

Aplicación práctica de “Evaluación de la traslacionalidad” de un pórtico plano de acero según el DB SE-A del CTE

Apellidos, nombre	Guardiola VÍllora Arianna (aguardio@mes.upv.es)
Departamento	M.M.C y Teoría de Estructuras
Centro	Escuela Técnica Superior de Arquitectura

1 Resumen de las ideas clave

En este artículo se presenta con un ejemplo práctico la aplicación de la expresión matemática que establece el Documento Básico, Seguridad Estructural, Acero (DB SE-A del CTE) en su artículo 5.3.1 para caracterizar la traslacionalidad de los pórticos planos de acero.

2 Introducción

EL DB SE-A del CTE establece en su artículo 5.3.1 la expresión matemática que permite evaluar la influencia en la distribución de esfuerzos de los desplazamientos en pórticos planos de estructuras metálicas, es decir, para evaluar su traslacionalidad.

La forma de evaluar la influencia de los efectos de segundo orden, aplicable a estructuras de acero de pórticos planos, consiste en realizar un primer análisis en régimen elástico lineal y obtener para cada planta el valor del coeficiente r , función de la relación entre el axil y el cortante total en los pilares de la planta, la altura entre plantas y el desplazamiento horizontal relativo de la planta analizada.

Una vez obtenido dicho coeficiente, si su valor es suficientemente pequeño, la estructura puede considerarse intraslacional, caracterizándose en caso contrario, como traslacional.

En el epígrafe 4 se aplica la expresión matemática a un pórtico de una estructura de acero, y se analizan las distintas opciones que permiten considerar la estructura intraslacional.

3 Objetivos

Cuando el alumno finalice la lectura de este documento será capaz de determinar el carácter traslacional o intraslacional de un pórtico plano de una estructura de acero.

Será capaz de seguir una estrategia para conseguir que un pórtico caracterizado como traslacional pase a ser intraslacional.

4 Comprobaciones

4.1 Condición a comprobar

El procedimiento que permite caracterizar la traslacionalidad de los pórticos planos de acero, consiste en realizar un primer análisis en régimen elástico lineal y obtener, para cada planta el valor del coeficiente r , (ecuación 1)

$$r = \frac{V_{Ed}}{H_{Ed}} \cdot \frac{\delta_{H,d}}{h} \quad \text{Ecuación 1}$$

Siendo H_{Ed} valor de cálculo de las cargas horizontales totales (coincide con el cortante total en los pilares de la planta) igual a $H_{Ed,1} + H_{Ed,2} + H_{Ed,3}$ (véase figura 1)

V_{Ed} valor de cálculo de las cargas verticales totales en la planta considerada y en todas las superiores (coincide con el axil total en los pilares de la planta) igual a $V_{Ed,1} + V_{Ed,2} + V_{Ed,3}$

h altura de la planta

$\delta_{H,d}$ desplazamiento horizontal relativo de la planta

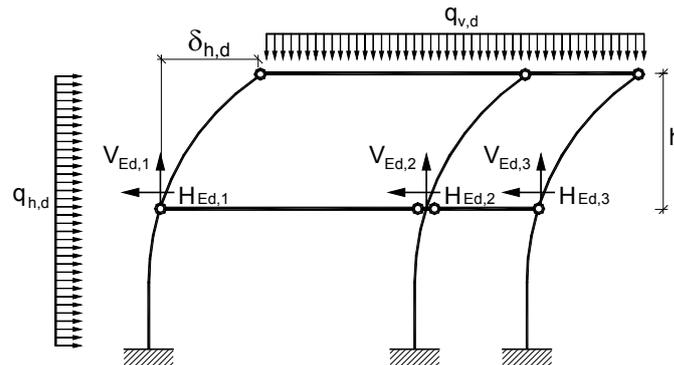


Figura 1. Cargas Verticales, Horizontales, y desplazamientos

De modo que, si en alguna planta $r \geq 0,1$, el pórtico debe considerarse traslacional, y en el análisis global de la estructura se deberán tener en cuenta los efectos de segundo orden (el incremento de las sollicitaciones debido a las deformaciones), en caso contrario será suficiente con hacer un análisis global de la estructura de primer orden.

4.2 Ejemplo de aplicación práctica

4.2.1 Enunciado del problema

Dado el pórtico de la figura 2, considerando que los soportes son perfiles HEB 100 colocados con el alma contenida en el plano de la estructura, se pide evaluar la traslacionalidad de la estructura.

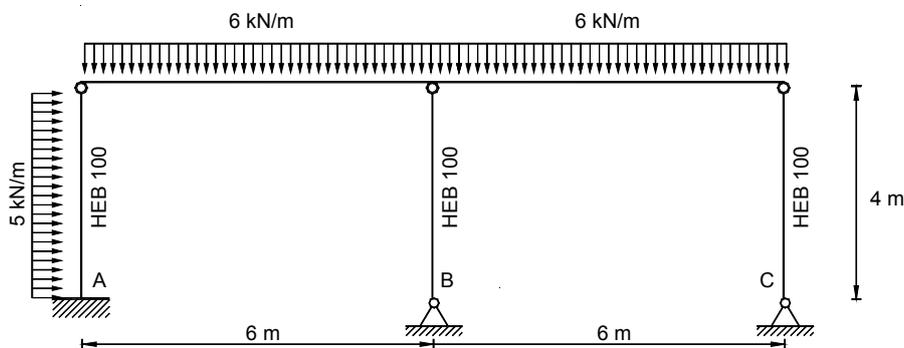


Figura 2. Esquema de carga y dimensiones del pórtico

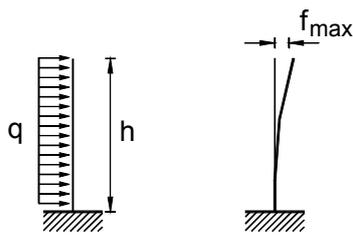
Para ello, es necesario obtener el valor del coeficiente r , con la expresión de la ecuación 1, para la única planta que tiene en pórtico.

4.2.2 Modelización del soporte

En la figura 3 se representa la modelización del soporte A.

Al estar articulados en sus bases los soportes B y C, no colaboran en la transmisión de las cargas horizontales al terreno, de modo que el soporte A se modeliza como empotrado-libre.

El valor del desplazamiento horizontal de la cabeza de los soportes se calcula con ayuda del prontuario (ecuación 2)



$$f_{\max} = \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I}$$

Ecuación 2

Siendo $q = 5 \text{ kN/m} = 5 \text{ N/mm}$

$L = 4000$

$I = 4,52 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$

Figura 3. Modelo del soporte

$$\text{Sustituyendo } f_{\max} = \frac{5 \cdot 4000^4}{8 \cdot 210.000 \cdot 4,52 \cdot 10^6} = 168,5 \text{ mm}$$

4.2.3 Cálculo de las reacciones

H_{Ed} valor de cálculo de las cargas horizontales totales: $H_{Ed} = 5 \cdot 4 = 20 \text{ kN}$

V_{Ed} valor de cálculo de las cargas verticales totales en la planta considerada y en todas las superiores: $V_{Ed} = 6 \cdot 12 = 72 \text{ kN}$

4.2.4 Cálculo del coeficiente r

Sustituyendo los valores anteriores para el esquema de cargas y predimensionado indicado, se obtiene el valor del coeficiente r:

$$r = \frac{72 \text{ kN}}{20 \text{ kN}} \cdot \frac{168,5 \text{ mm}}{4000 \text{ mm}} = 0,15 > 0,1$$

al ser mayor que 0,1, el pórtico es traslacional y no es suficiente con realizar un análisis global de primer orden, ya que los efectos de segundo orden no son despreciables.

4.2.5 Estrategia a seguir

El coeficiente r depende de la relación entre cargas verticales y horizontales, relación que no es posible cambiar; de la altura del soporte, que no es modificable, y del desplazamiento horizontal de la cabeza del mismo. Es en esta última variable en la que hay que actuar para conseguir que la estructura sea intraslacional.

Con este objeto, las posibilidades son:

1. Cambiar el predimensionado del soporte, utilizando un perfil con mayor inercia. Esta posibilidad siempre es viable.
2. En el caso que nos ocupa, se puede intentar reducir el desplazamiento horizontal haciendo que los tres soportes compartan la carga horizontal. Este planteamiento supone modificar los apoyos de los soportes B y C, y no siempre es posible (no es factible cuando todos los apoyos ya son empotramientos) ni eficaz (no se sabe si la reducción del desplazamiento horizontal es suficiente hasta que éste no se calcula).

4.3 Modificación del predimensionado

4.3.1 Enunciado del problema

Dado el pórtico de la figura 2, considerando que el soporte que recibe la carga es un HEB 120 colocado con el alma contenida en el plano de la estructura, se pide evaluar la traslacionalidad del pórtico.

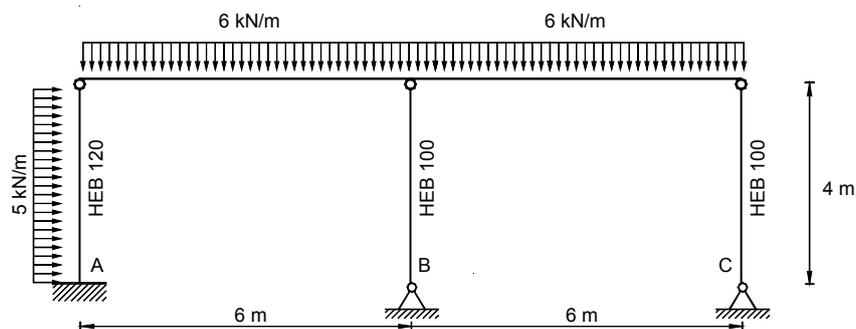


Figura 4. Esquema de cargas y dimensiones del pórtico

Para ello, es necesario obtener el valor del coeficiente r , con la expresión de la ecuación 1, para la única planta que tiene en pórtico.

4.3.2 Modelización del soporte

En la figura 5 se representa la modelización del soporte A.

Al no colaborar los otros soportes en la transmisión de las cargas horizontales al terreno, el soporte se modeliza como empotrado-libre.

El valor del desplazamiento horizontal de la cabeza de los soportes se calcula con ayuda del prontuario (ecuación 3)

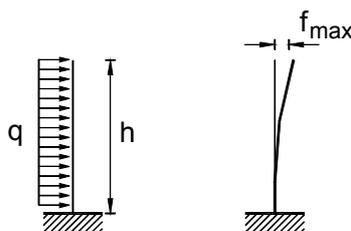


Figura 5. Modelo del soporte

$$f_{max} = \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo $q = 5 \text{ kN/m} = 5 \text{ N/mm}$

$L = 4000$

$I = 8,64 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$E = 210.000 \text{ N/mm}$

Sustituyendo en la ecuación 3 $f_{\max} = \frac{5 \cdot 4000^4}{8 \cdot 210.000 \cdot 8,64 \cdot 10^6} = 88,18 \text{ mm}$

4.3.3 Cálculo de reacciones

Las cargas horizontales y verticales totales tienen el mismo valor que las calculadas en el epígrafe 4.2.3:

$$H_{Ed} = 5 \cdot 4 = 20 \text{ kN}; \quad V_{Ed} = 6 \cdot 12 = 72 \text{ kN}$$

4.3.4 Cálculo del coeficiente r

Sustituyendo los valores anteriores para el esquema de cargas y predimensionado indicado, se obtiene el valor del coeficiente r :

$$r = \frac{72 \text{ kN}}{20 \text{ kN}} \cdot \frac{88,18 \text{ mm}}{4000 \text{ mm}} = 0,08 < 0,1$$

al ser menor que 0,1, el pórtico es intraslacional y es suficiente con realizar un análisis global de la estructura de primer orden.

4.4 Modificación del modelo del pórtico

Con objeto de reducir el desplazamiento horizontal de la cabeza del soporte, se modifican los apoyos de los soportes B y C, de modo que todos están empotrados a la cimentación.

4.4.1 Enunciado del problema

Dado el pórtico de la figura 2, considerando que los soportes son perfiles HEB 100 colocados con el alma contenida en el plano de la estructura, se pide evaluar la traslacionalidad de la estructura.

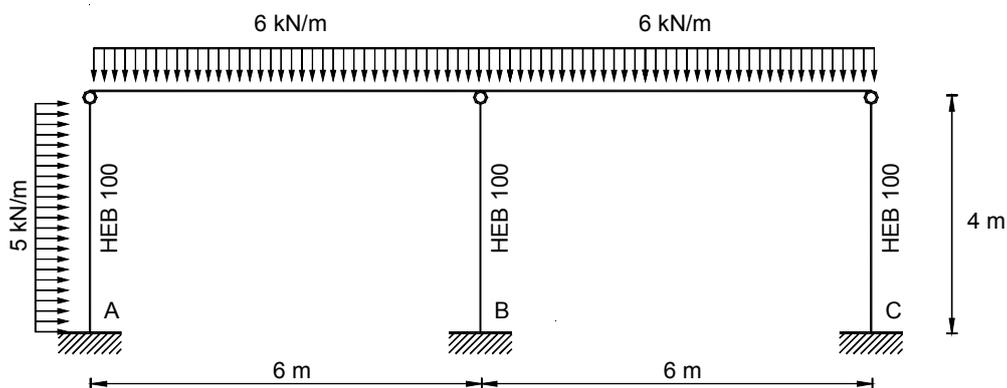


Figura 6. Esquema de cargas y dimensiones

Para ello, es necesario obtener el valor del coeficiente r , con la expresión de la ecuación 1, para la única planta que tiene en pórtico.

4.4.2 Modelización del soporte

La carga horizontal de viento la transmiten los tres soportes al terreno.

Si no se considera el posible acortamiento de la viga que los une, el desplazamiento horizontal de sus cabezas será el mismo (figura 7).

Se plantea una ecuación adicional de compatibilidad de deformaciones donde los desplazamientos horizontales de las cabezas de los soportes son iguales. (ecuación 4)

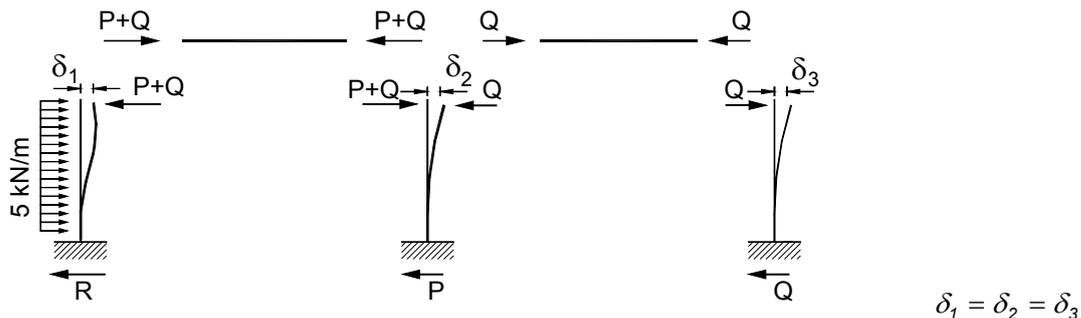


Figura 7. Compatibilidad de deformaciones

ecuación 4

Los desplazamientos horizontales de las cabezas de los soportes se obtienen en función de las incógnitas **P** y **Q** y del resto de cargas horizontales aplicadas en los soportes utilizando el prontuario: figura 8, ecuación 5, figura 9 y ecuación 6.

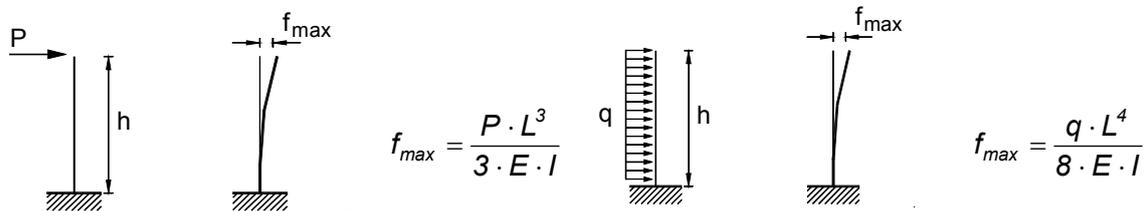


Figura 8. Modelo del soporte

Ecuación 5

figura 9. Modelo del soporte

Ecuación 6

El valor de las fuerzas **P** y **Q** se obtiene sustituyendo el valor de la carga y la longitud del soporte en la ecuación 7, siendo $Q = 5 \text{ N/mm}$ y $L = 4000$

Cálculo de los desplazamientos en función de P

$$\delta_1 = \frac{5 \cdot 4000^4}{8 \cdot E \cdot I} + \frac{(-P - Q) \cdot 4000^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\delta_2 = \frac{(P + Q - Q) \cdot 4000^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{P \cdot 4000^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\delta_3 = \frac{Q \cdot 4000^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad \text{Ecuación 9}$$

igualando la ecuación 8 con la ecuación 9:

$$\delta_2 = \delta_3 \rightarrow \frac{P \cdot 4000^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{Q \cdot 4000^3}{3 \cdot E \cdot I} \rightarrow P = Q$$

sustituyendo de nuevo en la ecuación 7, e igualándola con la ecuación 8.

$$\delta_1 = \delta_2 \rightarrow \frac{5 \cdot 4000^4}{8 \cdot E \cdot I} - \frac{2 \cdot P \cdot 4000^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{P \cdot 4000^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$\frac{5 \cdot 4000^4}{8 \cdot E \cdot I} = \frac{3 \cdot P \cdot 4000^3}{3 \cdot E \cdot I} \rightarrow \frac{5 \cdot 4000}{8} = P = 2500 \text{ N}$$

Obtenido el valor de las reacciones P y Q, se puede obtener el valor del desplazamiento horizontal en la cabeza de los soportes.

$$\text{Siendo } P = 2500 \text{ N}$$

$$L = 4000$$

$$I = 4,52 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

Sustituyendo y calculando:

$$\delta_h = \frac{P \cdot 4000^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{2500 \cdot 4000^3}{3 \cdot 210.000 \cdot 4,52 \cdot 10^6} = 56,18 \text{ mm}$$

4.4.3 Cálculo de reacciones

Las cargas horizontales y verticales totales tienen el mismo valor que las calculadas en el epígrafe 4.2.3:

$$H_{Ed} = 5 \cdot 4 = 20 \text{ kN};$$

$$V_{Ed} = 6 \cdot 12 = 72 \text{ kN}$$

4.4.4 Cálculo del coeficiente r

Sustituyendo los valores anteriores para el esquema de cargas y predimensionado indicado, se obtiene el valor del coeficiente r:

$$r = \frac{72 \text{ kN}}{20 \text{ kN}} \cdot \frac{56,18 \text{ mm}}{4000 \text{ mm}} = 0,05 < 0,1$$

al ser menor que 0,1, el pórtico es intraslacional y es suficiente con realizar un análisis global de la estructura de primer orden.

4.5 Resumen

A lo largo de este artículo se ha particularizado la comprobación que permite caracterizar el carácter intraslacional de un pórtico plano que forma parte de una estructura de acero a un pórtico de una planta y dos vanos.

Partiendo de la propuesta inicial, en la que el predimensionado previo de los soportes junto con el modelo de apoyo de los mismos supone considerar el pórtico como traslacional, se han analizado las posibles estrategias a seguir.

En la primera opción, se ha redimensionado el soporte que recibe la carga de viento aumentando su inercia para reducir el desplazamiento horizontal, consiguiendo que el pórtico pase a ser intraslacional.

En la segunda opción, se han rediseñado los apoyos de los soportes que no reciben la carga de viento directamente, haciendo que colaboren en la transmisión de ésta al terreno, y en consecuencia, disminuyendo el desplazamiento horizontal de la cabeza del soporte, reduciendo el coeficiente r hasta el punto de poder considerar el pórtico intraslacional.

4.6 Ejercicio propuesto

Con objeto de consolidar los conocimientos, se propone al alumno caracterizar el carácter traslacional o intraslacional de la estructura de la figura 10:

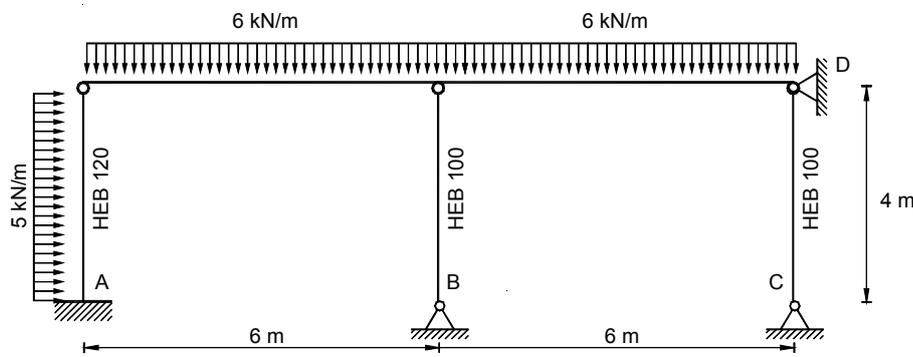


Figura 10. Esquema de cargas y dimensiones

5 Conclusión

- El carácter traslacional o intraslacional de un pórtico plano de acero depende del valor del coeficiente r , establecido en artículo 5.3.1 del DB SE-A del CTE.
- Las variables que influyen en el valor de dicho coeficiente son: la relación entre cargas verticales y horizontales, la altura entre plantas y el desplazamiento horizontal de la cabeza de los soportes, es en esta última, en la que se puede actuar, sin alterar las características del pórtico (geometría y cargas).
- Dado que el desplazamiento horizontal depende directamente de la inercia del perfil utilizado, un redimensionado del soporte permite reducir dicho movimiento, con objeto que conseguir que el pórtico sea intraslacional.
- Otra posible estrategia para reducir dicho desplazamiento horizontal es compartir la carga horizontal entre los distintos soportes que forman el pórtico.
- La caracterización del pórtico como intraslacional permite realizar un análisis global de la estructura elástico lineal de primer orden, mientras que si el pórtico se considera traslacional, se tiene que incluir el incremento de las solicitaciones debido a las deformaciones (efectos de segundo orden) en el análisis global de la estructura.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

[1] MINISTERIO de la VIVIENDA: "Documento Básico Seguridad Estructural, Acero", Código Técnico de Edificación. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org>

[2] Monfort Leonart, J.: "Estructuras Metálicas en Edificación adaptado al CTE" Editorial Universidad Politécnica de Valencia ISBN 84-8363-021-4

[3] Ejemplos prácticos resueltos en "Problemas de estructuras metálicas adaptados al Código Técnico" capítulo 2 y 8. Autores: Monfort Leonart, J. Pardo Ros, J.L., Guardiola Vllora, A. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 978-84-8363-322-9

6.2 Tablas y figuras

Todos los dibujos incluidos en este documento han sido realizados por Guardiola Vllora, A.

7 Solución al ejercicio propuesto

Dado el modelo de estructura, en el que el apoyo en el punto D impide el desplazamiento horizontal, o lo que es lo mismo, $\delta_h = 0$, el valor del coeficiente r es nulo, y por tanto el pórtico es intraslacional.