



ICNC: Rigidez de la base del pilar para análisis global

Este documento presenta la clasificación detallada de placas de base de pilares, la determinación de su rigidez de rotación y las recomendaciones para el análisis estructural.

Contents

1.	Introducción	2
2.	Clasificación por rigidez	2
3.	Enfoque empírico	4
4.	Determinación de la rigidez de la base del pilar	6
5.	Diseño avanzado para la interacción suelo-cimentación	8
6.	Referencias	9

1. Introducción

El comportamiento del momento rotacional de una base de pilar está influido por:

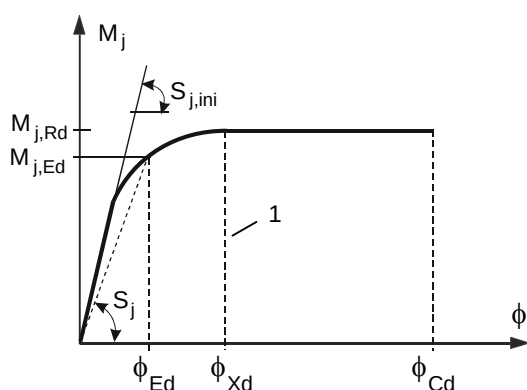
- ☐ La placa de base
- ☐ La rigidez de la cimentación
- ☐ La interacción suelo - cimentación
- ☐ Comportamiento del suelo

Algunas de estas influencias son difíciles de cuantificar y otras estarán fuera del alcance y los conocimientos del diseñador de la estructura metálica, por ej., el comportamiento del suelo.

Después de una presentación general sobre la clasificación de uniones, este documento presenta tres enfoques para determinar valores de rigidez de base de pilar para análisis globales prácticos. El primer enfoque, empírico, presenta maneras conservadoras y sencillas de reconocer que todas las disposiciones de base de pilar tienen en la práctica cierta rigidez rotacional. El segundo enfoque presenta un análisis más detallado de la respuesta de la estructura metálica de la base del pilar. El tercero presenta un método para tener en cuenta la interacción entre la cimentación y el suelo circundante.

2. Clasificación por rigidez

Para el análisis global, hay que tener en cuenta los efectos del comportamiento de las uniones en la distribución de fuerzas y momento internos dentro de una estructura y las deformaciones globales de la estructura. La información acerca del comportamiento de la unión es suministrada por su característica momento-rotación de cálculo, ver Figura 2.1.



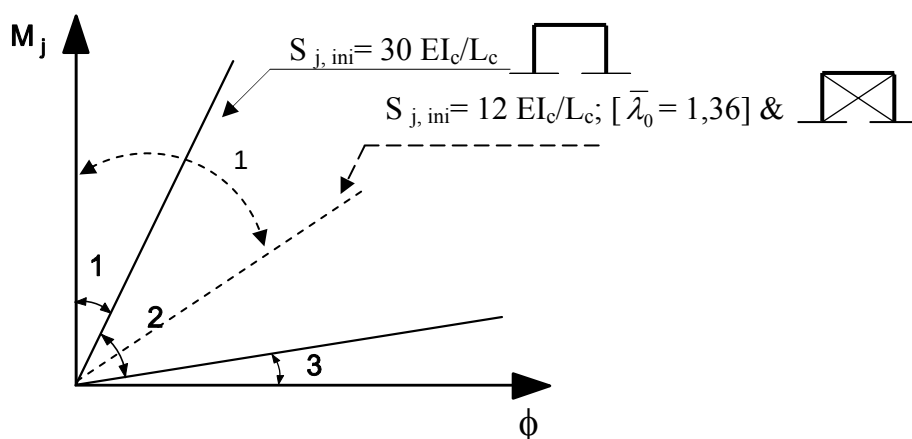
Leyenda: 1 = Límite para S_j [1]

Figura 2.1 Característica momento-rotación de cálculo

La definición de los símbolos y magnitudes relacionados con la rigidez de bases de pilares presentados en la característica momento-rotación de cálculo (Figura 2.1) se describen más abajo:

- ❑ S_j : rigidez rotacional, es la rigidez secante como se indica en la Figura 2.1. Para una característica momento-rotación de cálculo esta definición de S_j se aplica a la rotación ϕ_{Xd} a la que $M_{j,Ed}$ alcanza primero $M_{j,Rd}$, pero no a rotaciones mayores.
- ❑ $S_{j,ini}$: rigidez rotacional inicial, es la pendiente del dominio elástico de la característica momento-rotación de cálculo ver Figura 2.1

Las bases de pilar pueden ser clasificadas como rígidas, nominalmente articuladas o semirrígidas según su rigidez rotacional, comparando su rigidez rotacional inicial $S_{j,ini}$ con los límites de clasificación, ver Figura 2.2.



Leyenda: 1 = Rígido; 2 = Semirrígido; 3 = Nominalmente articulado

Figura 2.2 Clasificación por rigidez [3]

[EN 1993-1-8 §5.2.2.5\(2\)](#) indica las condiciones que las bases de pilares deben satisfacer para ser clasificadas como rígidas:

- ❑ en pórticos en los que el sistema de arriostramiento reduce el desplazamiento horizontal en al menos el 80 % y en los que los efectos de deformación pueden ser despreciados:
 - si $\bar{\lambda}_0 \leq 0,5$;
 - si $0,5 < \bar{\lambda}_0 < 3,93$ y $S_{j,ini} \geq 7 (2 \bar{\lambda}_0 - 1) EI_c / L_c$;
 - si $\bar{\lambda}_0 \geq 3,93$ y $S_{j,ini} \geq 48 EI_c / L_c (*)$
- ❑ en otro caso si $S_{j,ini} \geq 30 EI_c / L_c$

donde:

$\bar{\lambda}_0$ es la esbeltez del pilar en el que ambos extremos se supone que son articulados;

I_c es el momento de inercia del pilar;

L_c es la altura de planta del pilar.

El límite (*) es un cálculo prudente y puede ser utilizado para todos los pilares. La rigidez límite $12 E I_c / L_c$ puede utilizarse para pórticos arriostrados para pilares con una esbeltez inferior a $\bar{\lambda}_0 = 1,36$ [3], ver Figura 2.2.

De manera similar, se podrían definir condiciones para clasificar una base de pilar como una unión articulada. Sin embargo, pocas bases de pilar tendrán una rigidez inicial tan baja. Una base de pilar nominalmente articulada debe ser capaz de transmitir las fuerzas internas sin desarrollar momentos importantes que pudieran afectar adversamente a los elementos de la estructura en su totalidad. También debe tener la suficiente capacidad de rotación bajo las cargas de cálculo. En la práctica, una base de pilar con una rigidez inicial más elevada se podría considerar como una unión articulada, siempre y cuando se cumplan las condiciones anteriormente mencionadas.

Las bases de pilar semirrígidas son aquellas que no cumplen los criterios para ser clasificadas como rígidas o nominalmente articuladas. Sin embargo, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores sobre uniones articuladas, la mayoría de las bases de pilares que no son rígidas serán consideradas semirrígidas.



(a)



(b)

Figura 2.3 (a) Base de pilar nominalmente articulada y (b) base de pilar rígida con rigidizadores

NOTA: El uso de rigidizadores para placas de base de pilar rígido resulta económico para pilares pequeños, pero el uso de placas de base no rigidizadas más gruesas procura soluciones rentables y minimiza los costes de fabricación.

3. Enfoque empírico

A falta de un conocimiento detallado de la rigidez de la base, el cálculo puede basarse en los siguientes supuestos [2]:

3.1 Bases de pilar nominalmente articuladas

La rigidez de una base con un pasador o una biela se debe considerar cero.

Si un pilar está nominalmente unido por pasadores a una cimentación que está diseñada suponiendo que el momento de base es cero, se debería asumir que la base está articulada cuando se usa un análisis global elástico para calcular los otros momentos y fuerzas en el pórtico bajo la carga de estado límite último.

La rigidez de la base se puede considerar igual a la siguiente proporción de la rigidez de la columna:

- ☐ 10 % cuando se comprueba la estabilidad del pórtico o al determinar las longitudes efectivas en plano.
- ☐ 20 % cuando se calculan las flechas bajo cargas de servicio.

NOTA: En algunos países, como Suecia, se considera que las placas de base de pilar con una placa de base delgada y cuatro pernos son articuladas si tienen suficiente capacidad de deformación, aunque de hecho tengan un comportamiento semirrígido.

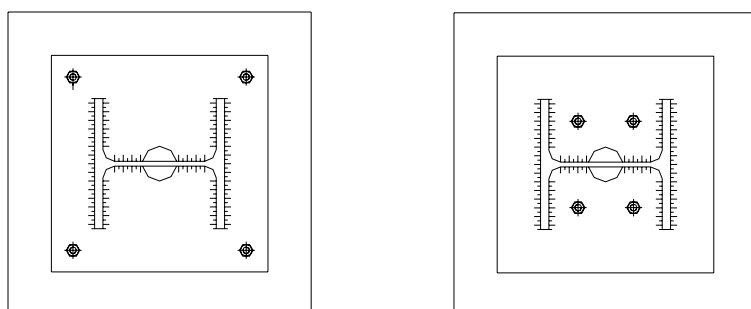


Figura 3.1 Ejemplos de bases de pilar nominalmente articulados.

3.2 Bases de pilar nominalmente rígidos

Si un pilar está conectado rígidamente a una cimentación adecuada, deben adoptarse las recomendaciones siguientes:

- ☐ Análisis elástico – global:

Cálculos del Estado Límite Último: rigidez de la base igual a la rigidez del pilar.

Cálculos del Estado Límite de Servicio: la base puede ser tratada como rígida para determinar las flechas bajo cargas de servicio.

- ☐ Análisis plástico – global:

Se puede asumir cualquier capacidad de momento de base entre cero y la capacidad de momento plástico del pilar, a condición de que la cimentación esté diseñada para resistir un momento igual a esta capacidad de momento supuesta, junto con las fuerzas obtenidas en el análisis.

- ☐ Análisis elástico - plástico – global:

La supuesta rigidez de la base debe ser coherente con la supuesta capacidad de momento de base, pero no debe exceder la rigidez del pilar.

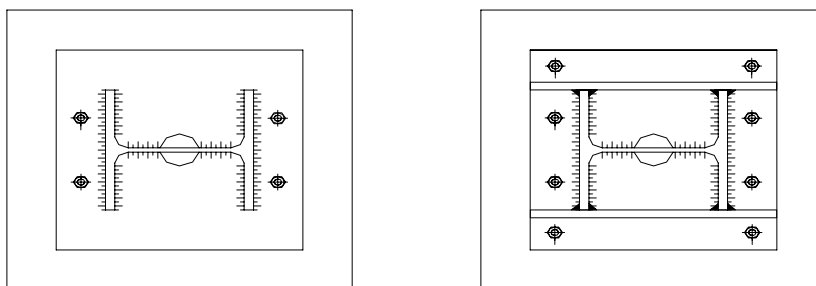


Figura 3.2 Ejemplos de bases de pilar nominalmente rígidas

3.3 Bases de pilar nominalmente semirrígidas

Se puede suponer una rigidez de base nominal de hasta el 20 % del pilar en el análisis elástico global, a condición de que la cimentación esté diseñada para momentos y fuerzas obtenidos de este análisis.

4. Determinación de la rigidez de la base del pilar

4.1 Procedimiento de determinación de acuerdo con el Eurocódigo

La influencia del soporte del suelo y la cimentación no están tratadas en EN 1993-1-8. En EN 1997 se indican orientaciones para el cálculo de la interacción estructura - suelo.

La determinación de la rigidez de las bases de pilar puede calcularse utilizando el método indicado en [EN 1993-1-8 §6.3.4](#):

$$S_j = \frac{E z^2}{\mu(1/k_{T,l} + 1/k_{C,r})} \frac{e}{e + e_k}$$

donde:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$$

e_k a determinar de acuerdo con el tipo de carga (ver [Tabla 6.11](#) y [Tabla 6.12 de EN 1993-1-8](#))

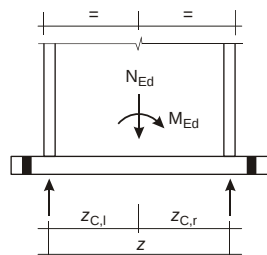
k_T y k_C coeficiente de rigidez para elemento de unión básico (ver [Tabla 6.11](#) y [Tabla 6.12 of EN 1993-1-8](#));

z el brazo de palanca, ver Figura 4.1;

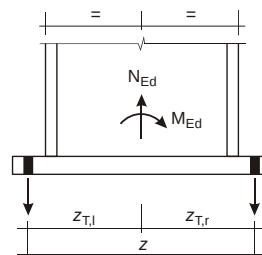
μ la proporción de rigidez $S_{j,ini}/S_j$:

– si $M_{j,Ed} \leq \frac{2}{3} M_{j,Rd}$:
 $\mu = 1$

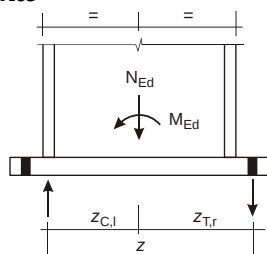
– si $\frac{2}{3} M_{j,Rd} < M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd}$:
 $\mu = (1,5 M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\Psi$; para uniones de placa de base $\Psi = 2,7$



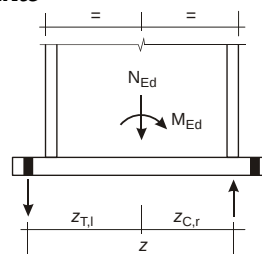
a) Unión de base de pilar en caso de una fuerza normal de compresión dominante



b) Unión de base de pilar en caso de una fuerza normal de tracción dominante



c) Unión de base de pilar en caso de un momento flector dominante



d) Unión de base de pilar en caso de un momento flector dominante

Figura 4.1 Determinación del brazo de palanca z para uniones de base de pilar [1]

4.2 Fórmulas para el diseño preliminar

Para el diseño preliminar, se pueden adoptar las siguientes fórmulas desarrolladas en [Steenhuis, 1999] & [3].

El cálculo de la rigidez de la unión se basa en el componente más débil.

□ Rigidez rotacional de la placa de base

$$S_{j,ini} = \frac{E z^2 t_{fc}}{20}$$

t_{fc} espesor de la placa de base.

r brazo de palanca, es decir, la distancia entre el tornillo de anclaje y el ala sujeta a compresión ver Figura 4.2.

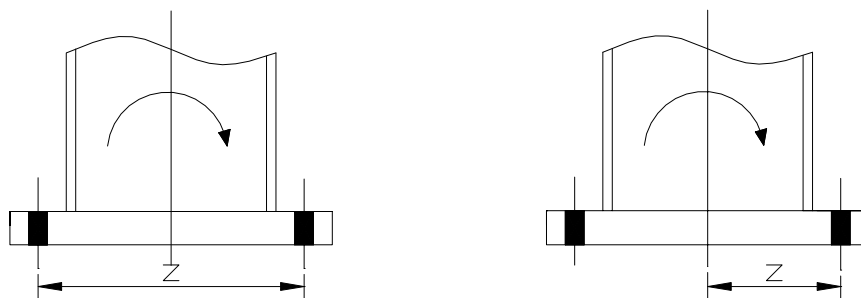


Figura 4.2 Definición de brazo de palanca

5. Diseño avanzado para la interacción suelo-cimentación

En la introducción de este documento, ha quedado establecido que el comportamiento del momento rotacional de una base de pilar está influido por la placa de base, la rigidez de la cimentación, la interacción suelo - cimentación y el comportamiento del suelo.

Aunque las dos últimas cuestiones pueden estar fuera del alcance y el conocimiento del proyectista de la estructura metálica, a veces podría ser necesario calcular la rotación de una base. Para ello se presenta a continuación una fórmula para el cálculo de la rotación de un cimiento sobre una base elástica [4]:

$$\tan \theta = \frac{1 - \mu^2}{E_s} \cdot \frac{M}{B^2 L} \cdot I_\theta$$

θ Rotación de la base

μ Parámetro del suelo: coeficiente de Poisson

E_s Parámetro del suelo: módulo de elasticidad

I_θ Parámetro del cimiento: momento de inercia

B, L Parámetros del cimiento: longitud y dimensión lateral más pequeñas



6. Referencias

- 1 EN 1993 1-8: 2005
Eurocódigo 3: Diseño de estructuras de acero. Parte 1.8: Diseño de uniones. CEN
- 2 BS 5950 - 1: 2000, *Uso estructural de estructuras metálicas en la construcción. Código de prácticas para diseño. Perfiles laminados y soldados*, BSI 2000.
- 3 CESTRUCO
Educación continua en uniones estructurales (www.fsv.cvut.cz/cestruco). Proyecto financiado por la Comisión Europea, programa Leonardo da Vinci.
- 4 *Análisis y diseño de cimientos 5ª edición*
J E Bowles. McGraw-Hill International Editions. Serie Ingeniería Civil

Registro de Calidad

TÍTULO DEL RECURSO	ICNC: Rigidez de la base del pilar para análisis global		
Referencia(s)			
DOCUMENTO ORIGINAL			
	Nombre	Compañía	Fecha
Creado por	José A. Chica	LABEIN	
Contenido técnico revisado por	Franciso Rey	LABEIN	
Contenido editorial revisado por			
Contenido técnico respaldado por los siguientes socios de STEEL:			
1. Reino Unido	G W Owens	SCI	07/4/06
2. Francia	A Bureau	CTICM	07/4/06
3. Suecia	B Uppfeldt	SBI	07/4/06
4. Alemania	C Müller	RWTH	07/4/06
5. Spain	J Chica	Labein	07/4/06
Recurso aprobado por el Coordinador técnico	G W Owens	SCI	18/08/06
DOCUMENTO TRADUCIDO			
Traducción realizada y revisada por:		eTeams International Ltd.	20/06/06
Recurso de traducción aprobado por:	J Chica	Labein	18/07/06