

## **COLUMNAS Y OTRAS BARRAS AXILMENTE COMPRIMIDAS**

# Columnas y otras barras axialmente comprimidas

- **Capítulo E Columnas y otras barras comprimidas**
- **Apéndice E Columnas y otras barras comprimidas**
  - ➔ **B.4 Estabilidad**
  - ➔ **B.5 y A.B.5 Pandeo local**
  - ➔ **B.7 Esbeltez límite**
  - ➔ **C.1.4 Efecto de las deformaciones (Efectos de segundo orden)**
  - ➔ **C.2 Estabilidad de la estructura**
  - ➔ **Capítulo H y Apéndice H Barras sometidas a solicitaciones combinadas y torsión**
  - ➔ **J.1.4 Apoyo por contacto de barras comprimidas**
- \* **Comentarios a cada ítem enunciado**

# Capacidad de una barra comprimida - $P_d$

■ **Capacidad nominal  $P_n$**

$$P_n = A_g \cdot F_{cr} \quad (\text{E2.1})$$

■ **Factor de resistencia**

$$\phi_c = 0,85$$

■ **Capacidad disponible, de diseño o de proyecto**

$$P_d = \phi_c \cdot P_n$$

# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

- Comportamiento de barras en zona elástica - Solución de Euler
- Comportamiento de barras en zona inelástica – Solución Engesser+
- Aplicación CIRSOC 301 – EL
  - ★ Secciones NO compactas
  - ★ Secciones esbeltas
- Restricciones de extremo:
  - ★ Apoyos idealizados
  - ★ Barras que conforman pórticos

# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## ■ Solución de Euler

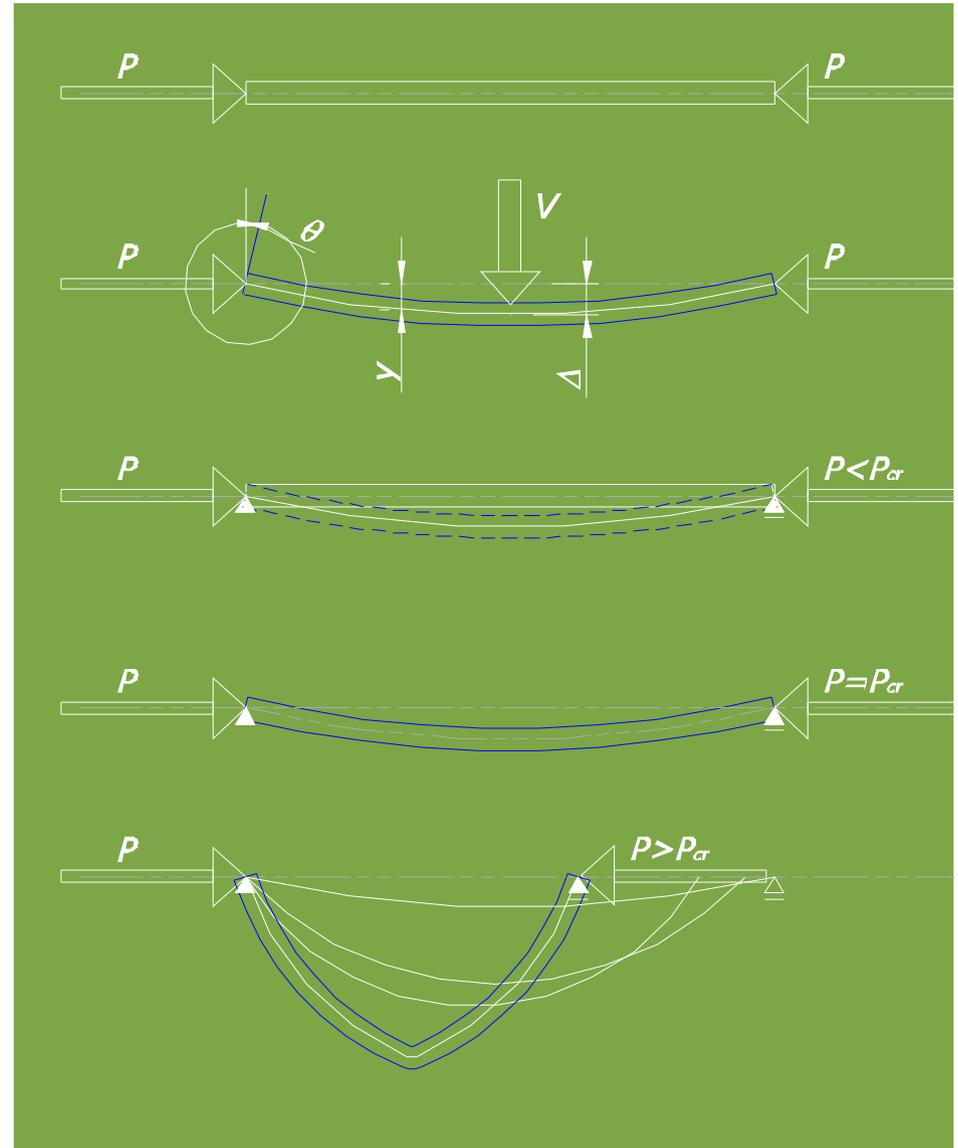
- ◆ ***Barra idealmente recta***
- ◆ ***Carga centrada en el baricentro de la sección transversal de la pieza***
- ◆ ***Columna larga***
- ◆ ***Material idealmente elástico***
- ◆ ***Material homogéneo***
- ◆ ***Apoyos en los extremos de la columna sin restricción al giro de la sección, perfecta articulación, y sin desplazamiento lateral***
- ◆ ***La deformación sobreviniente al pandeo es flexión recta***

# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## ■ Solución de Euler

$$P_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2 \cdot A_g} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

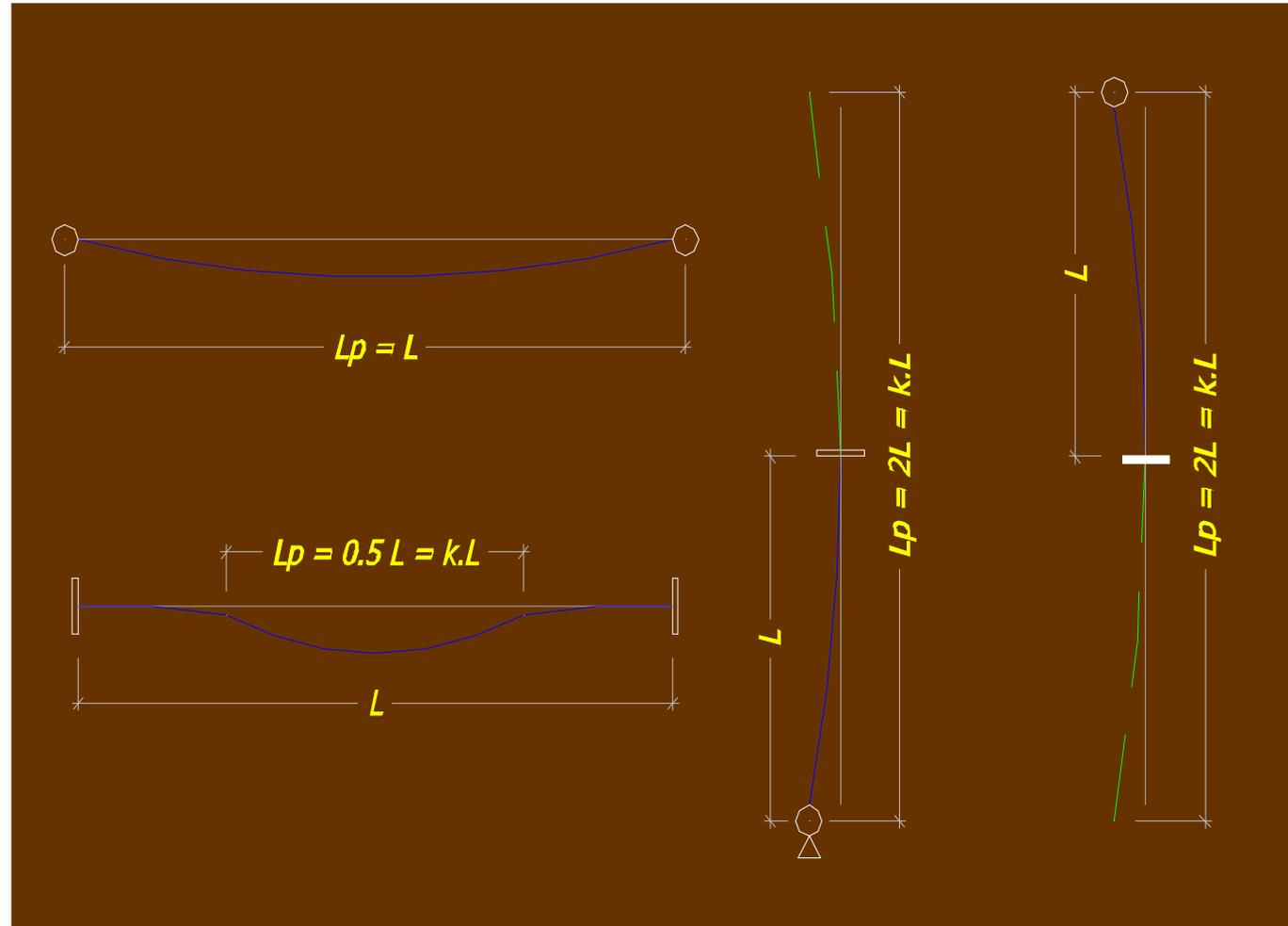


# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## Factor de pandeo $k$

$$P_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot L)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot L)^2 \cdot A_g} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)^2}$$



# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## Factor de pandeo $k$

*Válido para columnas que NO conforman pórticos...*

*Para las que se puede asumir la forma y rigidez de los vínculos por inspección o criterio profesional*

$$F_{cr} \rightarrow \frac{VALOR}{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)^2}$$

Tabla C-C.2-1  
Valores de K para columnas

|  | (a)   | (b)  | (c) | (d) | (e)  | (f) |
|--|---|------|-----|-----|------|-----|
| La forma de pandeo se indica en línea de puntos          |   |      |     |     |      |     |
| Valores teóricos de K                                    | 0,5   | 0,7  | 1,0 | 1,0 | 2,0  | 2,0 |
| Valores recomendados de proyecto para condiciones reales | 0,65  | 0,80 | 1,2 | 1,0 | 2,10 | 2,0 |
| Condiciones de vínculo                                   | Rotación y Traslación impedida<br>Rotación libre y Traslación impedida<br>Rotación impedida y Traslación libre<br>Rotación libre y Traslación libre |      |     |     |      |     |

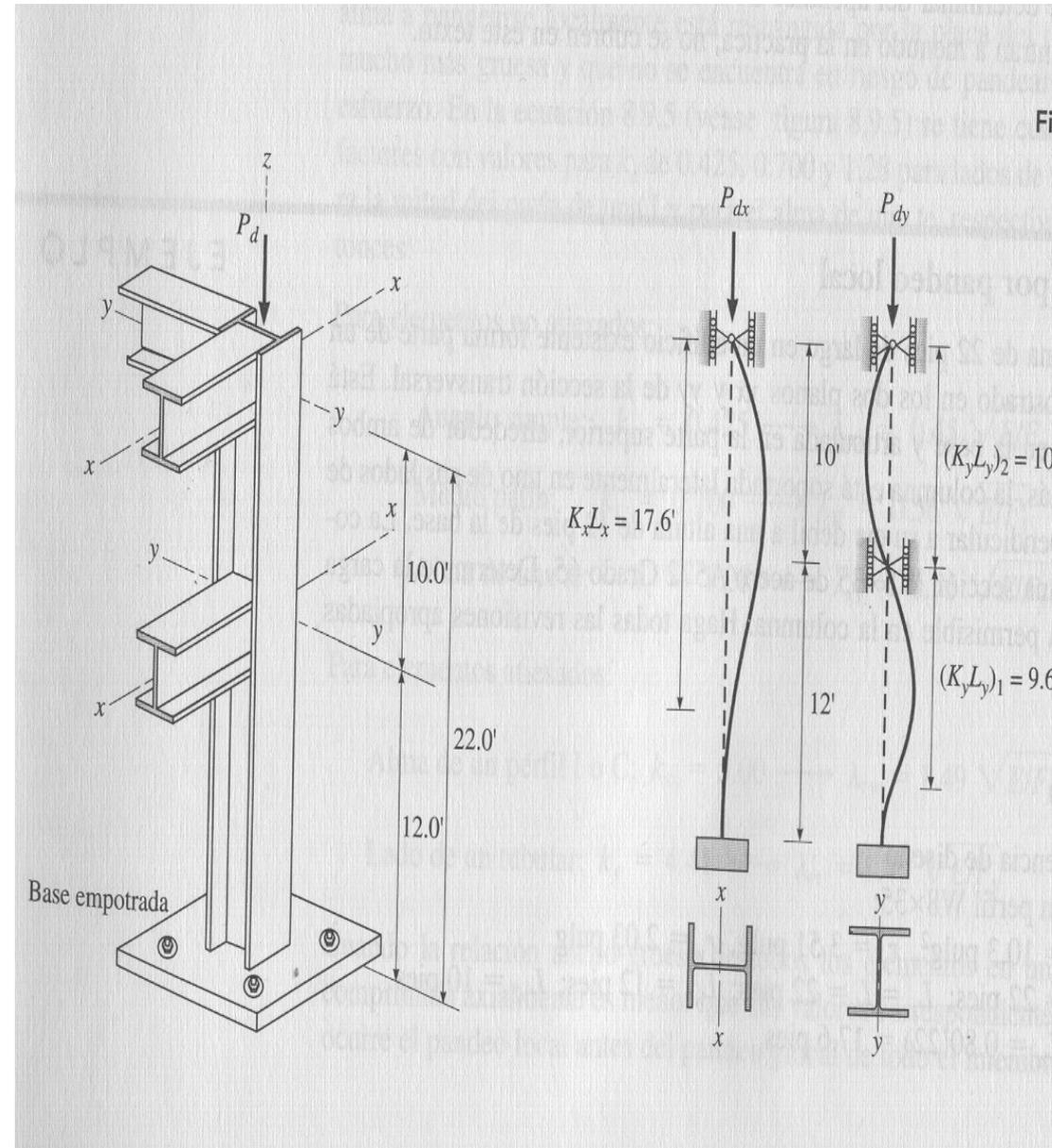
# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## LONGITUD DE PANDEO

La longitud de pandeo, y la esbeltez, pueden resultar diferentes según cada eje de flexión de la columna o barra comprimida.

La situación preferible al proyecto es aquella para la que las esbelteces para cualquier eje de flexión resultan aproximadamente iguales

$$F_{cr} \rightarrow \frac{VALOR}{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)^2}$$



# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## ■ Pandeo INELÁSTICO

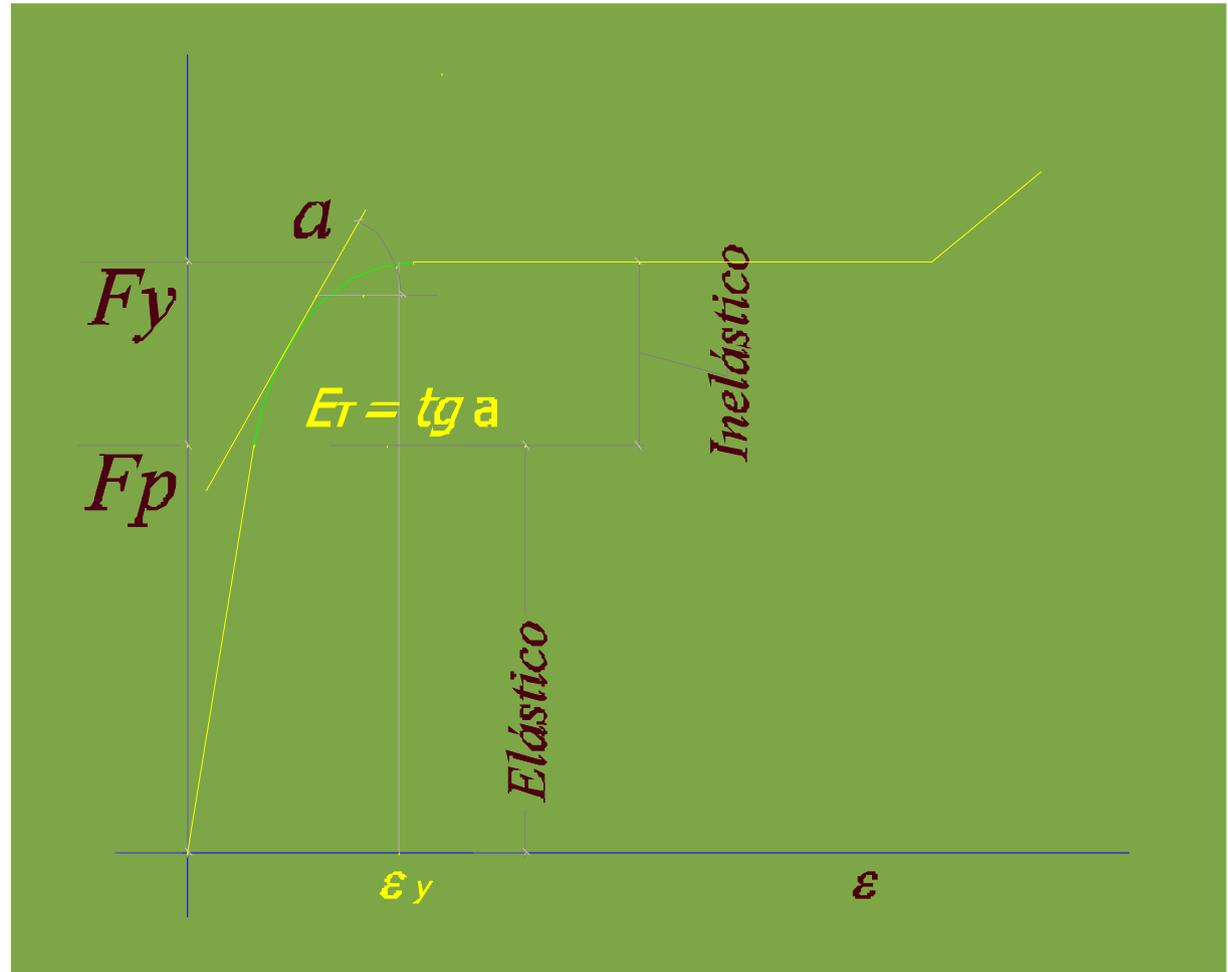
- ◆ ***Barra idealmente recta***
- ◆ ***Carga centrada en el baricentro de la sección transversal de la pieza***
- ◆ ***Columna INTERMEDIA o CORTA***
- ◆ ***Material INELÁSTICO***
- ◆ ***Material homogéneo, con comportamiento HETEROGÉNEO***
- ◆ ***Apoyos en los extremos de la columna sin restricción al giro de la sección, perfecta articulación, y sin desplazamiento lateral***
- ◆ ***La deformación sobreviniente EN FLEXIÓN***

# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## ■ Pandeo INELÁSTICO

$$P_{eT} = \frac{\pi^2 \cdot E_T \cdot I}{(k \cdot L)^2}$$

$$F_{eT} = \frac{\pi^2 \cdot E_T \cdot I}{(k \cdot L)^2 \cdot A_g} = \frac{\pi^2 \cdot E_T}{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)^2}$$



# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## INFLUENCIA DE LAS TENSIONES RESIDUALES

Las tensiones residuales se generan con el enfriamiento desigual de las diversas partes de un perfil laminado o soldado. Los esfuerzos crecen con el espesor de las partes componentes.

El esfuerzo de proporcionalidad para la sección del perfil es menor que el definido para la barra circular comúnmente usada en ensayos.

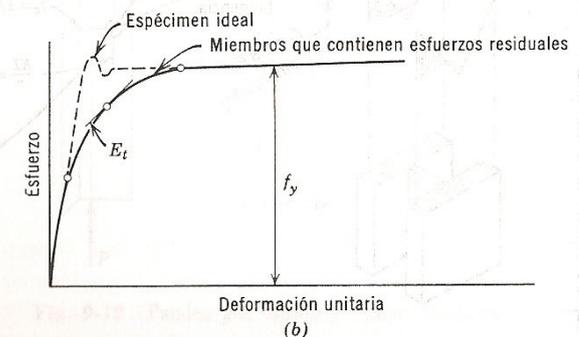
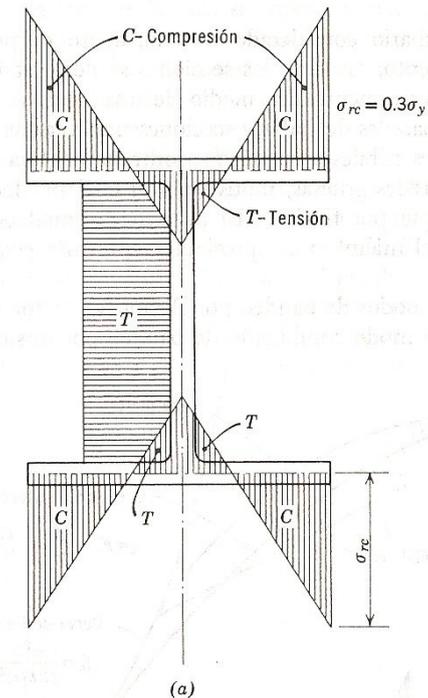
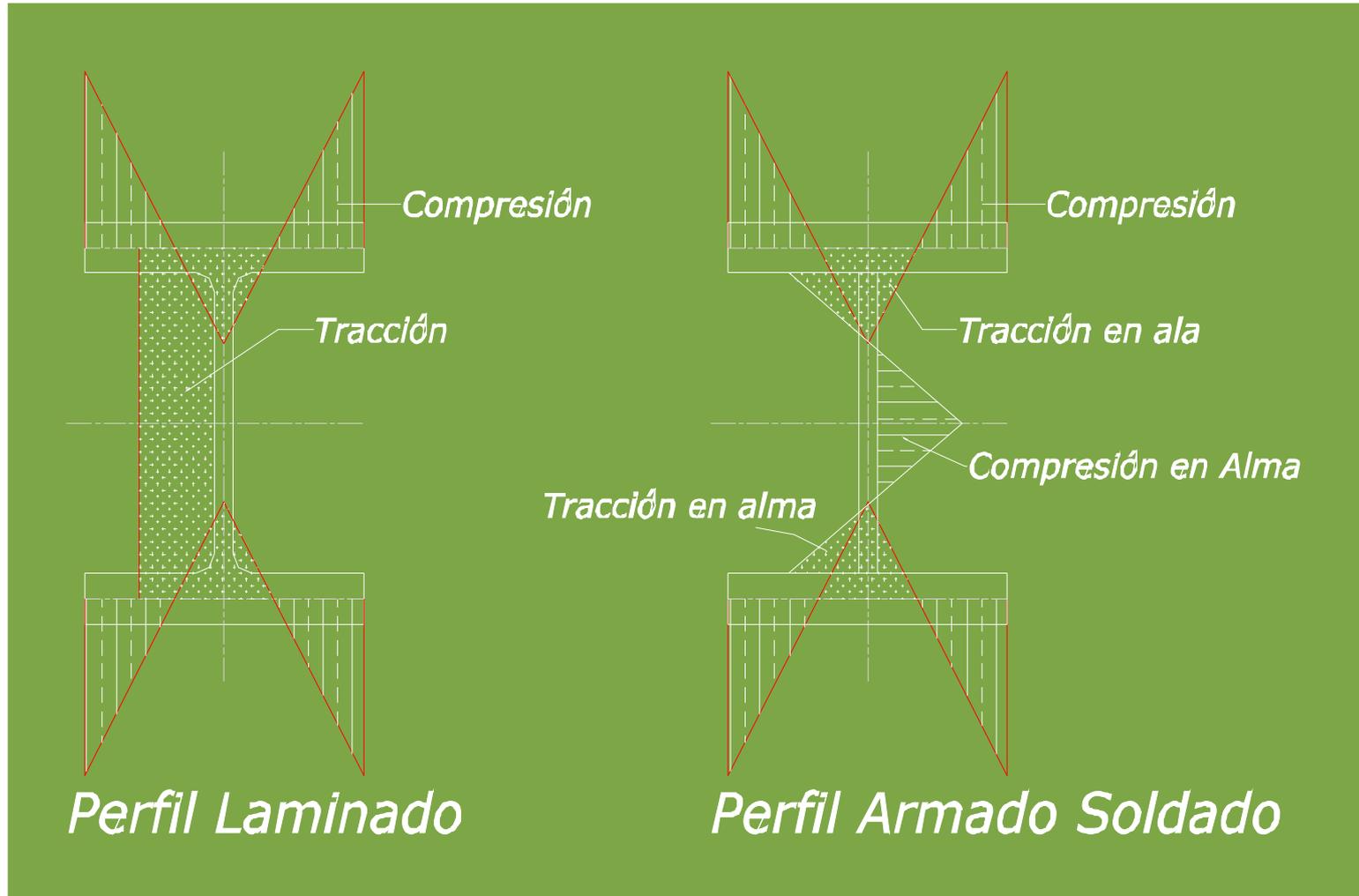


Fig. 9-10 Esfuerzos residuales en perfiles laminados. (a) Distribución de esfuerzos residuales supuesta en un perfil laminado. (b) Influencia de los esfuerzos residuales en el diagrama esfuerzo-deformación unitaria.

# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

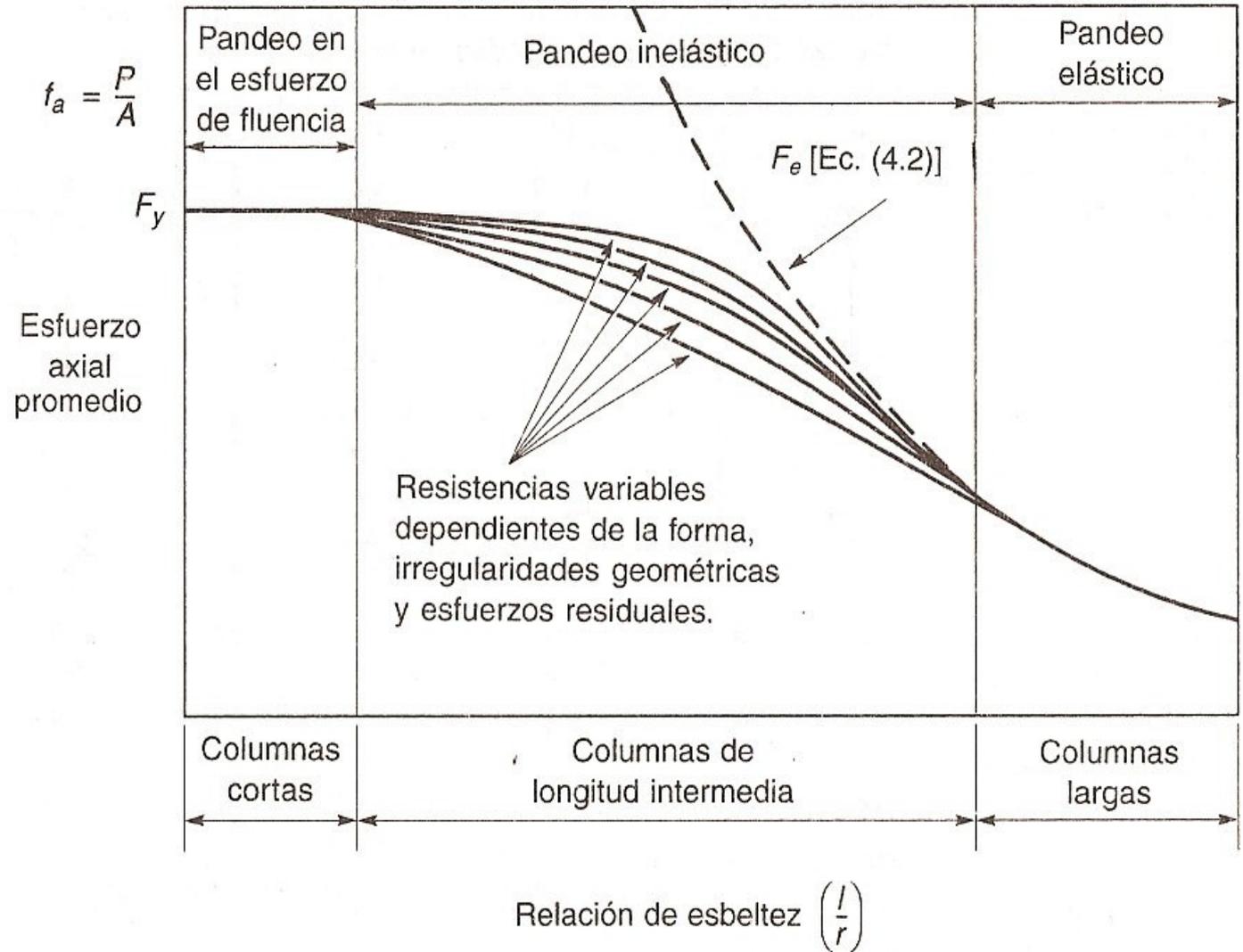
## Tensiones residuales



# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## Curvas de resistencia

Considerando las circunstancias y fenómenos descritos, las curvas que relacionan la carga crítica y la esbeltez de una barra resultan:



# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## CURVAS Y FÓRMULAS DE APLICACIÓN PRÁCTICA (CIRSOC 301)

El SSRC (Structural Stability Research Council) propone, continuando los lineamientos del CRC (Column Research Council) >> AISC >> CIRSOC

### ■ Pandeo INELÁSTICO

– una fórmula de transición empírica, entre  $F_y=0$  y  $F_{cr}=0,45F_y$

### ■ Pandeo ELÁSTICO

– aplicar la fórmula de Euler con corrección

■ Considerar imperfecciones iniciales: heterogeneidad del material, curvatura de la pieza (se asume una falta de rectitud senoidal  $L/1500$ )

## TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

- Pandeo INELÁSTICO –  $\lambda_c \leq 1,5$

$$F_{cr} = 0,658^{\lambda_c^2} \cdot F_y \quad (\text{E.2.2})$$

- Pandeo ELÁSTICO –  $\lambda_c \geq 1,5$

$$F_{cr} = \frac{0,877}{\lambda_c^2} \cdot F_y \quad (\text{E.2.3})$$

- Parámetro de esbeltez:

$$\lambda_c^2 = \frac{F_y}{F_{cr}} \geq \lambda_c = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{k \cdot L}{r} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (\text{E.2.4})$$

# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## ■ Parámetro de esbeltez:

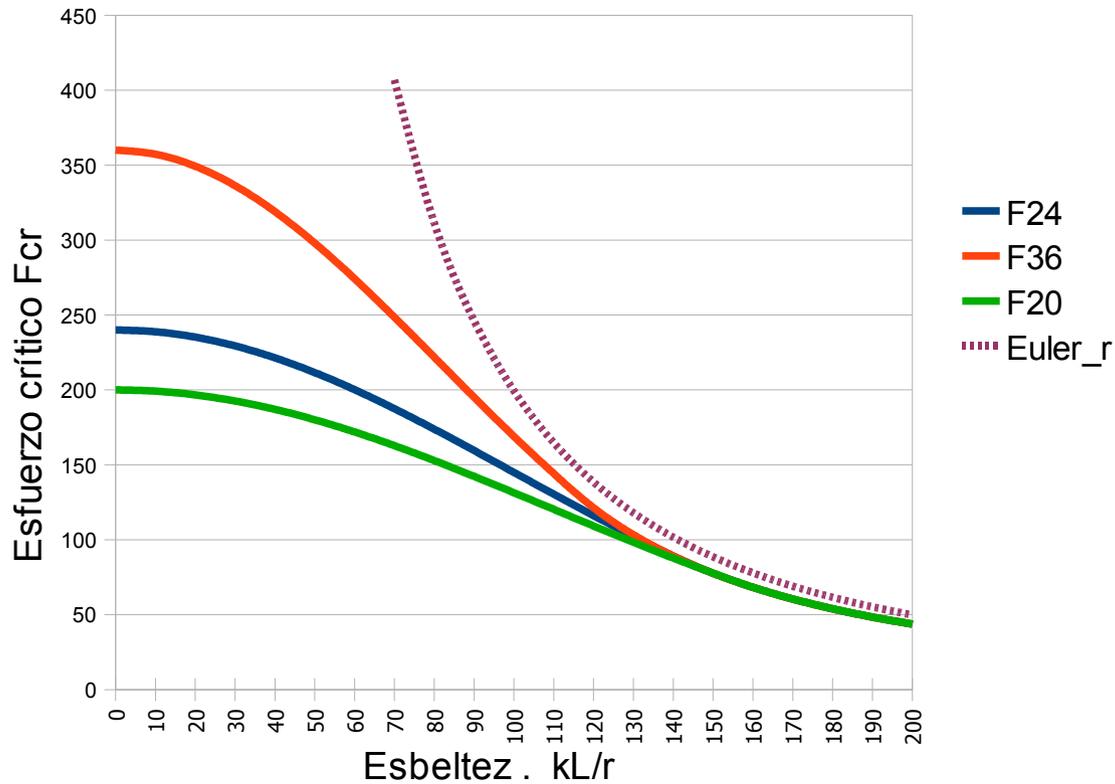
$$\lambda_c^2 = \frac{F_y}{F_{cr}} \geq \lambda_c = \frac{k \cdot L}{r \cdot \pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$F_{cr} = \frac{F_y}{\lambda_c^2} \geq F_{cr} = \frac{F_y}{1,5^2} \approx 0,444 \cdot F_y = F_e$$

# TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

## TENSIÓN CRÍTICA de PANDEO

Curvas CIRSOC 301-EL



Condiciones:

■ Límite pandeo elástico / inelástico

$$\lambda_c = 1,5$$

■ Esbeltez límite

$$\frac{k \cdot L}{r} \leq 200$$

## TENSIÓN CRÍTICA DE PANDEO $F_{cr}$

- Procedimiento para determinar la capacidad en compresión:
  - ▶ *Definir el tipo y calidad de acero*
  - ▶ *Determinar la longitud de pandeo:  $k.L$*
  - ▶ *Proponer una sección para la columna*
  - ▶ *Verificar el pandeo local de elementos comprimidos. (Definir la compacidad de la sección)*
  - ▶ *Calcular  $k.L/r$  y  $\lambda_c$*
  - ▶ *Aplicar las expresiones E.2.2 o E.2.3, ó (A-E.2.2 o A-E.2.3)*
  - ▶ *Determinar  $P_n$  y  $P_d$*

## Capacidad de una barra comprimida - $P_d$

- Pandeo INELÁSTICO –  $\lambda_c \leq 1,5$

$$F_{cr} = 0,658^{\lambda_c^2} \cdot F_y \quad (\text{E.2.2})$$

- Pandeo ELÁSTICO –  $\lambda_c \geq 1,5$

$$F_{cr} = \frac{0,877}{\lambda_c^2} \cdot F_y \quad (\text{E.2.3})$$

- Parámetro de esbeltez:

$$\lambda_c^2 = \frac{F_y}{F_{cr}} \quad \Leftrightarrow \quad \lambda_c = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{k \cdot L}{r} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (\text{E.2.4})$$

# Capacidad de una barra comprimida - $P_d$

TABLA 1-235  
Tensión de Diseño para Barras Comprimidas de  
Acero con Tensión de Fluencia  $F_y = 235$  MPa,  $\phi_c = 0,85^{[a]}$   
Sección E.2.

## ■ Ayudas

- ◆ Tablas de valores  $\phi F_{cr}$ , en función de  $k.L/r$  para cada tipo de acero

| $\frac{kL}{r}$ | $\lambda_c$ | $\phi_c \cdot F_{cr}$<br>MPa |
|----------------|-------------|------------------------------|----------------|-------------|------------------------------|----------------|-------------|------------------------------|----------------|-------------|------------------------------|----------------|-------------|------------------------------|
| 1              | 0,01        | 199,74                       | 41             | 0,45        | 183,70                       | 81             | 0,88        | 144,05                       | 121            | 1,32        | 96,30                        | 161            | 1,76        | 56,77                        |
| 2              | 0,02        | 199,71                       | 42             | 0,46        | 182,94                       | 82             | 0,89        | 142,88                       | 122            | 1,33        | 95,15                        | 162            | 1,77        | 56,07                        |
| 3              | 0,03        | 199,66                       | 43             | 0,47        | 182,17                       | 83             | 0,91        | 141,71                       | 123            | 1,34        | 93,99                        | 163            | 1,78        | 55,38                        |
| 4              | 0,04        | 199,59                       | 44             | 0,48        | 181,38                       | 84             | 0,92        | 140,54                       | 124            | 1,35        | 92,84                        | 164            | 1,79        | 54,71                        |
| 5              | 0,05        | 199,50                       | 45             | 0,49        | 180,58                       | 85             | 0,93        | 139,36                       | 125            | 1,36        | 91,70                        | 165            | 1,80        | 54,05                        |
| 6              | 0,07        | 199,39                       | 46             | 0,50        | 179,76                       | 86             | 0,94        | 138,18                       | 126            | 1,37        | 90,56                        | 166            | 1,81        | 53,40                        |
| 7              | 0,08        | 199,26                       | 47             | 0,51        | 178,93                       | 87             | 0,95        | 136,99                       | 127            | 1,39        | 89,42                        | 167            | 1,82        | 52,76                        |
| 8              | 0,09        | 199,11                       | 48             | 0,52        | 178,08                       | 88             | 0,96        | 135,80                       | 128            | 1,40        | 88,29                        | 168            | 1,83        | 52,14                        |
| 9              | 0,10        | 198,95                       | 49             | 0,53        | 177,23                       | 89             | 0,97        | 134,61                       | 129            | 1,41        | 87,17                        | 169            | 1,84        | 51,52                        |
| 10             | 0,11        | 198,78                       | 50             | 0,55        | 176,35                       | 90             | 0,98        | 133,41                       | 130            | 1,42        | 86,05                        | 170            | 1,85        | 50,92                        |
| 11             | 0,12        | 198,55                       | 51             | 0,56        | 175,47                       | 91             | 0,99        | 132,21                       | 131            | 1,43        | 84,94                        | 171            | 1,87        | 50,32                        |
| 12             | 0,13        | 198,32                       | 52             | 0,57        | 174,57                       | 92             | 1,00        | 131,01                       | 132            | 1,44        | 83,83                        | 172            | 1,88        | 49,74                        |
| 13             | 0,14        | 198,07                       | 53             | 0,58        | 173,66                       | 93             | 1,01        | 129,81                       | 133            | 1,45        | 82,73                        | 173            | 1,89        | 49,17                        |
| 14             | 0,15        | 197,81                       | 54             | 0,59        | 172,74                       | 94             | 1,03        | 128,61                       | 134            | 1,46        | 81,64                        | 174            | 1,90        | 48,60                        |
| 15             | 0,16        | 197,52                       | 55             | 0,60        | 171,80                       | 95             | 1,04        | 127,40                       | 135            | 1,47        | 80,55                        | 175            | 1,91        | 48,05                        |
| 16             | 0,17        | 197,22                       | 56             | 0,61        | 170,85                       | 96             | 1,05        | 126,20                       | 136            | 1,48        | 79,47                        | 176            | 1,92        | 47,50                        |
| 17             | 0,19        | 196,89                       | 57             | 0,62        | 169,89                       | 97             | 1,06        | 124,99                       | 137            | 1,49        | 78,40                        | 177            | 1,93        | 46,97                        |
| 18             | 0,20        | 196,55                       | 58             | 0,63        | 168,92                       | 98             | 1,07        | 123,78                       | 138            | 1,51        | 77,27                        | 178            | 1,94        | 46,44                        |
| 19             | 0,21        | 196,19                       | 59             | 0,64        | 167,94                       | 99             | 1,08        | 122,57                       | 139            | 1,52        | 76,16                        | 179            | 1,95        | 45,92                        |
| 20             | 0,22        | 195,81                       | 60             | 0,65        | 166,95                       | 100            | 1,09        | 121,36                       | 140            | 1,53        | 75,07                        | 180            | 1,96        | 45,42                        |
| 21             | 0,23        | 195,41                       | 61             | 0,67        | 165,94                       | 101            | 1,10        | 120,15                       | 141            | 1,54        | 74,01                        | 181            | 1,97        | 44,91                        |
| 22             | 0,24        | 194,99                       | 62             | 0,68        | 164,93                       | 102            | 1,11        | 118,94                       | 142            | 1,55        | 72,97                        | 182            | 1,99        | 44,42                        |
| 23             | 0,25        | 194,55                       | 63             | 0,69        | 163,91                       | 103            | 1,12        | 117,73                       | 143            | 1,56        | 71,96                        | 183            | 2,00        | 43,94                        |
| 24             | 0,26        | 194,10                       | 64             | 0,70        | 162,87                       | 104            | 1,13        | 116,53                       | 144            | 1,57        | 70,96                        | 184            | 2,01        | 43,46                        |
| 25             | 0,27        | 193,62                       | 65             | 0,71        | 161,83                       | 105            | 1,15        | 115,32                       | 145            | 1,58        | 69,99                        | 185            | 2,02        | 42,99                        |
| 26             | 0,28        | 193,13                       | 66             | 0,72        | 160,78                       | 106            | 1,16        | 114,11                       | 146            | 1,59        | 69,03                        | 186            | 2,03        | 42,53                        |
| 27             | 0,29        | 192,62                       | 67             | 0,73        | 159,71                       | 107            | 1,17        | 112,91                       | 147            | 1,60        | 68,09                        | 187            | 2,04        | 42,08                        |
| 28             | 0,31        | 192,10                       | 68             | 0,74        | 158,64                       | 108            | 1,18        | 111,70                       | 148            | 1,61        | 67,18                        | 188            | 2,05        | 41,63                        |
| 29             | 0,32        | 191,55                       | 69             | 0,75        | 157,56                       | 109            | 1,19        | 110,50                       | 149            | 1,63        | 66,28                        | 189            | 2,06        | 41,19                        |
| 30             | 0,33        | 190,99                       | 70             | 0,76        | 156,48                       | 110            | 1,20        | 109,30                       | 150            | 1,64        | 65,40                        | 190            | 2,07        | 40,76                        |
| 31             | 0,34        | 190,41                       | 71             | 0,77        | 155,38                       | 111            | 1,21        | 108,11                       | 151            | 1,65        | 64,53                        | 191            | 2,08        | 40,33                        |
| 32             | 0,35        | 189,81                       | 72             | 0,79        | 154,28                       | 112            | 1,22        | 106,91                       | 152            | 1,66        | 63,69                        | 192            | 2,09        | 39,92                        |
| 33             | 0,36        | 189,20                       | 73             | 0,80        | 153,17                       | 113            | 1,23        | 105,72                       | 153            | 1,67        | 62,86                        | 193            | 2,11        | 39,50                        |
| 34             | 0,37        | 188,57                       | 74             | 0,81        | 152,05                       | 114            | 1,24        | 104,53                       | 154            | 1,68        | 62,05                        | 194            | 2,12        | 39,10                        |
| 35             | 0,38        | 187,92                       | 75             | 0,82        | 150,92                       | 115            | 1,25        | 103,34                       | 155            | 1,69        | 61,25                        | 195            | 2,13        | 38,70                        |
| 36             | 0,39        | 187,26                       | 76             | 0,83        | 149,79                       | 116            | 1,27        | 102,16                       | 156            | 1,70        | 60,46                        | 196            | 2,14        | 38,30                        |
| 37             | 0,40        | 186,58                       | 77             | 0,84        | 148,65                       | 117            | 1,28        | 100,98                       | 157            | 1,71        | 59,70                        | 197            | 2,15        | 37,92                        |
| 38             | 0,41        | 185,88                       | 78             | 0,85        | 147,51                       | 118            | 1,29        | 99,81                        | 158            | 1,72        | 58,94                        | 198            | 2,16        | 37,53                        |
| 39             | 0,43        | 185,17                       | 79             | 0,86        | 146,36                       | 119            | 1,30        | 98,64                        | 159            | 1,73        | 58,20                        | 199            | 2,17        | 37,16                        |
| 40             | 0,44        | 184,44                       | 80             | 0,87        | 145,21                       | 120            | 1,31        | 97,47                        | 160            | 1,75        | 57,48                        | 200            | 2,18        | 36,79                        |

a) Con elementos cuya esbeltez excede  $\lambda_c$  ver apéndice B.5-3

# Capacidad de una barra comprimida - $P_d$

## Ayudas

- Tablas de valores  $\phi F_{cr} / F_y$ , en función de  $k.L/r$  para cualquier tipo de acero

**TABLA 2**  
 Valores de  $\phi_c F_{cr} / F_y$ ;  $\phi_c = 0,85$  Para determinar la Tensión de Diseño para Barras Comprimidas de Acero con cualquier Tensión de Fluencia<sup>[a]</sup> -Sección E.2

| $\lambda_c$ | $\phi_c F_{cr} / F_y$ |
|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
| 0,02        | 0,850                 | 0,82        | 0,841                 | 1,82        | 0,284                 | 2,42        | 0,127                 |
| 0,04        | 0,849                 | 0,84        | 0,833                 | 1,84        | 0,277                 | 2,44        | 0,125                 |
| 0,06        | 0,849                 | 0,86        | 0,824                 | 1,86        | 0,271                 | 2,46        | 0,123                 |
| 0,08        | 0,848                 | 0,88        | 0,815                 | 1,88        | 0,264                 | 2,48        | 0,121                 |
| 0,10        | 0,846                 | 0,90        | 0,806                 | 1,70        | 0,258                 | 2,50        | 0,119                 |
| 0,12        | 0,845                 | 0,92        | 0,596                 | 1,72        | 0,252                 | 2,52        | 0,117                 |
| 0,14        | 0,843                 | 0,94        | 0,587                 | 1,74        | 0,246                 | 2,54        | 0,116                 |
| 0,16        | 0,841                 | 0,96        | 0,578                 | 1,76        | 0,241                 | 2,56        | 0,114                 |
| 0,18        | 0,839                 | 0,98        | 0,569                 | 1,78        | 0,235                 | 2,58        | 0,112                 |
| 0,20        | 0,836                 | 1,00        | 0,559                 | 1,80        | 0,230                 | 2,60        | 0,110                 |
| 0,22        | 0,833                 | 1,02        | 0,550                 | 1,82        | 0,225                 | 2,62        | 0,109                 |
| 0,24        | 0,830                 | 1,04        | 0,541                 | 1,84        | 0,220                 | 2,64        | 0,107                 |
| 0,26        | 0,826                 | 1,06        | 0,531                 | 1,86        | 0,215                 | 2,66        | 0,105                 |
| 0,28        | 0,823                 | 1,08        | 0,522                 | 1,88        | 0,211                 | 2,68        | 0,104                 |
| 0,30        | 0,819                 | 1,10        | 0,512                 | 1,90        | 0,206                 | 2,70        | 0,102                 |
| 0,32        | 0,814                 | 1,12        | 0,503                 | 1,92        | 0,202                 | 2,72        | 0,101                 |
| 0,34        | 0,810                 | 1,14        | 0,493                 | 1,94        | 0,198                 | 2,74        | 0,099                 |
| 0,36        | 0,805                 | 1,16        | 0,484                 | 1,96        | 0,194                 | 2,76        | 0,098                 |
| 0,38        | 0,800                 | 1,18        | 0,475                 | 1,98        | 0,190                 | 2,78        | 0,096                 |
| 0,40        | 0,795                 | 1,20        | 0,465                 | 2,00        | 0,186                 | 2,80        | 0,095                 |
| 0,42        | 0,790                 | 1,22        | 0,456                 | 2,02        | 0,183                 | 2,82        | 0,094                 |
| 0,44        | 0,784                 | 1,24        | 0,447                 | 2,04        | 0,179                 | 2,84        | 0,092                 |
| 0,46        | 0,778                 | 1,26        | 0,437                 | 2,06        | 0,176                 | 2,86        | 0,091                 |
| 0,48        | 0,772                 | 1,28        | 0,428                 | 2,08        | 0,172                 | 2,88        | 0,090                 |
| 0,50        | 0,766                 | 1,30        | 0,419                 | 2,10        | 0,169                 | 2,90        | 0,089                 |
| 0,52        | 0,759                 | 1,32        | 0,410                 | 2,13        | 0,164                 | 2,92        | 0,087                 |
| 0,54        | 0,752                 | 1,34        | 0,401                 | 2,14        | 0,163                 | 2,94        | 0,086                 |
| 0,56        | 0,745                 | 1,36        | 0,392                 | 2,16        | 0,160                 | 2,96        | 0,085                 |
| 0,58        | 0,738                 | 1,38        | 0,383                 | 2,18        | 0,157                 | 2,98        | 0,084                 |
| 0,60        | 0,731                 | 1,40        | 0,374                 | 2,20        | 0,154                 | 3,00        | 0,083                 |
| 0,62        | 0,724                 | 1,42        | 0,366                 | 2,22        | 0,151                 | 3,02        | 0,082                 |
| 0,64        | 0,716                 | 1,44        | 0,357                 | 2,24        | 0,149                 | 3,04        | 0,081                 |
| 0,66        | 0,708                 | 1,46        | 0,348                 | 2,26        | 0,146                 | 3,06        | 0,080                 |
| 0,68        | 0,700                 | 1,48        | 0,340                 | 2,28        | 0,143                 | 3,08        | 0,079                 |
| 0,70        | 0,692                 | 1,50        | 0,331                 | 2,30        | 0,141                 | 3,10        | 0,078                 |
| 0,72        | 0,684                 | 1,52        | 0,32                  | 2,32        | 0,138                 | 3,12        | 0,077                 |
| 0,74        | 0,676                 | 1,54        | 0,31                  | 2,34        | 0,136                 | 3,14        | 0,076                 |
| 0,76        | 0,667                 | 1,56        | 0,31                  | 2,36        | 0,134                 | 3,16        | 0,075                 |
| 0,78        | 0,659                 | 1,58        | 0,30                  | 2,38        | 0,132                 | 3,18        | 0,074                 |
| 0,80        | 0,650                 | 1,60        | 0,29                  | 2,40        | 0,129                 | 3,20        | 0,073                 |

[a] Con elementos cuya esbeltez excede  $\lambda_c$  ver Apéndice B, Sección A-B.5.3.  
 Para  $F_y = 215$  MPa  $kL/r > 200$  para  $\lambda_c > 2,08$ ; Para  $F_y = 225$  MPa  $kL/r > 200$  para  $\lambda_c > 2,13$   
 Para  $F_y = 235$  MPa  $kL/r > 200$  para  $\lambda_c > 2,18$ ; Para  $F_y = 248$  MPa  $kL/r > 200$  para  $\lambda_c > 2,24$   
 Para  $F_y = 344$  MPa  $kL/r > 200$  para  $\lambda_c > 2,64$

# Capacidad de una barra comprimida - $P_d$

TABLA 3

Relaciones de Esbeltez de Elementos Comprimidos en Función de  $F_y$  de Tabla B.5-1

## ■ Ayudas

- ◆ Relaciones de esbeltez de elementos (placas) comprimidas, para verificar pandeo local

| Rangos                | $F_y$ (MPa) |       |       |       |       |
|-----------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 215         | 225   | 235   | 248   | 344   |
| $135/\sqrt{F_y}$      | 9,2         | 9,0   | 8,8   | 8,6   | 7,3   |
| $170/\sqrt{F_y}$      | 11,6        | 11,3  | 11,1  | 10,8  | 9,2   |
| $200/\sqrt{F_y}$      | 13,6        | 13,3  | 13,0  | 12,7  | 10,8  |
| $250/\sqrt{F_y}$      | 17,0        | 16,7  | 16,3  | 15,9  | 13,5  |
| $335/\sqrt{F_y}$      | 22,8        | 22,3  | 21,8  | 21,3  | 18,1  |
| $370/\sqrt{F_y}$      | 25,2        | 24,7  | 24,1  | 23,5  | 19,9  |
| $370/\sqrt{F_y - 69}$ | 30,6        | 29,6  | 28,7  | 27,7  | 22,3  |
| $420/\sqrt{F_y}$      | 28,6        | 28,0  | 27,4  | 26,7  | 22,6  |
| $500/\sqrt{F_y}$      | 34,1        | 33,3  | 32,6  | 31,8  | 27,0  |
| $625/\sqrt{F_y}$      | 42,6        | 41,7  | 40,8  | 39,7  | 33,7  |
| $665/\sqrt{F_y}$      | 45,3        | 44,3  | 43,4  | 42,2  | 35,9  |
| $830/\sqrt{F_y}$      | 56,6        | 55,3  | 54,1  | 52,7  | 44,8  |
| $1370/\sqrt{F_y}$     | 93,4        | 91,3  | 89,4  | 87,0  | 73,9  |
| $1680/\sqrt{F_y}$     | 114,6       | 112,0 | 109,6 | 106,7 | 90,6  |
| $2140/\sqrt{F_y}$     | 145,9       | 142,7 | 139,6 | 135,9 | 115,4 |
| $2550/\sqrt{F_y}$     | 173,9       | 170,0 | 166,3 | 161,9 | 137,5 |
| $9000/F_y$            | 41,9        | 40,0  | 38,3  | 36,3  | 28,2  |
| $14000/F_y$           | 65,1        | 62,2  | 59,6  | 56,4  | 40,7  |
| $22000/F_y$           | 102,3       | 97,8  | 93,6  | 88,7  | 64,0  |
| $62000/F_y$           | 288,4       | 275,6 | 263,8 | 250,0 | 180,2 |

# Capacidad de una barra comprimida - $P_d$

## ■ Ayudas

## ◆ Tablas de coeficientes

$$P_n = A_g \cdot F_{cr}$$

$$P_d = \phi_c \cdot P_n$$

$$P_d = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_g$$

$$P_d = \left[ \phi_c \cdot \left[ EE(kl/r) \right] \right] F_y \cdot A_g$$

$$P_d = \phi_c \cdot F_y \cdot A_g$$

| Factor $\phi_c$ - |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 240               | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 0                 |      | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| 10                | 0,85 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,83 |
| 20                | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,81 |
| 30                | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |
| 40                | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,75 |
| 50                | 0,75 | 0,75 | 0,74 | 0,74 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,71 |
| 60                | 0,71 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,69 | 0,69 | 0,68 | 0,68 | 0,67 | 0,67 |
| 70                | 0,66 | 0,66 | 0,65 | 0,65 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,63 | 0,63 | 0,62 |
| 80                | 0,62 | 0,61 | 0,61 | 0,60 | 0,60 | 0,59 | 0,59 | 0,58 | 0,58 | 0,57 |
| 90                | 0,56 | 0,56 | 0,55 | 0,55 | 0,54 | 0,54 | 0,53 | 0,53 | 0,52 | 0,52 |
| 100               | 0,51 | 0,51 | 0,50 | 0,50 | 0,49 | 0,49 | 0,48 | 0,48 | 0,47 | 0,47 |
| 110               | 0,46 | 0,46 | 0,45 | 0,45 | 0,44 | 0,44 | 0,43 | 0,43 | 0,42 | 0,42 |
| 120               | 0,41 | 0,41 | 0,40 | 0,40 | 0,39 | 0,39 | 0,38 | 0,38 | 0,37 | 0,37 |
| 130               | 0,36 | 0,36 | 0,35 | 0,35 | 0,34 | 0,34 | 0,33 | 0,33 | 0,32 | 0,32 |
| 140               | 0,32 | 0,31 | 0,31 | 0,30 | 0,30 | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,28 | 0,28 |
| 150               | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,24 |
| 160               | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 |
| 170               | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,19 |
| 180               | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,17 |
| 190               | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| 200               | 0,15 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

## TENSIÓN CRÍTICA SECCIONES ESBELTAS - (A-B.5.3.d)

- ◆ **Son secciones ESBELTAS** aquellas en las que para algún elemento resulta:  $b/t > \lambda r$

- Pandeo *INELÁSTICO* –

$$\lambda_c \sqrt{Q} < 1,5 \qquad F_{cr} = Q \cdot \left( 0,658^{Q \cdot \lambda_c^2} \right) \cdot F_y \qquad (\text{A-B.5-15})$$

- Pandeo *ELÁSTICO* –

$$\lambda_c \sqrt{Q} \geq 1,5 \qquad F_{cr} = \frac{0,877}{\lambda_c^2} \cdot F_y \qquad (\text{A-B.5-16})$$

- **Factor de reducción por pandeo local, elementos esbeltos**

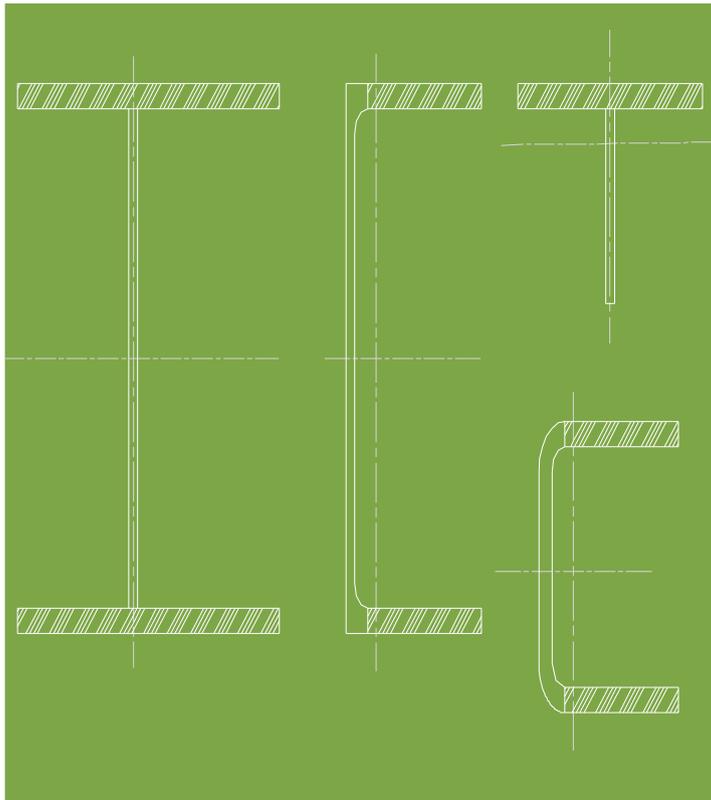
$$Q = Q_s \cdot Q_a \qquad (\text{A-B.5-17})$$

$Q_s$ : tiene en cuenta el pandeo local de elementos Rigidizados (A-B.5-3a)

$Q_a$ : tiene en cuenta el pandeo local de elementos NO Rigidizados (A-B.5-3b)

## Elementos comprimidos NO rigidizados - (A-B.5.3.a)

- ◆ La resistencia de diseño de barras con elementos esbeltos comprimidos no rigidizados, se reduce con el uso del factor  $Q_s$
- ◆ Como ejemplo: A-B.5.3.a.-



UTN - FRM

(b) Para *alas de perfiles laminados "doble Te", canales y "Tes", alas de pares de ángulos en unión continua, ángulos y placas salientes, en compresión axial o flexión* (Casos 1, 3 y 4, Tabla B.5.1), el valor de  $Q_s$  se determinará de la siguiente forma:

cuando:

$$0,56 \sqrt{E/F_y} < (b/t) < 1,03 \sqrt{E/F_y}$$

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y/E} \leq 1 \quad (\text{A-B.5.5})$$

cuando:

$$(b/t) \geq 1,03 \sqrt{E/F_y}$$

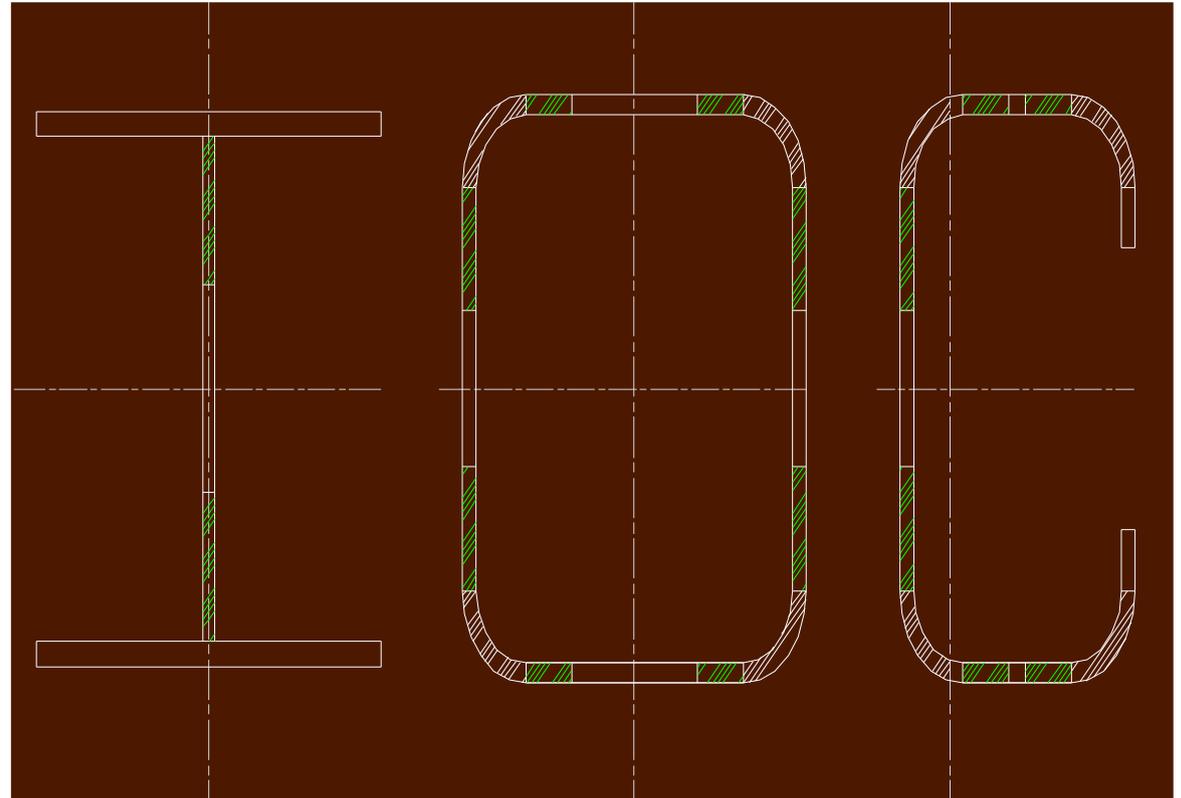
$$Q_s = \frac{0,69 E}{\left[ F_y \left( \frac{b}{t} \right)^2 \right]} \leq 1 \quad (\text{A-B.5.6})$$

## Elementos comprimidos Rigidizados - (A-B.5.3.b)

- La resistencia de diseño de barras con elementos esbeltos comprimidos rigidizados, se reduce con el uso del factor  $Q_a$
- Como ejemplo: A-B.5.3.b.-  
Alas de sección caja  
Alma de U, I, W, C

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

$$A_{ef} = A_g - \sum (b - b_e) \cdot t$$



## Elementos comprimidos Rigidizados - (A-B.5.3.b)

(b) Para **otros elementos uniformemente comprimidos**. (Casos 10 y 12, Tabla B.5.1), el valor  $b_e$  se debe determinar de la siguiente forma:

cuando:

$$\left(\frac{b}{t}\right) \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$b_e = 1,91 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[ 1 - \frac{0,34}{\left(\frac{b}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \quad (\text{A-B.5.12})$$

como máximo  $b_e = b$

siendo:

- $b$  el ancho real de un elemento comprimido rigidizado como está definido en la Sección B.5.1. , en cm.
- $b_e$  el ancho efectivo reducido, en cm.
- $t$  el espesor del elemento, en cm.
- $f$  la tensión de compresión elástica calculada en el elemento rigidizado, basada en las propiedades de la sección para el dimensionamiento como se especifica en la Sección A-B.5.3.c., en MPa. Si la sección transversal contiene elementos no rigidizados, "  $f$  " para los elementos rigidizados deberá ser tal que la máxima tensión de compresión en el elemento no rigidizado no exceda de:
  - $\phi_c F_{cr}$  como se define en Apéndice B - Sección A-B.5.3.d con  $Q = Q_s$  y  $\phi_c = 0,85$ , para secciones en compresión axil, ó
  - $F_y Q_s$  para secciones en flexión.

● La resistencia de diseño de barras con elementos esbeltos comprimidos rigidizados, se reduce con el uso del factor  $Q_a$

● Como ejemplo: A-B.5.3.b.-  
Alas de sección caja  
Alma de U, I, W, C

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

$$A_{ef} = A_g - \sum (b - b_e) \cdot t$$

## Propiedades de la sección ESBELTA - (A-B.5.3.c)

**Las propiedades de las secciones serán calculadas usando la sección transversal real completa, excepto:**

- **Barras FLEXADAS**  
el Momento de Inercia ( $I_x$ ) y el Módulo Resistente ( $S_x$ ) se determina con el ancho efectivo ( $b_e$ ) de los elementos rigidizados uniformemente comprimidos.
- **Barras COMPRIMIDAS:** carga axial, el área bruta ( $A_g$ ) y el radio de giro ( $r$ ) se determinan sobre la sección real

## Capacidad de una barra comprimida - $P_d$

*Hemos tomado algunas ideas respecto de:*

- Capacidad disponible o de proyecto de barra comprimida
- Longitud de pandeo  $k.L$
- Comportamiento de barras en zona elástica y en campo inelástico
- Aplicación CIRSOC 301 – EL
  - ★ Parámetro de esbeltez  $\lambda_c$
  - ★ Expresiones de  $F_{cr}$
  - ★ Secciones NO compactas
  - ★ Secciones esbeltas

$$P_n = A_g \cdot F_{cr}$$

$$\phi_c = 0,85$$

$$P_d = \phi_c \cdot P_n$$