

EN1992-4. Nuevo método de cálculo de anclajes en hormigón

Eurocode practice: design of fastenings for use in concrete in accordance with Eurocode 2 Part 4 (EN 1992-4)

Jörg Appl, Antonio Cardo Fernández, María de la Luz España Villanueva

Dr. MSc. Civil Engineer, Hilti Corporation, Technical Marketing BU Anchors, Joerg.Appl@hilti.com

MSc. Civil Engineer, Hilti Española S.A., Engineering Competence Center Manager, Antonio.Cardo@hilti.com

MSc. Civil Engineer, Hilti Española S.A., Technical Engineer, Mariadelaluz.Espana@hilti.com

RESUMEN

Desde 1997, el diseño de anclajes en hormigón ha estado regulado, a nivel europeo, por el Anexo C de la Guía europea para la homologación técnica, ETAG 001 y los “Informes Técnicos” TR029 y TR045, publicados, respaldados y referenciados posteriormente, o por la serie de pre-estándar CEN/TS 1992-4. La siguiente ponencia presenta, resumidamente, los contenidos del nuevo estándar europeo EN 1992-4 “Diseño de anclajes para su uso en hormigón” y los principales cambios que se han introducido con respecto al CEN/TS 1992-4 y al anexo C de la ETAG 001.

ABSTRACT

Since 1997, the design of fastenings for anchoring in concrete has been regulated at European level by Annex C of the European Technical Approval Guideline, ETAG 001, and the subsequently published, supporting and referenced “Technical Report” TR029 and TR045 or by the pre-standard series CEN/TS 1992-4. The following paper briefly presents the contents of the new European Standard EN 1992-4 “Design of fasteners for use in concrete” and the major changes that have been introduced compared to CEN/TS 1992-4 and ETAG 001, Annex C.

PALABRAS CLAVE: Hormigón, Anclajes, Eurocódigo, Armadura, Normativa

KEYWORDS: Concrete, Anchors, Eurocode, Reinforcement, Regulations

1. EN 1992-4 [1], nuevo conjunto del eurocódigo 2: Diseño de anclajes para su uso en hormigón.

1.1. General

EN 1992-4 [1] se aplica a los sistemas de anclaje embebidos, carriles embebidos, placa embebida (placa más anclaje embebido), anclajes embebidos con cabeza; anclajes mecánicos a

posteriori de expansión, socavados, atornillados; y anclajes químicos a posteriori. Los sistemas embebidos, que se introducen en elementos de hormigón prefabricado, bajo producción contro-



Figura 1. Carril embebido antes de la instalación (izquierda) y después de la misma (derecha)

de insertos para la elevación y la manipulación de elementos prefabricados de hormigón”.

1.1.1. Carriles embebidos, anclajes embebidos con cabeza y fijaciones embebidas

Los carriles embebidos consisten en un perfil metálico conformado en frío o laminado en caliente, en forma de V o de U, con elementos de anclaje especiales que se instalan antes del hormigonado (Figura 1). Los perfiles metálicos abiertos se rellenan con espuma o con un relleno compatible con la agresividad del ambiente. Una vez que se ha eliminado y quitado el relleno pueden fijarse elementos por medio de los tornillos para carril con forma de T. Los carriles embebidos, generalmente, se colocan mediante anclajes embebidos con cabeza o con varillas las cuales están soldadas, forjadas o atornilladas.

Las fijaciones embebidas consisten en una placa de acero con anclajes embebidos con cabeza. Estos anclajes también pueden ser barras de acero corrugado o perfilado y estar soldados por arco a la placa de anclaje.

1.1.2. Anclajes mecánicos

Los anclajes cubiertos por el EN 1992-4 [1] son:

- Anclajes mecánicos de expansión (Figura 2a/2c): en el caso de los anclajes controlados por par de apriete (Figura 2a), se realiza una perforación, se inserta el anclaje en el taladro y se expande, aplicando un par de apriete al tornillo o a la tuerca, con una llave

dinamométrica. Dicho par, genera una fuerza de tracción en el vástago, produciendo que la parte cónica de la punta del anclaje se introduzca en el manguito de expansión y ejerza presión contra las paredes de la perforación. Los anclajes instalados mediante deformación controlada (Figura 2c) presentan un manguito de expansión y un cono. Se colocan insertando el cono en el manguito, produciéndose la expansión.

- Anclajes mecánicos de autoexcavado (Figura 2b): al igual que con los sistemas embebidos in-situ, los anclajes de autoexcavado desarrollan un enclavamiento mecánico entre el anclaje y el material base. Para ello, se modifica la perforación realizada en el hormigón, creándose una muesca, o socavación, de una dimensión específica, por medio de un aparato especial de perforación, o por el excavado del propio anclaje. En caso de autoexcavado, la socavación se genera utilizando el elemento de expansión (anclaje) insertado en la perforación realizada previamente. El uso del impacto-rotación permite al elemento de expansión socavar el hormigón y ampliarlo a su posición final, de forma simultánea. El perno cónico proporciona, en su extremo final, un espacio para el polvo que se genera durante el socavamiento. Este proceso da como resultado una coincidencia precisa entre la forma excavada y la geometría del anclaje.
- Anclajes de atornillado (Figura 2d): los anclajes de atornillado, generalmente con aceros endurecidos, permiten que la rosca engrane en el material base durante la insta-



a) Expansión por de apriete controlado; b) Autoexcavado; c) Expansión por deformación controlada; d) Atornillado

Figura 2. Sistemas de anclajes mecánicos

lación. Para su instalación se requiere un taladro previo en el hormigón. La rosca del tornillo puede estar provista de una superficie de corte especial y/o geometrías que ayuden al proceso de atornillado en la pared del taladro previo. Para producir ese atornillado, se utilizan, o un controlador de impacto especial o, un taladro convencional equipado con un adaptador. El diámetro del taladro se adapta a la geometría del tornillo, de modo que la rosca del tornillo corta el hormigón y se puede transferir una fuerza externa al mismo a través de este enlace.

- Anclajes químicos estándar: los anclajes químicos pueden encontrarse en distintos formatos. Se distingue entre aquellos en los que la resina se presenta en formato cápsula, de plástico o de vidrio, (Figura 3a) y los sistemas de inyección en los que la resina se encuentra en cartuchos. En ambos, las fuerzas se transfieren desde la varilla roscada a la resina a través del enclavamiento mecánico y al material base a través del micro-enclavamiento, la fricción y la adhesión entre la resina y la pared del orificio.
- Anclajes químicos con par de apriete controlado: los anclajes químicos con par de apriete controlado utilizan una varilla de anclaje con múltiples conos (Figura 3b). Existen varillas con diferentes grados de protección frente a la corrosión (galvanizado, inoxidable...). Cuando se aplica una fuerza de tracción a la varilla, los conos se introducen en la resina, que actúa como un manguito de expansión. Esto genera fuerzas de expansión y fricción entre la resina y la pared de la perforación, lo suficientemente elevadas como para transmitir la tracción al

material base, independientemente del efecto de adhesión de la resina.

1.2. Campo de aplicación

El requisito básico para el uso del EN 1992-4 [1] es contar con un documento de idoneidad técnica europea ETA (hasta junio de 2013) o de evaluación (desde julio de 2013). Para obtener dichos documentos, es necesario someter los anclajes a los ensayos indicados en la ETAG 001 [2] (hasta junio de 2013) o en el documento de evaluación europeo (EAD) [7, 8] (desde julio de 2013) correspondientes.

La guía o el documento de evaluación especifican los requisitos y los criterios de aceptación que debe cumplir el sistema de fijación. Basándose en ello, se deben realizar ensayos para evaluar la idoneidad del sistema y determinar las condiciones de uso permitidas. Los ensayos analizan, entre otros, el comportamiento de la fijación en hormigón de alta y baja resistencia, fisurado y no fisurado, según el rango de aplicación previsto. Los efectos de posibles desviaciones durante la instalación del anclaje deben verificarse específicamente, cuando sean relevantes. Dichas desviaciones pueden ser: tolerancias de la perforación, nivel de limpieza de la misma, grado de expansión, posicionamiento de los anclajes con respecto a la armadura (contacto con ella), impacto de humedad y temperatura del hormigón en la resistencia. Los ensayos tienen en cuenta el impacto de las cargas permanentes y/o variables en los anclajes.

EN 1992-4 [1] está pensado para el diseño de fijaciones que conectan componentes estructurales y no estructurales con componentes estructurales, en los cuales el fallo de la fijación puede:

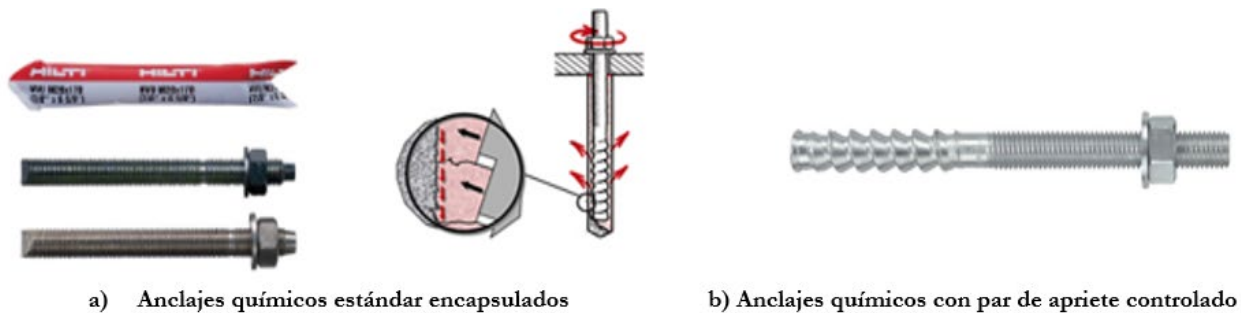


Figura 3. Anclajes químicos

- Dar lugar a un colapso completo o parcial de la estructura.
- Causar riesgo a la vida humana
- Conducir a pérdidas económicas significativas.

Los anclajes "secundarios", por ejemplo, para radiadores, lámparas y tuberías livianas, generalmente, se seleccionan según la experiencia del contratista y sin la necesidad de verificación de diseño.”

Las fijaciones pueden diseñarse como anclajes aislados o como grupos de anclajes, para fijación en hormigón normalizado. En un grupo de anclajes se usarán anclajes del mismo tipo, fabricante, diámetro y profundidad. Con la introducción del EN 1992-4 [1], las clases de resistencia de hormigón permitidas, C20/25 a C50/60 en [2], se extenderán a C12/15 y a C90/105 si los anclajes cumplen con los requisitos para utilizarse en estos tipos de hormigones, de acuerdo con [7, 8].

Para un grupo de anclajes, las cargas se transfieren a los anclajes individuales por medio de un elemento común, generalmente una placa de acero. Aunque el diseño del elemento común (placa) en sí, no se considera en el EN 1992-4 [1], el diseño debe verificar la norma correspondiente. La transferencia de carga del grupo de anclajes a la estructura de hormigón debe verificarse tanto para el estado límite último

como para el estado límite de servicio, según el EN 1992-1-1 [9].

Los anclajes deben diseñarse para acciones estáticas, cuasi estáticas, dinámicas (fatiga y sismo) y contra incendios. Dichas cargas, hasta ahora, o no han sido cubiertas o lo han sido, pero inadecuadamente. Un anclaje puede emplearse para las cargas anteriores, si queda reflejado en la homologación (ETA) del producto.

La resistencia de los sistemas de fijación, definidos en el apartado EN 1992-4 [1], puede verse influenciadas por las fisuras presentes en el hormigón. Los diferentes sistemas de fijación pueden estar cualificados y homologados para hormigón fisurado y/o no fisurado.

Si se asumen condiciones de hormigón no fisurado y se seleccionan anclajes con una ETA para hormigón no fisurado, se debe verificar, de acuerdo con la norma EN 1992-4 [1], que no aparecerán fisuras en el área del anclaje durante toda la vida útil del mismo. Generalmente, para evitar esta compleja comprobación, si es posible, se prefieren los anclajes adecuados para su uso en hormigón fisurado.

1.3. Bases de diseño

Se deben verificar los dos estados siguientes:

- Estado límite último: el valor de las acciones de diseño no debe exceder el valor de la resistencia de diseño. Por ello, el modo de fallo con el valor más bajo de resistencia es decisivo para el diseño
- Estado límite de servicio: se deberá comprobar que el desplazamiento que se produce bajo las acciones características es inferior al desplazamiento admisible. Éste

varía en función del elemento a fijar y debe ser especificado por el ingeniero estructurista. La funcionalidad del elemento fijado también debe ser verificada cuando está sometido a un desplazamiento. Los desplazamientos característicos que figuran en la homologación pueden ser extrapolados de forma lineal, aunque en el caso de cargas combinadas (tensión y cortante), deben ser añadidas vectorialmente.

La optimización y el uso seguro de los anclajes sólo es posible si en el diseño se tiene en cuenta la dirección de la carga (axil, cortante y carga combinada), el tipo de acción (estática, dinámica, etc.) y los diferentes modos de fallo. En 1995 el Comité Euro-Internacional de Béton (CEB) publicó un método de diseño basado en el método CC [11] que cumple los requisitos anteriores. En el año 1997, este concepto fue adoptado por la ETAG 001 [2]. Esta filosofía de cálculo puede encontrarse en la norma europea EN 1992-4 [1] para otros tipos de sistemas de fijación.

En el caso de anclajes mecánicos y químicos instalados a posteriori sometidos a cargas de tracción, el método CC [11] diferencia entre fallo

del acero, fallo de extracción, fallo de cono de hormigón, fisuración y fallo por borde de hormigón. Los modos de fallo asociados a cortante serían fallo del acero, fallo de borde de hormigón y fallo por desconchamiento. En el caso de existir armadura en el hormigón, ésta deberá ser verificada contra el fallo del acero y verificar que exista empotramiento suficiente dentro de los posibles conos de hormigón.

El método CC [11] calcula óptimamente la capacidad de la fijación para las condiciones dadas. Esta optimización puede ser compleja, debido a que la capacidad de carga de los anclajes está definida para todas las direcciones de carga y todos los modos de fallo. En la Figura 4 se muestra un diagrama de flujo con las verificaciones requeridas en el diseño.

Esta es la principal razón por la que varios fabricantes han desarrollado software para simplificar el proceso de diseño. Éstos permiten resolver la mayor parte de los casos de fijación rápidamente, al mismo tiempo que se optimiza el porcentaje de utilización y se reduce el número de anclajes requeridos.

A diferencia de CEN/TS [5] o TR 029 [3], la

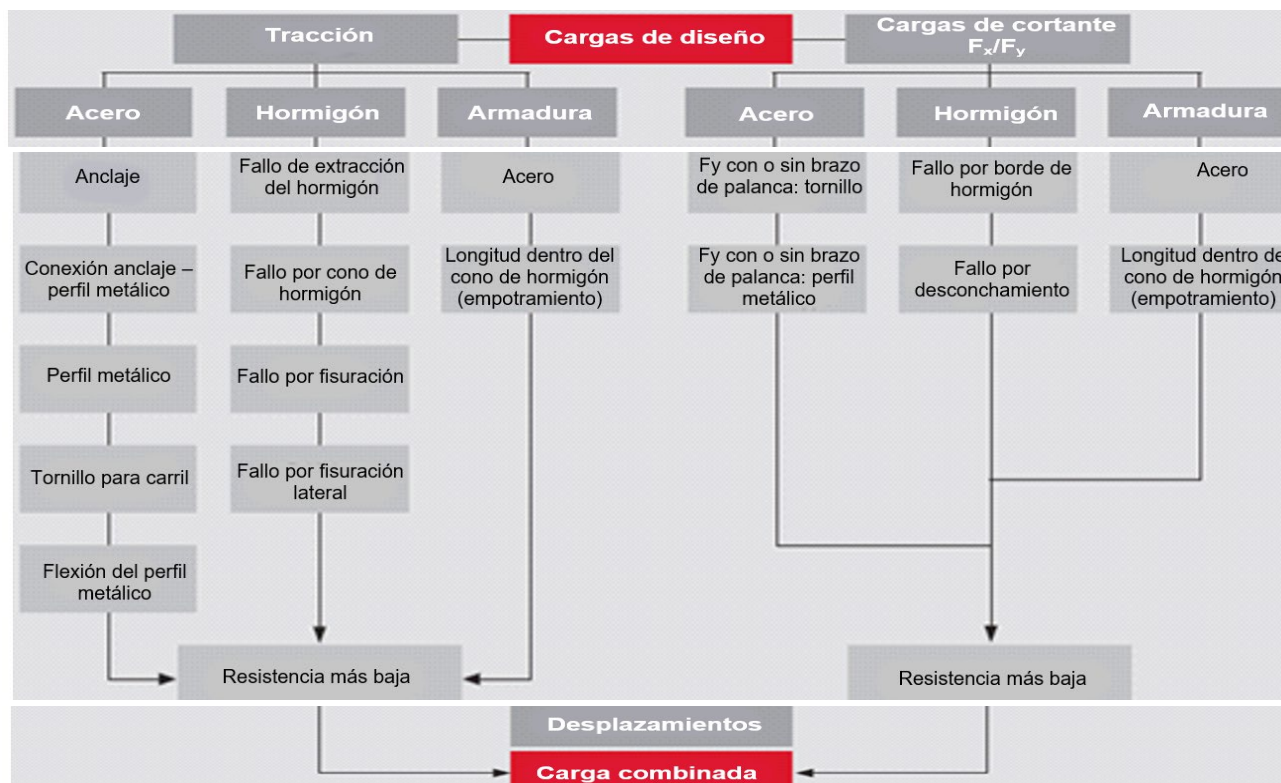


Figura 4. Posibles modos de fallo para los carriles embebidos

norma EN 1992-4 [1] está a la vanguardia y se adapta al marco regulatorio del “Reglamento europeo de productos para la construcción (CPR)”. Esto ha dado como resultado algunos cambios en la metodología de cálculo. A continuación, se debaten los más relevantes.

1.4. Cambios técnicos

1.4.1. Se introduce el efecto de las cargas permanentes

Los anclajes deben asegurar una transmisión segura de la carga durante muchos años. Por tanto, su comportamiento a largo plazo es de interés. En el caso de la verificación del modo de fallo de extracción y de cono de hormigón en anclajes químicos, EN 1992-4 [1] contiene un coeficiente adicional ψ_{sus} , no presente en [2,5], que considera el efecto de la carga permanente de tracción que actúa en los anclajes. Este coeficiente disminuye la adherencia del anclaje químico. El coeficiente es específico del producto y se debe proporcionar en la homologación del mismo (ETA). Este valor se incluye en el diseño teniendo en cuenta la relación entre el valor de la carga permanente y el valor de la carga transitoria. Si no se especifica un valor en la ETA, se tomará un coeficiente de 0,6.

1.4.2. Se introduce el efecto de la compresión en el hormigón derivada del momento

Cuando una fijación, que consta de dos anclajes, se somete a un momento de flexión, se produce un par de esfuerzos que consiste en una fuerza de tracción en un anclaje y una fuerza de compresión debajo del elemento fijado (Figura 5). Si la fuerza de tracción en el anclaje excede la resistencia del modo de fallo por cono de hormigón, se producirá este fallo. En esta situación, sin embargo, la carga de fallo por cono de hormigón puede verse favorecida por la compresión existente bajo el elemento fijado. Según [12], el impacto depende del brazo de palanca entre la tensión resultante y las fuerzas de compresión (z), en relación con el radio del cono de hormigón esperado ($r = 1,5 h_{ef}$, con $h_{ef} =$

profundidad efectiva de empotramiento del anclaje).

Para considerar este efecto, se emplea el coeficiente $\psi_{M,N}$. Cuanto menor sea la diferencia entre la compresión resultante y la tracción, mayor resistencia presentará la conexión frente al fallo por cono de hormigón (Figura 6). El coeficiente puede estar entre 1.0 y 2.0, EN 1992-4 [1]. Este comportamiento se puede incorporar de forma limitada en el diseño, y sólo en el caso de grandes distancias a borde. Ya se han realizado importantes estudios al respecto en [9,12,13].

1.4.3. Se introduce la consideración de armadura de refuerzo que evite fallo del hormigón por cono o borde

Al realizar las comprobaciones del modo de fallo por cono de hormigón y borde de hormigón, en [2], no se podía considerar el efecto de cosido que ejercía la armadura suplementaria que suele ser habitual en las zonas cercanas a los anclajes. La norma EN 1992-4 [1] proporciona un método claro de cómo considerar esta armadura. A continuación, puntos a considerar:

- La armadura debe ser de diámetro inferior a 16mm.
- Sólo puede considerarse la armadura situada a cierta distancia del anclaje
- El empotramiento de esta armadura en el interior del cono de hormigón debe ser, como mínimo, de 10 diámetros si se encuentra en prolongación recta.
- El empotramiento en el exterior del cono debe calcularse de acuerdo con EN 1992-1-1 [9]
- Se realizará la comprobación del acero, así como de empotramiento en el interior y exterior del cono, resistencia de la armadura de piel y fallo combinado de la armadura.

1.4.4. Se mejora la comprobación de cómo afecta una capa de mortero, bajo la placa, al fallo del acero

Al diseñar un anclaje o proporcionar una verificación del fallo del acero bajo una carga de cortante, se debe hacer una distinción entre una "carga de cortante sin brazo de palanca" y una "carga de cortante con brazo de palanca". Hasta ahora, el método de diseño para "carga de cor-

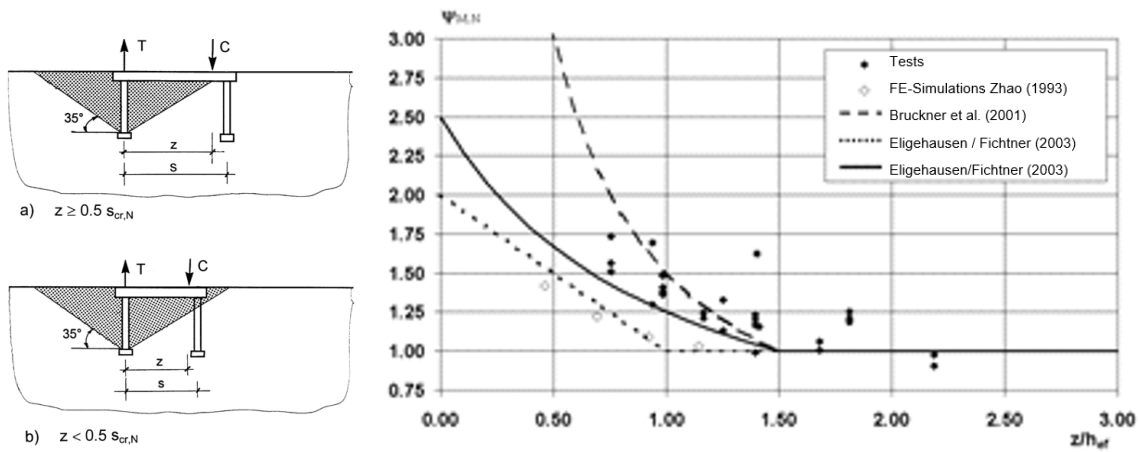


Figura 5 y Figura 6. Influencia en la rotura del hormigón de una fuerza de compresión bajo la placa de anclaje, derivada de un momento flector, en función de la relación entre el brazo de palanca interior, z , y la profundidad de anclaje h_{ef} .

tante sin brazo de palanca”, sólo se puede usar si la placa de anclaje está hecha de metal y se coloca directamente en el hormigón o las capas de mortero de nivelación presentan espesor de $t \leq 3$ mm. Este valor se aumentó a $d/2$ en [2, 5] (d = diámetro nominal del anclaje [mm]). Para espesores mayores, el diseño debía asumirse como "carga de cortante con brazo de palanca", lo que desembocaba en resistencias por fallo del acero bastante inferiores. Esto se debe a la flexión introducida en el elemento metálico.

La norma EN 1992-4 [1] considera mayores resistencias, que [2, 5], para espesores de mortero entre $0.5d < t < 40$ mm, siempre que se satisfagan una serie de condiciones (al menos 2 anclajes en la fijación; cortante puro; hormigón no fisurado; resistencia del mortero > 30 MPa, y superficie rugosa).

Para las comprobaciones relativas a "carga de cortante con brazo de palanca", puede considerarse que la fijación puede girar libremente o que, por el contrario, dicho giro está restringido (Figura 7). La imposibilidad de giro

duplica la capacidad de carga respecto al caso en que puede existir giro.

En el caso de anclajes instalados en hormigones de resistencia inferior a C 20/25, sin brazo de palanca, con empotramientos reducidos, se recomienda una reducción del 20% del valor de la resistencia para el “fallo del acero sin brazo de palanca”. Se considera empotramiento reducido si se verifica $h_{ef}/d < 5$, donde h_{ef} es la profundidad de empotramiento y d el diámetro.

1.4.5. Se mejora la comprobación del modo de fallo bajo carga combinada

El comportamiento de los anclajes bajo cargas combinadas de tracción y cortante está relacionado con el punto de aplicación de la carga con respecto al centro de gravedad de los anclajes, y depende del ángulo de acción. Se producen los mismos modos de fallo que para las cargas de tracción o cortante. En función de si el modo de fallo que gobierna la resistencia a cor-



Figura 7 Anclaje bajo una carga de cortante con brazo de palanca

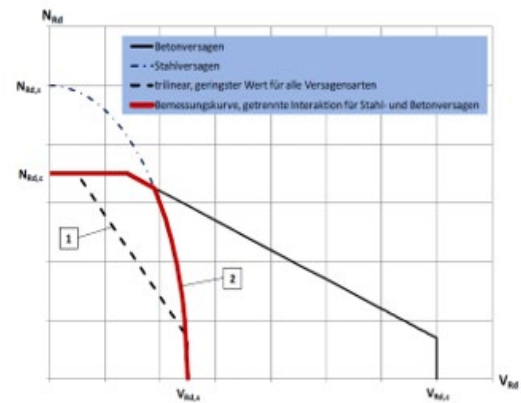
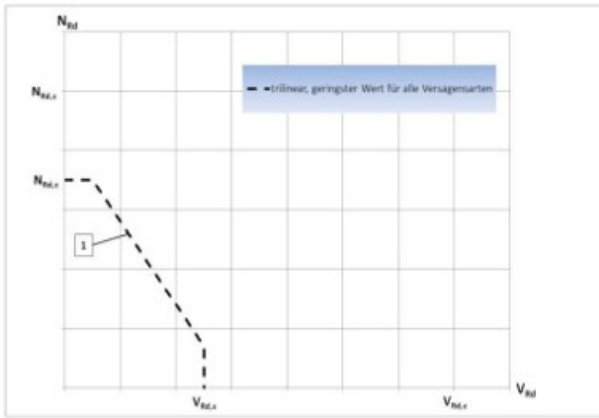


Figura 8 y Figura 9. Diagrama de interacción trilineal para los anclajes basado en [2], tomado de [15]. Diagrama de interacción según EN 1992-4 [1] teniendo en cuenta los diferentes modos de fallo, tomados de [15]

tante y a tracción está asociado a hormigón o acero, tenemos varias combinaciones posibles:

- Fallo de acero gobierna la resistencia a tracción y a cortante.
- Fallo del hormigón gobierna la resistencia a tracción y fallo de acero gobierna la resistencia a cortante.
- Fallo del hormigón gobierna la resistencia a tracción y cortante.
- Fallo del acero gobierna la resistencia a tracción y fallo del hormigón gobierna la resistencia a cortante.

Hasta ahora, los modos individuales de fallo por carga combinada no se han considerado sobre la base de una ecuación de interacción trilineal (Figura 8). De acuerdo con la norma EN 992-4 [1], la acción combinada debe calcularse por separado, para los fallos relacionados con el hormigón y para los fallos del acero, siendo el valor más pequeño de ambas curvas de interacción el que proporciona el valor de diseño. Este enfoque, técnicamente correcto, tiene como resultado la consideración de valores de resistencia significativamente más altos (Figura 9) que en la ecuación original [2, 5].

1.4.6. Se modifica cómo afecta la armadura en el fallo por borde de hormigón

Los anclajes situados cerca de un borde, sometidos a una carga de cortante perpendicular al mismo, pueden fallar debido a la rotura por borde del hormigón, antes de alcanzar la capacidad de carga del acero. El coeficiente $\psi_{re,V}$,

definido en el EN 1992-4 [1], tiene en cuenta el aumento de resistencia frente a fallo por borde de hormigón, en función del tipo de la armadura de borde existente. Si la fijación es en hormigón no fisurado o fisurado, y si no hay armadura de borde o refuerzo de cortante, el coeficiente es 1 (Figura 10a), siendo el enfoque idéntico a [2] y [5]. Mientras que en [2, 5], el valor básico de la resistencia característica frente al fallo por borde se incrementaba en un 20% ($\psi_{re,V} = 1.2$) si existía

1.4.7. Se modifica cómo afecta al fallo por borde de hormigón una carga paralela o con un ángulo inferior a 90° respecto al mismo.

El coeficiente ψ_{α} tiene en cuenta el ángulo α formado por la dirección de actuación del cortante y la dirección perpendicular al borde. Si la fuerza actúa paralela al borde ($\alpha = 90^\circ$), la fuerza que induce el fallo y actúa perpendicular al borde de acuerdo con [13] es aproximadamente el 50% de la carga. Esto significa que, la fuerza de cortante que se puede absorber cuando se aplica paralelamente al borde, con la misma distancia al borde, es aproximadamente dos veces mayor que el cortante que puede absorberse si se aplica perpendicular al borde. Hasta la fecha, el enfoque

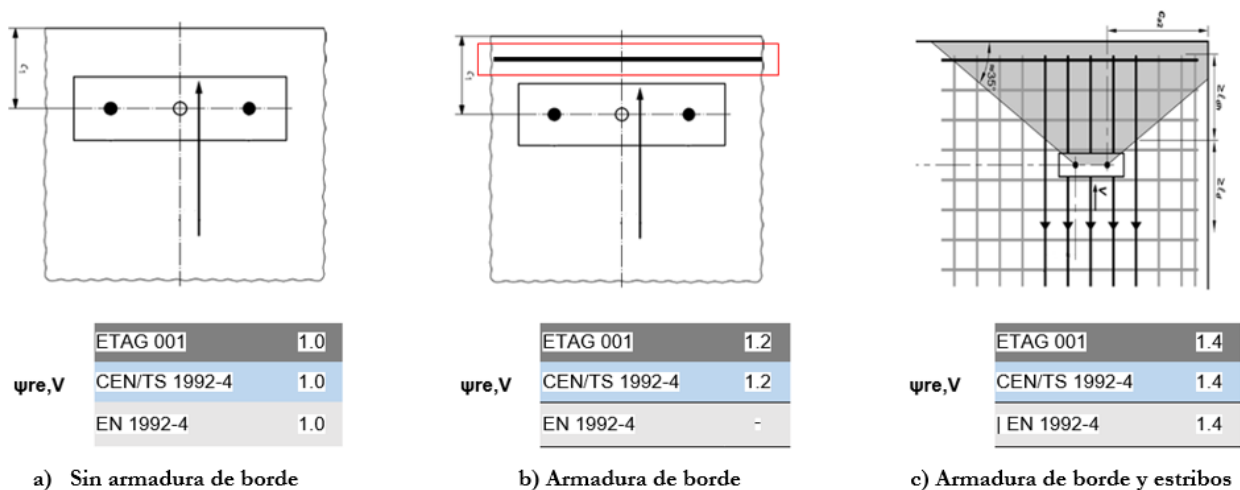


Figura 10. Tipo de armadura de borde y su impacto en la rotura por borde

de acuerdo con [2, 5] resultó en una fuerza de corte de 2.5 veces en las condiciones mencionadas anteriormente. De acuerdo con la norma EN 1992-4 [1], el valor original de 90° en [13] se invierte, mientras que la ecuación para el cálculo del coeficiente ψ_{α} se ha modificado en consecuencia. De esta forma, la carga de fallo por borde de hormigón, para una fuerza de cortante oblicua al borde, se reduce hasta un 20% en el EN 1992-4 [1] en comparación con [2, 5], y a medida que el ángulo disminuye, la diferencia lo hace también.

1.4.8. Se modifica el tipo de probeta de hormigón considerada en las ecuaciones (de cúbica a cilíndrica)

Las ecuaciones originales, para determinar las cargas de fallo relacionadas con el hormigón, como el fallo por cono de hormigón y el fallo por borde de hormigón, se determinaron teniendo en cuenta la resistencia a compresión del hormigón medida en probeta cúbica de lado 200 mm. En la adaptación del concepto de diseño a otros sistemas de fijación o guías, las ecuaciones correspondientes a estos fallos pasaron a considerar las resistencias de la probeta cúbica de 150 mm de lado.

Como parte de las revisiones realizadas a la norma europea, las ecuaciones en cuestión se han ajustado para reflejar la resistencia cilíndrica a la compresión (150 mm x 300 mm). Según este ajuste, las ecuaciones de EN 1992-4 [1] calculan valores de resistencia hasta un 4% más bajos que

los mostrados en [2, 5].

2. CONCLUSIONES

El EN 1992-4 [1], nuevo conjunto de normas del Eurocódigo 2, define el marco regulatorio en el cálculo de fijaciones en hormigón. Aplica a la gran mayoría de tipologías de anclajes, tanto embebidos como a posteriori.

EN 1992-4 [1] considera cargas estáticas, sísmicas, de fatiga y fuego. Mantiene la filosofía de los métodos de cálculo anteriores, basados en el modelo CC [11] y ETAG 001 Anexo C [2], pero incorpora modificaciones debidas al avance en el conocimiento de esta técnica. Las modificaciones más relevantes serían:

- Incorporación de factor de tracción sostenida en anclajes químicos. Fluencia de las resinas.
- Consideración de armado del elemento de hormigón para resistir fallo por cono y borde de hormigón.
- Optimización de cálculo frente a cargas combinada (tracción + cortante).

Referencias

- [1] BS, Eurocode 2 (EN 1992-4) Design of concrete structures - Part 4: Design of fastenings for use in concrete, 2018.
- [2] European Organisation for Technical Approvals (EOTA), European Technical Approval Guideline (ETAG) 001– Metal anchors for use in concrete, Annex C, Design methods for anchorages, 2010.
- [3] European Organisation for Technical Approvals (EOTA), Technical Report TR029: Design of bonded anchors, 2010.
- [4] European Organisation for Technical Approval (EOTA), Technical Report TR045: Design of metal anchors for use in concrete under seismic actions, 2013.
- [5] European Committee for Standardization CEN, CEN / TS 1992-4 provisions: Design of fastenings for use in concrete, 2009.
- [6] European Committee for Standardization CEN, CEN / TR 15728: Design and use of inserts for lifting and placing concrete precast concrete, 2016.
- [7] European Organisation for Technical Assessment (EOTA), European Assessment Document, EAD 330499-00-0601 Bonded fastener for use in concrete, 2017.
- [8] European Organisation for Technical Assessment (EOTA), European Assessment Document, EAD 330232-00-0601: Mechanical fasteners for use in concrete, 2016.
- [9] AENOR; Eurocódigo 2 (EN 1992-1-1): Proyecto de estructuras de hormigón - Part 1-1: Reglas generales y reglas para edificación; 2013.
- [10] AENOR, Eurocódigo 4 (EN 1994-1-1): Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación, 2013.
- [11] W. Fuchs, R. Eligehausen, The CC method for calculating the concrete breakout load of anchors, concrete and reinforced concrete 90 (1995), H.1 S.6-9, H2, p.38-44, H3, S73-76, Comité Euro-internacional de Betón CEB, 1995.
- [12] G. Zhao, Load-bearing behavior of headed stud anchors positioned away from the edge in concrete breakout failures. Dissertation, University of Stuttgart, 1993. Dissertation, University of Stuttgart, 1993.
- [13] M. Bruckner, R. Eligehausen, J. Ozbolt, Influence of the bending compressive stresses on the concrete cone capacity. In Eligehausen, R. (Editor), Connections between Steel and Concrete. Rilem Publications s.a.r.l. Cadhan Cedex, 2001.
- [14] R. Eligehausen, S. Fichtner, Influence of the axial distance on the concrete breakout load of fasteners under a bending moment. Report, Institute for Materials in Construction, University of Stuttgart, not published.
- [15] M. Sippel: Fasteners and anchors – design based on new standard EN 1992-4, 2nd annual meeting of DAfStb 2014.
- [16] W. Fuchs: Load-bearing behavior of fasteners under shear loads in non-cracked concrete. Dissertation, University of Stuttgart, 1990.