



ICNC: Diseño de uniones de base empotradas de pilares

Esta ICNC suministra las reglas para el diseño de uniones de base empotradas de pilares. Las reglas se limitan a cubrir el diseño de uniones de placas de base sin rigidizar de pilares de perfil en I sometidas a esfuerzo normal, esfuerzo cortante y momento en torno al eje principal del pilar. El diseño de un taco conector, si fuera necesario, está cubierto por ICNC SN021. Las reglas dadas pueden aplicarse fácilmente a otros tipos de secciones de pilares.

Índice

1.	Introducción	2
2.	Parámetros	4
3.	Limitaciones y modelo de cálculo	5
4.	Situación de cálculo 1: Dimensionar una placa base para la carga en la base de un perfil de pilar dado	8
5.	Situación de cálculo 2: Determinar las resistencias de cálculo de una placa base dada	12



1. Introducción

Esta ICNC cubre el cálculo de bases empotradas de pilares de perfil en I que transmiten un esfuerzo normal, un esfuerzo cortante y un momento. La placa base rectangular está soldada al perfil del pilar en una posición simétrica, de manera que se proyecte más allá de los bordes exteriores del ala del casquillo equivalente en Todos los lados (ver Figura 1.1). Filas de tornillos de anclaje, normales en el eje principal del pilar, están simétricamente colocadas en torno al eje secundario del pilar. La placa base puede estar excéntricamente colocada sobre la cimentación de hormigón.

En la práctica, encontramos las dos situaciones de cálculo siguientes:

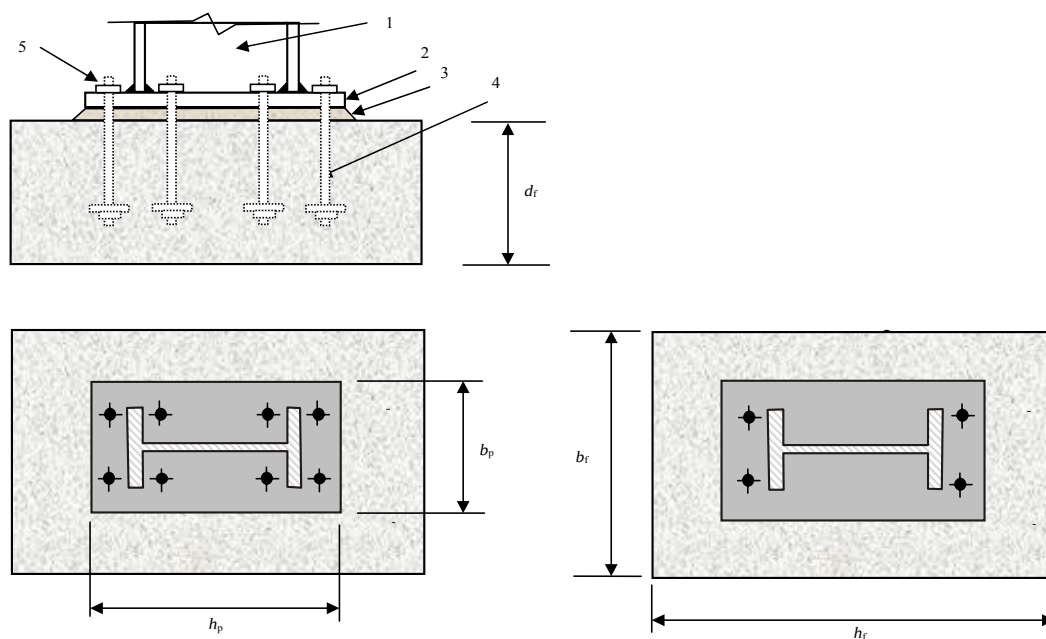
1. Se conocen el perfil del pilar, el esfuerzo normal de cálculo, el esfuerzo cortante y el momento concomitantes. Hay que determinar las dimensiones de la placa base y los tornillos de anclaje correspondientes.
2. Se conocen el perfil del pilar y las dimensiones de la cimentación y de la placa base en una estructura específica. Es necesario comprobar que se puede soportar de manera segura las diferentes combinaciones de esfuerzo axial, esfuerzo cortante y momento que puedan producirse.

Los procedimientos de cálculo para estas dos situaciones están indicados en los Apartados 4 y 5 respectivamente.

Teniendo en cuenta, en particular, la importancia de la relación intrínseca entre los valores del momento de cálculo y el esfuerzo normal concomitante, la determinación satisfactoria de las características fundamentales de los elementos de unión (es decir, la capacidad portante de la cimentación/mortero de cemento, la superficie de la placa base, el espesor de la placa base, las dimensiones de los tornillos de anclaje y las posiciones de los tornillos de anclaje) requiere por lo general la verificación por separado de las fuerzas y los momentos concomitantes de todos los elementos de unión, resultantes de una serie de combinaciones diferentes de carga que actúan sobre la estructura.

La resistencia al esfuerzo cortante de la unión de la placa base está también cubierta por [SN037](#) y si la resistencia al rozamiento es insuficiente, por [SN043](#). No se considera que el esfuerzo cortante tenga ningún efecto sobre la resistencia de la unión en una combinación de una fuerza normal y un momento.

La rigidez de la unión de la placa base se obtiene por medio de [SN045](#).



Leyenda :

1. Pilar de perfil en I
2. Placa base
3. Mortero de cemento
4. Cimentación de hormigón
5. Tornillo de anclaje

Figura 1.1 *Uniones típicas de placa base de pilar empotrada*

2. Parámetros

Tabla 2.1 *Parámetros*

Definición		Definición	
b_{eff}	Anchura efectiva de un casquillo equivalente en T de placa base en compresión.	A_s	Sección de un tornillo de anclaje
c	Anchura de apoyo adicional (medida desde el perímetro del perfil de pilar) para un casquillo equivalente en T de compresión.	$F_{t,Rd}$	Resistencia de cálculo en tracción de una sección de tornillo de anclaje
e_N	Excentricidad de carga normal efectiva expresada por la relación, M_{Ed}/N_{Ed} , del momento concomitante aplicado M_{Ed} y la carga axial N_{Ed}	$F_{t,adherencia,Rd}$	Resistencia de cálculo de unión de un tornillo de anclaje
b_t, h_t, d_t	Anchura, longitud y profundidad de la cimentación.	$F_{t,anclaje,Rd}$	Resistencia de cálculo de un tornillo de anclaje a tracción $= \min(F_{t,Rd}; F_{t,adherencia,Rd})$
f_{yb}	Límite elástico del tornillo de anclaje.	$F_{t,l,Rd}$	Resistencia de cálculo a la tracción del casquillo equivalente en T de la fila izquierda de tornillos de anclaje.
f_{yp}	Límite elástico de la placa base.	$F_{t,r,Rd}$	Resistencia de cálculo a la tracción del casquillo equivalente en T de la fila derecha de tornillos de anclaje.
f_{jd}	Capacidad portante de cálculo de la unión de cimentación.	$F_{c,l,Rd}$	Resistencia de cálculo a la compresión del casquillo equivalente en T del ala de compresión izquierda.
f_{cd}	Resistencia a la compresión de cálculo del hormigón según EN 1992-1-1.	$F_{c,r,Rd}$	Resistencia de cálculo a la tracción del casquillo equivalente en T del ala de compresión derecha.
$b_{tc}, t_{tc}, t_{wc}, h_c$	Anchura de ala, espesor del ala, espesor de alma y canto (altura) de un pilar de perfil en I	L_B	Longitud de un tornillo de anclaje sometido a alargamiento por tracción.
b_p, h_p, t_p	Anchura, longitud y espesor de la placa base.	M_{Ed} $M_{j,Ed}$	Momento de cálculo aplicado por el pilar (positivo si es en el sentido de las agujas del reloj) a la unión de la base, en conjunción con N_{Ed} .
b_{eff}, l_{eff}	Longitud efectiva de un casquillo equivalente en T a tracción.	$M_{j,Rd}$	Momento de resistencia de cálculo de la unión de la base del pilar para una excentricidad efectiva dada, $e_N = M_{Ed}/N_{Ed}$ de la carga normal $N_{Ed} = N_{j,Rd}$
m, n, e	Parámetros geométricos del casquillo equivalente en T a tracción	N_{Ed} $N_{j,Ed}$	Fuerza normal de cálculo (positiva si es a tracción) aplicada por el pilar a la unión de la base, en conjunción con el momento M_{Ed} .
γ_{MO}	Factor parcial de la resistencia a la flexión de la placa base.	$N_{j,Rd}$	Resistencia de la fuerza normal de cálculo de la base del pilar a una excentricidad efectiva de $e_N = M_{Ed}/N_{Ed} = M_{j,Rd}/N_{j,Rd}$
z	Brazo de palanca entre la fuerza izquierda y la fuerza derecha inducidas sobre la base del pilar a la unión de cimentación.		
$z_{T,r}$	Distancia de una fila de tornillos de anclaje derecha desde el eje principal del pilar.		
$z_{T,l}$	Distancia de una fila de tornillos de anclaje izquierda desde el eje principal del pilar.		
$z_{C,l}$	Distancia de un centro de compresión de casquillo equivalente en T izquierdo desde el eje principal del pilar.		
$z_{C,r}$	Distancia de un centro de compresión de casquillo equivalente en T derecho desde el eje principal del pilar.		

3. Limitaciones y modelo de cálculo

3.1 Modelo de cálculo

El modelo de cálculo para una unión de placa base de pilar empotrada para una fuerza normal combinada y un momento en torno al eje principal del pilar está indicado en [§6.2.8 de EN 1993-1-8](#).

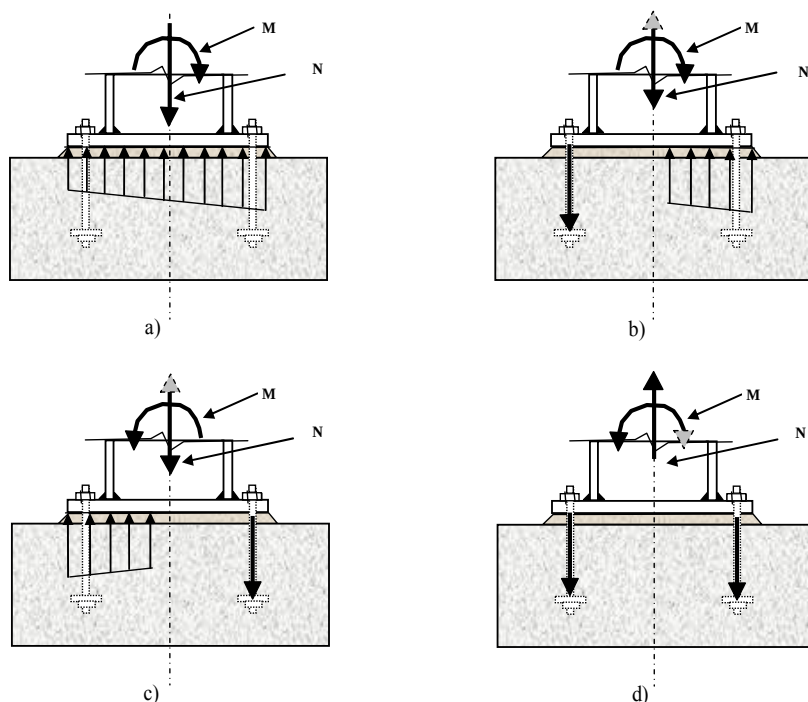
Las distribuciones de carga más comunes en una unión de base empotrada del pilar, indicadas en la Figura 3.1 a), b) y c) respectivamente, son las siguientes:

- ☐ Compresión sobre ambos lados de la unión debido a una carga de compresión axial dominante combinada con
 - o un momento en el sentido de las agujas del reloj
 - o un momento en sentido contrario a las agujas del reloj.
- ☐ Tracción sobre el lado izquierdo y compresión sobre el lado derecho debido a un momento dominante en el sentido de las agujas del reloj combinado con
 - o una carga axial de compresión
 - o una carga axial de tracción (despegue).
- ☐ Compresión sobre el lado izquierdo y tracción sobre el lado derecho debido a un momento dominante en el sentido contrario a las agujas del reloj combinado con
 - o una carga axial de compresión
 - o una carga axial de tracción (despegue).

En las fórmulas de cálculo dadas en la [Tabla 6.7 de EN 1993-1-8](#) una distinción hecha entre los dos últimos casos permite el uso de parámetros, símbolos y una convención de signos que facilita el tratamiento de uniones no simétricas sometidas a múltiples casos de carga. Un caso de distribución de carga adicional con tracción a ambos lados de la unión (Figura 3.1d)), en la que domina una carga de tracción axial, completa las posibilidades teóricas de las distribuciones de carga. Aunque no es normal tener tracción a través de una base empotrada de pilar en los edificios normales, podría producirse en los elementos verticales de subestructuras de arriostramiento necesarios para transmitir cargas laterales elevadas, por ejemplo en edificios industriales donde operan grúas o en edificios bajo una carga sísmica importante.

Se ha adoptado un modelo mecánico simplificado que considera que la fuerza de reacción posible en cualquiera de los lados de la unión puede ser o bien tracción en una única fila de tornillos de anclaje o bien compresión en la unión de cimentación sobre una superficie portante centrada bajo el ala del pilar. La resistencia de cálculo del elemento de unión crítico (casquillo equivalente en T en compresión o a tracción) determina el momento de resistencia de cálculo que actúa en concomitancia con la fuerza normal dada.

Las fórmulas dadas en la [Tabla 6.7 de EN 1993-1-8](#) se derivan del equilibrio entre la combinación de la fuerza normal - momento aplicado y las fuerzas de reacción inducidas sobre la placa base. Cubren cada uno de los cuatro escenarios de distribución de carga diferentes y posibles para la configuración básica de la unión de la placa base del pilar indicada en la Figura 3.1.



Leyenda :

- a) Compresión a ambos lados de la unión
- b) Compresión en el lado derecho y tensión en el lado izquierdo
- c) Compresión en el lado izquierdo y tensión en el lado derecho
- d) Tensión a ambos lados de la unión (situación rara)

Figura 3.1 Distribución de cargas

3.2 Resistencia al apoyo

En lo que respecta al lado de compresión de una unión, el método de cálculo es garantizar que las tensiones de apoyo bajo la placa base no excedan la resistencia al apoyo del material de la unión de cimentación ni produzcan una flexión excesiva de la placa base.

El modelo de cálculo supone que la resistencia al apoyo es suministrada por uno o los dos casquillo equivalente en T del ala del pilar en compresión, dependiendo de si predomina la compresión sobre parte o toda la placa base del pilar respectivamente, como se indica en la Figura 3.1. Para un casquillo equivalente en T del ala en compresión, se asume que los esfuerzos de apoyo están uniformemente distribuidos sobre la superficie del casquillo equivalente en T centrada debajo del ala, como se indica en la Figura 3.2. En el enfoque simplificado dado en EN 1993-1-8 para el cálculo de uniones de base de pilares que transfieren momento, no se hace referencia directa a las fuerzas de compresión que pueden ser transferidas a través de un soporte en T de alma de pilar en compresión.

En esta ICNC, se hace referencia a [SN037](#) para la resistencia de cálculo de casquillo equivalente en T en compresión.

3.3 Resistencia a la tracción de una fila de tornillos de anclaje.

El modelo de cálculo para una fila de tornillos de anclaje en tracción es similar al de una fila de tornillos de una unión de chapa de borde que transmite un momento. Por lo tanto, el enfoque de cálculo consiste en garantizar que el esfuerzo de tracción en la fila de tornillos de anclaje no exceda nada de lo siguiente;

- ❑ La resistencia a la tracción del casquillo equivalente en T de tracción de la placa base. Ello implica la consideración de los tres modos de agotamiento básicos del casquillo equivalente en T de tracción, tal como se indica en la [Tabla 6.2 de EN 1993-1-8](#). Si fuera pertinente, se considerará el modo simple que sustituye a los modos 1 y 2 (ver [Tabla 6.2 EN 1993-1-8](#)). Este último modo es posible si el efecto de palanca desaparece con la pérdida de contacto entre el borde de la placa base y la cimentación debido al alargamiento del tornillo de anclaje.
- ❑ Si fuera necesario, por ejemplo para filas de tornillos de anclaje entre alas del pilar, la resistencia de cálculo a tracción del elemento del alma del pilar del casquillo equivalente en T.

El enfoque de cálculo es idéntico que el de una fila de tornillos de una chapa de borde, excepto que cuando se determina la resistencia del tornillo de anclaje a tracción se debe considerar también que la resistencia de adherencia del anclaje puede ser más crítica.

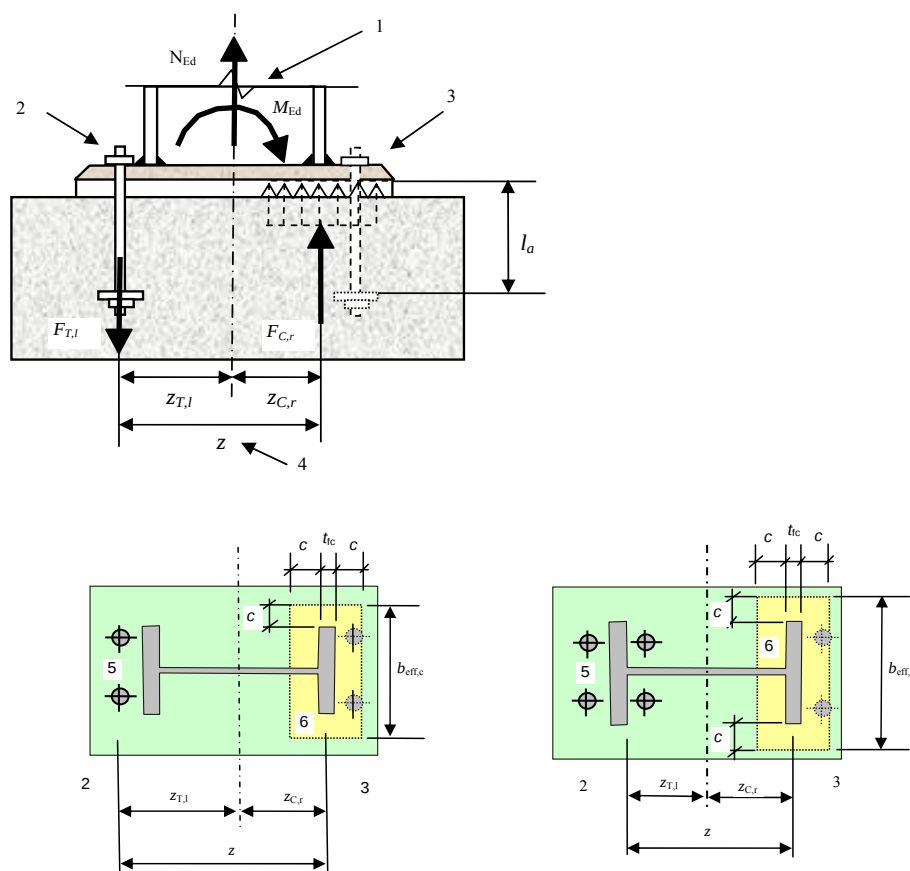
En el modelo mecánico simplificado, la resistencia a la tracción se presenta para el caso de que sólo haya una fila de tornillos de anclaje. Para permitir la aplicación directa de las reglas de cálculo dadas para el caso de filas de tornillos de anclaje a ambos lados del ala del pilar, se recomienda utilizar una fila única equivalente que tenga una resistencia total a la tracción de las dos filas actuando juntas en el centro de gravedad centroide. No se recomienda considerar que otras filas que no sean las que están en torno a las alas del pilar contribuyen a la resistencia de una base empotrada de pilar sometida a un momento combinado con una carga axial.

3.4 Limitaciones

Las reglas de cálculo suministradas se limitan a aplicaciones para los tipos de placas de base de pilares sin rigidizar indicados en la Figura 1.1, sometidas a carga axial en combinación con el momento que actúa únicamente sobre el eje principal del pilar. Las reglas corresponden al caso de dos tornillos de anclaje en una fila.

EN 1992-1-1 no contiene reglas de cálculo sobre la resistencia de adherencia del anclaje de las barras lisas. También se considera que las reglas suministradas para las curvas y ganchos de las barras nervadas no deben aplicarse a las barras lisas. No se dan reglas para el cálculo de tornillos de anclaje, como los que tienen placas de anclaje o cabezas especiales. Estas cuestiones pueden estar sujetas a disposiciones en los Anexos Nacionales.

En la presente ICNC, la longitud de anclaje básica de cálculo de los tornillos de anclaje lisos corresponde a la de una barra corrugada dividida por un factor de 2,25. Esto se corresponde con algunas reglas nacionales existentes para el hormigón armado y con los borradores iniciales del Eurocódigo 2. Es preciso observar que, de acuerdo con [EN 1993-1-8 §6.2.6.12\(5\)](#) el límite elástico del acero para barras de anclaje dobladas o curvadas no debe exceder 300 N/mm².



Leyenda:

- 1 Tanto el esfuerzo normal y el momento aplicado por el pilar a la unión de la placa base del pilar se muestran actuando en sentido positivo, como se define en EN 1993-1-8, es decir, los esfuerzos axiales de tracción son positivos y los momentos positivos actúan en el sentido de las agujas del reloj.
- 2 Lado izquierdo de la unión de la placa base cuando los tornillos de anclaje están a tracción: el esfuerzo de tracción es resistido por el casquillo equivalente en T formado por la placa base y la fila de tornillos de anclaje.
- 3 Lado derecho de la unión de la placa base cuando está en compresión: la unión de cimentación ofrece resistencia al apoyo en la parte inferior del casquillo equivalente en T de la placa base que está doblando el ala del pilar.
- 4 Brazo de palanca entre el esfuerzo de tracción en los tornillos de anclaje y la fuerza de compresión bajo la placa base.
- 5 Tornillos de anclaje.
- 6 Superficie del casquillo equivalente en T de compresión.

Figura 3.2 Compresión y tracción del tornillo de anclaje inducidas por la fuerza normal y el momento

4. Situación de cálculo 1: Dimensionar una placa base para la carga en la base de un perfil de pilar dado

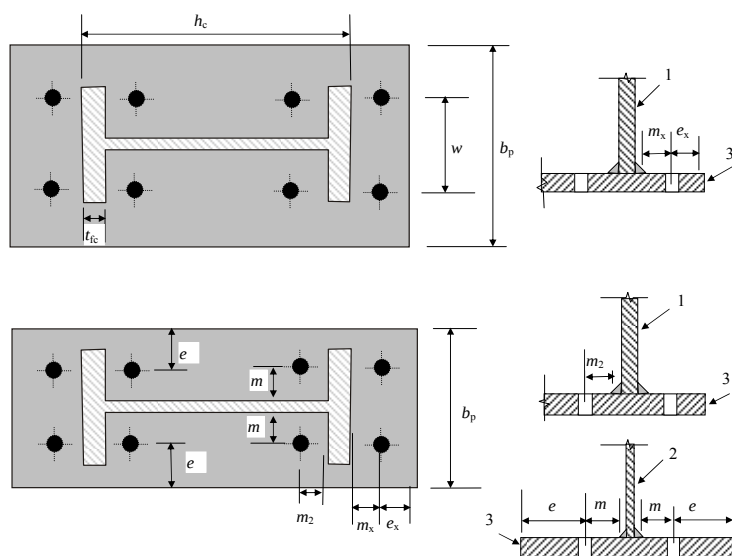
4.1 Elección del tipo de placa base

Se recomienda que las placas de base sean del tipo de "proyección larga" con anchura suficiente para permitir que haya una fila de tornillos de anclaje situada sobre la proyección a cada lado del pilar. Ello facilita el suministro de la adecuada resistencia a la compresión y,

aumentando el brazo de palanca entre las zonas de tracción y compresión, se reducen los requisitos de resistencia mecánica sobre los tornillos de anclaje en tracción.

A continuación se presenta el dimensionado de una unión de placa base simétrica. Se utiliza un tipo de base de “proyección larga”, como aparece en la Figura 4.1, con tornillos de anclaje con una única fila sobre la parte extendida de la placa base o en dos filas, a cada lado del ala.

Cada fila tiene dos tornillos de anclaje simétricamente colocados en torno al eje secundario del pilar.



Leyenda:

1. Ala del pilar
2. Alma del pilar
3. Placa base del pilar

Figura 4.1 Parámetros geométricos del casquillo equivalente en T de tracción

4.2 Elección de materiales

Es necesario elegir la clase del hormigón, el acero de la placa base y la clase de tornillos de anclaje. Para edificios típicos, en algunos países ha sido una práctica habitual recomendar tornillos de anclaje de clase 4.6 mientras que en otras partes se han vuelto habituales los tornillos de clase 8.8. La placa base no es necesariamente del mismo grado de acero que el del perfil del pilar.

4.3 Cálculo de las fuerzas de tracción y compresión máximas sobre la cimentación

Considerando las diversas combinaciones de carga axial y momento (N_{Ed} , M_{Ed}) en la base del pilar, las siguientes expresiones ofrecen cálculos de la fuerza de compresión máxima y de la fuerza de tracción máxima que actúan sobre la cimentación:

- compresión $\max(F_{C,Ed})$: valor máximo para $F_{C,Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{h_c - t_{fc}} - \frac{N_{Ed}}{2}$
- tracción $\max(F_{T,Ed})$: valor máximo $F_{T,Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{h_c - t_{fc}} + \frac{N_{Ed}}{2}$

Nota: aunque las expresiones anteriores dan los valores absolutos para las dos fuerzas, debe utilizarse en ellas el signo de la carga axial N_{Ed} (positivo si tracción, negativo si compresión). Para simplificar la notación se ha escrito N_{Ed} , M_{Ed} , N_{Rd} , y M_{Rd} por $N_{j,Ed}$, $M_{j,Ed}$, $N_{j,Rd}$ y $M_{j,Rd}$ respectivamente..

4.4 Dimensionar la placa base para la fuerza de compresión máxima de la unión calculada.

Para dimensionar la placa base, aplicar el procedimiento de la Sección 4 de [SN037](#), suponiendo que la carga de compresión axial sea

$$N_{j,Ed} = 2 \max(F_{C,Ed})$$

Se elige una placa base de proyección “larga” desde el principio del procedimiento. Se obtienen los valores para las dimensiones del plano de la placa base (b_p , h_p) y el espesor de la placa (t_p).

4.5 Dimensionar el espesor de la placa base y los tornillos de anclaje para la fuerza de tracción de la unión máxima estimada

4.5.1 Resistencia a la tracción axial de un tornillo de anclaje

Resistencia de adherencia del anclaje y resistencia de sección a la tracción de los tornillos de anclaje

Cuando se consideran los modos de agotamiento de un casquillo equivalente en T a tracción, la resistencia de cálculo a la tracción de un tornillo de anclaje en tracción debe ser considerada como el menor de los dos valores siguientes:

- ☐ Resistencia de adherencia del anclaje (suponiendo que existen buenas condiciones de adherencia):

- o Diámetro del tornillo $\phi \leq 32$ mm: $F_{t,bond,Rd} = \frac{1}{2,25} (\pi \phi l_b f_{bd})$,

- o Diámetro del tornillo 32 mm: $F_{t,bond,Rd} = \frac{(132 - \phi)/100}{2,25} (\pi \phi l_b f_{bd})$,

Donde l_b es la longitud de anclaje básica del tornillo de anclaje (a partir de la superficie inferior del mortero de cemento hacia el interior de la cimentación) y f_{bd} es la resistencia de adherencia de cálculo del hormigón ([§8.4.2\(2\) de EN 1992-1-1](#)).

- *Nota: EN 1992-1-1 ofrece resistencias de adherencia de cálculo sólo para barras corrugadas. En la presente ICNC se asume que el valor de cálculo de una barra lisa es el valor indicado en [§8.4 de EN 1992-1-1](#) (es decir, el valor de cálculo de una*

barra corrugada del mismo diámetro en condiciones y hormigón similares) dividido por 2,25. El Anexo Nacional correspondiente puede suministrar orientaciones.

- resistencia a la tracción de cálculo de la sección del tornillo de anclaje,

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb,traction}}$$

El Anexo A de esta ICNC indica la resistencia de anclaje de adherencia de los diámetros utilizados a menudo de los tornillos de anclaje de la clase 4.6 como una función de la longitud de anclaje básica para el hormigón típico de cimentación.

Es necesaria una profundidad de anclaje reducida en la cimentación si se utilizan tornillos de anclaje curvados o doblados. Sin embargo, EN 1993-1-1 no suministra la longitud equivalente de anclaje de adherencia para curvas y ganchos de las barras lisas, de manera que es necesario adoptar otras reglas como las provistas por las normas nacionales existentes o las recomendaciones internacionales reconocidas para obtenerlas.

La elección definitiva de los detalles de los tornillos de anclaje, en particular los relativos al anclaje, requiere por lo general conocer la profundidad de la cimentación.

La resistencia de cálculo de un único tornillo de anclaje $F_{t, anclaje, Rd}$ se considera como:

$$F_{t,anchor,Rd} = \min[F_{t,bond,Rd} ; F_{t,Rd}]$$

Tamaño del tornillo de anclaje

Asumir que una fila de tornillos de anclaje en la proyección de la placa base será adecuada. Para evitar la rotura del tornillo de anclaje (modo 3), la resistencia de los tornillos de anclaje de la clase elegida debe satisfacer la condición siguiente:

$$2F_{t,anclaje,Rd} \geq \max(F_{T,Ed})$$

Como primer cálculo, se supone que se puede alcanzar la plena resistencia a la tracción de la sección del tornillo de anclaje: $F_{t,anchor,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$. La sección del tornillo requerida se indica de la manera siguiente:

$$A_s \geq F_{T,Ed} \left(\frac{\gamma_{M2}}{1,8 f_{ub}} \right) \text{ de donde se puede obtener el diámetro del tornillo.}$$

Dos filas de tornillos de anclaje

Si una fila del tamaño de tornillos de anclaje disponible no es adecuada, decidir utilizar dos filas de tornillos de anclaje (es decir, cuatro tornillos de anclaje de sección A_s). El dimensionado del tamaño de los tornillos será:

$$A_s \geq F_{T,Ed} \left(\frac{\gamma_{M2}}{3,6 f_{ub}} \right)$$

El último supuesto acerca de la resistencia a la tracción de los tornillos de anclaje tiene que ser verificado cuando se obtengan los detalles definitivos de las longitudes de anclaje.



La experiencia en el diseño de cimentaciones estándar y las prácticas de construcción en una región particular orientarán al diseñador a la hora de elegir un tornillo de anclaje adecuado. Si no puede garantizarse el anclaje total de algún diámetro y clase de tornillos de anclaje, es necesario adoptar una resistencia inferior que la resistencia a la tracción de cálculo de la sección.

4.5.2 Resistencia de cálculo de casquillo equivalente en T a tracción con una fila de dos tornillos

Espesor de la placa base

El espesor de la placa base t_p obtenido para el cálculo de compresión de la placa base puede no ser adecuado.

Basándose en la resistencia de modo 1 (mecanismo totalmente plástico) se obtiene el siguiente cálculo del espesor de la placa (ver la Figura 4.1 para los parámetros):

$$\text{Una fila de tornillos de anclaje: } t_p \geq \sqrt{\frac{F_{T,Ed} \gamma_{M0}}{f_{yp} 2\pi}}$$

$$\text{Dos filas de tornillos de anclaje: } t_p \geq \sqrt{\frac{F_{T,Ed} \gamma_{M0}}{f_{yp} 4\pi}}$$

4.6 Comprobación de la unión de placa base empotrada

Deben realizarse las verificaciones de la resistencia de cálculo dadas en la Sección 5 siguiente, haciendo modificaciones si fuera necesario en la placa base y/o dimensiones del tornillo de anclaje.

5. Situación de cálculo 2: Determinar las resistencias de cálculo de una placa base dada

5.1 Tipo de unión

Se supone más abajo que la unión es simétrica con una fila o dos filas de tornillos de anclaje (dos por fila) a cada lado de la unión (ver Figura 5.1).

Nota: Para una unión simétrica las distancias $z_{T,l} = z_{T,r} = z_T$ y $z_{C,l} = z_{C,r} = z_C$.

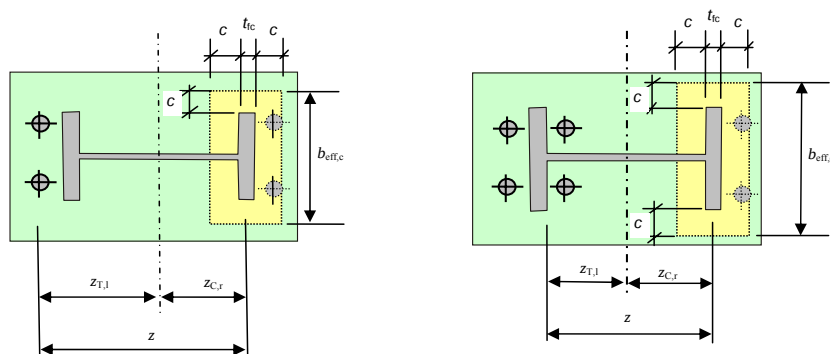


Figura 5.1 Compresión y tracción del tornillo de anclaje inducidas por la fuerza normal y el momento

5.2 Comprobar la resistencia de los tornillos de anclaje

La resistencia a la tracción de cálculo de un tornillo de anclaje, $F_{t,anclaje,Rd}$, se obtiene a partir de 4.5.1 arriba:

$$F_{t,anchorRd} = \min[F_{t,bondRd} ; F_{t,Rd}]$$

5.3 Determinar la resistencia a la compresión axial

Consultar la Sección 5 de [SN037](#) para obtener la resistencia a la compresión axial de la unión. Este valor es válido cuando el momento aplicado concomitante es cero.

Ofrece una primera indicación de las combinaciones posibles (N_{Ed} , M_{Ed}) que pueden aplicarse a la unión.

Debe observarse que si una parte de la compresión axial es transferida a través de un casquillo equivalente en T de alma de pilar, la resistencia obtenida excederá la suma de las resistencias para los dos casquillo equivalente en T del ala de pilar en compresión. En el modelo simplificado EN 1993-1-8, la resistencia axial en compresión se reduce al valor último cuando el momento aplicado es cero.

La resistencia de cada casquillo equivalente en T del ala en compresión está expresada aquí como $F_{C,Rd}$. La resistencia a la compresión axial viene entonces dada como:

$$N_{C,Rd} = -(2 F_{C,Rd}), \text{ el signo negativo indica que la carga es de compresión.}$$

5.4 Determinar la resistencia de la carga axial a la tracción

Se obtiene la resistencia a la tracción de las filas de tornillos de anclaje a ambos lados de la unión.

Longitudes efectivas del casquillo equivalente en T

Los modos posibles de rotura de un casquillo equivalente en T están indicados esquemáticamente en la Figura 5.2. La longitud efectiva del casquillo equivalente en T es como sigue (ver Figura 4.1 para la definición de los parámetros geométricos):

❑ Fila de tornillos de anclaje exterior:

o Mecanismo circular: $l_{\text{eff,cp}} = \min[(2\pi m); (\pi m_x + w), (\pi m_x + 2e)]$

o Mecanismo no circular:

$$l_{\text{eff,nc}} = \min[0,5b_p; (4m + 1,25e_x); (e + 2m_x + 0,625e_x); (0,5w + 2m_x + 0,625e_x)]$$

Longitud de casquillo equivalente en T efectiva Modo 1: $l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff,cp}} : l_{\text{eff,nc}})$

Longitud de casquillo equivalente en T efectiva Modo 2: $l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}}$

❑ Fila de tornillos de anclaje interior:

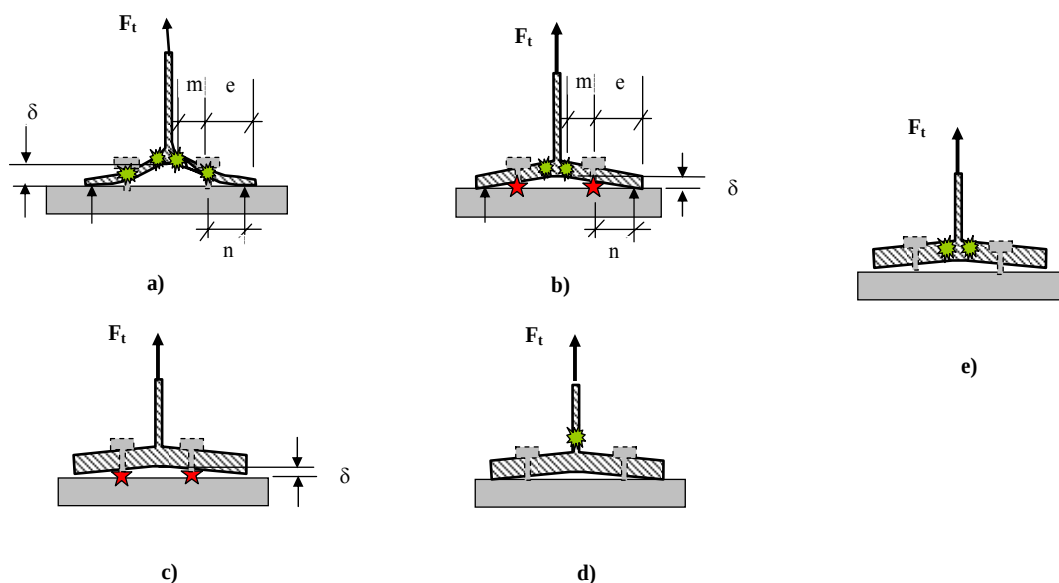
o Mecanismo circular: $l_{\text{eff,cp}} = 2\pi m$

o Mecanismo no circular: $l_{\text{eff,nc}} = (4m + 1,25e)$

Longitud de casquillo equivalente en T efectiva Modo 1: $l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff,cp}} : l_{\text{eff,nc}})$

Longitud de casquillo equivalente en T efectiva Modo 2: $l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}}$

Para el modo especial indicado en la Figura 5.2 e), la longitud del casquillo equivalente en T es la indicada arriba para el modo 1.



Leyenda:

- a) Mecanismo totalmente plástico (Modo de agotamiento 1),
- b) Mecanismo parcialmente plástico con agotamiento de tornillo de anclaje (Modo de agotamiento 2),
- c) Agotamiento de tornillo de anclaje (Modo de agotamiento 3),
- d) Fluencia del alma a tracción (Modo de agotamiento 4),
- e) Agotamiento por fluencia a la flexión del ala en conjunción con la separación de la placa base de la cimentación debido al alargamiento del tornillo de anclaje (la fuerza de palanca se vuelve nula). Sustituye a los Modos de agotamiento 1 y 2

Figura 5.2 Modos de agotamiento posibles para un casquillo equivalente en T a tracción

El modo de agotamiento especial que sustituye al modo 1 y modo 2 es posible sólo cuando se cumple la siguiente condición en la longitud del tornillo de anclaje:

$$L_b > L_b^* = \frac{8,8 A_s}{l_{\text{eff},1}} \left[\frac{m}{t_p} \right]^3$$

Donde la distancia m es tal como se indica en la Figura 5.2 y la longitud efectiva del casquillo equivalente en T l_{eff} está determinada arriba.

Resistencia del casquillo equivalente en T a la tracción

Determinar la resistencia del casquillo equivalente en T a la tracción para la fila de tornillos. La resistencia de cálculo de una fila de tornillos será el valor mínimo para los modos de agotamiento indicados en la Figura 5.2. Al considerar los modos de agotamiento de un casquillo equivalente en T a tracción la resistencia a la tracción de cálculo de un tornillo de anclaje a tracción será considerada como $F_{t, \text{anclaje}, R_d}$.

La resistencia a la flexión de rótula plástica viene dada por: $M_{pl,Rd} = l_{\text{eff}} m_{pl,Rd} = l_{\text{eff}} \frac{t_p^2 f_y}{4 \gamma_{M0}}$.

Este valor puede diferir entre modo 1 (con $l_{\text{eff},1}$) y modo 2 (con $l_{\text{eff},2}$).

El valor de la resistencia de un casquillo equivalente en T a tracción $F_{t,Rd}$ se toma como la mínima de las resistencias siguientes, según corresponda:

- Modo 1: Mecanismo plástico: $F_{t,1,Rd} = \frac{4M_{pl,Rd,1}}{m}$
- Modo 2 : Modo de agotamiento mixto: $F_{t,2,Rd} = \frac{2M_{pl,Rd,2} + 2nF_{t,anchor,Rd}}{m + n}$,
 $n = \min(e; 1,25m)$
- Modo 1-2: Si se cumple la condición que exige adoptar el modo especial, las resistencias para los modos 1 y 2 son sustituidas por

$$o : F_{t,1/2,Rd} = \frac{2M_{pl,Rd,1}}{m}.$$

- Modo 3 : Agotamiento del tornillo de anclaje $F_{t,3,Rd} = 2F_{t,anchor,Rd}$
- Modo 4: Alma de pilar a tracción para filas internas de tornillos de anclaje

$$F_{t,wc,Rd} = b_{eff,t,wc} t_{wc} \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

Se calcula la resistencia de todas las filas de tornillos de anclaje presentes. La resistencia de cálculo para el lado a tracción se considera como:

$$F_{T,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

El signo de adición permite considerar tener o una fila de tornillos a cada lado de la unión o dos filas a cada lado de la unión.

Resistencia a la tracción axial de la unión

La resistencia a la tracción axial de la unión simétrica se da como sigue:

$$N_{T,Rd} = 2 F_{T,Rd}$$

Que es válida solamente cuando el momento concomitante es nulo.

5.5 Resistencia a momento

Si la carga axial es cero la resistencia a momento de la unión simétrica viene dada como el menor de los dos valores siguientes:

$$M_{0,Rd} = \min (z F_{T,Rd} : z F_{C,Rd}), \text{ donde el brazo de palanca } z = z_T + z_C$$

5.6 Caso de una combinación de carga determinada

Cuando la comprobación se limita a verificar que la unión puede resistir una combinación (M_{Ed} , N_{Ed}) determinada, las comprobaciones pueden limitarse a los siguientes pasos:

- a) La distribución de tensiones en la sección del pilar ofrecerá una indicación directa sobre la distribución de carga que impera en la unión de placa base. Esta información puede utilizarse para identificar el caso de distribución de carga a examinar en la [tabla 6.7 de EN 1993-1-8](#).

- b) La excentricidad efectiva de la carga axial está determinada como $e_N = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$ para la combinación aplicada es (M_{Ed}, N_{Ed}) . Debe observarse que el valor de excentricidad puede ser positivo o negativo según los signos de las fuerzas y los momentos.
- c) Las resistencias de los casquillo equivalente en T de la fila de tornillos a tracción, $F_{T,Rd}$, se obtienen en el punto 5.3 anterior. Dado que la unión es simétrica, las resistencias de cálculo en ambos lados a tracción serán iguales. (Este cálculo no es necesario si todo el perfil está en compresión).
- d) La resistencia del casquillo equivalente en T del ala del pilar en compresión, $F_{C,Rd}$ puede obtenerse del punto 5.2 anterior, tomándose el valor como el de un casquillo equivalente en T de ala de pilar solamente. Dado que la unión es simétrica, las resistencias de cálculo en ambos lados en compresión serán iguales. (Este cálculo no es necesario si todo el perfil está a tracción).
- e) Los parámetros geométricos, en particular los diversos brazos de palanca, se obtienen como se indica en la Figura 5.1. Debido a la simetría de uniones $Z_{T,l} = Z_{T,r} = Z_T$ y $Z_{C,l} = Z_{C,r} = Z_C$.
- f) Identificar el caso a examinar a partir de la distribución de esfuerzos en el pilar. La resistencia a momento $M_{j,Rd}$, aplicada simultáneamente con la carga axial, N_{Ed} , se obtiene por la aplicación directa de las fórmulas correspondientes dadas en la Tabla 5.1 (ver [tabla 6.7 de EN 1993-1-8](#)).
- g) Comprobar que el momento, M_{Ed} y M_{Rd} , son del mismo signo y que $|M_{Ed}| \leq |M_{Rd}|$. En ese caso, la unión es adecuada para resistir la combinación de carga dada.

Las fórmulas dadas en la Tabla 5.1 son para uniones simétricas y han sido adaptadas de las indicadas en la [tabla 6.7 de EN 1993-1-8](#).

Tabla 5.1 Comprobar la resistencia de momento de cálculo M_{Rd} de bases de pilares empotradas

Cargas	Brazo de palanca z	Resistencia a momento M_{Rd}	
Lado izquierdo a tracción	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} > 0$ y $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $e \leq -z_{C,r}$
Lado derecho en compresión	$z = z_T + z_C$	El menor de $\frac{F_{T,Rd}z}{z_C/e + 1}$ y $\frac{-F_{C,Rd}z}{z_T/e + 1}$	
Lado izquierdo a tracción	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} > 0$ y $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ y $-z_{T,r} < e \leq 0$
Lado derecho a tracción	$z = z_T + z_C$	El menor de $\frac{F_{T,Rd}z}{z_T/e + 1}$ y $\frac{F_{T,Rd}z}{z_T/e - 1}$	
Lado izquierdo en compresión	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ y $e \leq -z_{T,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $e > z_{C,l}$
Lado derecho a tracción	$z = z_C + z_T$	El menor de $\frac{-F_{C,Rd}z}{z_T/e + 1}$ y $\frac{F_{T,Rd}z}{z_C/e - 1}$	
Lado izquierdo en compresión	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ y $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ y $-z_{T,r} < e \leq 0$
Lado derecho en compresión	$z = z_C + z_T$	El menor de $\frac{-F_{C,Rd}z}{z_C/e + 1}$ y $\frac{-F_{C,Rd}z}{z_C/e - 1}$	
$M_{Ed} > 0$ es en el sentido de las agujas del reloj, $N_{Ed} > 0$ es tracción, $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$			
Las fórmulas anteriores son las correspondientes a una unión simétrica de manera que: $z_{T,l} = z_{T,r} = z_T$ y $z_{C,l} = z_{C,r} = z_C$			
Si se encuentra que $ M_{Ed} \leq M_{Rd} $, la unión es adecuada.			

5.7 Diagrama de interacción para una unión de base de pilar

Cuando la resistencia de cálculo de la unión se alcanza bajo una combinación (M_{Ed} , N_{Ed}) se sostiene lo siguiente:

$$M_{Ed} = M_{Rd}$$

$$N_{Ed} = N_{Rd}$$

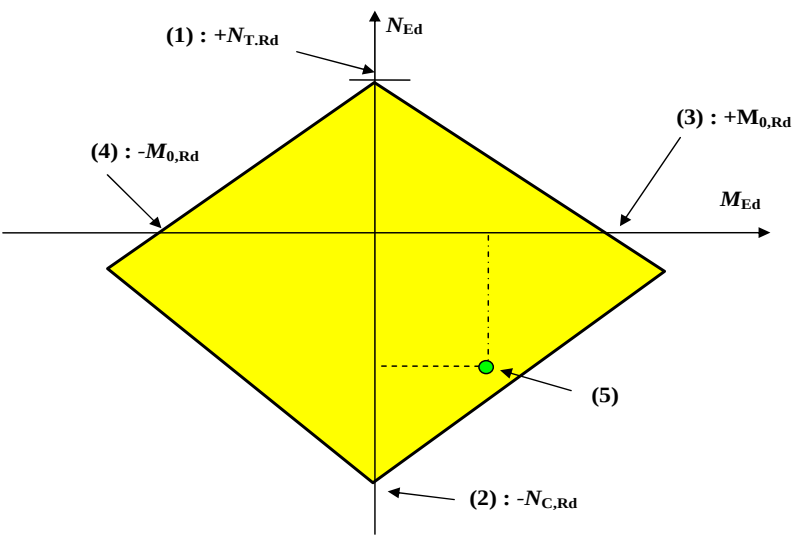
$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$$

Todos estos parámetros pueden tener tanto valores positivos como negativos. Variando el valor de la excentricidad equivalente dentro de la gama indicada para cada situación de carga (ver Figura 3.1, Tabla 5.1 y Tabla 5.2), encontramos que la condición restrictiva de cálculo es un contorno trazado con, por ejemplo, carga axial N_{Rd} en el eje vertical y momento M_{Rd} en el eje horizontal (ver Figura 5.3).



Encontramos que el contorno para el tipo de unión de placa base tratado aquí se compone de segmentos lineales que pueden ser trazados utilizando expresiones entre M_{Rd} y N_{Rd} dadas en la Tabla 5.2. El diagrama mostrado en la Figura 5.3 es para el caso particular de una unión simétrica con dos filas de tornillos a cada lado en el que se supone que las distancias desde el eje principal del pilar a los centros de gravedad centroides de la zona del casquillo equivalente en T a compresión bajo un ala y de la zona de tracción del tornillo de anclaje, z_C y z_T respectivamente, son iguales. Cuando estas distancias no son iguales, la superficie encerrada difiere ligeramente de la forma bicónica.

Se obtiene el siguiente tipo de diagrama de interacción. Permite la comprobación rápida de cualquier combinación de carga aplicada a la unión de placa base. Todas las combinaciones de carga admisibles entran dentro de la superficie definida por los contornos correspondientes a la condición de cálculo restrictiva pertinente.



- Leyenda:
- 1)

Resistencia a la tracción axial

2)

Resistencia a momento negativo

3)

Resistencia a momento positivo

4)

Resistencia a momento negativo

5)

Combinación M y N admisible

Figura 5.3 *Unión de placa base de pilar empotrada: diagrama de interacción M-N típico*

Tabla 5.2 Interacción de resistencias de cálculo N_{Rd} y M_{Rd} para bases de pilar empotradas

Cargas	Brazo de palanca z	Resistencia a momento de cálculo M_{Rd} correspondiente a N_{Rd}	
Lado izquierdo a tracción	$z = z_T + z_C$	$0 \leq N_{Rd}$ y $e > z_T$	$N_{Rd} \leq 0$ y $e \leq -z_{C,r}$
Lado derecho en compresión		Lado compresión crítico : $M_{Rd} = -N_{C,Rd} \frac{z}{2} + N_{Rd} z_T$	Lado compresión crítico : $M_{Rd} = -N_{C,Rd} \frac{z}{2} + N_{Rd} z_T$
Momento positivo dominante con una carga a tracción o de compresión (ver Figura 5.1)		Lado tracción crítico : $M_{Rd} = N_{T,Rd} \frac{z}{2} - N_{Rd} z_C$	Lado tracción crítico : $M_{Rd} = N_{T,Rd} \frac{z}{2} + N_{Rd} z_C$
Ambos lados a tracción		$N_{Ed} > 0$ y $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ y $-z_{T,r} < e \leq 0$
Carga de tracción axial dominante con un momento positivo o negativo	$z = 2 z_T$	$M_{Rd} = (N_{T,Rd} - N_{Rd}) \frac{z}{2}$	$M_{Rd} = -(N_{T,Rd} - N_{Rd}) \frac{z}{2}$
Lado izquierdo en compresión	$z = z_C + z_T$	$0 \leq N_{Rd}$ y $e > z_T$	$N_{Rd} \leq 0$ y $e \leq -z_{C,r}$
Lado derecho a tracción		Lado compresión crítico : $M_{Rd} = N_{C,Rd} \frac{z}{2} - N_{Rd} z_T$	Lado compresión crítico : $M_{Rd} = N_{C,Rd} \frac{z}{2} - N_{Rd} z_T$
Momento negativo dominante con una carga axial de tracción o compresión		Lado tracción crítico : $M_{Rd} = -N_{T,Rd} \frac{z}{2} + N_{Rd} z_C$	Lado tracción crítico : $M_{Rd} = -N_{T,Rd} \frac{z}{2} + N_{Rd} z_C$
Ambos lados en compresión.		$N_{Rd} \leq 0$ y $0 < e < z_C$	$N_{Rd} \leq 0$ y $-z_C < e \leq 0$
Compresión axial (negativa) dominante , con un momento positivo o negativo	$z = 2 z_C$	$M_{Rd} = (N_{C,Rd} - N_{Rd}) \frac{z}{2}$	$M_{Rd} = -(N_{C,Rd} - N_{Rd}) \frac{z}{2}$
$M_{Ed} > 0$ es en el sentido de las agujas del reloj, $N_{Ed} > 0$ es tracción, $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$ Los valores de $N_{C,Rd}$ y $N_{T,Rd}$ se obtienen de 5.3 y 5.4 respectivamente. Las fórmulas son para una unión simétrica de manera que: $z_{T,l} = z_{T,r} = z_T$ y $z_{C,l} = z_{C,r} = z_C$			

Anexo A: Resistencias de cálculo de pernos de anclaje

El Eurocódigo del hormigón armado EN 1992-1-1 proporciona las reglas de cálculo para la resistencia de adherencia de anclaje para barras de refuerzo corrugadas. No se hace mención a los tornillos de anclaje o a las barras redondas 'lisas', que es de lo que están hechos la mayoría de los pernos de anclaje que se usan hoy.

En la presente ICNC se asume que el valor de cálculo de una barra lisa es el valor indicado en [§8.4 de EN 1992-1-1](#) (es decir, el valor de cálculo de una barra corrugada del mismo diámetro en condiciones y hormigón similares) dividido por 2,25. El Anexo Nacional correspondiente puede ofrecer orientaciones sobre el cálculo de la adherencia de anclaje de las barras lisas.

Los gráficos siguientes representan la longitud de adherencia de anclaje básica para los tornillos de anclaje de clase 4.6 y clase 5.6 de diversos diámetros como función de la resistencia a la tracción de cálculo para las clases de hormigón de cimentación típicas.

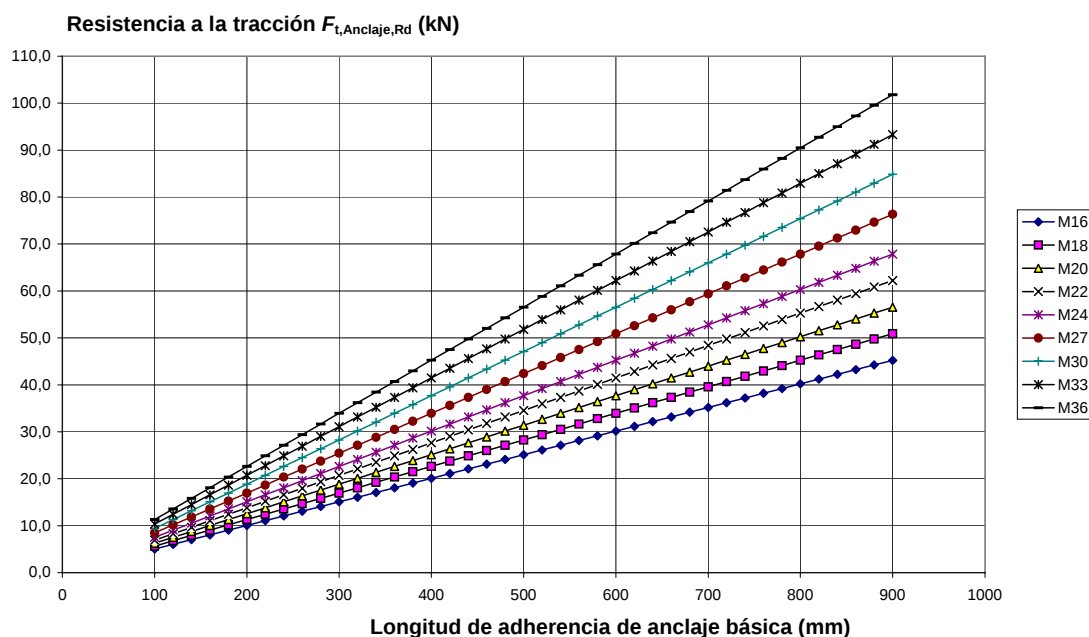


Figura A.1 Resistencia de adherencia de anclaje y resistencia a la tracción de los pernos de anclaje – Acero 4.6 y hormigón C20/25

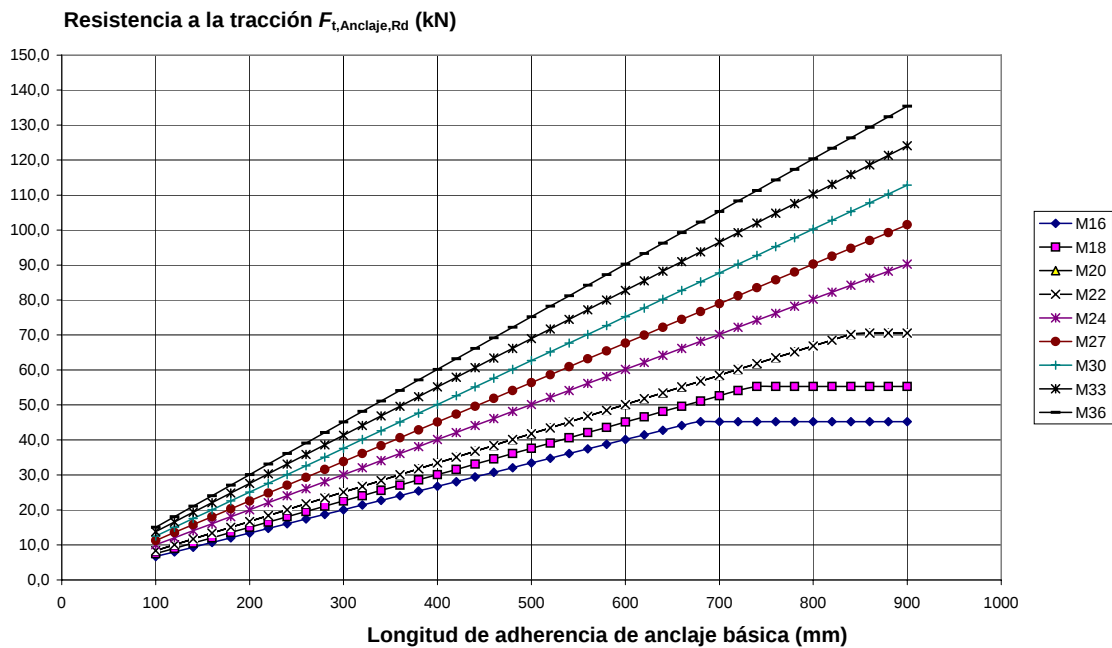


Figura A.2 Resistencia de adherencia de anclaje y resistencia a la tracción de los pernos de anclaje – Acero 4.6 y hormigón C30/37

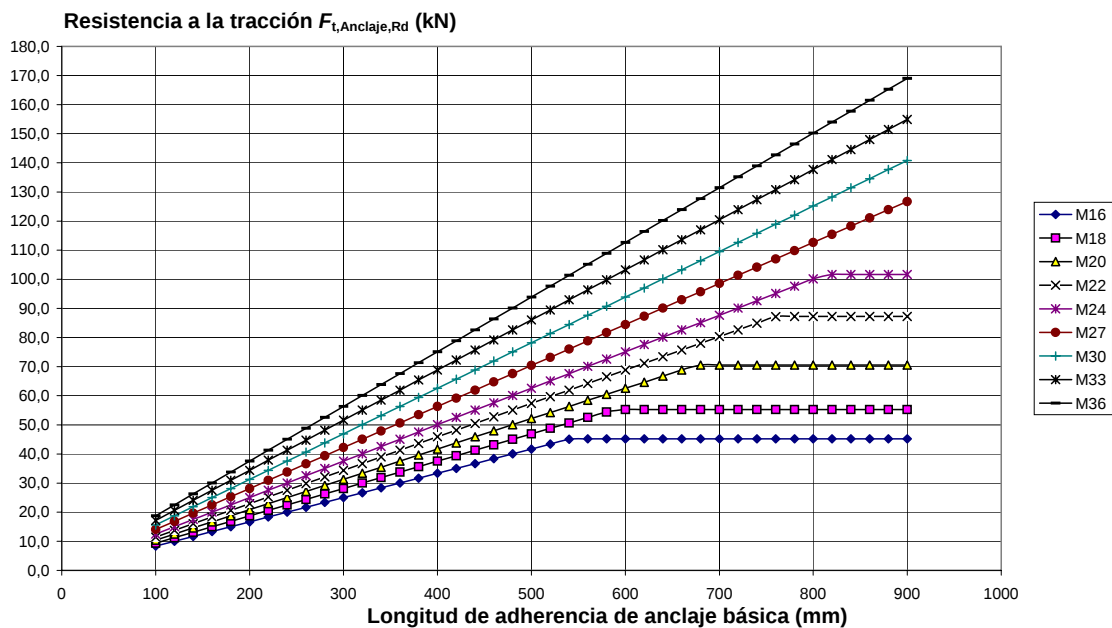


Figura A.3 Resistencia de adherencia de anclaje y resistencia a la tracción de los pernos de anclaje – Acero 4.6 y hormigón C40/50

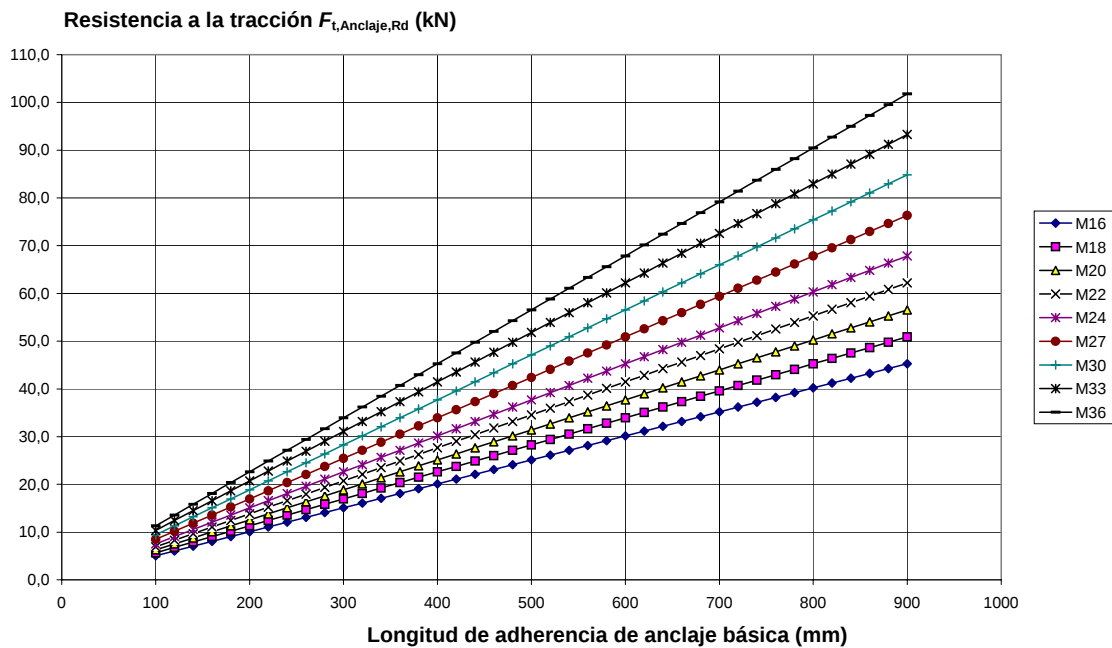


Figura A.4 Resistencia de adherencia de anclaje y resistencia a la tracción de los pernos de anclaje – Acero 5.6 y hormigón C20/25

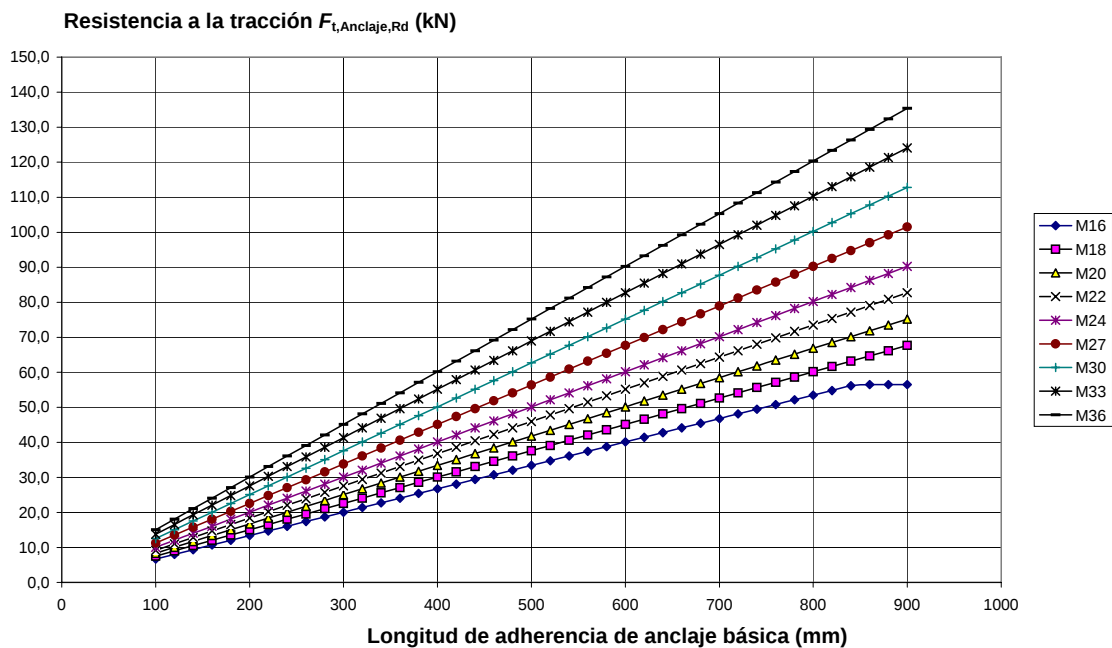


Figura A.5 Resistencia de adherencia de anclaje y resistencia a la tracción de los pernos de anclaje – Acero 5.6 y hormigón C40/50

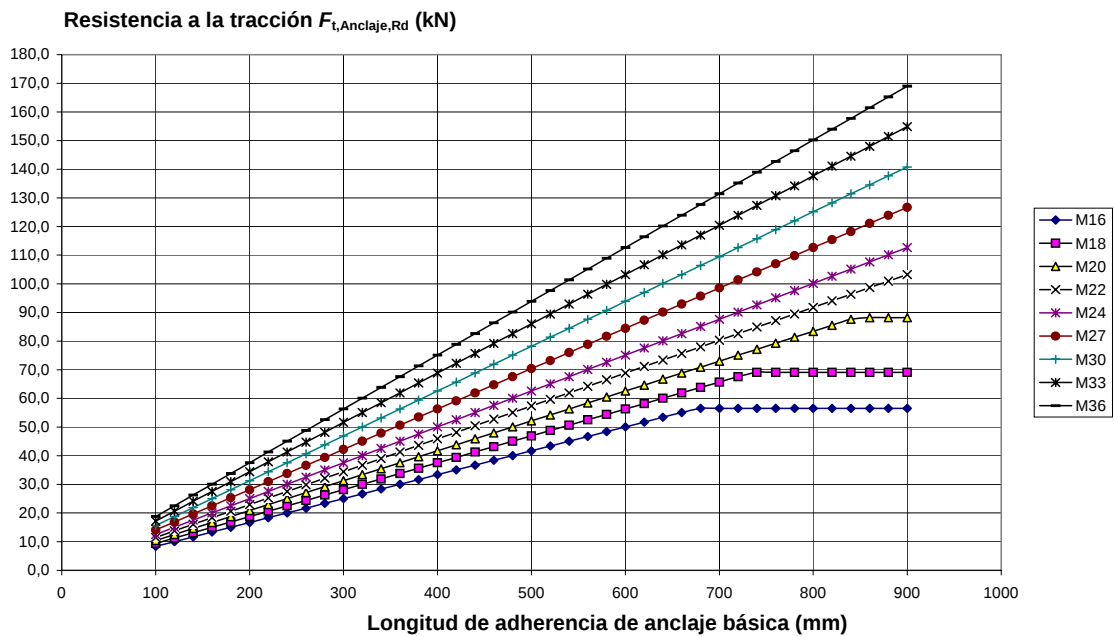


Figura A.6 Resistencia de adherencia de anclaje y resistencia a la tracción de los pernos de anclaje – Acero 5.6 y hormigón C40/50



Registro de Calidad

TÍTULO DEL RECURSO	ICNC: Diseño de uniones de base empotradas de pilares		
Referencias(s)			
DOCUMENTO ORIGINAL			
	Nombre	Compañía	Fecha
Creado por	Ivor Ryan	CTICM	6/02/06
Contenido técnico revisado por	Alain Bureau	CTICM	6/02/06
Contenido editorial revisado por			
Contenido técnico respaldado por los siguientes socios de STEEL:			
1. Reino Unido	G W Owens	SCI	07/04/06
2. Francia	A Bureau	CTICM	07/04/06
3. Suecia	B Uppfeldt	SBI	07/04/06
4. Alemania	C Müller	RWTH	07/04/06
5. España	J Chica	Labein	07/04/06
Recurso aprobado por el Coordinador técnico	G W Owens	SCI	18/08/06
DOCUMENTO TRADUCIDO			
Traducción realizada y revisada por:		eTeams International Ltd.	19/06/06
Recurso de traducción aprobado por:	J Chica	Labein	18/07/06