

Diseño y ejecución de elementos metálicos como sistemas de arriostramiento provisional en pantallas continuas de HA

Rodríguez Morales, Sergio

Dpto. Tecnología de la
Edificación, UPM
SSTT FCC Construcción,
Dpto. Estructuras de Edificación
s.rodriguez@upm.es

RESUMEN

El diseño de elementos metálicos como sistemas arriostramientos provisionales de sujeción de pantallas es tratado en el presente artículo. Cuando no es factible el empleo de anclajes activos para resistir los empujes del terreno de forma provisional, una técnica equivalente es el empleo de arriostramientos metálicos. Las acciones a considerar en su diseño, la rigidez de estos elementos frente a la pantalla o el diseño de las uniones serán tratados en el presente artículo

ABSTRACT

The design of temporary steel structures as support of retaining soil structures are treated in the following document. In some occasions it is not possible to use ground anchors to stabilize horizontal earth pressure, therefore a temporary steel structure as supports for the retaining structures represents an equivalent solution. Loads to be considered in the design, steel structure-wall stiffness relationship or joint design are the topics presented in this paper.

Palabras clave – Pantallas, diseño de arriostramientos metálicos, rigidez, provisional.

Keywords – Retaining soil structures, steel design, bracing, stiffness, temporary structures.

Índice

1. Introducción.
2. Pantalla continuas con arriostramientos provisionales. Estimación de la rigidez de muelle del arriostramiento.
3. Acciones a considerar en el dimensionado de un arriostramiento metálico.
4. Dimensionado de elementos metálicos de arriostramiento.
5. Diseño de uniones entre el arriostramiento y la pantalla continua de HA.
6. Conclusiones

1. Introducción

La construcción de edificios con niveles por debajo de la rasante es práctica cada vez más común en suelos urbanos. Las técnicas de ejecución de elementos flexibles de contención de tierras como son las pantallas, así como la familiarización de los técnicos en fase de proyecto con este tipo de estructuras, han extendido su empleo.

Son varios los aspectos a tener en cuenta a la hora de dimensionar este tipo de estructuras, entre ellos los puntos de apoyo que la contención tendrá en fase de construcción. La práctica más habitual de generar estas sujeciones provisionales es emplear anclajes activos al terreno. No obstante, esta solución que resulta la más económica no es factible en ocasiones. La presencia de edificios colindantes o infraestructuras como la del metro, permisos municipales que impiden la ejecución de anclajes por debajo de cimentaciones existentes, o la propia geometría del recinto, obligan al empleo de arriostramientos metálicos.

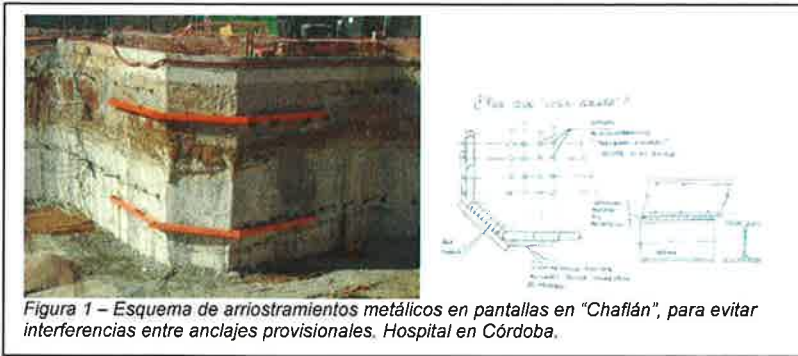


Figura 1 – Esquema de arriostramientos metálicos en pantallas en "Chafán", para evitar interferencias entre anclajes provisionales. Hospital en Córdoba.

Si bien estos elementos son equivalentes a los anclajes desde un punto de vista estructural, presentan algunos inconvenientes desde el punto de vista de la ejecución de la obra, tales como:

- Dificultan el proceso de excavación del recinto puesto que implican el empleo de una maquinaria compatible con las dimensiones de los arriostramientos.
- La ejecución de los niveles de forjado debe convivir con la presencia de estos arriostramientos, lo cual dificulta su ejecución.
- Es un sistema menos flexible que el de los anclajes ya que no solo hay elementos transversales a modo de puntales si no que además, es necesario en muchas ocasiones elementos corridos en todo el perímetro de la contención.



A la vista de lo anteriormente indicado el empleo de estos sistemas requiere una coordinación mayor entre los agentes intervinientes en las unidades de obra afectadas, integrándose adecuadamente los requerimientos de las pantallas definidos en proyecto, las necesidades de la obra y las características del sistema de arriostramiento proporcionado por el industrial especialista, en el caso de que no se diseñe una solución ex profeso.

2. Pantalla continuas con arriostramientos provisionales. Estimación de la rigidez de muelle del arriostramiento.

En contadas ocasiones se justifica el diseño de una pantalla voladizo, por lo que es necesario emplear anclajes o arriostramientos provisionales para generar puntos de apoyo en fase de construcción, hasta que se ejecuten los niveles de forjado definitivos. A la hora de calcular el elemento de contención es necesario estimar la constante de muelle K aportada por el apoyo a la estructura, o lo que es lo mismo la rigidez axial del arriostramiento. Es un error frecuente definir dichos apoyos con rigideces muy elevadas. Cuanto menos rígido es el apoyo menos carga debe resistir, pero a su vez, más flexible es la estructura y por lo tanto más deformable.

La rigidez axial de un arriostramiento metálico se define mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{A \cdot E}{L} \quad (1)$$

Donde el A representa el área transversal del perfil, E el módulo de elasticidad del acero y L la longitud entre la pantalla y un punto donde se supone una deformación longitudinal nula del arriostramiento, por lo que L suele considerarse la mitad de la longitud del elemento.

A modo de ejemplo, si disponemos de una celosía de 20 metros de longitud formada por cuatro angulares de dimensiones 120x120x12 ($A=27.5, \text{cm}^2$) que arriostra dos bataches enfrentados de ancho 3.50 metros, la rigidez con la que debe modelizarse el apoyo que representa la estructura metálica se puede obtener de la siguiente forma:



Figura 3 – Esquema y realidad de arriostramientos metálicos en Centro Cultural en Barcelona.

$$A_{total} = 4 \cdot 27.5 = 110 \text{ cm}^2$$

$$K = \frac{A_{total} \cdot E}{L/2} = \frac{110 \cdot 2000000}{1000} = 220000 \text{ KN/m}$$

Si estudiamos la contención de la pantalla por metro, aspecto este bastante habitual, la rigidez que debe introducirse en el modelo de cálculo está afectada por la longitud de tierra que se pretende soportar, en este caso la del batache, es decir, una ancho tributario de 3.50 metros:

$$K = \frac{A_{total} \cdot E}{L/2} = \frac{110 \cdot 2000000}{1000} = 220000 \text{ KN/m}$$

$$K_{Apoyo} = \frac{K}{D_{Batache}} = 62857 \text{ KN/m}$$

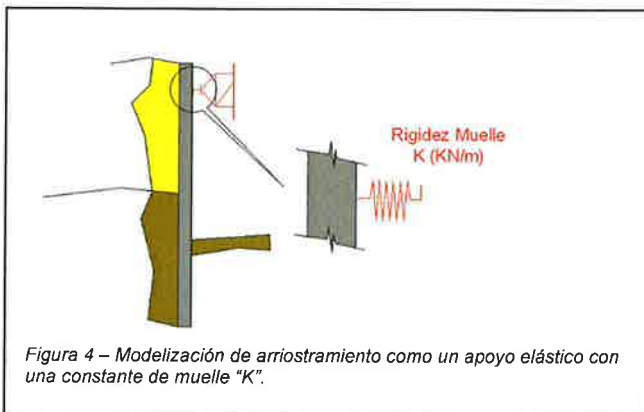


Figura 4 – Modelización de arriostramiento como un apoyo elástico con una constante de muelle "K".

3. Acciones a considerar en el dimensionado de un arriostramiento metálico.

Una vez definida la rigidez del apoyo cabe dimensionar la pantalla (o comprobar que la geometría, las deformaciones y armados iniciales o de proyecto son compatibles con el arriostramiento a colocar). De este análisis se obtiene una reacción o lo que es lo mismo una sollicitación de compresión sobre el arriostramiento.

Es prudente a su vez, considerar un gradiente de temperatura a la hora de dimensionar estos elementos estructurales. El motivo es claro, son estructuras metálicas expuestas a la intemperie cuya libre dilatación está impedida, ya que aunque en el mejor de los casos, el terreno no empuje, es necesario siempre garantizar el íntimo contacto entre el arriostramiento y la pantalla, para impedir cualquier mínimo desplazamiento en el elemento de contención.

La estimación del gradiente a plicar no es una tarea fácil, ya que depende de muchas variables entre ellas la radiación solar, la temperatura a la que fue montada, o las máximas y mínimas temperaturas que se puedan alcanzar durante la utilización de los arriostramientos. El autor considera de forma personal que se debería considerar un incremento de temperatura no inferior a los 10° C en el dimensionado de este tipo de piezas.

La estimación del axil resultante debido a la aplicación de gradiente de temperaturas se puede obtener mediante las siguientes ecuaciones, estableciendo como condición de contorno que la libre dilatación está impedida:

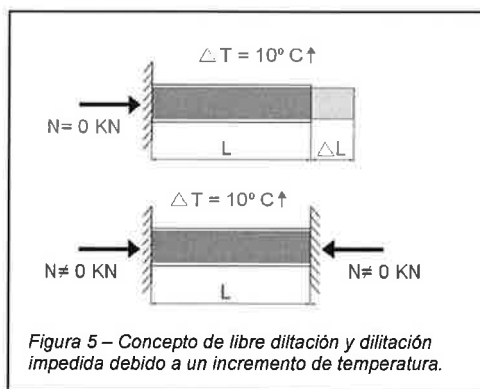
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\frac{N_i}{A_{Total}} = E \cdot \varepsilon$$

$$N_i = A_{Total} \cdot E \cdot \varepsilon = A_{Total} \cdot E \cdot \frac{\Delta L}{L/2}$$

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L/2$$

$$N_i = A_{Total} \cdot E \cdot \frac{\alpha \cdot \Delta T \cdot L/2}{L/2} = A_{Total} \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (2)$$



Donde:

α , Representa el coeficiente de dilatación térmica del material. Según el CTE-DB-Se-Acero, En el caso de perfiles laminados se puede considerar un valor de $1.2 \cdot 10^{-5} (\text{°C})^{-1}$

ΔT , El gradiente térmico considerado en grados centígrados.

L, La longitud total del arriostramiento.

A_{Total} , El área de la sección transversal.

A la vista de las ecuaciones, se deduce que la sollicitación axil debida al gradiente de temperatura no es función de la longitud del elemento, y si del área y del material escogido. El axil obtenido debe ser convenientemente mayorado y considerado de forma conjunta con el provocado por el empuje de tierras para proceder al dimensionamiento del arriostramiento. El dimensionamiento consiste en obtener una mínima área resistente, por lo que como la acción de la temperatura es función del área del elemento, el diseño no será directo si no que se deberá proceder a realizar tanteos sucesivos esta encajar la solución final.

4. Dimensionado de elementos metálicos de arriostramiento.

Como se ha visto en el apartado anterior el esfuerzo que dimensiona estas estructuras es mayoritariamente un axil de compresión. Este tipo de estructuras suelen ser esbeltas y en ocasiones de gran longitud por lo que el diseño o la comprobación pasará en gran medida en estudiar la inestabilidad o la resistencia frente a pandeo de la barra. La capacidad resistente a compresión de una barra afectado por pandeo queda definida por la siguiente expresión:

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A_{Total} \cdot f_{yd} \quad (3)$$

Para la estimación de la resistencia de la pieza a pandeo y más concretamente la determinación del coeficiente de reducción (χ) se puede emplear la metodología empleada en el apartado 6.3.2.1. del CTE-DB-SE-Acero. Para el dimensionado de estos elementos se deben considerar las siguientes preimisas:

- Se adoptará una Curva de pandeo tipo "C", lo que implica un valor de imperfección de valor 0.49.

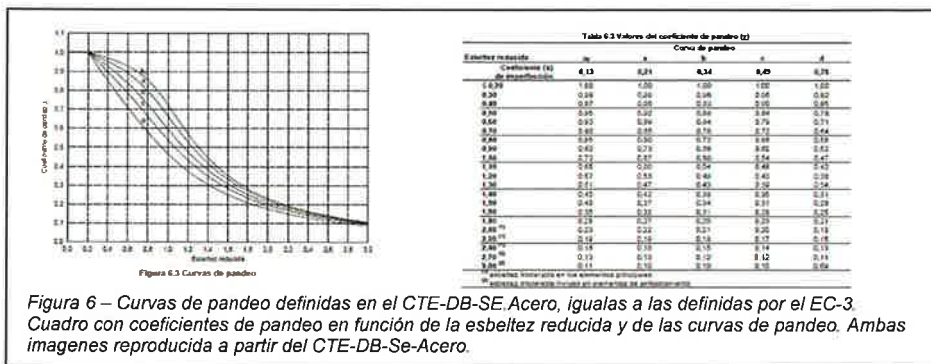


Figura 6 – Curvas de pandeo definidas en el CTE-DB-SE-Acero, iguales a las definidas por el EC-3. Cuadro con coeficientes de pandeo en función de la esbeltez reducida y de las curvas de pandeo. Ambas imágenes reproducida a partir del CTE-DB-Se-Acero.

- La longitud de pandeo a adoptar en el cálculo será a nivel global la longitud entera del arriostramiento, o lo que es lo mismo se puede adoptar un valor de $\beta=1$.
- En el caso de que se disponga de una celosía la longitud a pandeo de las barras interiores se adoptará la distancia entre sus nudos extremos.



Figura 6 – Problemas de inestabilidad en codales de esquina.

Se puede considerar la presencia de elementos transversales que reduzcan la longitud de pandeo del elemento. Dicho elementos deberán estar anclados a un punto fijo para que se consideren realmente eficaces.

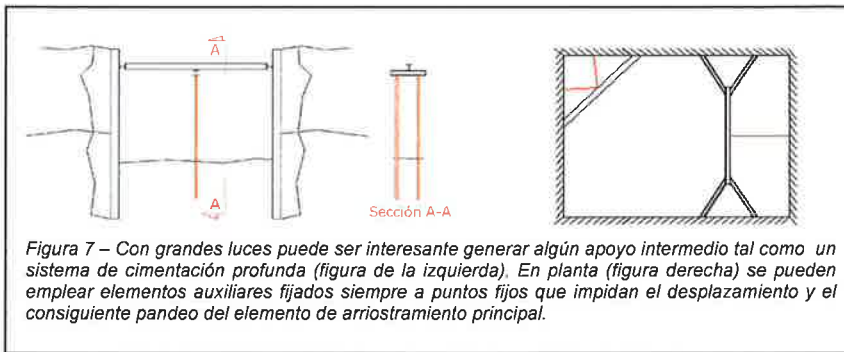


Figura 7 – Con grandes luces puede ser interesante generar algún apoyo intermedio tal como un sistema de cimentación profunda (figura de la izquierda). En planta (figura derecha) se pueden emplear elementos auxiliares fijados siempre a puntos fijos que impidan el desplazamiento y el consiguiente pandeo del elemento de arriostramiento principal.



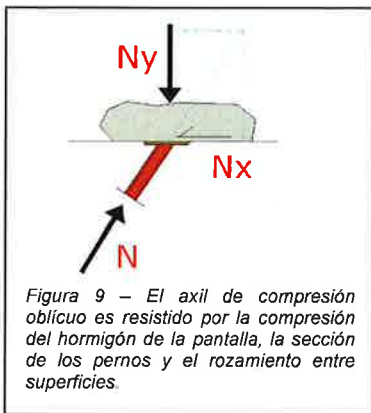
Figura 8 – Micros en zona central empleados como elementos para Reducir la longitud de pandeo del arriostramiento. Viviendas en Canarias.

Como ya se mencionó en el apartado anterior el dimensionado del arriostramiento a efectos de pandeo está intrínsecamente ligado a las propiedades mecánicas del material, por lo que la obtención del perfil óptimo pasa por realizar un cálculo iterativo mediante tanteos hasta encajar la solución definitiva.

5. Diseño de uniones entre el arriostramiento y la pantalla continua de HA.

La forma más habitual de construir la conexión entre el arriostramiento y la contención es por medio de una placa anclada al hormigón y soldada a la estructura metálica. La superficie de la placa es la encargada de distribuir de una forma homogénea la presión debida al empuje de tierras y los pernos de conexión son los encargados de resolver el cortante (rasante) que se pueda desarrollar en el plano de contacto.

La unión es función en gran medida de la inclinación del arriostramiento con respecto a la contención. Así por ejemplo, si el acodamiento es perpendicular a la pantalla de contención el cortante a resistir por los pernos es el debido exclusivamente al peso propio de la estructura, que habitualmente no es de trascendencia. Sin embargo, si el acodamiento presenta una inclinación con respecto a la pantalla (caso habitual en las esquinas), el axil debido al empuje de tierras y al gradiente de temperatura se descompone en una componente perpendicular a la pantalla (Ny) y otra rasante a esta (Nx). Esta última componente debe ser resistida por los pernos de anclaje y por el rozamiento entre placa y hormigón, aspectos este dimensionante en este tipo de unión.



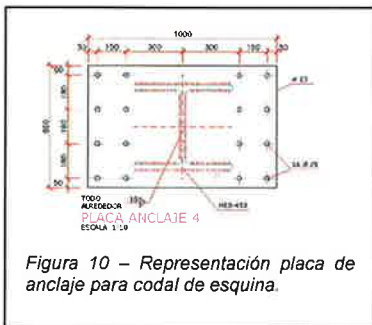
Si cuantificamos los mecanismos resistentes que se deben oponer a la rasante de cálculo obtenemos las siguientes expresiones:

Resistencia a cortante de los pernos

De acuerdo al CTE-Se-Acero en su artículo 8.5.2. la resistencia a cortante de un tornillo (perno) sin pretensar es:

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{0.5 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (4)$$

Donde n representa el número de planos de corte del perno y fub la resistencia última del acero.



Rozamiento entre placa y hormigón

De acuerdo al CTE-Se-Acero en su artículo 8.8.1. el rozamiento se puede definir con la siguiente expresión:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{C,sd} \quad (5)$$

Donde Cf,d representa el coeficiente de rozamiento entre superficies de contacto que puede adoptar un valor comprendido entre 0.2 y 0.3; y Ncsd la fuerza normal al plano, en nuestro caso Ny.



Figura 11 – Cordales en esquina y arriostramientos empleados como apeo de emergencia en pantalla con patologías.

6. Conclusiones

La arriostramientos metálicos representan una alternativa técnica viable como apoyos provisionales de elementos de contención en fase de construcción, siempre y cuando no se factible el empleo de anclajes activos. Los aspectos más reseñables desde el punto de vista de su dimensionamiento son los efectos de pandeo, la aplicación de un gradiente de temperatura en su diseño además de las cargas del terreno, y una correcta resolución de la transmisión por cortante del axil del elemento a la hora de diseñar su conexión con la estructura de contención.

Referencias Bibliográficas

Código Técnico de la Edificación. CTE-DB-SE-Cimientos. Ministerio de Fomento
Código Técnico de la Edificación. CTE-DB-SE-Acero. Ministerio de Fomento