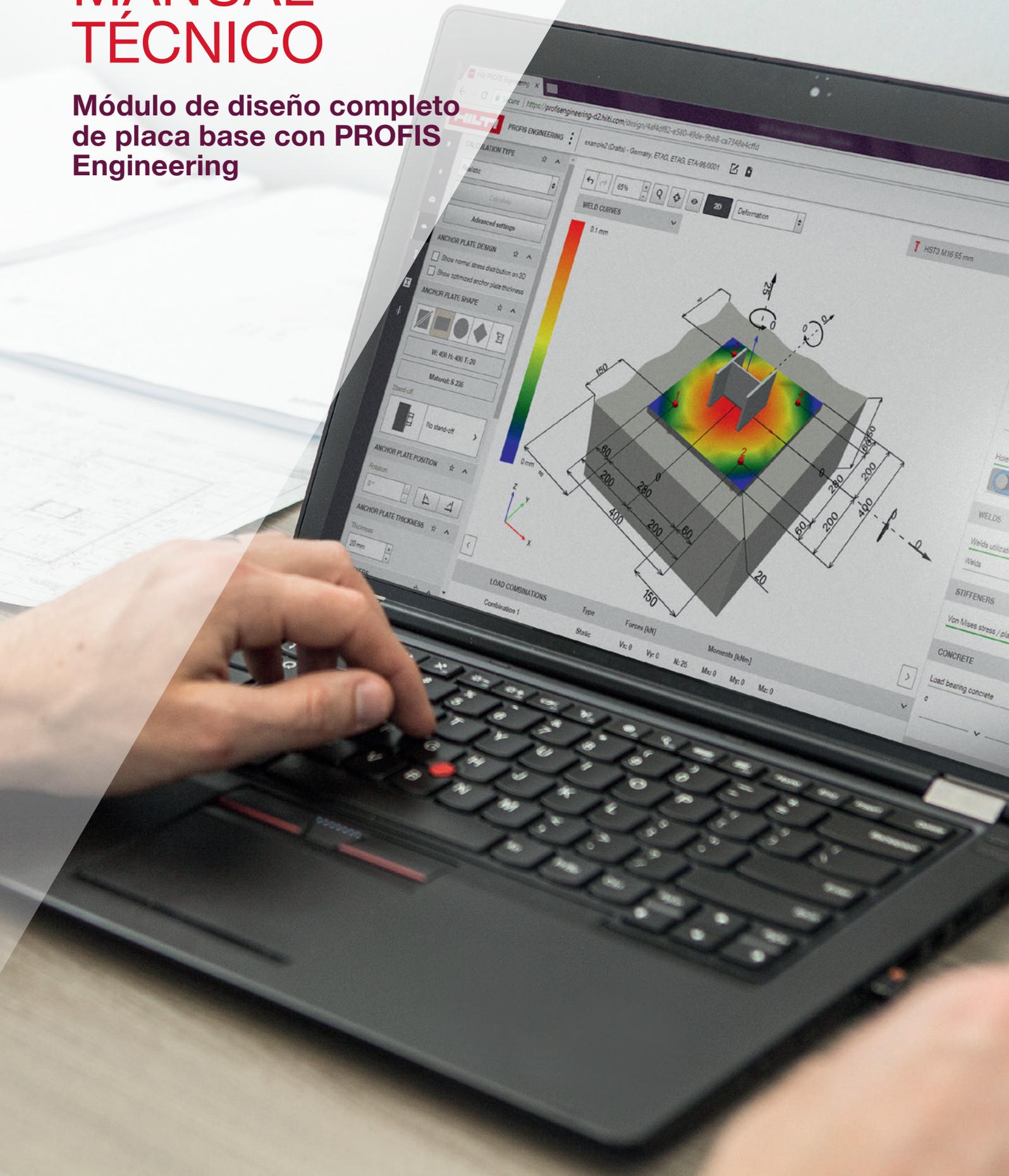




MANUAL TÉCNICO

Módulo de diseño completo
de placa base con PROFIS
Engineering



Índice

1. Resumen.....	3
2. Problema	3
3. Avances en ingeniería hacia la placa base rígida.....	4
3.1 Tennessee Valley Authority.....	4
3.2 Eurocódigo - FprEN 1992-4.....	4
3.3 Mallée/Riemann.....	5
3.4 Fichtner.....	5
3.5 Resumen.....	5
4. Principales efectos de las placas no rígidas que influyen.....	6
4.1 Reducción del brazo de palanca interno – incremento de las fuerzas en anclajes.....	6
4.2 Efectos de palanca – incremento de las reacciones en los anclajes	6
4.3 Distribución diferente de cargas en grupos de anclajes	7
4.4 Distribución diferente de las tensiones del hormigón	7
4.5 Consideraciones SLS	8
4.6 Conformidad con el modelo de Resistencia de anclaje.....	8
5. Solución propuesta para asesorar si la placa base puede considerarse por juicio ingenieril “casi rígida”	8
5.1 Definición.....	8
5.2 Parámetros propuestos para definir el comportamiento “cercano a rígido” por juicio ingenieril.....	9
5.2.1 reacciones en los anclajes	9
5.2.2 Compresión del hormigón.....	11
5.2.3 Deformación.....	12
5.2.4 Recomendación Hilti para juicio ingenieril.....	12
5.3 Enfoque propuesto.....	13
6. Conclusión	14
Referencias.....	15

1. Resumen

Cuando se diseñan conexiones de acero a hormigón se necesita tener en consideración dos regulaciones diferentes: acero estructural y regulaciones de diseño de anclajes. Desafortunadamente ambos tienen un alcance diferente.

Las normativas actuales (EN 1992-4 [2], ACI 318-11 [3], ACI 318-14 [4]) están limitadas a consideración de placas base rígidas. Las directrices de diseño de acero estructural EN 1993-1-1 [6] y EN 1993-1-8 [7] no tienen en cuenta esta limitación y permiten un diseño siguiendo modelos elásticos y plásticos.

En futuros métodos de diseño (e.g. CEN/TR 17081 [8]) se ampliarán para consideraciones de placas base no rígidas para casos donde el anclaje fallará por modo de fallo dúctil.

Un ingeniero estructural necesita realizar un diseño de acuerdo con ambas directrices. Este artículo presentará una propuesta de cómo hacer un juicio ingenieril para el cálculo de la conexión completa.

2. Problema

Toda estructura necesita estar conectada al terreno mediante una cimentación. Estas cimentaciones son en la mayoría de casos de hormigón. Para transferir las cargas que están actuando sobre la estructura, es necesaria una conexión de los componentes de acero estructural (vigas, columnas, ...) a la cimentación de hormigón. Una de las soluciones más comunes es la fijación del componente de acero estructural soldado a una placa base con anclajes a la cimentación. Todos los elementos relevantes de esta conexión necesitan ser diseñados de acuerdo a las cargas que actúan.

La placa base y los anclajes necesitan ser diseñados según las directrices del diseño de acero, diseño de anclajes y diseño de hormigón. Las suposiciones de diseño para la conexión total no pueden contradecirse entre ellas.

Algunos ingenieros diseñan la placa base con un software de FEM no lineal, utilizando el diseño plástico de acuerdo con el Eurocódigo 3. La mayoría de ellas no saben que las directrices de diseño de anclajes están basadas en una suposición de placa base rígida.

Las diferencias más importantes entre placas base rígidas y no rígidas (por ejemplo, cargas con flexión uniaxial):

	Placa base rígida	Placa base no rígida
Deformación	No hay deformación de la placa, sólo movimiento lateral y/o rotacional de la placa completa	La deformación de la placa dependiente de las cargas y condiciones de contorno
Compresión	Distribución de las fuerzas de compresión lineal desde el borde de compresión de la placa base	Distribución de las fuerzas de compresión dependientes del grosor de la placa, rigidez del material base y de la geometría
Brazo de palanca	Brazo de palanca claramente definido (1/3 del triángulo de compresión al anclaje tensionado)	Distribución de las fuerzas de compresión dependientes del grosor de la placa. Más cerca del ala del perfil comprimida
Fuerzas de palanca	No puede ocurrir	Dependiente de la geometría, carga, rigidez del material base y grosor de la placa base. Las fuerzas de palanca pueden incrementar la tensión en el anclaje.
Cálculo	El cálculo a mano se puede hacer utilizando las hipótesis de Bernoulli	Modelo no lineal de FEM donde el hormigón es modelado como un resorte de compresión y el anclaje se modela como un resorte de tracción

Tabla 1: Diferencias más importantes entre placas base rígidas y no rígidas

3. Avances en ingeniería hacia la placa base rígida

No hay una definición explícita de cuándo una placa base se puede considerar rígida. Diferentes fuentes de normativas europeas, normativa de Estados Unidos y estudios publicados dan ciertas indicaciones de bajo qué condiciones se puede considerar que una placa es suficientemente rígida.

3.1 Tennessee Valley Authority

Los estándares de diseño civil de TVA DS-C1.7.1 [9] definen que si la distancia entre la superficie del perfil y el borde de la placa base es como máximo 4 veces el grosor de la placa base, ésta puede considerarse suficientemente rígida.

3.2 Eurocódigo - FprEN 1992-4

La sección 6.2.1 (2) ayuda a definir cuándo una placa base puede considerarse suficientemente rígida - "... si $\sigma_{Ed} \leq \sigma_{Rd}$ y la deformación de la conexión es despreciable en comparación con el desplazamiento axial de los anclajes ...". En este caso, el ingeniero necesita definir qué puede considerarse despreciable.

3.3 Mallée/Riemann

Para alcanzar una placa base suficientemente rígida [10] se propone limitar las tensiones del acero en la placa base. En el diseño estructural del acero, el comportamiento plástico está aceptado. Para placas base rígidas Mallée/Riemann propuso nivelar las tensiones en un área $2 \cdot t + s$ desde el eje del perfil. En este área la tensión media necesita ser inferior a la resistencia plástica. El modelo asume que estas zonas plásticas minoritarias en los picos de tensión no tendrán un impacto negativo en las placas base rígidas. Varias publicaciones muestran que el enfoque es válido para varias aplicaciones pero no para todas (Por ejemplo Schneider, por favor encuentra más detalles en [11], sección 2.2 y 2.3).

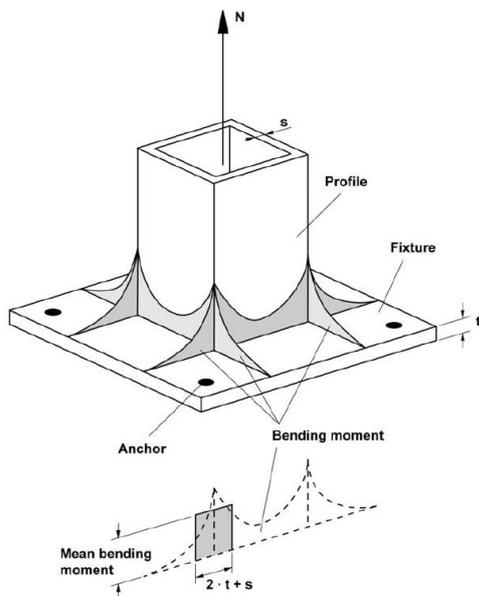


Figura 1: Límite de tensión propuesto por Mallée/Riemann [10]

3.4 Fichtner

Fichtner propuso añadir un criterio más rígido, el cual también se basa en una suposición de placa base rígida (sección 4.8 en [11]) y deformación por encima del límite de tensión propuesto por Mallée/Riemann [10].

Para cargas de flexión, las fórmulas propuestas simplifican la deformación como viga en voladizo con una carga puntual. El hecho de que el perfil sea más pequeño que el ancho de la placa base y algunos otros efectos de posible placa base no rígida son recogidos.

Para cargas de tensión se compara la deformación total del anclaje y placa en el anclaje más cercano y en el más lejano. Mientras el ratio sea menor a 1.5 (lo que es equivalente al <10% de diferencias en fuerzas de anclaje).

El hecho de que las deformaciones sean calculadas de una forma extremadamente simple hace que no pueda considerarse como criterio general que pueda ser utilizado para diferentes casos

3.5 Resumen

No hay una definición general clara disponible que pueda ser utilizada para todos los casos. El ingeniero necesita estudiar caso por caso si la placa base puede ser considerada suficientemente rígida.

4. Principales efectos de las placas no rígidas que influyen

4.1 Reducción del brazo de palanca interno – incremento de las fuerzas en anclajes

En el caso de que la placa base no se pueda considerar rígida, el brazo de palanca interno entre la tensión resultante y la compresión resultante decrece.

Un caso límite a considerar es una placa muy fina donde el centro de la compresión estará debajo del ala del perfil sometida a compresión – ver Figura 2: Reducción del brazo de palanca interno para placas base no rígidas.. Una reducción en el brazo de palanca interno conllevará a un incremento en las fuerzas de anclaje.

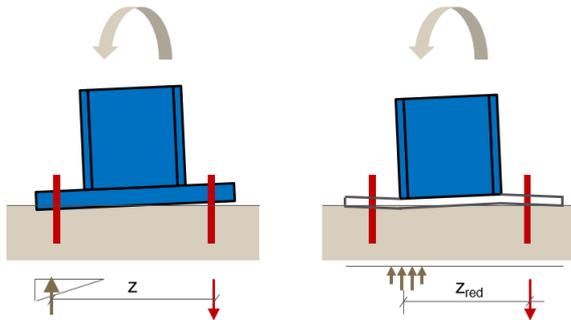


Figura 2: Reducción del brazo de palanca interno para placas base no rígidas.

4.2 Efectos de palanca – incremento de las reacciones en los anclajes

Para placas base no rígidas con cierta geometría, se pueden observar efectos de palanca. Estas fuerzas incrementarán las cargas/reacciones en los anclajes (momentos de tensión o flexión).

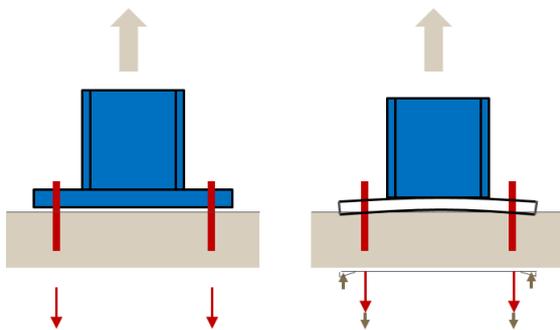


Figura 3: Incremento de las fuerzas en anclajes debido a los efectos de palanca

4.3 Distribución diferente de cargas en grupos de anclajes

En caso de distancias no homogéneas de los anclajes al perfil y placas base no rígidas, la distribución de carga entre los anclajes será diferente. Para una distribución de anclajes de 3x3, el anclaje central tendrá mucha más carga que los anclajes externos.

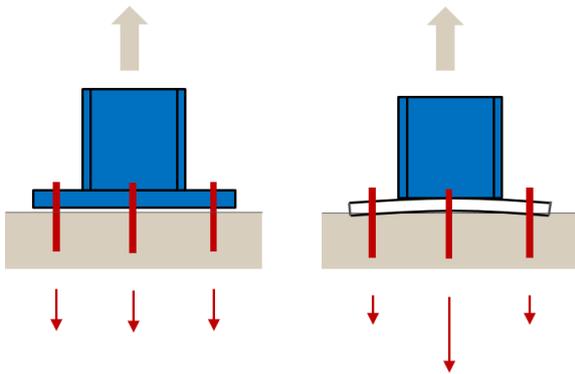
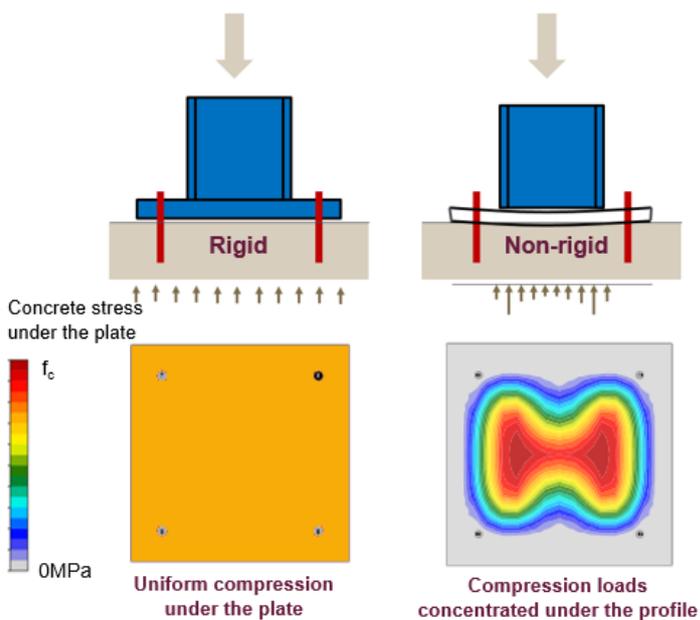


Figura 4: Incremento de las cargas en los anclajes debido a distribuciones de carga diferentes para placas base no rígidas

4.4 Distribución diferente de las tensiones del hormigón

En caso de placa base no rígida, la compresión en el hormigón estará concentrada debajo del perfil. Esto conllevará mayores compresiones del hormigón.



4.5 Consideraciones SLS

Para vigas en voladizo, una placa base no rígida tendrá mayores desplazamientos, debido a la mayor rotación en la placa base.

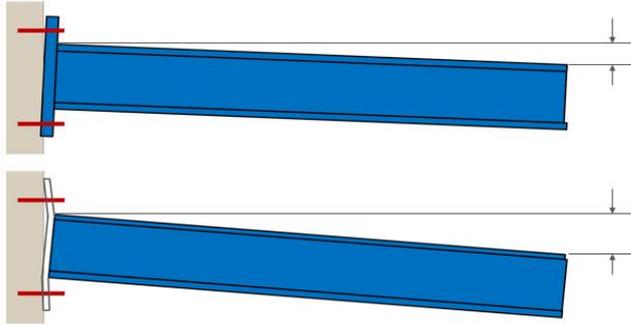


Figura 5: Desplazamiento de una viga en voladizo en caso de placa base no rígida

4.6 Conformidad con el modelo de Resistencia de anclaje

Los modelos de diseño de anclajes en las normativas EN1992-4, ACI318-11, ACI318-14 fueron desarrollados basados en suposiciones de placa base rígida.

Las placas no rígidas no están cubiertas por ninguno de los modelos de diseño de anclajes debido a las bases para las directrices mencionadas arriba.

Los valores de Resistencia calculados de acuerdo a EN1992-4 no pueden ser comparados con las cargas en anclajes provenientes de un modelo de elementos finitos (FEM) ya que la suposición de placa base rígida puede no conseguirse en un modelo FEM.

5. Solución propuesta para asesorar si la placa base puede considerarse “cercana a rígida” bajo juicio ingenieril

5.1 Definición

La placa base rígida es un enfoque teórico. En la vida real, ningún elemento es completamente rígido – si se aplica una carga lo suficientemente grande, la placa base se deformará.

Las placas base “cercanas a rígidas” se comportan de manera parecida a las placas base rígidas. Si el comportamiento es muy parecido, las normativas de diseño de anclajes puede ser aplicado a través de un juicio ingenieril.

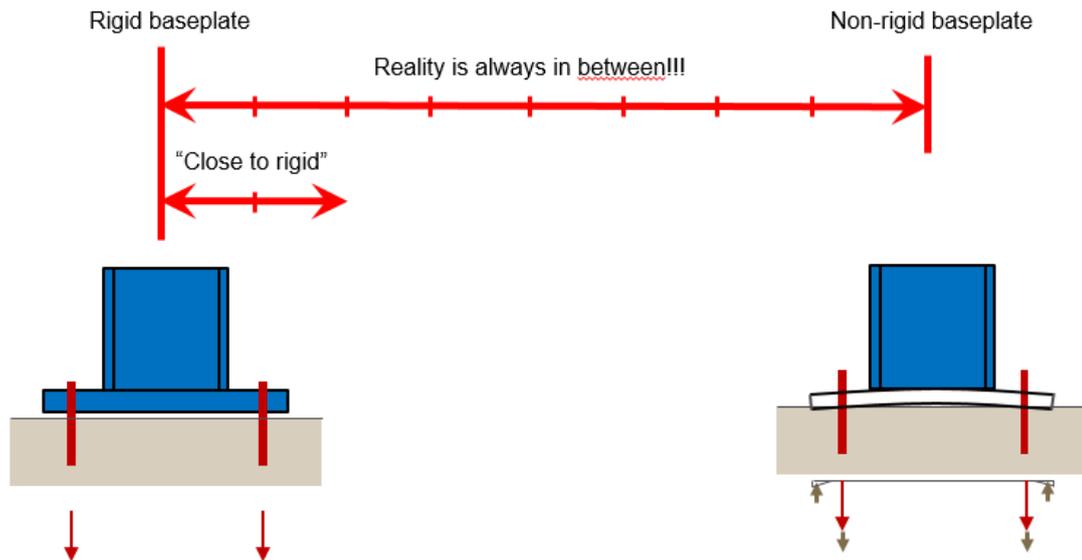


Figura 6: Definición de placas base “casi rígidas”

5.2 Parámetros propuestos para definir el comportamiento “cercano a rígido” por juicio ingenieril

Observando los parámetros influenciados de las placas base no rígidas (ver capítulo 4) los siguientes tres parámetros son importantes para definir si una placa base puede ser considerada “cercana a rígida”.

5.2.1 reacciones en los anclajes

Los siguientes 3 efectos provocarán un incremento en las reacciones en los anclajes:

- Reducción del brazo de palanca interno – incremento de las fuerzas en anclajes
- Efectos de palanca – incremento de las fuerzas en anclajes
- Diferente distribución de carga en grupos de anclajes – incremento de las fuerzas en anclajes

Si las fuerzas en los anclajes son parecidas a los resultados del cálculo con placa base rígida, se puede asumir que la placa se comporta de una manera muy similar a una placa rígida – en este caso la placa puede ser considerada “cercana a rígida”.

¿Qué desviación es aceptable entre los resultados de las fuerzas en anclajes de una placa base rígida y no rígida? **Finalmente depende del juicio del ingeniero.**

Abajo puedes encontrar información sobre éstas consideraciones de manera que puedas realizar tu propio juicio ingenieril.

5.2.1.1 Desviación de reacciones en los anclajes – Mallée/Burkhardt

Mallée/Burkhardt [12] hizo ensayos y simulaciones en modelos de elementos finitos (FEM) para esfuerzos de flexión y tensión uniaxiales y biaxiales (montaje del ensayo en Figura 7).

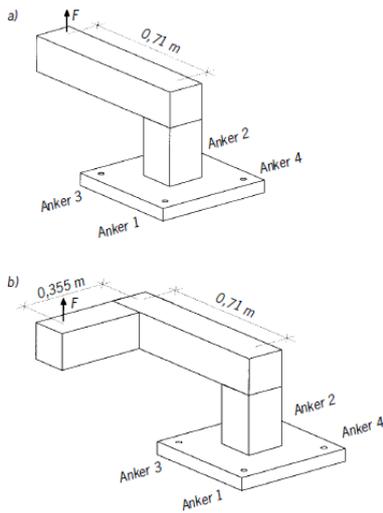


Figura 7: Montaje del ensayo para esfuerzos de flexión a) uniaxial and b) biaxial

El caso menos exigente de flexión uniaxial mostró resultados muy cercanos entre la E-theory y el ensayo. Para el caso más exigente con flexión biaxial, las fuerzas medidas en los anclajes durante los ensayos se compararon con las fuerzas en anclajes basadas en la teoría E para un espesor de placa base de 20 mm (que no cumple el criterio de tensiones propuesto por Mallee/Riemann [10] – placa base no rígida):

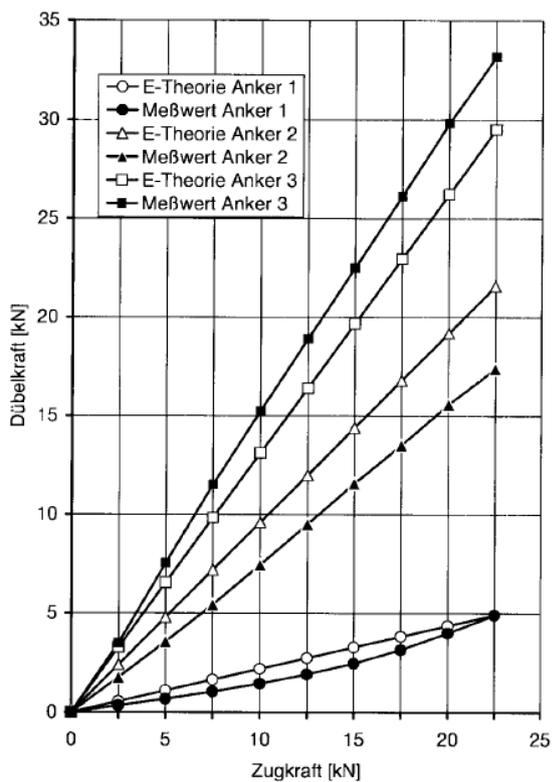


Figura 8: Fuerzas en anclajes como función de tensión de carga; cuadrado de la placa base con $t=20\text{mm}$, flexión biaxial con tensión [12]

En estos ensayos de la placa base no rígida se muestran diferentes distribuciones de carga en los anclajes. El anclaje sometido a mayor carga obtiene un $\sim 12\%$ más de carga que en la teoría E, sin ningún impacto en el fallo total de la carga del grupo de anclajes. La diferencia de un $\sim 10\%$ entre fuerzas en anclajes medidas y teóricas es constante en diferentes niveles de carga.

Mallèe/Burkhardt concluyó en 1999:

- El parámetro más importante de la deformación del anclaje (rigidez) es descuidado en todos los modelos que utilizan placa base rígida.
- Para flexión uniaxial y perfil céntrico, el límite de tensión depende del grosor de la placa base de acuerdo con la suposición de placa base rígida **en la mayoría de casos**.
- Para flexión biaxial y placas base excéntricas: **no hay suficientes resultados de ensayos para validar el límite de tensión** para estos casos.

5.2.1.2 Desviación de fuerzas en anclajes – propuesta Fichtner

Fichtner [11] hizo investigaciones en los casos donde Mallèe/Burkhardt no hizo suficientes ensayos para validar el criterio.

Fichtner propuso un criterio de rigidez basado en condiciones geométricas (deformaciones). Para la validación de su criterio se basó en una comparación de cargas de fallo con un modelo de elementos finitos (FEM) / ensayos frente cargas de fallo por el método CC (placa base rígida).

Para casos donde $\alpha_s \leq 1.0$ el criterio de rigidez puede ser considerado válido. Para esos casos, en la Figura 9 se muestran los ratios $F_{u,\text{test}}/F_{u,E\text{-theory}}$ entre 0.9 y 1.1 lo que también puede ser interpretado como el 10% de desviación.

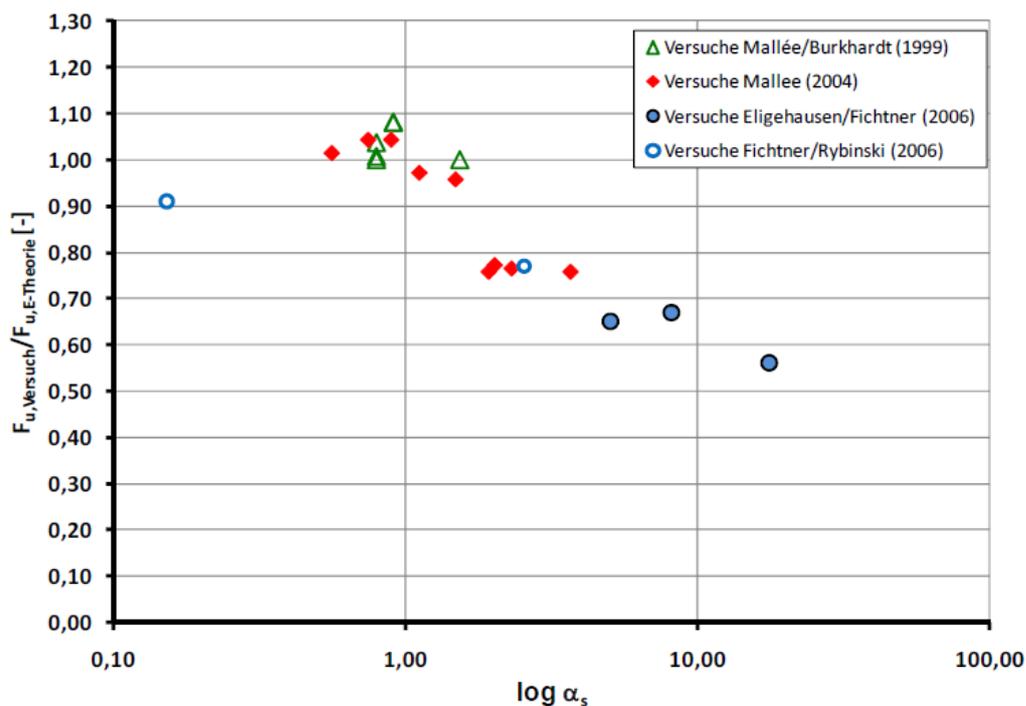


Figura 9: Evaluación del criterio de rigidez con ensayos de datos de [11]

5.2.2 Compresión del hormigón

EN 1993-1-8 [7, p. 7] sección 6.2.5 y EN 1992-1 sección 6.7 definen cómo las compresiones en el hormigón deberían ser evaluadas basadas en el “T-stub model “. Este modelo está basado principalmente en EN 1993-1-8 el cual es también válido para placas no rígidas.

Por ello, una validación de la compresión en el hormigón proveniente de nuestro cálculo FEM “cercano a la rigidez” es suficiente.

5.2.3 Deformación

Depende del ingeniero y/o del propietario decidir qué deformación en estado límite de servicio será aceptable.

5.2.4 Recomendación Hilti para juicio ingenieril

Basándose en la información dada arriba, el ingeniero necesita decidir si la placa base puede ser considerada “cercana a rígida” para asegurar que el alcance de las normativas de diseño de anclajes al menos coincide con el juicio ingenieril.

Las secciones 5.2.1 a 5.2.3 resumen las publicaciones existentes y pueden considerarse como guías para los ingenieros que les permitan hacer un juicio ingenieril basado en la información disponible.

Dado que no hay una regla general que se pueda aplicar a todos los casos, Hilti provee una recomendación sobre qué desviación sobre la placa base rígida es aceptable.

5.3 Enfoque propuesto

El módulo de diseño Avanzado de placa base de Hilti PROFIS Engineering será capaz de modelar toda la conexión con todos los detalles. El usuario obtendrá en pantalla los resultados de su aplicación particular de un cálculo utilizando una suposición de placa base rígida y “realista” (flexible) teniendo en cuenta los parámetros introducidos y un comportamiento no lineal.

Esto permitirá al usuario entender de dónde provienen las desviaciones de las fuerzas en los anclajes (reducción del brazo de palanca, fuerzas de palanca, diferentes distribuciones de carga).

En el ejemplo de abajo el usuario puede ver las fuerzas de palanca y una reducción del brazo de palanca interno debido al desplazamiento de la zona de compresión hacia el ala del perfil, lo que provoca una compresión y pequeños efectos de palanca en el lado de la tensión.

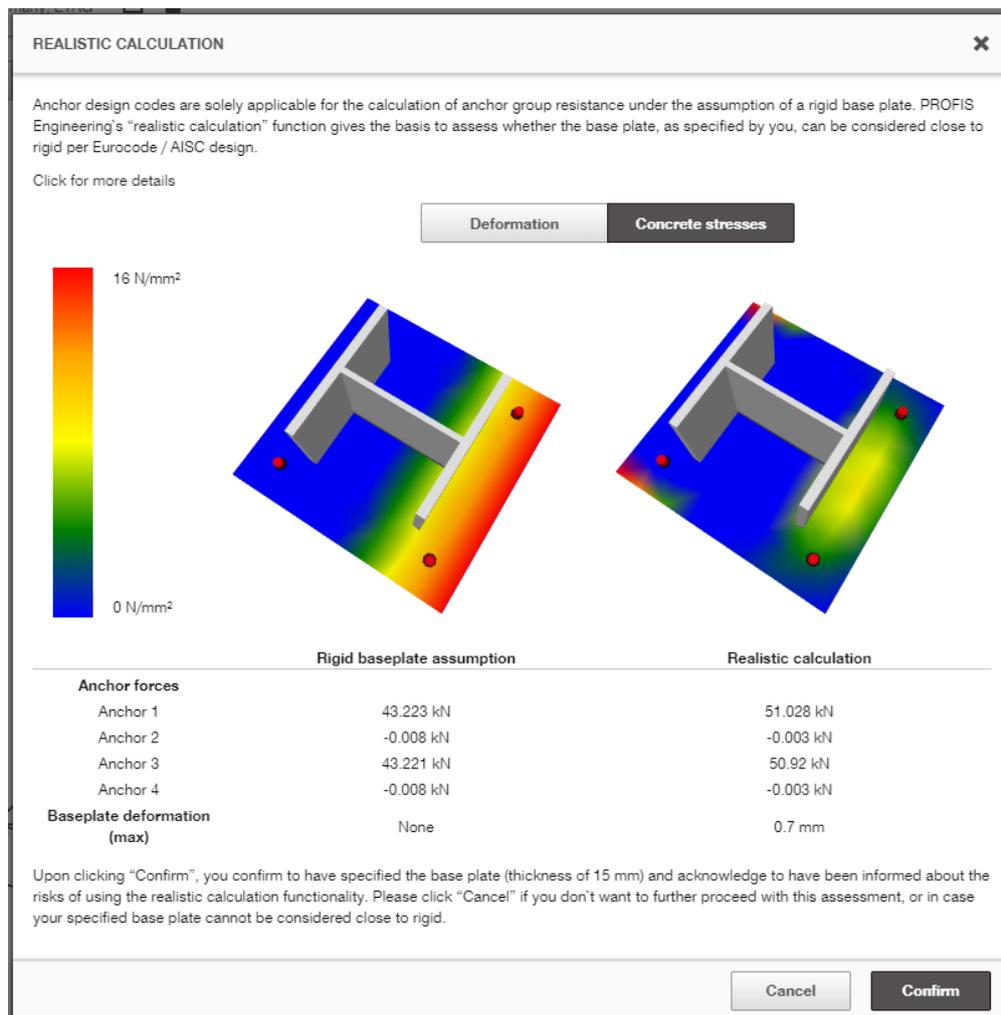


Figura 9: Comparación de los resultados para cálculos rígidos y flexibles

Al hacer clic en “confirmar”, el cliente expresa claramente que para su caso la placa base puede ser considerada bajo su juicio ingenieril “cercano a rígida”.

6. Conclusión

Las suposiciones utilizadas para el diseño son responsabilidad del ingeniero.

Las diferentes limitaciones en las normativas de diseño de anclajes y aceros estructurales requieren considerar una placa base “cercana a rígida” para tener una solución de fijación segura.

Esta placa base se comportará de manera muy parecida a una placa base rígida descrita en las diferentes normativas de diseño de anclajes a través de un juicio ingenieril.

Este artículo muestra los principales factores influenciados para que el ingeniero juzgue si su placa base es lo suficientemente rígida para poder realizar el diseño de acuerdo a normativa. Los manuales deberían ayudar al ingeniero a realizar un juicio ingenieril.

Referencias

- [1] European Organisation for Technical Approvals (EOTA), *ETAG 001, Annex C: Design methods for anchorages (3rd amendment)*, Brussels, 2010.
- [2] European Organisation for Technical Approvals (EOTA), *TR 029*, Brussels: EOTA, 2010.
- [3] ACI Committee 318, *ACI 318-11: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, 2011.
- [4] ACI Committee 318, *ACI 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, 2014.
- [5] Technical Committee CEN/TC 250, *FprEN 1992-4 Design of concrete structures - Part 4: Design of Anchorage for use in concrete*, 2015.
- [6] Technical Committee CEN/TC 250, *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*, 2005.
- [7] Technical Committee CEN/TC 250, *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints*, 2009.
- [8] Technical Committee CEN/TC 250, *CEN/TR 17081: Design of fastenings for use in concrete - Plastic design of fastenings with headed and post-installed fasteners*, 2017.
- [9] Tennessee Valley Authority, *TVA Civil Design Standard DS-C1.7.1, page 25.*, Knoxville, 1984.
- [10] R. Mallée and H. Riemann, *Ankerplattenbefestigungen mit Hinterschnittdübeln*, Bauingenieur 65, S. 49-57, Springer VDI Verlag, 1990.
- [11] S. Fichtner, *Untersuchungen zum Tragverhalten von Gruppenbefestigungen unter Berücksichtigung der Ankerplattendicke und einer Mörtelschicht*, Dissertation Universität Stuttgart, 2011.
- [12] R. Mallée and F. Burkhardt, *Befestigung von Ankerplatten mit Dübeln*, Beton- und Stahlbetonbau 94, Heft 12, S. 502-511, Ernst & Sohn Verlag, 1999.
- [13] R. Ehligehausen, R. Mallée and J. F. Silva, *Anchorage in Concrete Construction*, Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2006.

Figura 1: Límite de tensión propuesto por Mallée/Riemann [9].....	5
Figura 2: Reducción del brazo de palanca interno para placas base no rígidas.....	6
Figura 3: Incremento de las fuerzas en anclajes debido a los efectos de palanca.....	6
Figura 4: Incremento de las cargas en los anclajes debido a distribuciones de carga diferentes para placas base no rígidas.....	7
Figura 5: Desplazamiento de una viga en voladizo en caso de placa base no rígida	8
Figura 6: Definición de placas base “casi rígidas”	9
Figura 7: Montaje del ensayo para esfuerzos de flexión a) uniaxial and b) biaxial.....	10
Figura 8: Fuerzas en anclajes como función de tensión de carga; cuadrado de la placa base con $t=20\text{mm}$, flexión biaxial con tensión [1].....	10
Figura 10: Comparación de los resultados para cálculos rígidos y flexibles.....	13