

1. Generalidades. La seguridad estructural.

1.1. ¿Qué es el acero?

Son aleaciones de hierro y carbono, que pueden ser definidos como **aceros de bajo carbono** y **aceros de alto carbono**, que varían mucho en sus propiedades.

Además puede contener otros elementos como magnesio, cobre, silicio, fósforo y azufre. Cada una de estas proporciona un efecto distinto, que modifica las características del acero.

En general, para la compra del acero solo es necesario aclarar la tensión de fluencia del mismo. Es también importante tener en cuenta dos características del acero:

- **Tenacidad:** capacidad de almacenar energía antes de la rotura.
- **Ductilidad:** capacidad de deformarse elásticamente.

1.2. Fabricación

1.2.1. Proceso siderúrgico

Es el proceso para obtener el acero, desde la llegada del hierro hasta el producto final. Se pueden considerar dos alternativas: *alto horno seguido del convertidor al oxígeno*, o un *horno de reducción directa seguido del horno eléctrico de arco*.

En general, el proceso comprende la eliminación progresiva de las impurezas del hierro. Se consideran tres etapas:

- Preparación de las materias primas.
- Reducción.
- Acelereación.

1.2.2. Taller metalúrgico

Una vez finalizado el proyecto de estructura, la misma debe ser fabricada en un **taller metalúrgico**. Es muy importante la facilidad de fabricación de la pieza. Se deben estudiar:

- Posición de agujeros y soldaduras, para evitar excesivo manipuleo.
- Tolerancias exigibles en el proyecto.
- Dimensiones a fabricar.
- Proceso de deformación de barras con ejes no recto.

También es importante la estandarización de elementos en la estructura.

1.3. Propiedades físicas y químicas del acero

- Buena ductilidad y maleabilidad.
- Conductividad térmica elevada.
- Conductividad eléctrica elevada.
- Brillo metálico.
- Resistencia a la corrosión.

Además, es un material isotropo, es decir que su resistencia a la tracción es idéntica a la resistencia a la compresión.

1.3.1. Efectos de la temperatura

Podemos ver que a medida aumenta la temperatura a la que este trabajando el acero, disminuirá la resistencia de la misma. Es tanto así que a 600°C el acero tiene menos que la mitad de su resistencia y pierde toda linealidad.

Este punto es una ventaja de la madera con respecto al acero, ya que hasta que no este quemada, mantiene su resistencia.

1.4. Seguridad estructural

Para poder determinar la seguridad de una estructura, podemos hacer un **análisis global plástico** y un **análisis global elástico**. Hasta ahora, lo único que hemos visto es el último. Esto implica que nuestras hipótesis consideran que las deformaciones y esfuerzos se encuentran dentro del límite elástico. Esto nos permite hacer cálculos de primer orden y de segundo orden mediante los efectos de $P - \Delta$ y $P - \delta$.

1.5. Tipos de estructuras

Podemos encontrar dos tipos de estructuras básicas:

- **Estructuras tipo TR:** son aquellas totalmente restringidas, que son diseñadas como pórtico rígido, donde las uniones tienen rigidez suficiente para que los ángulos sean invariables.
- **Estructura tipo TP:** en la cual se supone que las uniones no tienen suficiente rigidez suficiente como para mantener invariables los ángulos entre las barras que concurren.

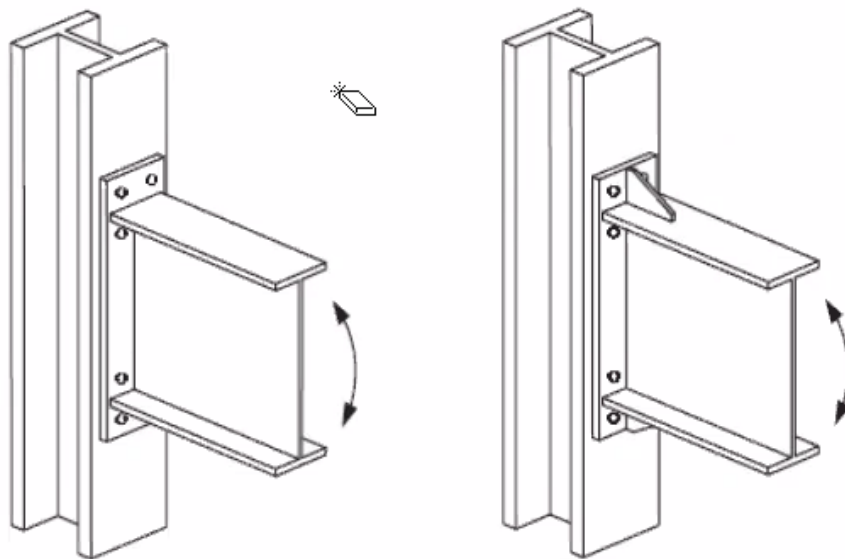


Figura 1: Esquema de tipos de unión.

1.6. Coeficiente de seguridad

El método normalizado para el cálculo del coeficiente de seguridad es a partir de **factores de carga y resistencia LRFD**. La ecuación general es:

$$\sum \gamma_i * Q_i \leq \phi * R_n.$$

Donde γ_i es el factor de carga, Q_i es el efecto de la carga i , y ϕ es el factor de resistencia.

El **grado de seguridad** se puede definir según la estructura de forma que tenga una aceptable probabilidad de permanecer en servicio durante la vida útil programada. Debe ser apropiado para que la estructura resista durante su ejecución y uso.

1.7. Fuerzas del viento

Este tipo de carga queda reglamentado en el CIRSOC 102. En particular, existen dos métodos que podemos utilizar dependiendo de las características de la estructura a analizar. Estos están definidos en capítulo 4 y 5 de dicho reglamento.

La definición de las mismas viene de un estudio estadístico, y determina cargas probables. En caso del viento, se trabaja con *presión*, que se calcula sobre superficies.

2. Edificios

No desarrollamos mucho este tipo punto. Es necesario ver desde un punto de vista estructural nuestros diseños. En principio, debemos ver como funcionan los **porticos** y otros sistemas como pueden ser vigas a contraviento.

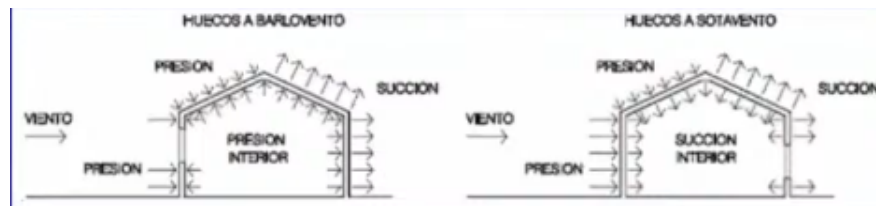


Figura 2: Esquema de fuerzas por viento

En general, estructuras de acero son muy interesante para construcciones de grandes luces, ya que son *estructuras livianas*.

3. Elementos sometidos a tracción axil

En principio, para este tipo de problemas, primero debemos considerar el área que estará siendo traccionada. Podemos distinguir tres tipos:

- **Área bruta** A_g
- **Área neta** A_n : es el área descontando los agujeros para bulones. En caso de estar en tresbolillo, se debe considerar una formula especial.
- **Área neta efectiva** A_e : es el área neta teniendo en cuenta el *retraso de cortante*, que se da cuando no todos los elementos están conectados directamente. Ver ??

El A_e puede obtenerse con la formula $A_e = A_n * U$ donde U sale de:

$$U = 1 - (\bar{x}/L) \leq 0,9.$$

Donde el valor de \bar{x} será la excentricidad de la unión, es decir la distancia entre el baricentro del agujero hasta el baricentro de la pieza. En caso de una pieza con dos alas donde se cuenta con una sola línea de bulones, se considera únicamente los elementos directamente unidos.

3.1. Retraso de cortante

Se da cuando tenemos uniones donde no todos los elementos solicitados están conectados directamente. Esto se puede ver en Figure 3. Vemos que no hay forma física que la parte última de la pieza no conectada transmita tensiones.

4. Elementos sometidos a compresión

4.1. Resistencia de diseño a compresión

La resistencia de diseño para pandeo flexional de barras comprimidas axialmente se determina de la siguiente forma:

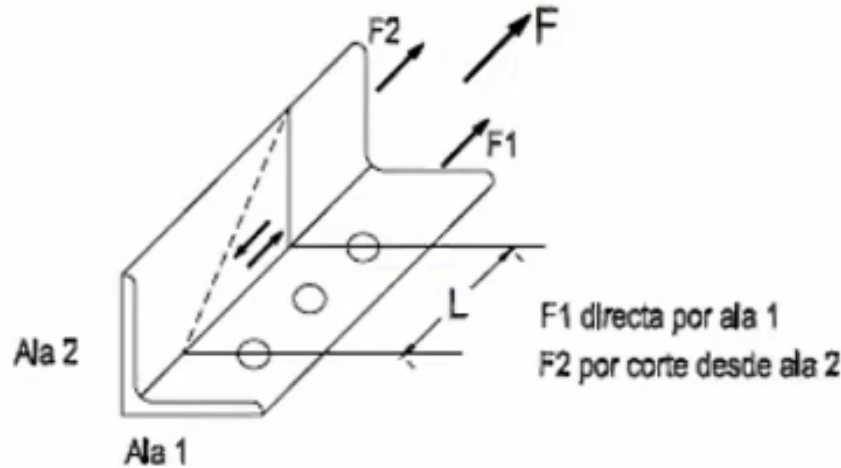


Figura 3: Esquema de retraso de cortante

$$\phi_c * P_n.$$

Donde $\phi_c = 0,85$ y P_n es la resistencia nominal en kN, dado que $P_n = F_{cr} * A_g * 10^{-1}$. La tensión crítica de pandeo F_{cr} dependiendo del factor de esbeltez, que se calcula como:

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} * \frac{k * L}{r} * \sqrt{\frac{F_y}{E}}. \quad (\text{Esbeltez})$$

Vemos, que para un mayor radio de giro, tendremos menor esbeltez, que nos permite cargar más la columna. Esto lo podemos ver al calcular F_{cr} , que se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{cases} \lambda_c d \leq 1,5 \rightarrow F_{cr} = 0,658 \lambda_c^2 * F_y \\ \lambda_c d \geq 1,5 \rightarrow F_{cr} = \frac{0,877}{\lambda_c^2} * F_y \end{cases}.$$

La variación dependiendo se debe a la existencia de **tensiones residuales** que pueden hacer que elementos entren en fluencia antes de lo previsto. Por eso es necesario para esbelteces bajas tener especial cuidado.

4.2. Longitud efectiva de una barra comprimida

El **factor de longitud efectiva** k se debe determinar de acuerdo con lo especificado en el Capítulo C, Sección C.2 del reglamento CIRSOC 301. Los valores presentados en Figure 4, se pueden ver valores recomendados en casos donde no se usen los nomogramas (recomendado).

El uso de nomogramas depende de si tenemos estructuras desplazables o indesplazables, donde se obtienen valores de G_a y G_b , que salen de la siguiente formula:

$$G = \frac{\Sigma(I_c/L_c)}{\Sigma I_g/L_g}.$$

Donde se consideran las rigideces que vienen de las columnas y de las vigas. Los nomogramas utilizados se encuentran en el reglamento CIRSOC y copiados en Figure 5.

Este punto es crítico, ya que de él dependen todos los valores y fuerzas admisibles a compresión.





La forma de pandeo se indica en línea de puntos	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
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  Rotación libre y Traslación impedida  Rotación impedida y Traslación libre  Rotación libre y Traslación libre					

Figura 4: Valores recomendados para k

4.3. Clasificación de secciones

Las secciones pueden ser compactas, no compactas y con elementos esbeltos. Es importante saber cuando los elementos son **esbeltos**, ya que se pueden dar pandeos o abollamientos en los lados o alas de la columna. Esto queda claro en la fig. 6.

La forma de calcular si un elemento es esbelto o no se hace desde la Tabla B.5.1. del reglamento CIRSOC 301. Esta presenta varios casos, donde describe el elemento y da la forma para considerar el tipo de elemento.

En caso de que los elementos no son esbeltos, podemos seguir utilizando las formulas a utilizar son las dadas, y caso contrario se lo deberá afectar por un coeficiente Q que penalizará esta condición.

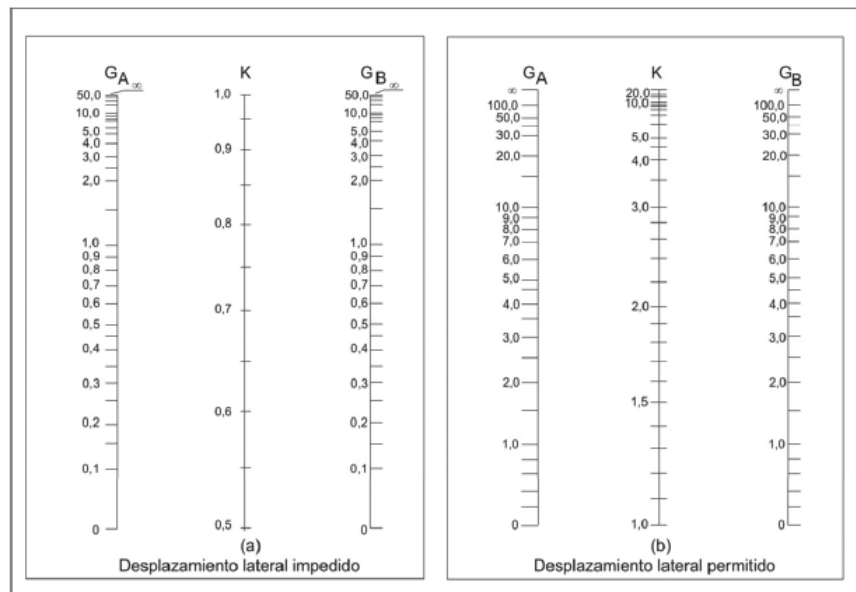


Figura 5: Nomogramas de figura C-C.2.2. de Comentarios CIRSOC 301

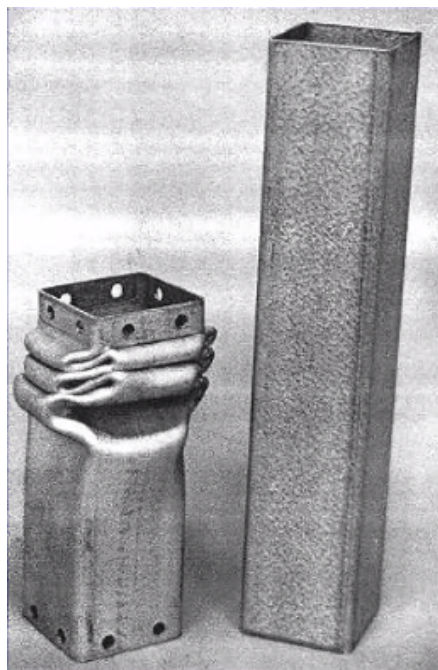


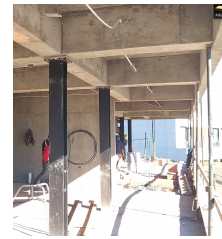
Figura 6: Pandeo local.

4.4. Ejemplo teorico-práctico

Siguiendo un ejemplo práctico, siguiendo la estructura mostrada en fig. 7



(a) A subfigure



(b) A subfigure

Figura 7: Fotos reales de la estructura

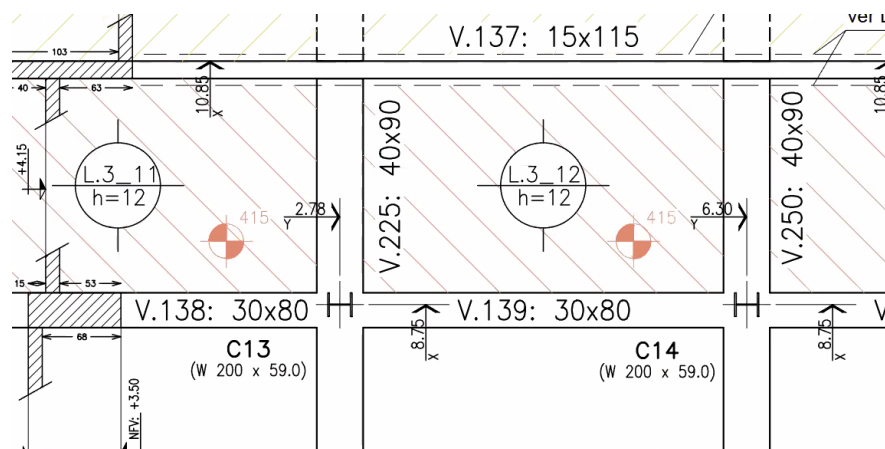


Figura 8: Plano a calcular

Consideramos una estructura como la siguiente:

Entonces, tenemos que considerar un $k = 1,2$. Consideramos una altura desde $h = 2.8$ m, con un, y tenemos un perfil **W200.59**, que vamos a considerar como el **W8x40** que se encuentra en el reglamento CIRSOC. El perfil tendrá un $f_y = 345$ MPa y $f_u = 450$ MPa.

Desarrollo:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{1}{\pi} * \frac{k * L}{r} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\ \lambda &= \frac{1}{\pi} * \frac{1 * 280}{5,18} * \sqrt{\frac{355}{200000}} \\ \lambda &= 0,8698.\end{aligned}$$

Entonces podemos obtener los valores de F_{cr} de la siguiente forma:

$$f_{cr} = 0,658^{0,8698^2} * F_y$$

$$f_{cr} = 258.6 \text{ MPa.}$$

Conseguimos entonces los valores de tensión y carga critica como:

$$P_d = 1660 \text{ kN.}$$

4.4.1. Recordatorio

Es necesario acordarse de que cuando $\lambda \leq 1,5$ se utiliza:

$$F_{cr} = 0,658^{\lambda^2} * F_y.$$

Y cuando se da que $\lambda \geq 1,5$ tenemos que considerar:

$$F_{cr} = \frac{0,877}{\lambda^2} * F_y.$$