

CAPÍTULO VI:

PIEZAS A TRACCIÓN

6.1. INTRODUCCIÓN

El diseño básico de una pieza a tracción es muy simple – aportar la suficiente sección transversal para resistir el esfuerzo aplicado. Una vez que se ha obtenido la magnitud del esfuerzo a soportar y la resistencia del material ha sido establecida, es posible calcular el área requerida de la sección transversal. Sin embargo, la unión de las piezas traccionadas es, lo mismo que para otros tipos de piezas, una consideración muy importante a tener en cuenta dado que en muchos casos puede gobernar el diseño de la pieza siendo un criterio básico en el diseño y selección de una sección.

Normalmente las piezas traccionadas se diseñan utilizando perfiles laminados (L, UPN, IP, HE), barras, etc. Este capítulo se refiere al diseño de piezas a tracción constituidas a partir de dichas secciones sometidas a cargas estáticas – no se consideran cables.

6.2. CONEXIONES

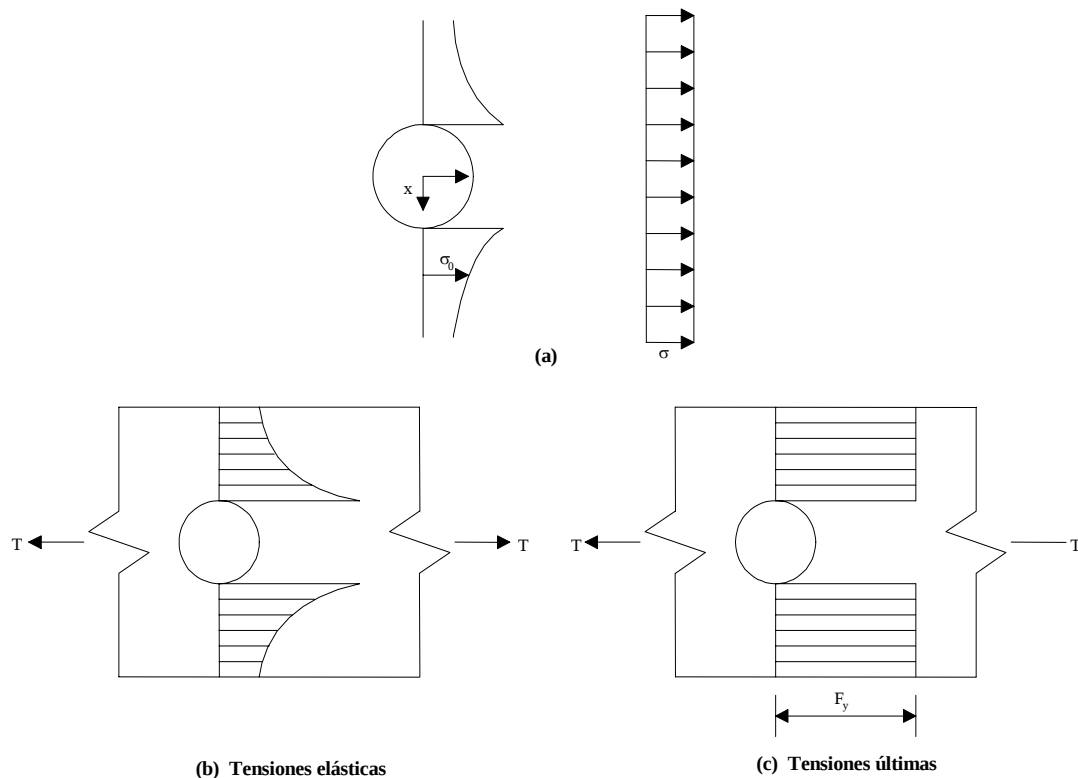


Figura 1 Distribución de tensiones en una sección con agujeros

Es habitual asumir que la distribución de tensiones de tracción es uniforme. No obstante las conexiones de la pieza pueden afectar la validez de esta suposición de dos modos. En primer lugar, si se emplean tornillos el área de la sección transversal se reduce debido a los agujeros practicados y las tensiones alrededor de los agujeros se incrementan localmente tal y como se muestra en la figura 1. Además, a menudo es inevitable cierta excentricidad en las conexiones y por lo tanto aparecen momentos secundarios. Estos problemas pueden ser tenidos en cuenta utilizando para el cálculo de la resistencia plástica de diseño, un área neta efectiva en lugar de la sección bruta.

6.3. RESISTENCIA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Para piezas no conectadas mediante tornillos, la resistencia a tracción de cálculo es la resistencia plástica de cálculo de la sección transversal bruta. Dada por

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

donde

A es el área bruta de la sección transversal

f_y es el límite elástico del acero

γ_{M0} es el coeficiente parcial de seguridad del acero.

En piezas atornilladas la resistencia de la sección se debilita por la reducción del área de la sección transversal debido a la presencia de agujeros y se requiere una comprobación adicional. A pesar de que los agujeros inducen concentración de tensiones la ductilidad del acero permite asumir una distribución de tensiones uniforme a través de la sección neta en el ELU. Así la resistencia última de cálculo de la sección neta se tomará como:

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

donde

A_{net} es el área neta de la sección transversal

f_u es la resistencia última de tracción del acero

γ_{M2} es el coeficiente parcial de seguridad para la resistencia de la sección neta, el cual tendrá probablemente un valor diferente de γ_{M0}

El factor 0,9 es un coeficiente de reducción para tener en cuenta las excentricidades, concentración de tensiones, etc. La resistencia a tracción de cálculo ($N_{t,Rd}$) se toma entonces como el menor valor de los proporcionados por las ecuaciones anteriores y se debe comparar con el valor de cálculo del esfuerzo de tracción aplicado (N_{sd}).

¿Porqué el Eurocódigo permite superar el límite elástico en la sección neta utilizando f_u en lugar de f_y ?

Se asume implícitamente que el fallo de una pieza sometida a tracción puede describirse mediante su deformación. Consideremos por ejemplo una pieza traccionada en la cual la zona de la conexión representase un 5% de la longitud total. Si la deformación para la carga última en la región de la conexión – la cual provoca que se alcance el límite elástico en la sección bruta lejos de la conexión - es, digamos, 10 veces la deformación correspondiente al límite elástico, entonces el incremento de longitud a lo largo de la pieza sería:

En la zona de la conexión

$$\Delta l_c = \frac{5}{100} 10 \cdot \varepsilon_y \cdot L_{tot} = 0.5 \cdot \varepsilon_y \cdot L_{tot}$$

En el resto de la pieza

$$\Delta l_m = \frac{95}{100} \cdot \varepsilon_y \cdot L_{tot} = 0.95 \cdot \varepsilon_y \cdot L_{tot}$$

La elongación en la zona de conexión es más pequeña que la de la pieza completa. Así, "el fallo" se producirá por deformación excesiva de la pieza, por lo que la resistencia a rotura de la sección neta ($N_{u,Rd}$) no es inferior a la resistencia plástica de la sección bruta ($N_{pl,Rd}$).

Sin embargo hay dos casos en los que se considera necesario limitar la tensión en la sección neta. El primero se refiere a conexiones de Categoría C las cuales se diseñan para ser resistentes al deslizamiento en estado límite último. Para estas conexiones, la resistencia plástica de cálculo de la sección neta ($N_{net,Rd}$) está limitada por el valor del límite elástico en dicha sección. Así,

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

El segundo caso concierne a piezas en las que se requiere comportamiento dúctil (p. e. diseño sísmico). En dichos casos es necesario asegurar que la condición límite es alcanzar el f_y en la sección bruta en lugar del fallo en la sección neta. De modo que,

$$N_{uRd} \geq N_{pl,Rd}$$

Esta condición será satisfecha si,

$$\frac{A_{net}}{A} \geq \frac{[f_y / f_u][\gamma_{M2} / \gamma_{M0}]}{0,9}$$

Con S275 y S355 (espesores menores de 40mm) y empleando los valores del EC3 para γ_{M2} y γ_{M0} , los valores mínimos de A_{net}/A para comportamiento dúctil son 0,81 y 0,88 respectivamente. Si la relación verdadera desciende de dicho valor, los detalles de las conexiones o el tamaño de la sección transversal debería de corregirse adecuadamente. Para piezas en las que no se requiere específicamente un comportamiento dúctil, no son necesarias tolerancias para los agujeros de los tornillos a menos que la relación A_{net}/A caiga por debajo de 0,81 para el S275; 0,88 para el S355. La resistencia a tracción estará siempre controlada por la resistencia plástica de la sección transversal bruta.

6.4. DETERMINACIÓN DEL ÁREA NETA

El área neta de la sección transversal se obtiene deduciendo de la sección bruta los agujeros de los tornillos y otras aberturas. (en angulares conectados por un ala, y T o U conectadas por las alas se aplican reglas especiales). Por cada agujero, la deducción es el área de la sección bruta transversal del agujero - ver figura 2. Cuando los tornillos están alineados, el área total a deducir de cualquier sección transversal perpendicular al eje de la pieza es la máxima suma de las áreas seccionales de los agujeros. Cuando los tornillos están colocados al tresbolillo el área total a deducir es la mayor de las áreas obtenida para los agujeros cruzando una sección transversal perpendicular o la suma de las áreas de todos los agujeros en cualquier línea diagonal o en zigzag que cruce la pieza menos $s^2 t / 4p$ por cada espacio transversal en la cadena de agujeros –ver figura 2.

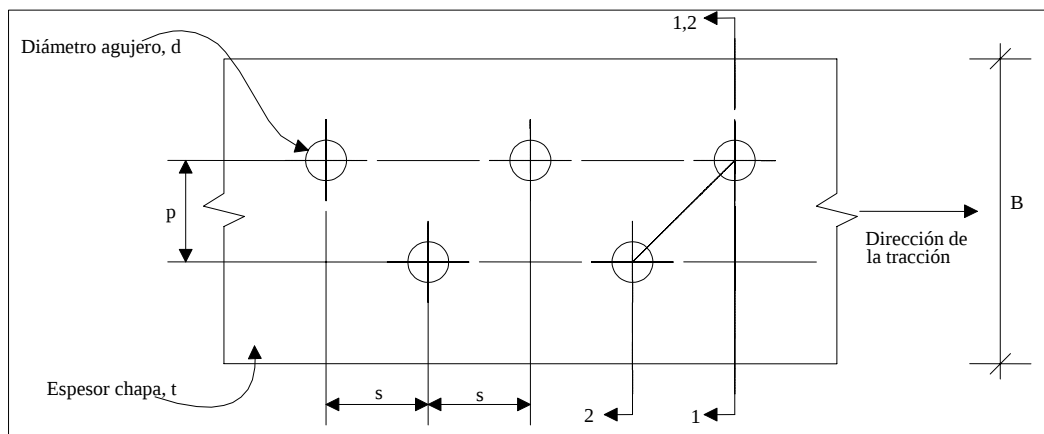


Figura 2 Área neta

En la sección 1-1,

$$\text{Área neta} = B \cdot t - d \cdot t \quad - \text{El área mínima se toma como } A_{net}$$

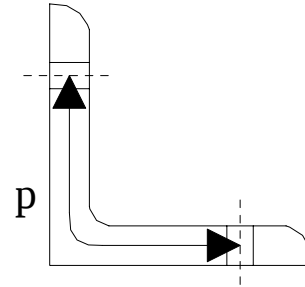
En la sección 2-2,

$$\text{Área neta} = B \cdot t - 2 \cdot d \cdot t + \frac{s^2 \cdot t}{4p} \quad - \text{El área mínima se toma como } A_{net}$$

donde

s : es el paso entre agujeros paralelo al eje de la pieza

p : espacio entre líneas perpendicular al eje de la pieza
(en piezas con agujeros en más de un plano, p se medirá a lo largo de la línea trazada por la mitad del espesor de la sección)



6.5. ANGULARES CONECTADOS POR UN ALA

En piezas conectadas asimétricamente, o piezas de simetría simple con conexiones no simétricas (L, LD, T, UPN, etc.) deberá de considerarse la excentricidad de la conexión. En el caso particular de un angular conectado en uno de sus lados por medio de una sola línea de tornillos, la pieza puede estudiarse como si estuviera axialmente solicitada basando la resistencia última cálculo en una sección neta modificada obtenida como se indica en figura 3.

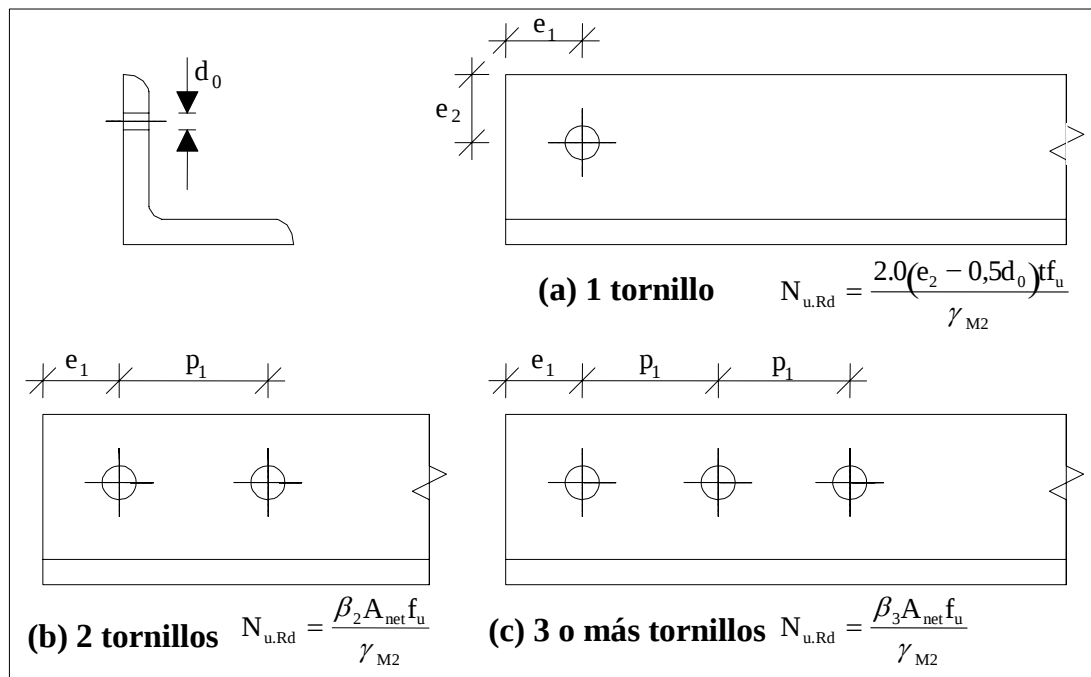


Figura 3 Resistencia última de la sección neta para perfiles angulares

donde

$$\beta_2 = 0,4 \text{ si } p_1 \leq 2,5 d_0$$

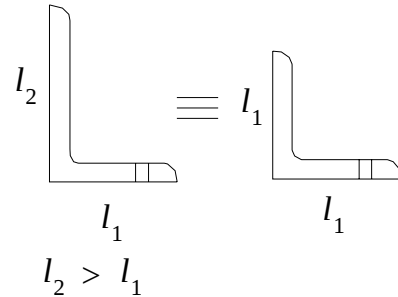
$$\beta_2 = 0,7 \text{ si } p_1 \geq 5,0 d_0$$

$$\beta_3 = 0,5 \text{ si } p_1 \leq 2,5 d_0$$

$$\beta_3 = 0,7 \text{ si } p_1 \geq 5,0 d_0$$

A_{net} es el área neta del angular.

Para un angular de lados desiguales conectado por su lado más pequeño, A_{net} se toma como el área de la sección neta de un angular de lados iguales equivalente.



Para angulares soldados conectados por uno de sus lados soldándolo en lugar de atornillarlo, la excentricidad inherente a la conexión puede tenerse en cuenta empleando el área “efectiva” de la sección transversal y considerando entonces la pieza sometida a tracción centrada. Ejemplos de áreas efectivas de secciones transversales que se pueden adoptar se muestran en la figura 4.

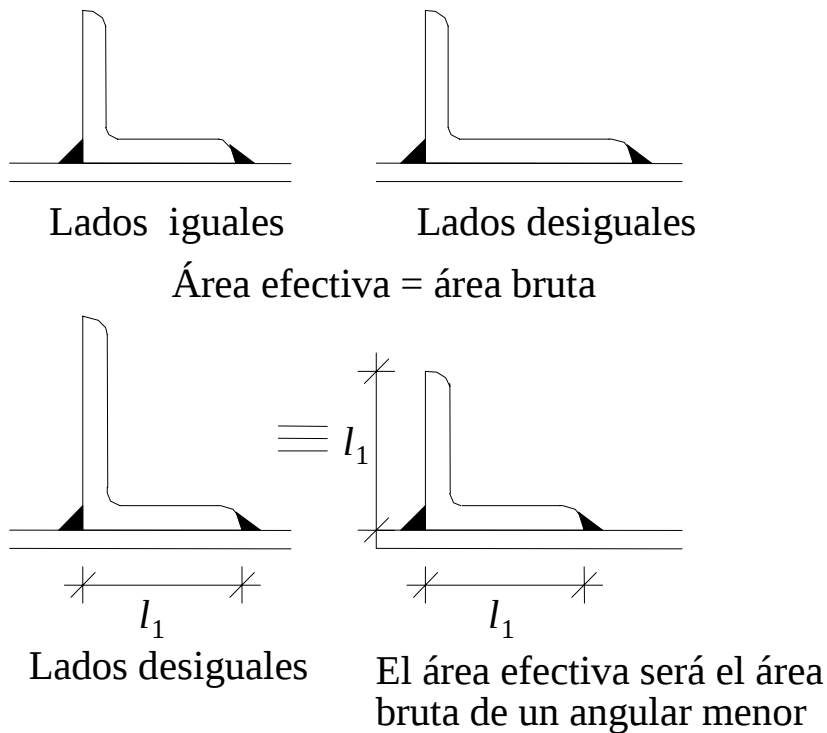


Figura 4 Áreas efectivas de angulares conectados en un solo ala por soldadura

El EC3 sugiere que las piezas como las secciones en T y en U, se pueden estudiar de modo similar pero sin proporcionar detalles. Una propuesta podría ser calcular el área neta de la sección transversal (A_{net}) para una sección en T conectada por sus alas o una sección en U conectada por su alma, como el área neta de la parte conectada de la sección transversal más la mitad del área del (de los) elemento(s) exterior(es).

Este área neta se emplearía entonces para calcular la resistencia última de cálculo de la sección neta la cual, demostrado que resulta inferior a la resistencia plástica de cálculo de la sección bruta, sería la resistencia de cálculo a tracción de la pieza.

6.6. SITUACIONES DE SERVICIO, CORROSIÓN Y FATIGA

Dado que las piezas traccionadas transmiten carga de modo muy eficiente, tienden a necesitar áreas relativamente pequeñas en su sección transversal. Esto hace que dichas piezas sean susceptibles de alargamientos excesivos bajo una carga axil – lo cual puede conllevar grandes desplazamientos de la estructura si estas piezas forman parte del sistema de arriostramiento – y deformación lateral de la propia pieza debida a su propio peso. Las secciones laminadas ligeras también pueden dañarse fácilmente durante su transporte. Por estas razones, la buena práctica constructiva aconseja limitar la esbeltez de las piezas traccionadas a 300 para piezas principales y a 400 para piezas secundarias. Otra cuestión a tener en consideración son las consecuencias de una pérdida de material debido a la corrosión, la cual es mayor para piezas sometidas a tracción dado que éstas están relativamente más tensionadas.

6.7. PLANTEAMIENTO SEGÚN EL CT-DB-SE-A

En el código técnico se mencionan las situaciones que pueden considerarse sometidas a tracción centrada a efectos del cálculo de las secciones y de la resistencia de la pieza. Así además de las barras con esfuerzo axil centrado, es admisible considerar solo la tracción centrada y despreciar los momentos flectores debidos a:

- a) Peso propio de las barras de longitudes inferiores a 6m.
- b) Viento en las barras de vigas trianguladas.
- c) Excentricidad en barras de arriostramiento con directriz fuera del plano de la unión.

La esbeltez reducida de las barras a tracción de la estructura principal no superará el valor 3,0, pudiendo admitirse valores de hasta 4,0 en las barras de arriostramiento.

6.8. PLANTEAMIENTO SEGÚN LA NBE EA-95

6.8.1. Clases de piezas

A) PIEZAS SIMPLES:

- Un solo perfil
- Perfiles y/o chapas yuxtapuestas unidos mediante tornillos a separaciones:
 $s \leq 15 \cdot a$; $s \leq 25 \cdot e$ (a = diámetro del agujero; e = mínimo espesor unido)
- Perfiles y/o chapas yuxtapuestas unidos mediante soldadura a separaciones:
 $s \leq 25 \cdot e$; $s \leq 300 \text{ mm}$
- Perfiles con forro discontinuo de chapa con uniones a separaciones:
 $s \leq 50 \cdot i$ (i = radio de giro mínimo del perfil que lo tenga menor)

B) PIEZAS COMPUESTAS

- Constituidas por dos o más cordones longitudinales enlazados entre si.
- Cada cordón tiene la constitución de una pieza simple.
- Los elementos de enlace son presillas o celosía y cumplirán las condiciones:
 - a) En piezas a tracción centrada, se recomienda una separación:
 $l_1 \leq 200 \cdot i$; $l_1 \leq 2m$ (l_1 = separación entre presillas)
 - b) En piezas a tracción excéntrica mismas condiciones que a compresión

6.8.2. Esbeltez mecánica de las piezas en tracción.

Salvo justificación especial, la esbeltez mecánica de una barra solicitada a tracción estará limitada por el valor 300 ($\lambda \leq 300$) en todas aquellas que forman parte de los elementos principales (los tirantes están excluidos), pudiendo admitirse esbeltez de hasta 400 en las barras a tracción de elementos secundarios o de arriostramiento.

6.8.3. Cálculo de piezas solicitadas a tracción centrada

En toda pieza simple o compuesta, solicitada a tracción centrada se verificará:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A_n} \leq \sigma_u$$

*Piezas unidas con tornillos de alta resistencia:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} \leq \sigma_u ; \quad \sigma^* = \frac{N^* - 0,4 \cdot F}{A_n} \leq \sigma_u$$

6.8.4. Cálculo de piezas solicitadas a tracción excéntrica

En todas las piezas simples o compuestas, solicitadas a tracción excéntrica se verificará en toda la sección:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A_n} + \frac{M^*}{W_n} \leq \sigma_u$$

*Piezas unidas con tornillos de alta resistencia:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W} \leq \sigma_u; \quad \sigma^* = \frac{N^* - 0,4 \cdot F}{A_n} + \frac{M^*}{W_n} \leq \sigma_u$$

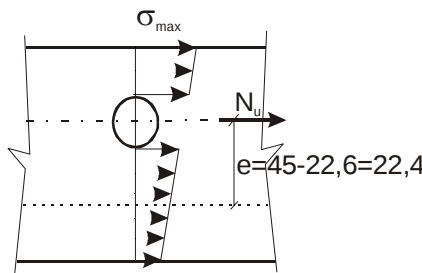
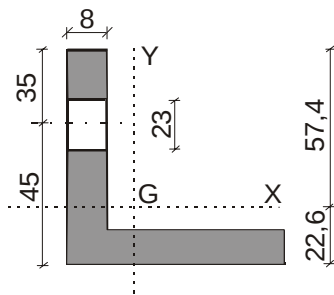
*Barras constituidas por un perfil L ó T

Cuando una pieza constituida por un angular enlazado por una de sus alas, o por un perfil T enlazado por su ala, esté sometida a tracción, se podrá prescindir del momento debido a la excentricidad de la unión, si se verifica que:

$$\sigma^* = \frac{1,25 \cdot N^*}{A_n} \leq \sigma_u$$

6.8.5. Ejemplo 1

Calcular el esfuerzo de tracción que agotaría un perfil L80.8 actuando sobre la línea de ejes del gramil, tal y como se indica en la figura.



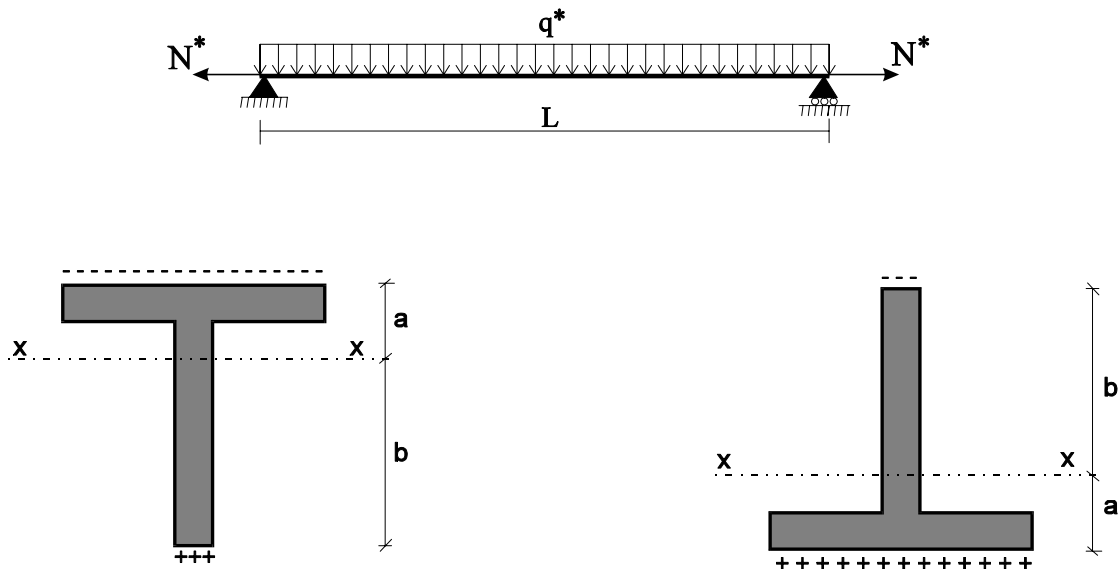
Perfil L80

$$A = 12,3 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 72,2 \text{ cm}^4$$

$$\left. \begin{aligned} A_n &= 12,3 - 0,8 \cdot 2,3 = 10,46 \text{ cm}^2 \\ I_n &= 72,2 \text{ cm}^4 - \left(\frac{0,8 \cdot 2,3^3}{12} + 0,8 \cdot 2,3 \cdot 2,24^2 \right) = 62,16 \text{ cm}^4 \\ W_n &= \frac{I_n}{5,74 \text{ cm}} = 10,83 \text{ cm}^3 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{N_u}{A_n} + \frac{N_u \cdot e}{W_n} &\leq 2600 \text{ kg/cm}^2 \\ N_u &= 8600 \text{ kg} \end{aligned}$$

6.8.6. Ejemplo 2



Módulo resistente y tensión normal en las fibras sometidas a tracción:

$$W_x = \frac{I_{xx}}{b}; \quad \sigma = \frac{N^*}{A} + \frac{M^* \cdot b}{I_{xx}}$$

Módulo resistente y tensión normal en las fibras sometidas a tracción:

$$W_x = \frac{I_{xx}}{a}; \quad \sigma = \frac{N^*}{A} + \frac{M^* \cdot a}{I_{xx}}$$

6.9. CONCLUSIONES

- La resistencia de una pieza a tracción se obtiene suponiendo que la sección completa ha alcanzado su límite elástico.
- La resistencia de cálculo de una pieza sometida a tracción se toma habitualmente como el menor valor de entre el que haría alcanzar el límite elástico de la sección bruta y el valor de rotura de la sección neta.
- Cuando se requiera un comportamiento dúctil (p.e. para cargas cíclicas) la sección bruta alcanzará el límite elástico antes de que la sección neta llegue a la rotura.
- Se deberá tener en consideración la excentricidad de las uniones.
- Los perfiles angulares, en T y los UPN pueden calcularse como solicitados a tracción centrada siempre y cuando tengamos en cuenta una reducción del área neta para considerar la excentricidad existente.
- Consideraciones de servicio en la pieza traccionada pueden limitar su esbeltez.