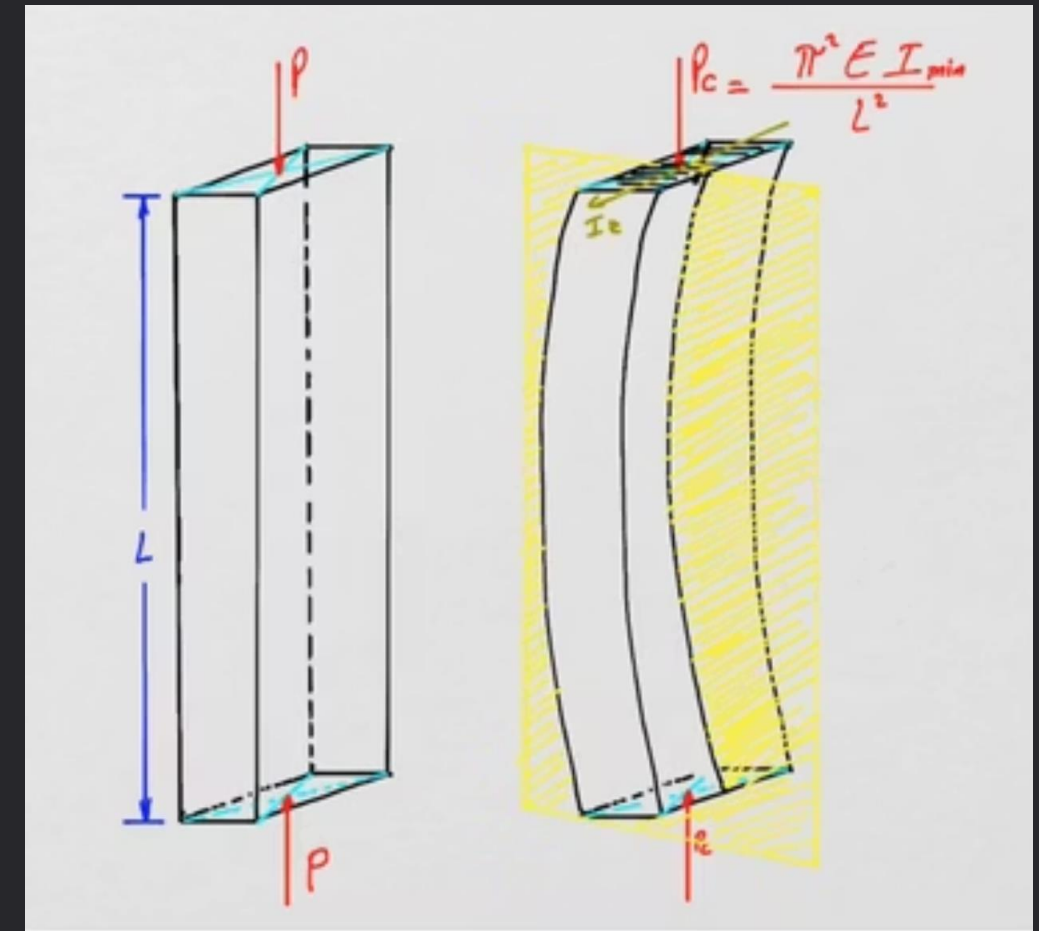
Equilibrio Estable

$$P = P_{cr}$$

Equilibrio Indiferente

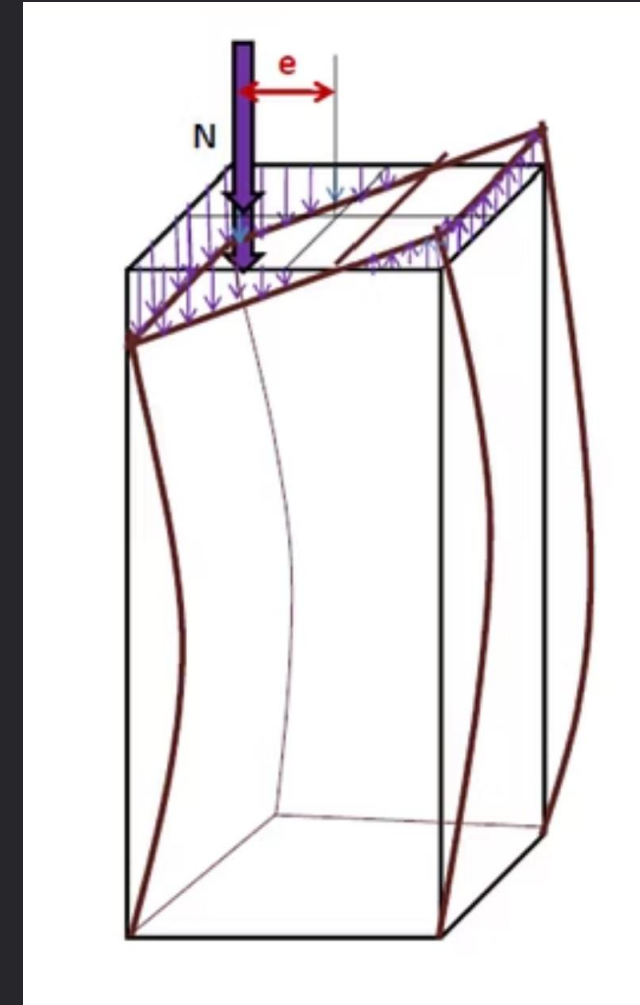
$$P > P_{cr}$$

Equilibrio Inestable



Hipótesis de Cálculo para Carga Crítica

- Deformaciones suficientemente pequeñas
- Material cumple indefinidamente la Ley de Hooke y las hipótesis de Navier.
- Eje de la pieza matemáticamente recto y carga "P" exactamente centrada.
- Extremos perfectamente articulados, sin rozamientos y con desplazamientos impedidos en dirección perpendicular al eje longitudinal
- Estado tensional neutro, sin tensiones residuales



Fórmula de la Carga Crítica

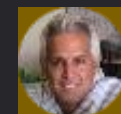
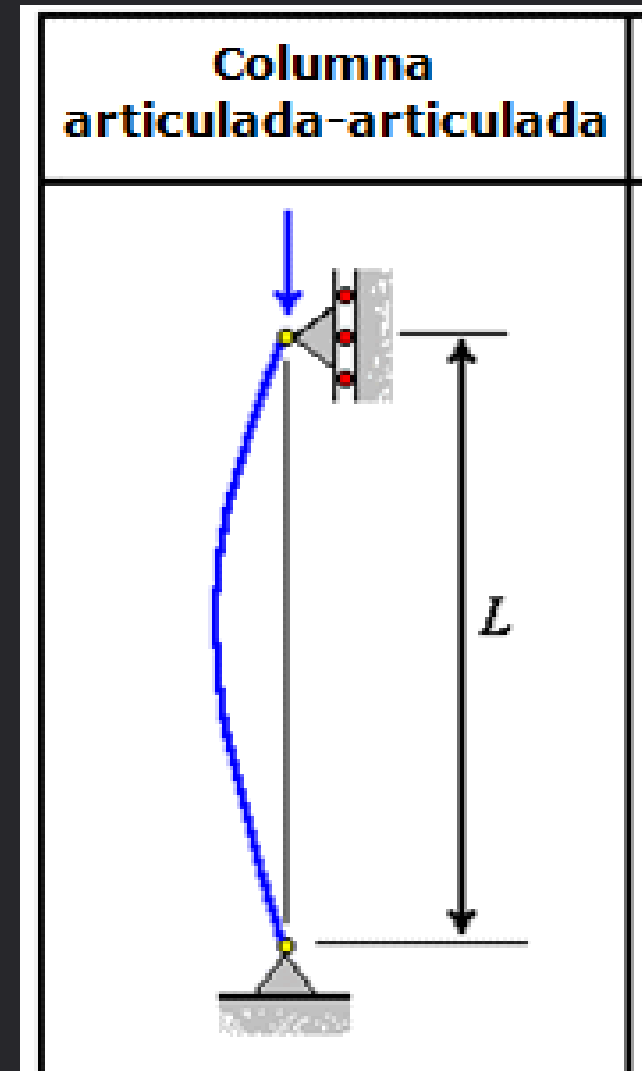
$$P_{cr} = \pi^2 \cdot (E \cdot I_{min}) / L^2$$

La carga crítica depende de:

- **E**: Rigidez del Material (módulo de elasticidad)
- **(E · I)**: Rigidez a flexión ($R = M / \varphi = E \cdot I / L$)
- Inversamente proporcional a **L²**

I_{min}: Momento de inercia mínimo. Representa la menor rigidez a flexión.

Apoyos: Articulado-Articulado (A-A)



Longitud de Pandeo (Lp): Influencia de los Apoyos

La longitud de pandeo (Lp) recomendada, se define como: $L_p = k_e \cdot L$

1

Articulado-Articulado (A-A)

$k_e = 1.0$

$L_p = 1.0 \cdot L$

2

Articulado-Empotrado (A-E)

$k_e = 0.7$

$L_p = 0.8 \cdot L$

3

Empotrado-Empotrado (E-E)

$k_e = 0.5$

$L_p = 0.65 \cdot L$

4

Empotrado-Libre (E-L)

$k_e = 2.0$

$L_p = 2.1 \cdot L$

casos de vinculación						
k_e teórico	0,50	0,70	1,00	1,00	2,00	2,00
k_e recomendado	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,40
 impedidas la traslación y la rotación  impedida la traslación y libre la rotación  libre la traslación e impedida la rotación  libre la traslación y libre la rotación						



Concepto Físico de Longitud de Pandeo

Es la longitud que debería tener una barra articulada (A-A) en ambos extremos, equivalente a la dada (mismo material y sección), para tener la misma carga crítica (P_{cr}) que la barra original.

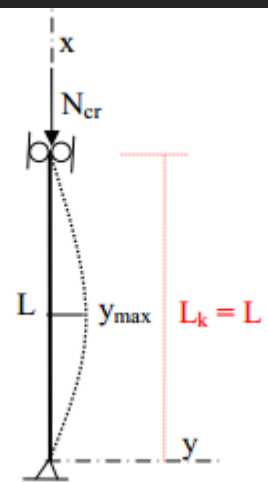


Fig. 10.11

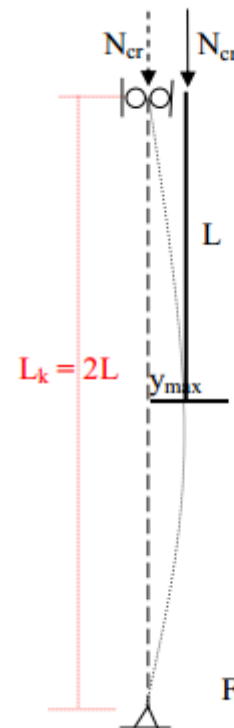


Fig. 10.12

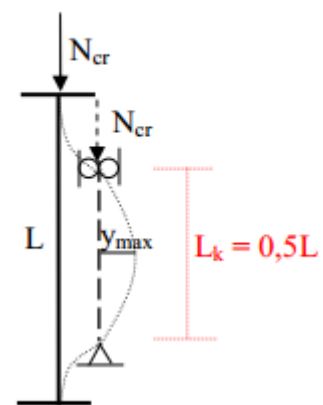
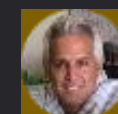
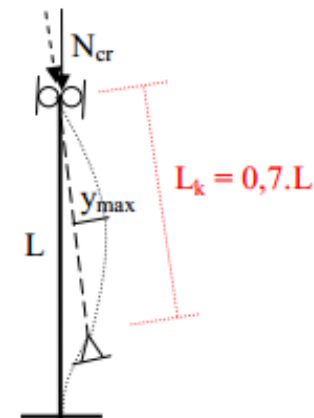


Fig. 10.13



Tensión Crítica (Fcr)

Partiendo de la fórmula de la **carga crítica**:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 (E I_{min})}{L^2}$$

La tensión crítica se define como:

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 (E I_{min})}{A L_p^2}$$

Introduciendo el radio de giro:

$$r_{min}^2 A = I_{min} \Rightarrow r_{min}^2 = \frac{I_{min}}{A}$$

Radio de giro (r): Indica cómo se distribuye la masa de la sección alrededor de un eje.

Sustituyendo en la ecuación de tensión crítica:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E r_{min}^2}{L_p^2}$$

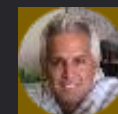
Definiendo la esbeltez mecánica λ :

$$\lambda = \frac{L_p}{r_{min}}$$

Obtenemos la ecuación final de la **tensión crítica**:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Esbeltez mecánica (λ): Parámetro adimensional que caracteriza el comportamiento de una columna frente al pandeo.



Relación entre Esbeltez y Tensión Crítica

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 (E I_{min})}{L^2}$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Al disminuir la esbeltez (λ):

- Aumenta la tensión crítica (F_{cr})
- Aumenta la capacidad de la columna para resistir más carga sin pandeo

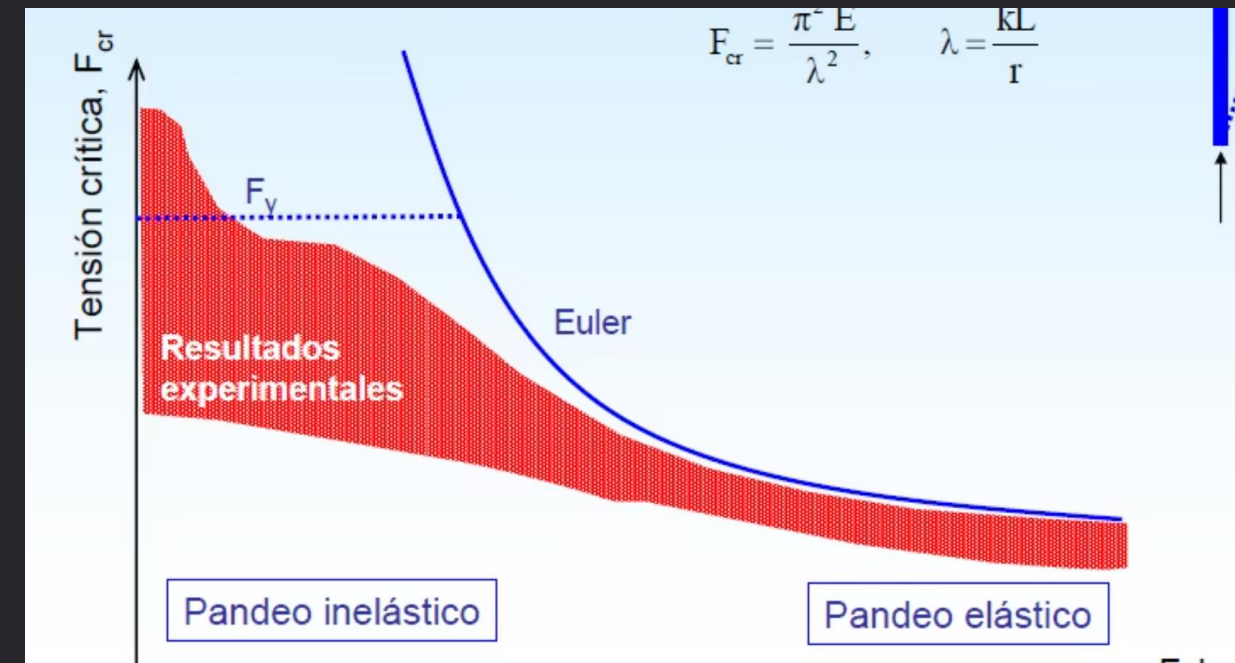
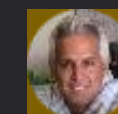


Figura 11: Efecto de la esbeltez en la tensión crítica.



por Daniel Videla

Optimización de Columnas frente al Pandeo

Para mejorar el comportamiento de una columna de longitud dada frente al pandeo, es preciso **disminuir su esbeltez**.

Si la longitud es fija por diseño, entonces habrá que **aumentar el radio de giro mínimo (r_{min})**.

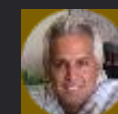
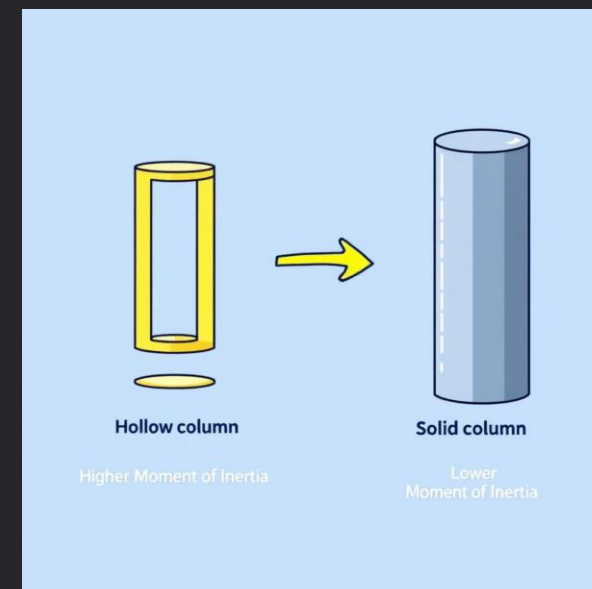
$$\lambda = \frac{L_k}{i_{min}} \quad si \quad i_{min} \uparrow \Rightarrow \lambda \downarrow$$

Aumentar r_{min} sin modificar el área (menor costo) implica aumentar el **momento de inercia mínimo (I_{min})**.

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} \quad si \quad I_{min} \uparrow \Rightarrow i_{min} \uparrow$$

Esto se logra **alejando el material (masa) lo más posible del centro de gravedad** de la sección.

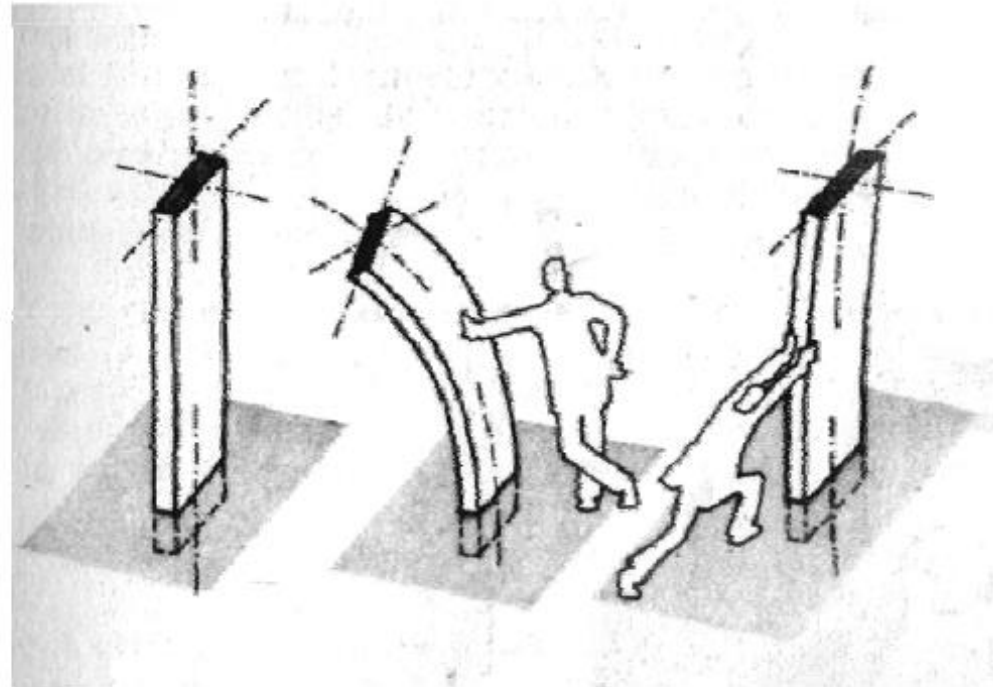
Esta es la razón por la que las columnas de sección hueca son mejores a los efectos del pandeo que las macizas de igual área.



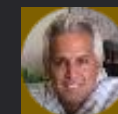
por Daniel Videla

CONCLUSION

Un componente comprimido se deformará por compresión fuera del plano que le oponga menor resistencia, y esto sucederá cuando la pieza quiera girar respecto del eje que presente mayor esbeltez (λ), recordando que es el cociente entre la longitud de pandeo y el radio de giro, se deberá probar cómo ubicar la sección para obtener la mejor solución desde este punto de vista.



Material: "Componentes Comprimidos" – ing. Daniel Quiroga - FAUD.



por Daniel Videla