

6.1.1.2. Pandeo inelástico de placas planas

Cuando se supera el límite de proporcionalidad, la placa rectangular sometida a esfuerzos de compresión pandea o abolla en el rango **inelástico**. La placa se torna anisótropa pues el módulo en la dirección longitudinal será E_t y en la dirección transversal (supuesta sin esfuerzos) continua siendo E . Se obtiene la tensión crítica de pandeo en el campo inelástico sustituyendo en las ecuaciones anteriores el módulo elástico E por el módulo efectivo E_e .

El módulo efectivo puede tomarse $E_e = E_t$ criterio seguido por DIN 4114 y CIRSOC 301/82. Conforme la teoría de Bleich, es $E_e = \sqrt{E \cdot E_t}$, criterio adoptado por la norma española EA95.

El valor del módulo efectivo E_e , dependen de: las características esfuerzo/deformación del material, de la intensidad y distribución del esfuerzo, de la forma de la sección transversal y de la presencia de esfuerzos residuales. La variación aproximada de la relación E_e/E en función de la relación f_{cr}/F_y se puede observar en la figura 9.33 de Bresler-Lin-Scalzi

En resumen, la tensión crítica en campo inelástico se obtiene multiplicando el valor de la tensión crítica según la teoría elástica por la relación E_e / E .

6.1.1.3. Pandeo plástico de placas planas

Si se requiere que la placa incurse en el rango plástico sin abollamiento no es suficiente que la sección alcance la resistencia de fluencia, para asegurar que la sección desarrolle una adecuada capacidad de rotación deberá permitir la incursión en el campo de tensiones de la zona de endurecimiento del material (post - fluencia) sin que ocurra el pandeo local.

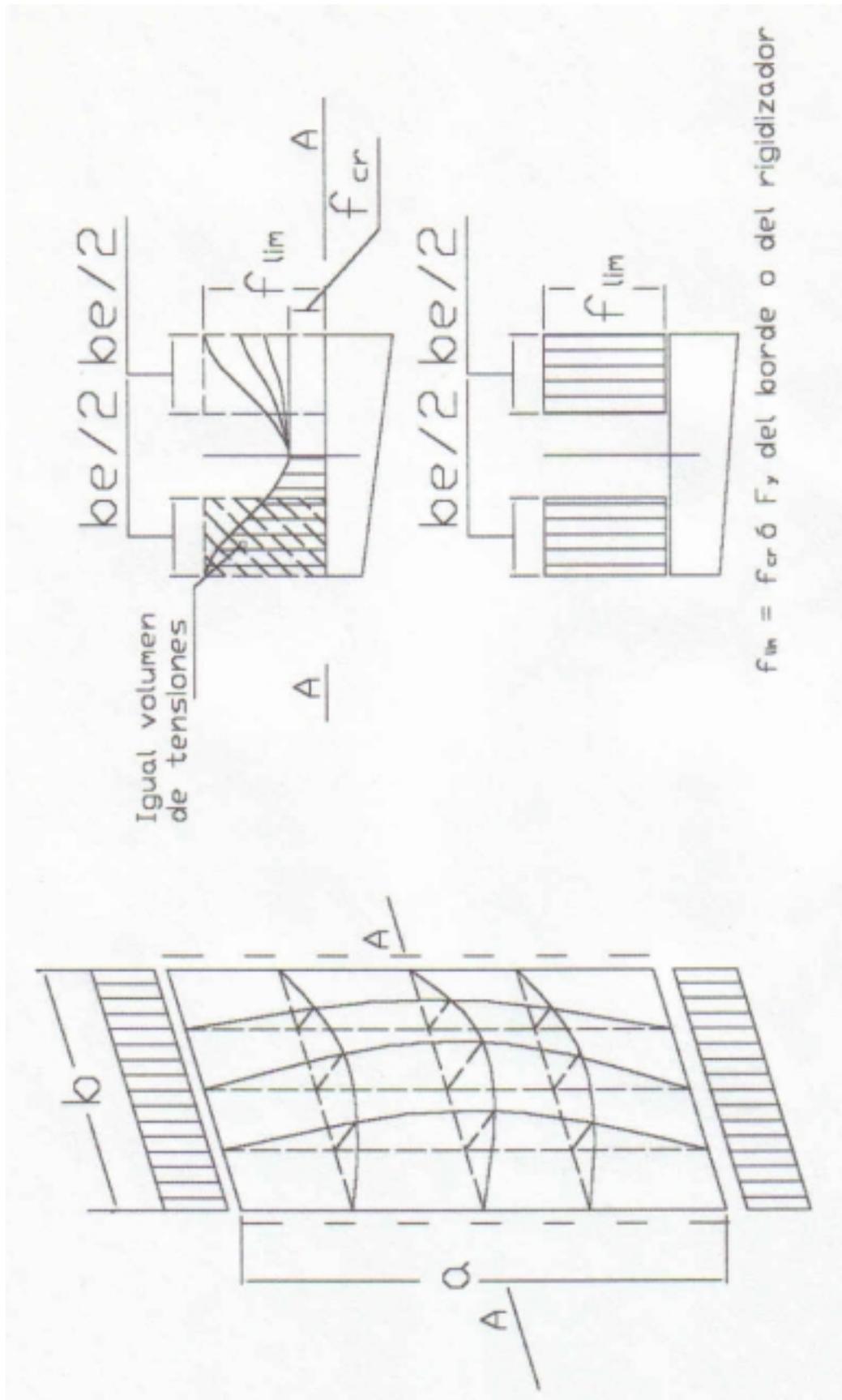
La tensión f_{kpl} (esfuerzo de pandeo en el rango de endurecimiento por deformación) resulta una función compleja de las variables que intervienen en el fenómeno esbeltez (b/t), condiciones de vínculo de los bordes, relación de apariencia (a/b), módulo E y coeficiente de Poisson μ . Las relaciones basadas en las expresiones anteriores no resultan aplicables.

Estudios analíticos y experimentales indican que deformaciones unitarias de 3 o más veces la deformación de fluencia pueden alcanzarse siempre que

$$\sqrt{\frac{F_y}{f_{kpl}}} \leq 0.45 + 0.60 \quad \text{según las condiciones de vínculo de los bordes}$$

El reglamento CIRSOC 301-EL y las especificaciones AISC consideran el comportamiento plástico limitando los valores de esbeltez para rangos de plastificación de 3 y 7 veces la deformación de fluencia (λ_p y λ_{pp})

Si se cumple $(b/t) \leq \lambda_p$ se dice que la placa es **compacta**



6.1.1.4. Pandeo post – crítico de placas planas

En placas con bordes apoyados, la carga crítica se alcanza en las fajas centrales, mientras las fajas cercanas a los bordes pueden recibir más carga sin abollar, hasta el límite de fluencia o el límite de estabilidad del borde. Esta resistencia por encima de la carga crítica se denomina resistencia o pandeo **post –crítico**.

$$P_t = t \int f db > t b F_{cr}$$

La carga de pandeo post –crítico depende de la esbeltez de la placa **b/t** , de las condiciones de vínculo, de las grandes deformaciones, de la excentricidad de la carga, del comportamiento inelástico del material, de las imperfecciones de la planitud de la placa, y de la capacidad resistente de los bordes.

La relación entre capacidad post- crítica y capacidad crítica es tanto mayor cuanto mayor es la relación (**b/t**), por ello la reglamentación limita la esbeltez máxima admisible en placas componentes de secciones.

A fines prácticos, siguiendo las ideas de Von Karman y Winter, se considera un **ancho efectivo (be)** menor que el ancho del elemento (**b**) que multiplicado por el esfuerzo a alcanzar en el borde resulta igual a la capacidad post- crítica total. Matemáticamente, el volumen de tensiones encerrado por la curva de tensiones críticas variable es igual al volumen de tensiones adoptado con tensiones uniformes iguales a la tensión máxima en el borde.

$$P_t = t \int f db = t b_e F_y \text{ ó } = t b_e F_{max}$$

F_{max} es el máximo esfuerzo en el borde, menor o igual que **F_y**, pe: el esfuerzo crítico del borde rigidizado o la carga crítica de la pieza en su conjunto.

Aceptando que el ancho efectivo b_e se puede considerar como el ancho de placa que pandea a la tensión f , podemos expresar:

$$f = k_c \cdot E \cdot \left(\frac{t}{b_e} \right)^2 \Rightarrow b_e = C \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{f}}$$

De acuerdo con esto, el ancho efectivo b_e es función de la tensión desarrollada en la placa f , por encima de la tensión crítica F_{cr} , por lo que no es un valor constante o fijo.

La capacidad de las placas de transmitir esfuerzos de compresión por encima de la tensión crítica es considerada por CIRSOC 301-EL, AISC-LRFD y EUROCODE 3.

6.1.2. Placas planas sometidas a esfuerzos tangenciales

Una placa apoyada por 4 bordes sometida a esfuerzo tangencial uniformemente distribuido en esos bordes $t_x = t_y$ se comporta en forma equivalente a la placa sometida a esfuerzos normales de tracción y compresión ubicados a 45° con la dirección del cortante.

6.1.2.1. Pandeo elástico de placas planas con esfuerzo tangencial

La solución de la ecuación diferencial conduce a la expresión de la tensión crítica elástica:

$$f_{cb} = k_v \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2 = k_v \cdot E \cdot \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2 \quad (\text{MPa})$$

a = longitud de la placa

h_w = ancho de la placa

t_w = espesor de la placa

k_v = Coeficiente de pandeo de placa solicitada a corte. Depende de las condiciones de borde y de la relación $\alpha = a/h_w$

Toma aproximadamente los siguientes valores:

$$\text{Para } \alpha = a/h_w \geq 1 \quad k_v = 5.34 + (4 / \alpha^2)$$

$$\text{Para } \alpha = a/h_w < 1 \quad k_v = 4.00 + (5.34 / \alpha^2)$$

En forma aproximada y general se puede tomar con suficiente aproximación:

$$\text{Para todo } \alpha = a/h_w \quad k_v = 5 + (5 / \alpha^2)$$

Para placas sin rigidizadores $\alpha \rightarrow \infty$ y resulta $k_v = 5$, para $\alpha > 3$ se puede considerar cumplida esta condición.

6.1.2.2. Pandeo inelástico de placas planas con esfuerzos tangenciales

La tensión crítica de pandeo inelástico se obtiene de la misma forma que para las tensiones de compresión. Basler ha propuesto una forma simplificada

$$f_{vcr} = \sqrt{f_{vcre} * f_{vp}}$$

f_{vcr} = tensión crítica por corte en rango inelástico

f_{vcre} = tensión crítica por corte en rango elástico, en una placa sin rigidizadores con $k_v = 5$

$f_{vp} = 0.8 * F_y / \sqrt{3} \cong 0.48 * F_y$ tensión de proporcionalidad en cortante