

Ejemplo práctico de obtención de la resistencia a pandeo de los soportes de acero

Apellidos, nombre	Guardiola Villora, Arianna (aguardio@mes.upv.)
Departamento	Mecánica del Medio Continuo y Teoría de Estructuras
Centro	Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia

1 Resumen de las ideas clave

En este documento se calcula la resistencia a pandeo, $N_{b,Rd}$ de una serie de soportes de acero diseñados con un perfil de la serie IPE y distintas condiciones de enlace, siguiendo los criterios del Documento Básico, Seguridad Estructural, Acero, del Código Técnico de la Edificación (DB-SE-A del CTE).

2 Introducción

La resistencia a pandeo de una barra de acero, $N_{b,Rd}$, depende del tipo de enlace de sus extremos, de su esbeltez, λ , de la geometría de la sección y del tipo de acero.

Con objeto de valorar como influyen las variables anteriores en la resistencia a pandeo de la barra, en el ejemplo práctico desarrollado en este documento se calcula la resistencia a pandeo de cinco soportes dimensionados con el mismo perfil, que tienen distintas condiciones de enlace y diferente orientación de la sección.

3 Objetivos

El principal objetivo de este documento es mostrar al alumno el proceso de obtención del axil resistente a pandeo en compresión, de un soporte de acero, pieza simple, clase 1, 2 ó 3, siguiendo los criterios del DB-SE- Acero del CTE.

Así pues, una vez que el alumno se lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Determinar la longitud de pandeo de los soportes de acero para los casos canónicos.
- Determinar la esbeltez y esbeltez reducida de los soportes de acero para pandeo en cada uno de los ejes considerados
- Elegir la curva de pandeo correspondiente en función de la forma de la sección, espesor de sus chapas, tipo de acero y plano de pandeo
- Obtener el valor de los coeficientes reductores por pandeo de cada uno de los planos considerados
- Calcular el valor de la resistencia a pandeo de cada uno de los soportes de acero propuestos.

Es importante señalar que no se trata de dimensionar los soportes, sino de evaluar la resistencia a pandeo en compresión simple de una serie de soportes de acero.

Estos soportes no se encuentran solicitados (no hay carga aplicada), tratándose, por tanto, de un caso de peritación del dimensionado propuesto.

Al final de este documento se propone al alumno una variante del ejercicio propuesto con objeto de que profundice en el tema y se enfrente a las posibles dificultades que puede presentar el proceso, tomando las decisiones pertinentes.

4 Obtención de la resistencia a pandeo de los soportes de acero

4.1 Planteamiento del problema

Dados los soportes de la figura 1, considerando que han sido dimensionados con un perfil IPE 140 de acero S 275, y teniendo en cuenta las condiciones de enlace mostradas, se pide:

- Determinar la máxima carga que agota al perfil en compresión simple, o lo que es lo mismo, la resistencia a pandeo de los soportes de la figura.
- Indicar a que soporte es equivalente la barra A, y a que soporte es equivalente la barra B.

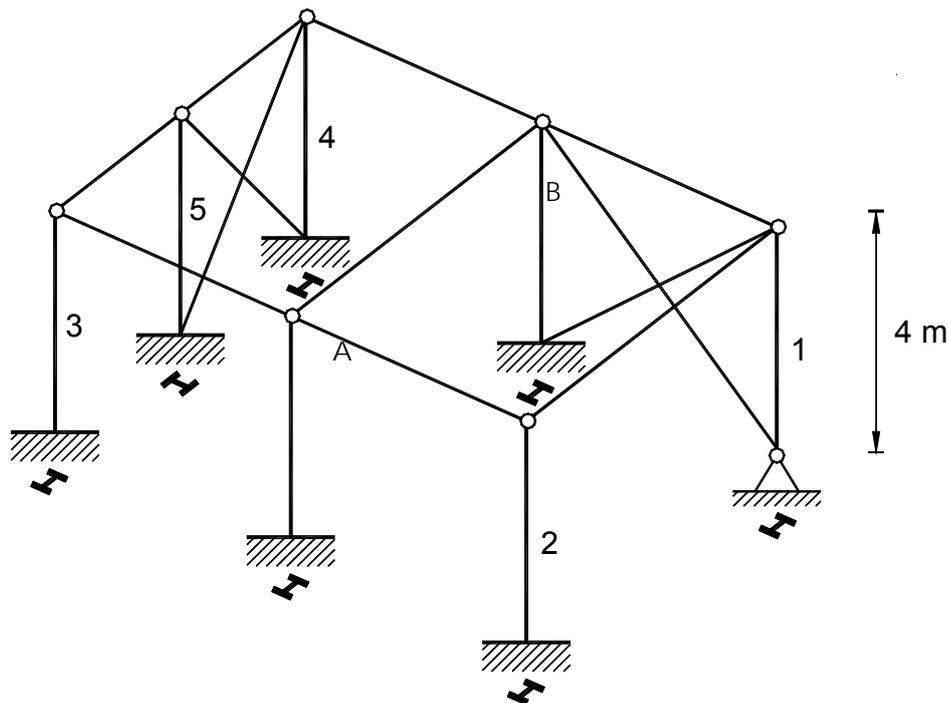


Figura 1. Esquema de la estructura

Sabiendo que el IPE 140 de acero S 275 es clase 1 en compresión simple, y que sus propiedades geométricas son: $A = 1640 \text{ mm}^2$; $i_y = 57,4 \text{ mm}$; $i_z = 16,5 \text{ mm}$; $t_f = 6,9 \text{ mm}$

4.2 Cálculo del axil resistente a pandeo en compresión simple, $N_{b,Rd}$

El axil resistente a pandeo de una barra de acero, pieza simple, sección clase 1,2 o 3 es igual a: $N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot A \cdot f_{yd}$

siendo A el área de la sección bruta y $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{275}{1,05} \text{ N/mm}^2$

El coeficiente reductor por pandeo χ_{min} depende de las condiciones de enlace y la orientación de la sección.

Su valor se obtiene en la correspondiente curva de pandeo a partir de la esbeltez reducida de la barra para cada plano de pandeo para cada uno de los soportes:

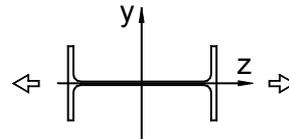
SOPORTE 1:

Se debe considerar el pandeo en los dos posibles planos de pandeo.

El soporte 1 se modeliza como biarticulado en los dos planos, siendo la longitud de pandeo $L_{k,y}$ y $L_{k,z}$ igual a:

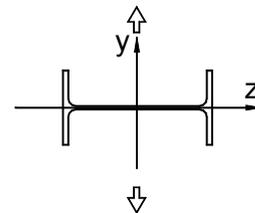
Pandeo en el plano perpendicular al eje y:

$$L_{k,y} = \beta_y \cdot L = 1 \cdot 4.000 = 4.000 \text{ mm}$$



Pandeo en el plano perpendicular al eje z:

$$L_{k,z} = \beta_z \cdot L = 1 \cdot 4.000 = 4.000 \text{ mm}$$



$$\lambda_z = \frac{L_{k,z}}{i_z} = \frac{2800}{i_z} \leq 173 \rightarrow i_z > 16,18 \text{ mm}$$

La **esbeltez** en cada uno de los planos será igual a:

$$\text{Pandeo en el plano perpendicular al eje y: } \lambda_y = \frac{L_{k,y}}{i_y} = \frac{4000}{57,4} = 69,7$$

$$\text{Pandeo en el plano perpendicular al eje z: } \lambda_z = \frac{L_{k,z}}{i_z} = \frac{4.000}{16,5} = 242,4$$

Siendo la esbeltez reducida:

Pandeo en el plano perpendicular al eje y:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_R} = \frac{69,7}{86,8} = 0,80 < 2$$

Pandeo en el plano perpendicular al eje z:

$$\lambda_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_R} = \frac{242,4}{86,8} = 2,79 > 2 \text{ esbeltez no admisible} \rightarrow \chi_{min} \cong 0 \rightarrow N_{b,Rd} \cong 0$$

Por tanto, el soporte 1 no tiene capacidad resistente a compresión simple al exceder la esbeltez que establece el DB-SE- Acero para los elementos principales.

RESTO DE SOPORTES

El proceso de cálculo de la resistencia a pandeo del resto de los soportes es igual al del soporte 1, siendo la única diferencia las condiciones de enlace de la barra, y en algunos casos la orientación de la sección.

Teniendo en cuenta la orientación de las secciones y las condiciones de enlace de los soportes de la figura 1, se calcula, para cada uno de ellos, los coeficientes β , las longitudes de pandeo ($L_{k,y}$ y $L_{k,z}$) las esbelteces (λ_y , y λ_z) y las esbelteces reducidas ($\bar{\lambda}_y$, y $\bar{\lambda}_z$).

En la tabla 2 del Anejo 1, se eligen las curvas de pandeo teniendo en cuenta la relación entre el canto y el ancho de la sección: $h/b = 1$, y que el espesor del ala es inferior a 40 mm. (curva a para pandeo perpendicular al eje y y curva b para pandeo perpendicular al eje z).

Finalmente se obtienen los coeficientes reductores por pandeo (χ_y ; χ_z ; χ_{min}) en la tabla 3 del Anejo 1 (curvas de pandeo) y sustituyendo y operando, se obtiene la resistencia a pandeo de cada una de las barras ($N_{b,Rd}$)

Los resultados obtenidos se recogen en la tabla 1

Soporte	pandeo ⊥ al eje	β	L_k (mm)	λ	$\bar{\lambda}$	curva	χ	χ_{min}	pandeo ⊥ al eje	$N_{b,Rd}$ (N)
1	y	1	4000	69.69	0.80	a	0.8			
	z	1	4000	242.42	2.79 > 2	b	0.11	0.11		0
2 = A	y	2	8000	139.37	1.61	a	0.3			
	z	2	8000	484.85	5.59 > 2	b	0	0		0
3	y	0,7	2800	48.78	0.56	a	0.89			
	z	2	8000	484.85	5.59 > 2	b	0	0		0
4	y	0,7	2800	48.78	0.56	a	0.89			
	z	0,7	2800	169.70	1.96	b	0.21	0,21	z	90200
5 = B	y	2	8000	139.37	1.61	a	0.3			
	z	0,7	2800	169.70	1.96	b	0.21	0,21	z	90200

Tabla 1. Resistencia a pandeo de los soportes de la figura 1

5 Conclusión

En la tabla 1 se observa que los soportes 1,2,3, y A no se pueden diseñar con un IPE 140, pues no cumplen la limitación de esbeltez de la norma.

Por otro lado, los soportes 4 y 5 tienen la misma resistencia a pandeo, a pesar de que las condiciones de enlace son diferentes. El motivo es que ambos soportes pandearían en el plano perpendicular al eje z, y para esa situación, si que tienen la misma longitud de pandeo.

La conclusión es que la resistencia a pandeo de los soportes no depende sólo de las propiedades de la sección, sino de las condiciones de enlace de la barra y de la orientación de la sección, habiendo disposiciones mas adecuadas que otras.

6 Ejercicio propuesto

Con objeto de afianzar los conocimientos adquiridos, se propone al alumno obtener la resistencia a pandeo de los soportes anteriores considerando que son perfiles HEB140 de acero S 275, siendo $A = 4300 \text{ mm}^2$, $i_y = 59,3 \text{ mm}$, $i_z = 35,8 \text{ mm}$, y $t_f = 12$ indicando cual de ellos es el más resistente.

La solución a dicho ejercicio se encuentra en el Anejo 1

7 Bibliografía

7.1 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" capítulos 3 y 7. Autores: Monfort Leonart, J. Pardo Ros, J.L., Guardiola Villora, A. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 978-84-8363-322-9

7.2 Otras fuentes:

[1] Polimedia "Cálculo de barras de acero solicitadas a Compresión Simple" Autora: Arianna Guardiola Villora. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/30422>

7.3 Tablas y figuras

El contenido de la tabla 1 ha sido calculado por Guardiola Villora, A. con las expresiones indicadas.

EL contenido de las tablas 2 y 3 corresponde al CTE DB SE Acero

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

ANEJO 1

Tabla 2. Curva de pandeo en función de la sección transversal

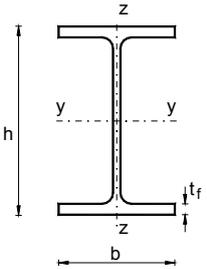
Tipo de sección	Tipo de acero	S235 a S355		S450	
		y	z	y	z
Perfiles laminados doble T 	Pandeo \perp eje				
	$h/b > 1,2$ $t_f \leq 40 \text{ mm}$ $40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	a b	b c	a ₀ a	a ₀ a
	$h/b \leq 1,2$ $t_f \leq 100 \text{ mm}$ $t_f > 100 \text{ mm}$	b d	c d	a c	a c

Tabla 3. Coeficientes reductores de pandeo χ

$\bar{\lambda}$	Curva de pandeo				
	a ₀	a	b	c	d
≤ 0,2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,3	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92
0,4	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85
0,5	0,95	0,92	0,88	0,84	0,78
0,6	0,93	0,89	0,84	0,79	0,71
0,7	0,90	0,85	0,78	0,72	0,64
0,8	0,85	0,80	0,72	0,66	0,58
0,9	0,80	0,73	0,66	0,60	0,52
1,0	0,73	0,67	0,60	0,54	0,47
1,1	0,65	0,60	0,54	0,48	0,42
1,2	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38
1,3	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34
1,4	0,45	0,42	0,38	0,35	0,31
1,5	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28
1,6	0,35	0,32	0,31	0,28	0,25
1,7	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23
1,8	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21
1,9	0,25	0,24	0,23	0,21	0,19
2,0 ⁽¹⁾	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18
2,1 ⁽¹⁾	0,21	0,20	0,19	0,18	0,16
2,2 ⁽¹⁾	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15
2,3 ⁽¹⁾	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14
2,4 ⁽¹⁾	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
2,5 ⁽²⁾	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12
2,6 ⁽²⁾	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11
2,7 ⁽²⁾	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
2,8 ⁽²⁾	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10
2,9 ⁽²⁾	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09
3,0 ⁽²⁾	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09

(¹) esbeltez no aceptable en los elementos principales
(²) esbeltez no aceptable incluso en elementos de arriostamiento

SOLUCIÓN AL EJERCICIO PROPUESTO

La resistencia a pandeo de los soportes de la figura 1 diseñados con un perfil HEB 140 de acero S 275 es:

Soporte 1: $N_{b,Rd} = 439.214 \text{ N}$

Soporte 2: $\bar{\lambda}_z > 2 \rightarrow N_{b,Rd} = 0 \text{ N}$

Soporte 3: $N_{b,Rd} = 439.214 \text{ N}$

Soporte 4: $N_{b,Rd} = 675.714 \text{ N}$ (es el mas resistente)

Soporte 5: $N_{b,Rd} = 349.119 \text{ N}$

Las curvas a utilizar son: curva b para pandeo perpendicular al eje y y curva c para pandeo perpendicular al eje z.