

Sika Informaciones Técnicas

Adhesivos para el anclaje de pernos y varillas al concreto

Tecnología de anclajes químicos

Otras publicaciones Sika:



BARRANQUILLA
Calle 30 No. 1-25
Centro Ind. B/quilla.
Tels.: (5) 334 4932 - 334 4934
Fax: (5) 334 4953
E-mail:
barranquilla.ventas@co.sika.com

BOGOTÁ
Calle 15A No. 69 - 90
Tel.: (1) 412 3300
Fax: (1) 424 7235
Bogotá, D.C.
E-mail:
bogota.ventas@co.sika.com

CALÍ
Calle 13 No. 72 - 14
Centro Comercial Plaza 72
Tels.: (2) 330 2171 - 330 2162
330 2163 - 330 2170
Fax: (2) 330 5789
E-mail:
cali.ventas@co.sika.com

CARTAGENA
Albornoz - Via Mamonal
Carrera 56 No. 3-46
Tels.: (5) 667 2216 - 667 2044
667 2216
Fax: (5) 667 2042
E-mail:
cartagena.ventas@co.sika.com

EJE CAFETERO
Carrera 10 No.34-41
Bodega No.2
Dosquebradas - Risaralda.
PBX: (6) 332 7020 / 40 / 60
Fax: (6) 322 2729
E-mail:
pereira.ventas@co.sika.com

MEDELLÍN
Km. 34 Autopista
Medellín - Bogotá
Rionegro
PBX: (4) 530 1060
Fax: (4) 530 1034
E-mail:
medellin.ventas@co.sika.com

ORIENTE
Calle 15A No. 69 - 90
Tel.: (1) 412 3300
Ext.: 473/474/477
Telefax: (1) 412 3300 Ext.: 478
Bogotá, D.C.
E-mail:
oriente.ventas@co.sika.com

SANTANDERES
Calle 21 No. 27-54 Bucaramanga
Tels.: (7) 645 1032 - 632 7598
632 7329 - 635 0595
Fax: (7) 634 1304
E-mail:
santander.ventas@co.sika.com

Sika Colombia S.A.

Internet: www.sika.com.co • E-mail: sika_colombia@co.sika.com

Construcción



ISSN-0122-0594

Sika Informaciones Técnicas

Adhesivos para el anclaje de pernos y varillas al concreto

Tecnología de anclajes químicos



DCT-SI-62-02-2007



Adhesivos para el anclaje de pernos y varillas al concreto

Adhesivos para el anclaje de pernos y varillas al concreto

1. Introducción
2. Sistemas de anclaje y tipos de adhesivos
3. Comportamiento de los anclajes químicos
4. Diseño de anclajes químicos
5. Especificaciones y evaluación de anclajes químicos y adhesivos
6. Instalación de anclajes químicos
7. Resumen y conclusiones
8. Bibliografía

1. Introducción

Los adhesivos poliméricos tienen una gran variedad de aplicaciones en la construcción y en la rehabilitación y reforzamiento de estructuras de concreto tales como:

- Pega de concreto fresco a concreto endurecido.
- Pega de concreto endurecido a concreto endurecido.
- Pega estructural y/o sello de fisuras en el concreto.
- Pega de insertos como pernos y varillas de refuerzo dentro del concreto (anclajes).
- Pega de concreto y otros materiales (acero, vidrio, madera, aluminio, cerámica, materiales compuestos FRP, etc.).
- Relleno de cavidades de concreto.

Este documento solamente hará referencia al uso de adhesivos para la pega de insertos o anclajes en estructuras de concreto, específicamente se refiere a los anclajes al concreto de tipo químico y se pretende dar al arquitecto, ingeniero y demás profesionales de la construcción una idea del comportamiento de este tipo de anclajes, de los criterios básicos de diseño, de las especificaciones de los anclajes químicos, de los adhesivos a usar.

El documento intenta además proporcionar al diseñador información general sobre aspectos de operación tales como cargas, acciones ambientales y comportamiento de los anclajes químicos tanto en concreto sin fisurar como en concreto fisurado. Estos aspectos se deben tener en cuenta tanto en la fase de diseño como en la instalación de este tipo de anclajes. Además se da información sobre guías y estándares de diseño e indicaciones sobre criterios de evaluación de este tipo de anclajes con base en especificaciones y métodos de ensayo. Finalmente se trata el tema de instalación de anclajes químicos, incluidos los ensayos o pruebas de campo.



2. Sistemas de anclaje y tipos de adhesivos

Existen dos categorías para los sistemas de anclaje, pre-instalados y post-instalados. Los anclajes se usan tanto para la fijación de elementos estructurales como no estructurales.

Sistemas pre-instalados

Los sistemas de anclaje pre-instalados incluyen anclajes embebidos no ajustables de varios tipos y formas, conexiones atornilladas, y anclajes ajustables colocados en su sitio antes de vaciar el concreto. También se denominan por esta razón anclajes vaciados en obra. En sentido estricto las varillas de refuerzo de una construcción de concreto nueva son anclajes pre-instalados, con longitudes de anclaje y traslape diseñadas para que se pueda alcanzar la falla del acero por fluencia.

Sistemas post-instalados

Los sistemas post-instalados son aquellos que se colocan dentro de una perforación taladrada previamente o en un espacio dejado en el concreto de primera etapa. Estos pueden dividirse en dos tipos, anclajes adheridos y anclajes mecánicos.

Anclajes adheridos

Existen dos tipos de anclajes adheridos, los anclajes

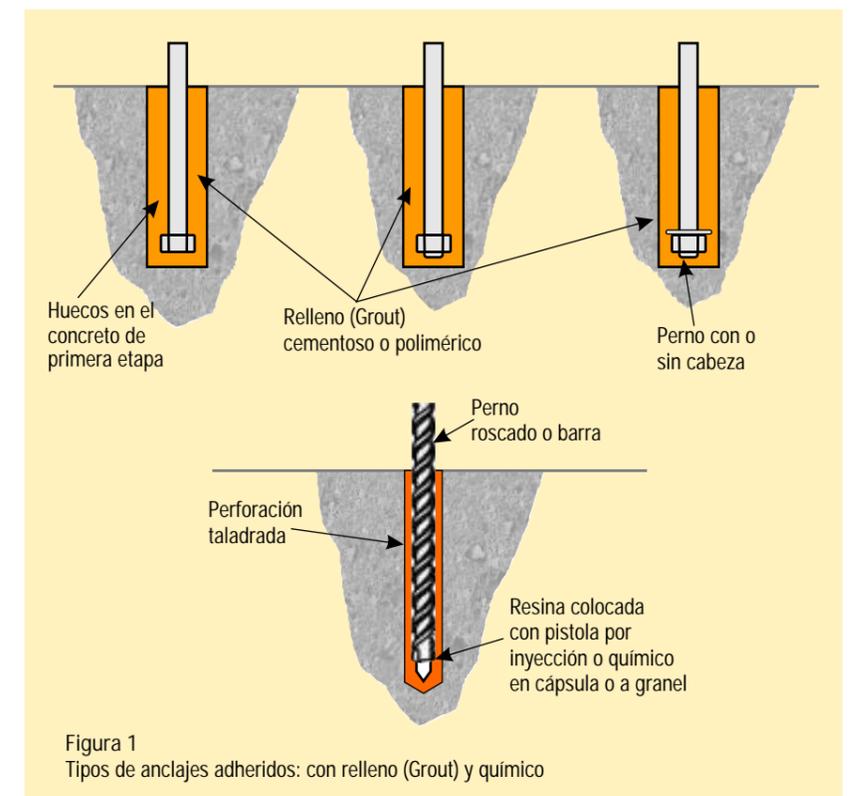


Figura 1
Tipos de anclajes adheridos: con relleno (Grout) y químico

Adhesivos para el anclaje de pernos y varillas al concreto

con relleno y los anclajes químicos (figura 1) donde la diferencia entre los dos radica principalmente en el diámetro del hueco, siendo el tamaño del hueco mas grande en los anclajes con relleno, el diámetro del hueco debe ser como mínimo 50 % mayor que el diámetro del perno (1.5 veces diámetro del perno), mientras que en los anclajes químicos el diámetro del hueco es menor que 1.5 veces el diámetro del perno [4]. Los anclajes con relleno pueden estar conformados por pernos con cabeza, sin cabeza, u otra variedad de formas instaladas con un mortero fluido o grout con base en cemento o con base en resinas, por ejemplo: morteros epóxicos. Los anclajes químicos están conformados por pernos roscados, barras o varillas fijados al concreto con un polímero o resina de dos componentes, disponible en el mercado en cápsulas de vidrio, en cartuchos plásticos o salchichas (para ser inyectados con pistola) o a granel. Estos sistemas de anclaje desarrollan sus capacidades de soporte mediante la adherencia del adhesivo tanto al anclaje como al concreto en la pared del agujero perforado. En la práctica son efectuadas conexiones entre elementos de concreto reforzado con pernos o varillas de refuerzo post-instalados y pegados con un adhesivo en huecos taladrados en el concreto existente con diversos fines tales como (figura 2):

- Vaciado de losas de pisos adicionales.
- Cerramiento de aberturas temporales.
- Vaciado de nuevos muros o ampliación de edificios existentes.
- Conexión de columnas con la fundación.
- Conexión de elementos en voladizo como balcones, escaleras y losas de llegada en las estructuras existentes.
- Rehabilitación y reforzamiento sísmico de elementos estructurales.

En estos casos las barras de refuerzo han de ser ancladas a los elementos existentes reforzados o han de ser traslapadas con el refuerzo existente. Existen diferentes sistemas de polímeros adhesivos tales como epóxico, poliéster, viniléster, acrílico que tienen diferentes características de endurecimiento y de desempeño, las cuales deben ser entendidas por el especificador y el usuario. Algunos adhesivos son idóneos para usos estructurales (figura 2a) y otros para usos no estructurales (figura 2b) dependiendo de las características del adhesivo. La normativa sobre adhesivos especifica los requerimientos de desempeño que debe satisfacer el adhesivo para una aplicación o uso determinado (ver capítulo 5 Especificaciones).

A continuación aspectos de comportamiento y diseño de anclajes químicos, para anclajes con relleno ver [4].

Anclaje de pernos roscados para conexión de estructura metálica nueva de arriostamiento

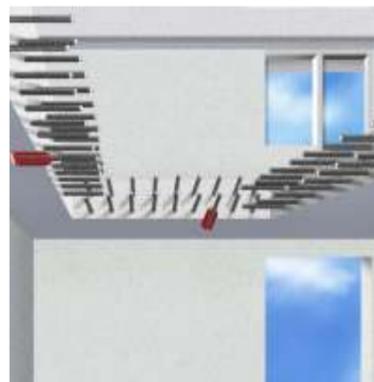


Figura 2a. Aplicaciones típicas de anclajes estructurales de varillas

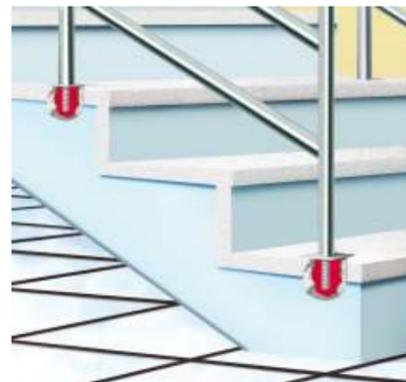


Figura 2b. Aplicaciones típicas de anclajes no estructurales



3. Comportamiento de anclajes químicos

Un anclaje es estrictamente un "sistema de anclaje" dado los diferentes parámetros que están involucrados o que influyen su comportamiento tales como: diferentes materiales (concreto, acero, adhesivo), dimensiones (diámetro del perno, diámetro de la perforación, profundidad), condiciones de colocación (distancia al borde, distancia entre pernos o barras), condiciones de operación (cargas estáticas, dinámicas, tensión, corte, flexión o combinadas), condiciones ambientales (temperatura, humedad, ataque químico), condiciones del sustrato (resistencia, fisuras), condiciones de instalación (humedad y limpieza de la perforación), método de instalación (cápsula, inyección), sistema de perforación (taladro rotopercutor, equipo de aire comprimido).

De aquí que forma el estudio del comportamiento o desempeño de un sistema de anclaje involucre, simultáneamente, varios parámetros y no uno en especial y esto es importante tenerlo en cuenta en el diseño y evaluación de sistemas de anclaje. A continuación se mencionan los aspectos principales del comportamiento de anclajes químicos tanto en concreto sin fisuras como con fisuras [1, 2, 3, 4].

3.1 Principios de acción de sistemas de anclaje

Los principios de acción o los principios de cómo operan los sistemas de anclaje son (figura 3):

- Acción por forma
- Acción por fricción
- Acción por material

Este documento hace referencia principalmente a anclajes post-instalados de tipo químico que trabajan principalmente con acción por material.

3.2 Posibles cargas en anclajes

Los anclajes reciben cargas a través de accesorios conectados al anclaje embebido. La carga puede consistir en tensión y en cortante o combinaciones de tensión y cortante (figura 4) y también pueden estar sujetos a flexión dependiendo de la forma como se transfiera el cortante a través del accesorio conectado.

Hasta el momento la mayoría de las pruebas de anclajes han sido desarrolladas en concreto sin fisuras. Dado que el fisuramiento ocurre en casi todo concreto, la evaluación en concreto sin fisuras proporciona las bases para el entendimiento del comportamiento del sistema de anclaje en concreto con fisuras.

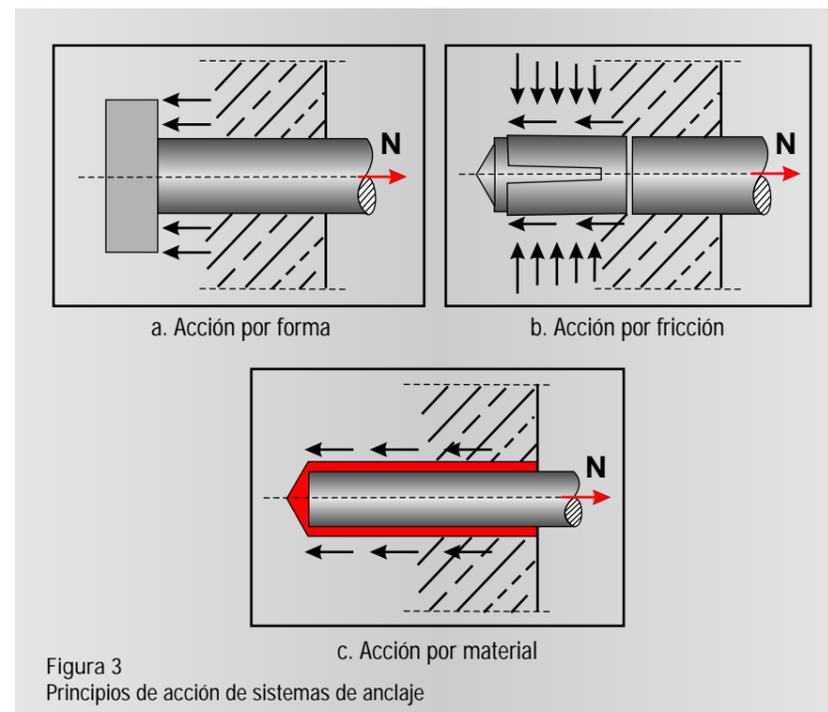


Figura 3. Principios de acción de sistemas de anclaje

3.3 Comportamiento de anclajes químicos en concreto sin fisuras

Los anclajes químicos presentan un comportamiento elástico hasta cerca de la carga máxima. Mientras las curvas de carga-desplazamiento de anclajes químicos muestran relativamente bajos coeficientes de variación en comparación con otros tipos de anclajes como los de expansión, las resistencias a la adherencia varían considerablemente dependiendo de la mezcla del compo-

nente adhesivo usado y del procedimiento de instalación. Bajo cargas sostenidas la deformación se incrementará con el tiempo debido a la fluencia plástica de los materiales y la magnitud de la deformación varía según el tipo de adhesivo. Los adhesivos poliéster presentan mayores deformaciones, bajo carga sostenida, que los adhesivos cementosos y epóxicos. En ambientes interiores se registran en general menores deformaciones que en ambientes exteriores.

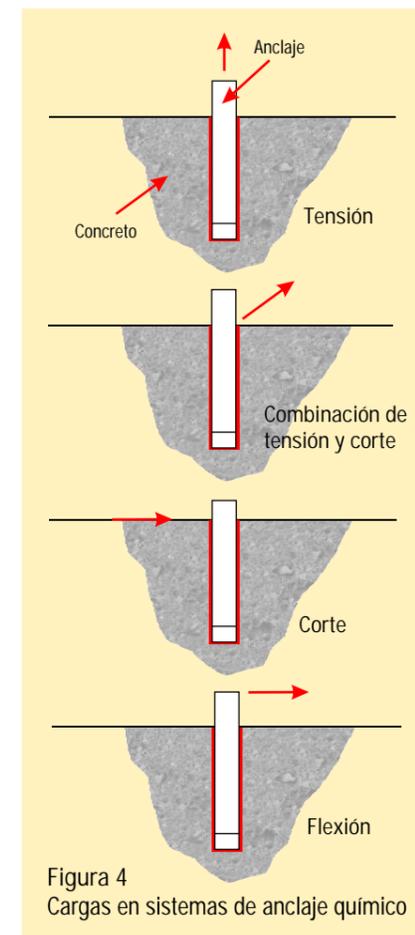


Figura 4. Cargas en sistemas de anclaje químico



Anclaje de varillas para conectar el nuevo recrecimiento o encaquetado de concreto en columnas.

Adhesivos para el anclaje de pernos y varillas al concreto

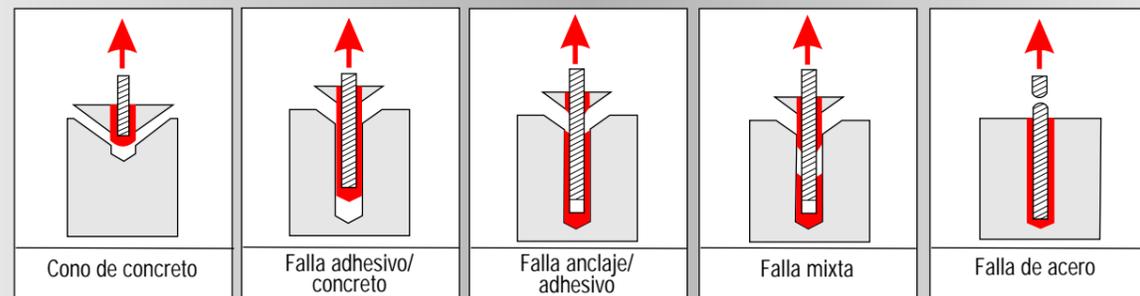


Figura 5. Modos de falla bajo cargas de tensión de sistemas de anclaje (Concreto sin fisuras)

Modos de falla bajo carga de tensión

Los principales modos de falla de anclajes (figura 5) sometidos a carga de tensión son:

- Falla del cono de concreto.
- Falla de adherencia adhesivo-concreto.
Falla de adherencia anclaje-adhesivo.
Falla adherencia mixta, adhesivo-concreto y anclaje-adhesivo.
- Falla del anclaje (acero).
- Falla por rajadura.

a. Falla del cono de concreto

Cuando la longitud embebida de un anclaje o grupo de anclajes es insuficiente para desarrollar la resistencia a la tensión del acero del anclaje, una falla por extracción del cono de concreto es el principal modo de falla.

b. Falla por adherencia

La falla por adherencia también puede ocurrir en los anclajes químicos con longitud embebida insuficiente para causar la falla del cono de concreto o para desarrollar la resistencia del acero del anclaje.

La capacidad de extracción de los anclajes químicos se incrementa aumentando la profundidad del embebido, no obstante el esfuerzo de adherencia ya no es uniforme y si la carga a tensión es suficientemente alta, la falla se inicia con una falla en el concreto en la porción superior del concreto y luego la adherencia falla en el resto del embebido o sea que se produce una falla combinada. La falla puede ser entre el anclaje y el adhesivo o entre el adhesivo y el concreto.

c. Falla del acero

La resistencia del acero del anclaje controla la falla cuando el embebido o profundidad del anclaje es suficiente para descartar la falla del concreto. El modo de falla es la rotura del acero de anclaje con una ductilidad que depende del tipo de acero del anclaje y de la longitud embebida.



Anclaje de varillas para conectar nuevos muros de concreto

d. Falla por rajadura del concreto

Este modo de falla ocurrirá solamente si las dimensiones del concreto son demasiado pequeñas, los anclajes son colocados demasiado cerca del borde o demasiado cerca unos de otros. La carga de falla es usualmente menor que para una falla del cono de concreto.

Modos de falla a cortante

Dependiendo de la distancia al borde y del embebido del anclaje, la falla puede ser por cortante del anclaje (para embebidos profundos) con o sin descascarado del concreto precediendo la falla del acero o por cortante del concreto (falla del concreto) en el caso de los anclajes cargados cerca de un borde.

La carga a cortante generalmente produce desplazamientos más grandes que la carga a tensión. Esto puede ser atribuido al doblado de la varilla del anclaje y a la deformación del concreto en la dirección de la carga. En caso de anclajes post-instalados esto es especialmente cierto si el anclaje no está a ras con el concreto en la parte superior de la abertura del hueco, por ejemplo si el concreto fue descascarado durante la operación de taladrado.

Combinación de carga de tensión y cortante

El cálculo de la carga de falla debe contemplar la acción combinada de tensión y cortante y no se deben tratar por separado ya que se puede sobreestimar la capacidad del anclaje.

3.4 Comportamiento de anclajes químicos en concreto fisurado.

Cuando los anclajes son instalados en la zona de tensión de los elementos de concreto reforzado, debe asumirse que aparecerán fisuras en el concreto debido a la baja resistencia a la tensión del mismo. La resistencia a la tensión del concreto puede ser total o parcialmente agotada por la restricción de las deformaciones inducidas y debidas a contracción, temperatura, o flexión, o por el mismo anclaje. Las fisuras pueden ir en una dirección (fisuras simples) o en dos direcciones (fisuras que se cruzan, en el caso de losas que trabajan en dos direcciones).

Si el concreto se fisura, la experiencia ha mostrado que existe una alta probabilidad de que la fisura se propague a través de la localización del anclaje. Las consideraciones teóricas también indican que las fisuras se pueden propagar a través de la localización del anclaje. Cuando el anclaje es cargado, crea fuerzas de rajadura (tensión) en el extremo embebido del anclaje. Estos esfuerzos de tensión en el concreto se sumarían a otros esfuerzos de tensión originados por altos momentos de flexión localizados (por ejemplo esfuerzos de flexión y esfuerzos de retracción restringidos). Cuando son usados los anclajes post-instalados, el agujero taladrado puede también actuar como una muesca o producir una sección transversal en

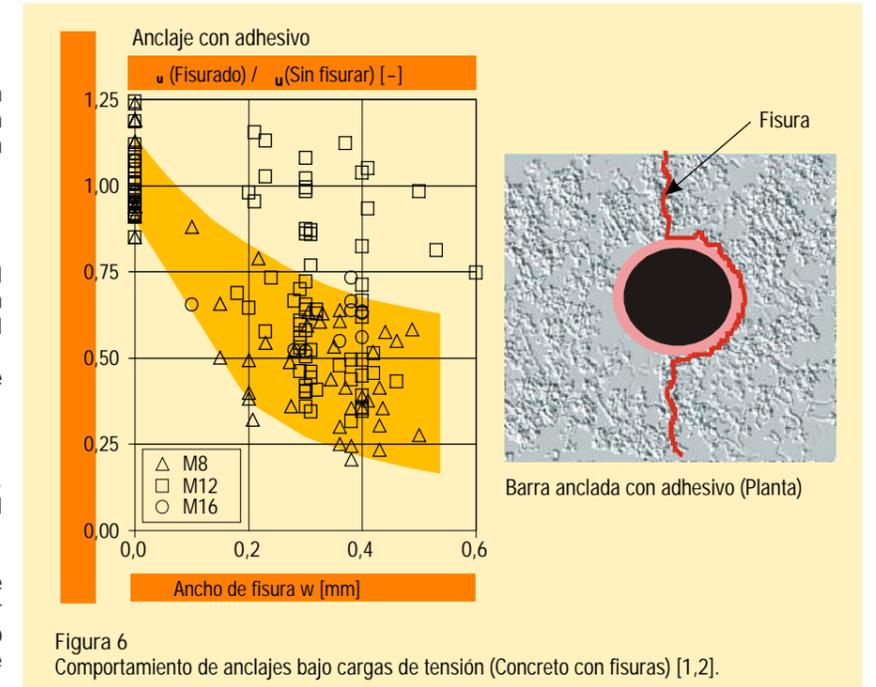


Figura 6. Comportamiento de anclajes bajo cargas de tensión (Concreto con fisuras) [1,2].

el elemento de concreto con un área de concreto reducida.

En cuanto a relajamiento los anclajes adheridos instalados en las fisuras mostrarán un desplazamiento inicial durante el ensanchamiento de la fisura. La cantidad de este desplazamiento depende del diseño del anclaje y del ancho de la fisura.

Modos de falla a tensión

Los modos de falla descritos para concreto sin fisuras son también válidos para anclajes en concreto fisurado. Los desplazamientos de anclajes localizados en fisuras se comportan de una manera similar a anclajes en concreto sin fisuras hasta una carga crítica. Esta carga crítica depende del tipo de fisura y del ancho de fisura. Para cargas más altas el desplazamiento de los anclajes en las fisuras es mucho mayor que el valor esperado en concreto sin fisuras y la capacidad del anclaje se reduce significativamente.

En el caso de los anclajes adheridos (donde se usó como relleno mortero cementoso o mortero adhesivo químico) las fisuras pueden perturbar la adherencia entre la interfaz concreto-relleno. Por tanto la carga de falla de los anclajes adheridos en concreto fisurado es significativamente más pequeña que el valor medido en el concreto sin fisuras (figura 6). Si el ancho de las fisuras va cambiando debido a la fluctuación de las cargas, la carga de falla del anclaje es aún más reducida o el anclaje puede hasta ser extraído.

Si se presentan fisuras en el concreto paralelas a la barra entonces la resistencia de adherencia de

la varilla post-instalada será reducida. Bajo condiciones similares los anclajes ubicados en la intersección de dos fisuras fallan en cargas aproximadamente un 20 por ciento inferiores que los anclajes colocados en fisuras que corren en una única dirección. Esto puede ser explicado por el hecho de que los efectos descritos arriba ocurrirán en ambas direcciones y no en una dirección como en el caso de las fisuras simples.

A continuación se mencionan aspectos relacionados con la influencia de los esfuerzos a tensión generados por la acción estructural sobre la resistencia del anclaje.

El traslape de esfuerzos de tensión en el concreto causados para las cargas actuantes sobre la estructura y los esfuerzos inducidos localmente por los anclajes cargados afectan la resistencia del anclaje y pueden reducir la resistencia del elemento en donde está colocado el anclaje. Por ejemplo si los anclajes están localizados en la zona de cortante de vigas y losas y en la zona de anclaje y traslapes de barras de refuerzo, ya han sido inducidos altos esfuerzos de tensión locales en el concreto debido a las cargas de la estructura y se combinan con los esfuerzos de tensión inducidos en el concreto por el anclaje. En este caso la transferencia de los esfuerzos de tensión en el concreto es crítica especialmente en la zona de traslape si no existe confinamiento con estribos.

Si son usados anclajes cortos, ellos están anclados en el recubrimiento de concreto o entre las barras de refuerzo. En estas circunstancias son inducidos altos esfuerzos de tensión en el recubrimiento de concreto por la acción de adherencia

Adhesivos para el anclaje de pernos y varillas al concreto

de las barras de refuerzo. Estos esfuerzos interceptan los esfuerzos de tensión inducidos en el concreto por el anclaje.

La resistencia del concreto en el recubrimiento y en la región de las varillas puede ser inferior que en el núcleo del elemento debido a la pobre compactación, especialmente en las secciones con refuerzo con poco espaciamiento. Además este acero de refuerzo reduce el área de concreto disponible para la transmisión de las fuerzas de tensión. Debido a estas condiciones se debe esperar una reducción significativa de la carga de falla de todos los tipos de anclaje. Otra aplicación crítica es la transferencia de fuerzas dentro de la zona de tensión en la región de cortante de losas sin refuerzo a cortante.

En conclusión y de acuerdo con lo explicado anteriormente la capacidad de carga de anclajes adheridos que trabajan por *acción por material* puede verse reducida considerablemente en concreto fisurado.

Modos de falla y resistencia última a cortante
En anclajes colocados en concreto fisurado y cargados a corte fallará el concreto (poca distancia al borde), o fallará el perno (grandes distancias al borde) o una combinación de las dos. Bajo condiciones similares la carga de falla de anclajes con una poca distancia al borde y cargados hacia el borde serán menores en concreto fisurado que en concreto sin fisuras debido a la perturbación de la distribución de esfuerzos en el concreto por las fisuras. Se puede asumir que la disminución de resistencia es casi la misma que para las cargas de tensión. La reducción es menor si existe refuerzo en el borde.



Anclaje de varillas para conectar nuevos muros de concreto



Anclaje químico de barras para conectar nueva losa de concreto

4. Diseño de anclajes químicos

Las características del sistema de anclaje como la profundidad, el diámetro del perno o varilla, distancias entre anclaje y al borde para la capacidad de carga requerida serán definidas por el diseñador de acuerdo con un estándar de diseño de anclajes químicos o de acuerdo con resultados de ensayos hechos al sistema de anclaje.

A continuación se presentan guías, estándares e investigaciones de Estados Unidos de Norteamérica y Europa que proporcionan criterios de diseño para evaluar la capacidad de carga de un sistema de anclaje químico [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,13,16].

4.1 ACI 355.1R, sección 4.4.1.2 Anclajes adheridos [1].

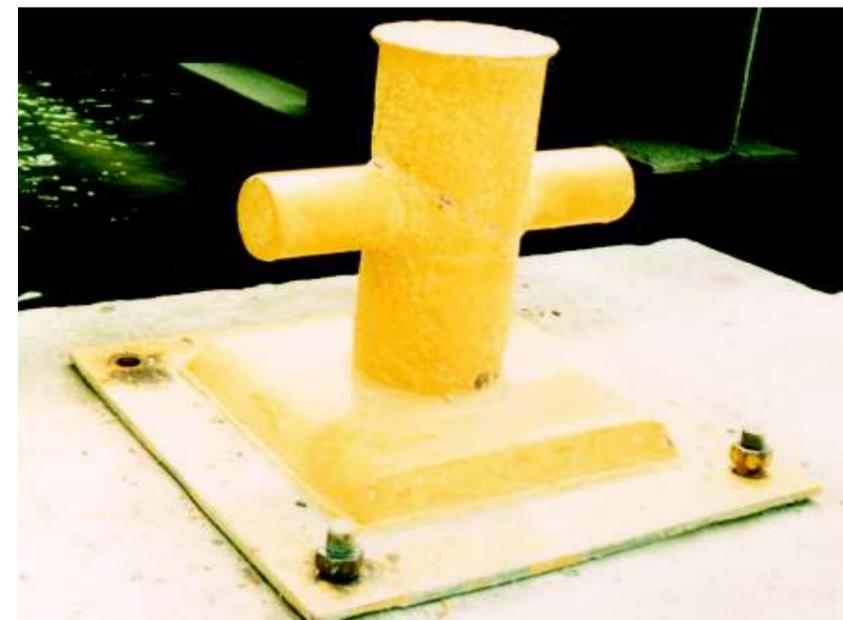
Cuando la carga del anclaje es transferida del acero al concreto mediante el desarrollo de la adherencia, la transferencia del máximo esfuerzo ocurre cerca de la superficie y disminuye con la profundidad. La longitud embebida, requerida para desarrollar completamente la resistencia del acero en tensión, es una función de la rugosidad de la superficie del perno de anclaje o barra (tamaño y

distribución de las deformaciones). Bajo cargas sostenidas, la adherencia es afectada por la fluencia plástica del concreto en la zona de alto esfuerzo cerca de la superficie. Para los anclajes adheridos se usan comúnmente barras lisas, barras o varillas de refuerzo corrugadas y pernos roscados totalmente. Las longitudes de desarrollo básicas que aparecen en el código ACI están basadas en el recubrimiento mínimo (c) de concreto (distancia al borde) y en el espaciamiento mínimo (s) de un número ilimitado de varillas. La longitud de desarrollo básica de varillas corrugadas con un gancho de 90° al final de la barra es aproximadamente el 50 por ciento de la longitud de desarrollo de las barras rectas. El uso de varillas lisas para refuerzo fue excluido del Código de Construcción en 1971 (ACI-ASCE Committee 326, 1962). La longitud de desarrollo para barras lisas es generalmente considerada como el doble de las barras corrugadas.

Las longitudes de desarrollo dadas en ACI 318 aseguran que la capacidad del concreto sea mayor que la fuerza de fluencia de la varilla (falla por fluencia del acero). El modo de falla por "rotura del cono de concreto" no fue considerado porque comúnmente este modo no ocurre cuando se desarrolla la falla del refuerzo. Sin embargo, el modo de falla "rotura del cono de concreto", al igual que la falla por adherencia o combinación de estos, es bastante típico para anclajes superficiales.

Excluyendo condiciones de distancia a los bordes y las condiciones de espaciado entre varillas, la resistencia de fluencia de una barra individual puede ser desarrollada en concreto sin fisuras de 21 MPa en una profundidad aproximada de 15 diámetros de la varilla (varilla recta) o 10 diámetros de la varilla (varilla con gancho). Para descartar una falla por rotura del cono de concreto, la longitud de desarrollo debe incrementarse por un factor superior a cuatro para tener en cuenta los efectos de recubrimiento, número y espaciado de las varillas. Un incremento adicional de la longitud de desarrollo por un factor de uno y uno y medio a dos es necesario si los anclajes están localizados en una zona a tensión y fisurada de un elemento de concreto reforzado. Las estipulaciones del código serán muy conservadoras si son ancladas barras individuales bien alejadas de los bordes en concreto sin fisuras. No obstante, las estipulaciones del código pueden no ser conservadoras si un grupo de varillas, con o sin una pequeña distancia al borde, es anclado en concreto sin fisuras o en una zona de tensión (fisurada) de elementos de concreto reforzado.

4.2 Ensayos a anclajes químicos [10, 13, 16]
Los ensayos especificados en el estándar AC 58 del ICC [10] sirven para controlar la calidad del adhesivo (ver capítulo 5 Especificaciones) y para obtener datos de capacidad de carga de servicio de sistemas de anclaje como pernos roscados y varillas de refuerzo adheridos con productos adhesivos. Los criterios del AC 58 son válidos sólo para concretos sin fisuras.



Falla de anclaje químico por temperatura ambiente de servicio mayor a la resistida por el adhesivo

El diseño es por esfuerzos admisibles (ASD) según el 2000 IBC (International Building Code). Un período de transición empezó con el 2003 IBC. Nuevos criterios fueron desarrollados en el AC 308 [10] para considerar diseño por resistencia última, aspectos sísmicos y concreto fisurado. A partir del 2007 el ICC-ES estará usando el 2006 IBC. Por lo tanto el AC 58 no será mas aplicable para productos de anclajes al concreto que cumplan con el 2006 IBC.

En el AC 308 se especifica que los criterios no aplican para los siguientes casos: evaluación o diseño de anclajes para altos ciclos de fatiga; evaluación de sistemas adhesivos a granel mezclados en recipientes abiertos; evaluación o diseño de elementos fijados a la superficie de concreto con compuestos adhesivos; los criterios aplican para la evaluación y uso de anclajes químicos para los casos donde aplica la teoría de diseño de anclajes (falla por adherencia o del concreto), no aplica para la evaluación o diseño de barras de refuerzo post-instaladas determinadas de acuerdo con los conceptos de desarrollo del refuerzo (falla del acero). El diseño de los anclajes se hace según el

ACI 318-02 Apéndice D, modificado según el capítulo 3 del estándar, tanto para concreto con fisuras como sin fisuras.

Los ensayos especificados en el estándar EOTA-ETAG No. 001 [13] sirven para controlar la calidad del adhesivo (ver capítulo 5 Especificaciones) y para obtener datos de capacidad de carga de sistemas de anclaje. Los criterios del ETAG No. 001 son válidos para concreto con fisuras y sin fisuras.

La información de capacidad de carga dada en tablas elaboradas con base en los resultados de ensayos es válida únicamente para las condiciones allí consignadas (profundidad, espaciado, distancia al borde, fisuras o no fisuras en el concreto, tipo de concreto y acero) y es de responsabilidad del diseñador verificar si los datos son válidos o aplican para un caso particular de diseño [5]. En concreto con fisuras la capacidad de un anclaje químico se reduce con respecto a un concreto sin fisuras [1, 2].

4.3 Investigaciones de anclajes químicos [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]

Existen varios trabajos de investigación de anclajes químicos que tratan de explicar su comportamiento y de dar guías o lineamientos de diseño. En [6] se dan lineamientos de diseño de varillas de refuerzo ancladas al concreto, se dan ecuaciones empíricas de cálculo de la capacidad a tensión última de varillas ancladas al concreto con morteros adhesivos en función de la resistencia a compresión del concreto y de la profundidad de anclaje, para los modos de falla del acero y por falla de adherencia del concreto y para diseño se toma el menor de los dos valores. También se dan los factores de corrección por espaciado y distancia al borde del anclaje. Válido para concreto sin fisuras. No se dan lineamientos para interacción tensión-cortante.

Adhesivos para el anclaje de pernos y varillas al concreto



Falla de anclaje químico por mal mezclado de los componentes

En [9] se muestran los resultados de la investigación del anclaje de varillas de refuerzo, a continuación se hace un resumen de los resultados. Conexiones con varillas de refuerzo post-instaladas con morteros adhesivos son empleadas cada vez más. El dimensionado de las longitudes de anclaje se lleva a cabo con base en datos de los fabricantes. Sin embargo las longitudes de anclaje recomendadas por los fabricantes son mas cortas que las longitudes de anclaje según DIN 1045 o el Eurocodigo 2. Se llevaron a cabo ensayos de arrancamiento de varillas solas y de traslapos y para comparación se investigó el comportamiento de varillas pre-instaladas.

Los resultados de los ensayos muestran que el comportamiento de adherencia de varillas post-instaladas y pre-instaladas en concreto sin fisuras no se diferencia sustancialmente si es usado un adhesivo apropiado, si el hueco es limpiado muy bien y el adhesivo es inyectado o colocado de manera apropiada. Para el montaje se requiere equipo especial. Diferencias en la capacidad de carga de varillas post-instaladas y pre-instaladas se presentan en anclajes en concreto fisurado (fisuras paralelas al eje de la varilla) así como en altas temperaturas.

Con base en los resultados de los ensayos se recomienda dimensionar la longitud de anclaje de acuerdo con DIN 1045 o el Eurocodigo 2 (para garantizar falla del acero por fluencia). Sin embargo se ha de aumentar el recubrimiento de concreto, la distancia entre varillas y la longitud de anclaje mínima con respecto a los valores de varillas pre-instaladas.

4.4 Guía de diseño fib [16]

La Guía de diseño fib, parte III, contempla la resistencia característica de fijaciones con anclajes químicos y conexiones con barras de refuerzo

post-instaladas. Define como anclajes químicos los que tienen una longitud de anclaje entre 6 y 20 veces el diámetro del anclaje y un diámetro de la perforación menor a 1.5 veces el diámetro del anclaje, cargados en tensión, cortante o combinación de tensión y cortante, donde la falla por adherencia o concreto controla la resistencia a tensión. Hay criterios de diseño tanto para concreto con fisuras como sin fisuras e indica que el diseño se puede hacer también según el EOTA ETAG 001, o según el ACI 318 Apéndice D.

En el caso de varillas de refuerzo post-instaladas solo se contemplan fuerzas de tensión, el modo de falla es por adherencia o falla del acero, en el diseño esta implícito que el concreto esta fisurado, generalmente se asume el diseño por fluencia del acero y la longitud de desarrollo del refuerzo es la recomendada en los códigos de diseño de concreto reforzado tales como CEB-FIP, Eurocodigo 2, ACI 318 capítulo 12.

En los documentos de diseño se debe proporcionar mínimo la siguiente información: resistencia del concreto y grado del refuerzo; diámetro, espaciamiento, recubrimiento del concreto y profundidad del hueco; sistema de taladrado incluido accesorios, por ejemplo para taladrado de huecos largos cerca del borde; cantidad de relleno requerido para cada hueco; requerimientos de preparación de la junta, incluido grado de rugosidad de la superficie; espesor del recubrimiento de concreto o tipo, posición y fijación de material aislante según requerido para protección al fuego.

5. Especificaciones y evaluación de anclajes químicos y adhesivos

A continuación se presentan especificaciones y guías de Estados Unidos de Norteamérica y Europa para anclajes químicos y adhesivos con los

criterios y métodos de ensayo usados para evaluar el material adhesivo y para evaluar la capacidad de carga de un sistema de anclaje químico [10, 11, 12, 13, 14].

5.1 Estándar AC 58 y AC 308 del ICC-ES [10] Especificación AC 58 del ICC-ES (International Code Council-Evaluation Service) Criterios de aceptación para anclajes químicos en elementos de concreto y mampostería.

El estándar contempla diferentes tipos de adhesivos como epóxicos, poliéster, viniléster, poliuretanos y metilmetacrilatos.

En la sección Propiedades del Material se especifica que el adhesivo debe ser ensayado en tensión y cortante usando una barra de acero de alta resistencia para desarrollar la resistencia de adherencia del material y se dan los ensayos de control de calidad para el material adhesivo o para los componentes, para que sirvan de huella del material:

- Espectrografía Infrarroja.
- Resistencia de Adherencia.
- Gravedad Específica.
- Tiempo Gel.

Se especifica que pueden ser propuestos otros métodos de ensayo para control de calidad y que deben ser aceptados previamente por el ICC-ES.

En el capítulo 4 (Ensayos) se especifica que los anclajes deben ser ensayados de acuerdo con la tabla 3 y allí se define cuales ensayos son obligatorios (M) u opcionales (O). Existen dos grupos de ensayos:

- En condiciones de servicio: carga en tensión, en cortante, en tensión a 45°.
- Ensayos ambientales y sismo: resistencia al fuego, fluencia plástica, temperatura de servicio, humedad, hielo-deshielo, sísmico.

Los ensayos estáticos de tensión y cortante en condiciones de servicio se harán según ASTM E 488 Métodos de ensayo estándar para resistencia de anclajes en concreto y mampostería. Estos ensayos deben ser no restringidos lo que significa que el equipo no debe imponer cargas de reacción de extracción y corte dentro de una distancia dada en la tabla 2 de ASTM E 488 y así no excluir la falla por concreto. Los ensayos sísmicos se hacen de acuerdo con los procedimientos descritos en AC 58 sección 4.4.7 y son opcionales.

Los ensayos en condiciones de servicio sirven para determinar la capacidad de carga o desempeño del sistema de anclaje a tensión y cortante para usar en datos de diseño y para investigar los efectos de múltiples factores influenciadores que incluyen tipos de anclaje, material adhesivo o relleno, dirección de carga, resistencia del concreto, localización del anclaje, incluyendo espaciamiento entre anclajes y distancia al borde, y profundidad del anclaje (AC 58, sección 4.2.1). De

Figura 7a Ensayos no confinados (no restringidos) a tensión de anclajes químicos [10,13,15].

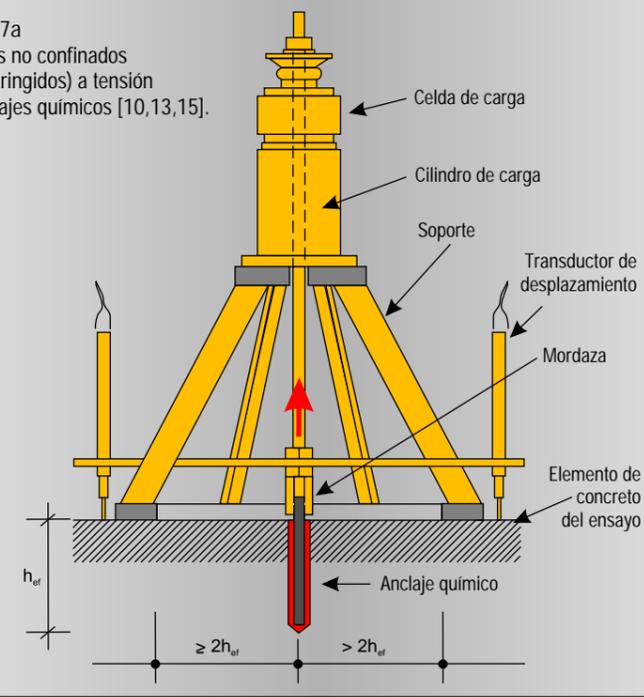
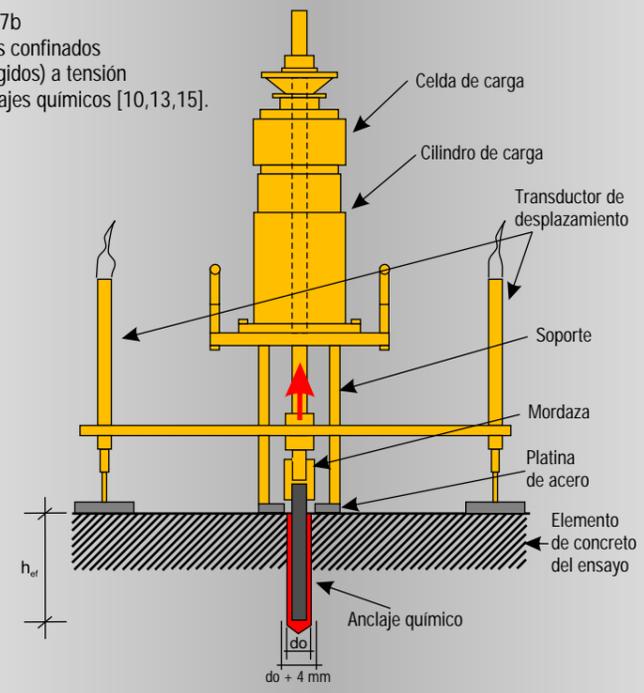


Figura 7b Ensayos confinados (restringidos) a tensión de anclajes químicos [10,13,15].



esta forma con ensayos estáticos, de fatiga y sísmicos no restringidos no se puede caracterizar o evaluar un solo parámetro, por ejemplo solo el adhesivo y sirven exclusivamente para estudiar todo el sistema de anclaje.

Los ensayos ambientales se harán según el ASTM E-1512 Métodos de ensayo estándar para ensayar el desempeño de adherencia de anclajes químicos

sección 7.4 (AC 58, tabla 3) y están diseñados para determinar el efecto de carga e influencia ambiental en la resistencia de adherencia del adhesivo. Para asegurar la falla de adherencia se debe usar un acero de alta resistencia para prevenir (excluir) la falla por fluencia del acero (ASTM E-1512, sección 7.4.1). Los ensayos pueden ser restringidos o no restringidos. El ensayo no restringido se hará como está definido en ASTM

E-488 y el ensayo restringido se hará como está definido en ASTM E-488 excepto que el espaciamiento de la base del equipo no aplica y la base de reacción debe ser aproximadamente igual al diámetro del hueco perforado para excluir la falla del concreto y permitir la falla por adherencia (ASTM E-1512, sección 7.4.2). El único ensayo ambiental obligatorio es el de temperatura de servicio.

En el capítulo Cargas Admisibles, Tabla 2, se dan los factores de seguridad a usarse y las ecuaciones de interacción (1 y 2) para combinaciones de carga tensión y cortante.

Los criterios de aceptación del ICC AC 58 son válidos sólo para concretos sin fisuras (AC 58 sección 6.6.4).

A continuación se describen los aspectos de evaluación de anclajes químicos contenidos en el AC 308 del ICC-ES. Se contemplan programas de ensayos para la evaluación de sistemas de anclajes químicos para uso en concreto sin fisuras (tabla 4.1 del estándar) y para uso en concreto con fisuras y sin fisuras (tablas 4.2, 4.3 y 4.4 del estándar); requerimientos para los especímenes de ensayo, instalación del anclaje y ensayo; requerimientos para identificación del anclaje; ensayos de referencia; ensayos de fiabilidad; ensayos en condiciones de servicio; ensayos suplementarios; evaluación; presentación de datos; requerimientos para laboratorios de evaluación y ensayos independientes; requerimientos de control de calidad, incluye ensayos de campo.

5.2 ACI 503.5R, Guía para la selección de adhesivos polímeros con concreto [11]

Este estándar presenta una guía de selección de adhesivos. Para el caso de anclajes al concreto recomienda los sistemas adhesivos epóxicos (E), poliéster (P) y monómeros de metilmetacrilato (M). Para el caso de adhesivos epóxicos el estándar hace referencia a la especificación ASTM C-881 para los tipos de adhesivos epóxicos de acuerdo con su uso y los requerimientos que deben cumplir.

ASTM C 881 Especificación estándar para sistemas adhesivos con base en resina epóxica para concreto.

La especificación norteamericana ASTM C881, clasifica los diferentes tipos de adhesivos epóxicos de acuerdo a su uso en siete tipos (I a VII), y para cada tipo da las especificaciones correspondientes. El adhesivo epóxico para uso en pegadas estructurales de concreto endurecido a endurecido y otros materiales esta clasificado como tipo IV y como tipo I para pegadas no estructurales.

En el ASTM C-881 se dan los requerimientos para cada tipo de adhesivo epóxico de resistencia de adherencia (ASTM C 882), temperatura de deflexión HDT, absorción de agua, resistencia a compresión, resistencia a la tensión, elongación a la rotura, retracción, módulo de elasticidad y



Adhesivos para el anclaje de pernos y varillas al concreto

gravedad específica, viscosidad, tiempo gel. Entre otros parámetros uno de los que hace la diferencia entre uso estructural o no estructural del adhesivo es la propiedad del HDT. La temperatura de deflexión HDT indica la temperatura a la cual el adhesivo se ablanda disminuyendo sus propiedades mecánicas, por esta razón el adhesivo debe tener un HDT mayor que la máxima temperatura de servicio a la que va a estar expuesto.

5.3 DOT Florida, Sección 926 Compuestos Epóxicos, Sección 937 Sistemas de Adhesivos para Aplicaciones Estructurales, Sección 416 Instalación [12]

Según este estándar los adhesivos Tipo J son los adhesivos epóxicos a usar para instalación de varillas y pernos de anclaje y deberá cumplir los requerimientos dados en la sección 937 y deberán ser instalados de acuerdo con la sección 416.

Las propiedades de identificación del adhesivo (huella) están especificados en la sección 937-4 y serán determinadas de acuerdo con los ensayos FM 5-569 Florida Method of Test for Material Properties Identification of Adhesive-Bonded Anchors and Dowels. Las propiedades a determinar en concreto sin fisuras son, espectrografía de absorción infrarroja, resistencia de adherencia (FM 5-568), peso promedio, densidad, tiempo gel, tiempo de curado. Los requerimientos de desempeño de Resistencia de Adherencia Uniforme del adhesivo están especificados en la tabla de la sección 937-3 y los ensayos deberán hacerse de acuerdo con FM 5-568 Florida Method of Test for Anchor System Test for Adhesive-Bonded Anchors and Dowels. Los ensayos de adherencia a realizar son: tensión confinada, instalación en hueco húmedo, elevada temperatura, orientación horizontal, curado a corto plazo, tensión no confinada, carga a largo plazo (fluencia plástica).

El FM 5-568 sección 8, especifica que los ensayos de adherencia deben hacerse según ASTM E 488 y ASTM E 1512 y cuales ensayos son confinados (restringidos) y cuales no confinados (no restringidos). En el ensayo confinado la fuerza de reacción en el ensayo estático a tensión está lo suficientemente cerca al anclaje para excluir la falla por concreto pero permitiendo la falla de adherencia y en el ensayo no confinado la fuerza de reacción está a suficiente distancia para permitir la falla de concreto y/o de adherencia (sección 3).

En la sección 416-6 se dan indicaciones sobre los ensayos de campo de anclajes químicos instalados y que deberán hacerse por un laboratorio independiente aprobado por el ingeniero y de acuerdo con las secciones que apliquen de ASTM E 488 y ASTM E 1512. Se deben realizar ensayos estáticos a tensión restringidos para prevenir da-

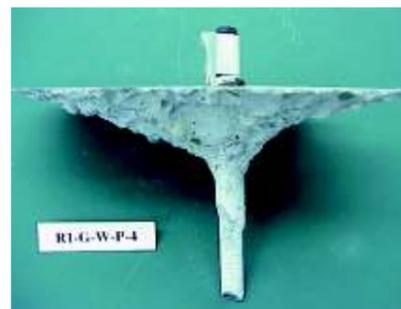


Equipo para ensayo no confinado a tensión de anclajes químicos [15].

ño del concreto circundante. No se requiere medida del desplazamiento. Ensayar anclajes individuales para probar carga en tensión a 85 % de la Resistencia de Adherencia Especificada en la sección 937 basado en el diámetro nominal del anclaje y en la profundidad de embebido pero no más que el 90 % de la resistencia de fluencia del anclaje. También se dan indicaciones del muestreo.



Equipo para ensayo confinado a tensión de anclajes químicos [15].



Falla mixta de adherencia y concreto de anclaje químico con ensayo no confinado a tensión [15].

En la sección 416-7 se dan los criterios de aceptación. El ingeniero debe basar la aceptación del anclaje químico determinando que se haya cumplido con los requerimientos del material de la sección 937, los requerimientos de instalación y ensayo de esta sección 416 y los requerimientos de colocación de los planos.

5.4 EOTA, ETAG No. 001 Anclajes Metálicos para Uso en Concreto, Parte Cinco: Anclajes Adheridos [13].

En las figuras 5.1 y 5.2 del estándar (figuras 7a y 7b) se muestran los ensayos a tensión no confinados (no restringidos) y los ensayos a tensión confinados (restringidos). En la tabla 5.1 del estándar se especifican los ensayos de desempeño para anclajes químicos a ser usados en concreto

con fisuras y sin fisuras y en la tabla 5.2 del estándar se especifican los ensayos de desempeño para anclajes químicos a ser usados en concreto sin fisuras. Estos ensayos se deben realizar como ensayos confinados o restringidos a excepción del ensayo de funcionamiento en fisuras con movimiento (tabla 5.1) y para funcionamiento en concretos de alta resistencia (tabla 5.2) que se hacen no confinados.

5.5 Estándar Europeo EN 1504: Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de concreto: Parte 6: Anclaje de varillas de refuerzo de acero [14]

En el estándar EN 1504-6 se especifican los requerimientos de identificación, desempeño (incluido durabilidad), y seguridad de los productos a ser usados para el anclaje de barras de acero de refuerzo como es usado para reforzamiento estructural para asegurar la continuidad de estructuras de concreto reforzado. Están incluidos los adhesivos tipo PC hechos con base en polímeros o resinas sintéticas. Los requerimientos de desempeño se encuentran en la Tabla 3 del estándar para las propiedades de resistencia a la extracción, contenido de ión cloruro, temperatura de transición de vidrio (Tg) y fluencia plástica bajo carga de tensión.

6. Instalación de anclajes químicos

En la literatura técnica de los fabricantes de adhesivos se dan las indicaciones para la instalación de los anclajes químicos (figura 8). La instalación de anclajes químicos debe ser realizada por personal especialmente entrenado y certificado, con uso de equipos apropiados. Una aplicación defectuosa de un anclaje químico y que ocasiona la falla del mismo no significa que el adhesivo usado no es el adecuado o que el adhesivo falló. La idoneidad del adhesivo para el uso en anclajes se certifica con el cumplimiento de unos requerimientos de desempeño definidos en una especificación (capítulo 5). De la misma manera la falla del adhesivo por exposición a ambientes para los cuales no está diseñado, no significa que el adhesivo no es idóneo sino que estuvo mal especificado. Por ejemplo si el adhesivo tiene una temperatura de servicio de 30°C y se expone a una temperatura de 60°C y falla, esto se debió contemplar en el diseño para especificar el adhesivo apropiado que soportara dicha temperatura.

En [5] se dan indicaciones con respecto al tamaño del hueco. A continuación algunas indicaciones al respecto. Si el sistema epóxico es puro o casi puro (no contiene arena o muy poca) la perforación o diámetro del hueco para el anclaje se recomienda sea 1/8 de pulgada (3.2 mm) a 1/4 de pulgada (6.4 mm) mayor al diámetro de la barra a

Tabla 3, EN 1504-6 Requerimientos de desempeño para productos de anclaje [14]

Propiedad	Método de ensayo	Requerimiento
(1) Extracción	prEN 1881	Desplazamiento \leq 0.6 mm a una carga de 75 KN
(2) Contenido de ión cloruro	EN 1015-17	0.05%
(3) Temperatura de transición vítrea ¹⁾	EN 12614	45°C o 20°C por encima de la máxima temperatura ambiente en servicio, la que sea mayor
(4) Fluencia plástica bajo carga de tensión ¹⁾	prEN 1544	Desplazamiento \leq 0.6 mm después de tres meses de carga continua de 50 KN

Nota 1: Solo para productos PC



Perforación para colocación de pernos roscados

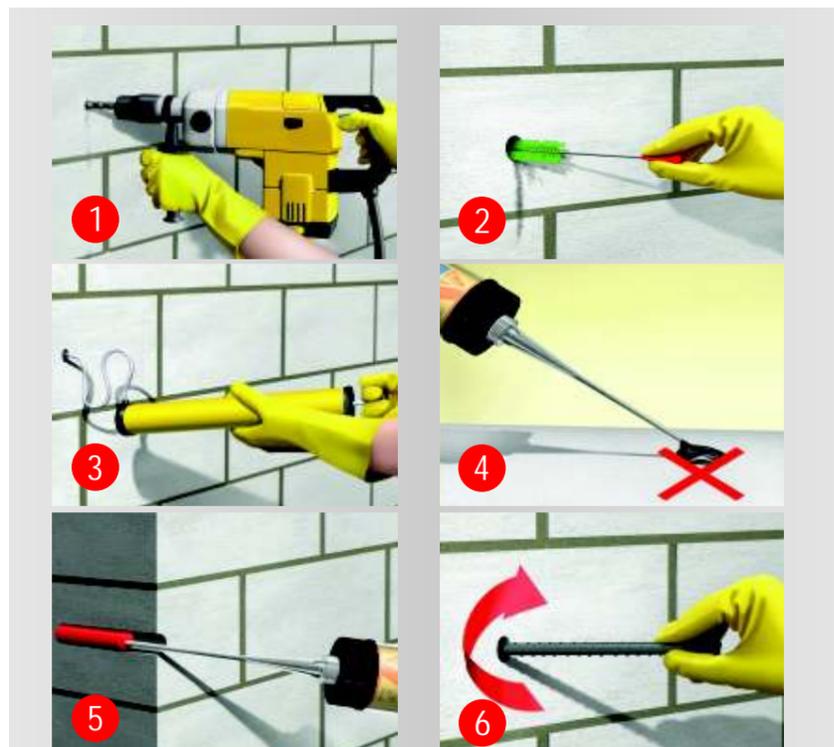
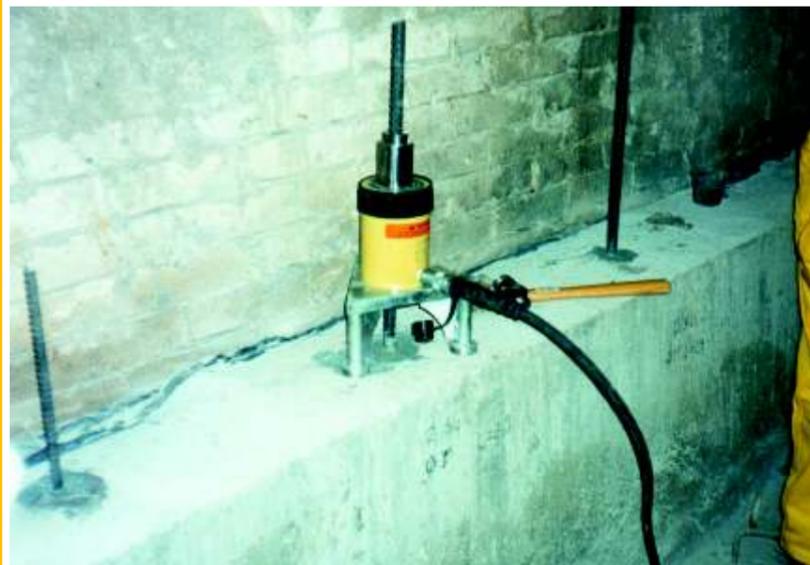


Figura 8
Etapas de perforación, limpieza, inyección y colocación de anclaje químico.

Adhesivos para el anclaje de pernos y varillas al concreto



Ensayo de campo de anclaje de varilla al concreto

anclar. Para diámetros de varilla mayores a una pulgada se recomienda un diámetro de hueco $\frac{1}{4}$ de pulgada mayor al diámetro de la barra. Para morteros epóxicos o grouts con un volumen de arena mayor, el diámetro del hueco debe ser más grande, generalmente se recomienda que máximo sea $\frac{1}{2}$ pulgada (12.7 mm) mayor que el diámetro del perno o varilla.

En la instalación de anclajes químicos de gran profundidad, como puede ser el caso de anclaje de varillas de refuerzo con longitudes de desarrollo (según el código) para falla del acero por fluencia y no por adherencia, es conveniente utilizar unas guías de taladrado con el fin de que el taladrado se efectúe paralelo a la guía y no quede desviado el anclaje. (Figura 9).

En caso necesario se hacen ensayos de campo del anclaje instalado en el concreto. El ensayo debe realizarse de acuerdo con algún estándar por ejemplo como el especificado en la sección 416 del Florida DOT [12] y arriba descrito. Tener en cuenta que los ensayos de campo son restringidos (confinados) y los anclajes se cargan

sólo a una fracción de su capacidad de adherencia o de fluencia, de esta forma no sirven para obtener datos de diseño sino para verificar la correcta instalación del anclaje. Tampoco son para calificar al adhesivo, para esto son los ensayos de identificación (huella) de las propiedades del material. (Ver capítulo 5 Especificaciones).

Especificaciones de ensayos de campo también se encuentran en el estándar AC 308 del ICC-ES, sección 14.4.4. Allí se especifica que la carga debe ser aplicada como en ensayos de tensión confinados, la carga no debe exceder el 50 % de la carga última esperada basada en la resistencia de adherencia del adhesivo, ni el 80 % de la resistencia a fluencia del anclaje.

7. Resumen y conclusiones

Los anclajes químicos están conformados por pernos roscados, barras o varillas fijados al concreto con un polímero o resina. Existen diferentes sistemas de polímeros adhesivos tales como e-

póxico, poliéster, viniléster, acrílico que tienen diferentes características de endurecimiento y de desempeño que deben ser entendidas por el especificador y el usuario.

Existen guías, estándares e investigaciones que proporcionan criterios de diseño para evaluar la capacidad de carga de un sistema de anclaje químico [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,13].

Con el uso de morteros apropiados, muy buena limpieza del hueco y equipos de instalación apropiados no hay diferencia significativa en la capacidad de carga de una conexión post-instalada con respecto a refuerzo pre-instalado. Excepciones: fisuras, alta temperatura.

Efectuar el diseño de las longitudes de anclaje y traslape de varillas según los códigos de diseño de concreto reforzado. Con estas longitudes se garantiza falla del acero o falla dúctil. Sin embargo se han de aumentar el recubrimiento de concreto, la distancia entre varillas y la longitud de anclaje mínima con respecto a los valores de varillas pre-instaladas.

Excluyendo condiciones de distancia a los bordes y las condiciones de espaciado entre varillas, la resistencia de fluencia de una barra individual puede ser desarrollada en concreto sin fisuras de 21 MPa en una profundidad aproximada de 15 diámetros de la varilla (varilla recta). Para descartar una falla por rotura del cono de concreto, la longitud de desarrollo debe incrementarse por un factor superior a cuatro para tener en cuenta los efectos de recubrimiento, número y espaciado de las varillas. Un incremento adicional de la longitud de desarrollo por un factor de uno y uno y medio a dos es necesario si los anclajes están localizados en una zona a tensión fisurada de un elemento de concreto reforzado.

El uso de tablas con datos de capacidad de carga debe hacerse con precaución. Tener en cuenta las condiciones para las cuales son válidos los datos dados en tablas. Por ejemplo usar tablas válidas para concreto sin fisuras para diseñar anclajes localizados en zona fisurada es erróneo y riesgoso ya que se está sobreestimando su capacidad.

El cálculo de la carga de falla de anclajes químicos debe contemplar la acción combinada de tensión y cortante y no se deben tratar por separado ya que se puede sobreestimar la capacidad del anclaje.

La resistencia de adherencia depende principalmente de la limpieza y rugosidad del hueco. La capacidad de carga de anclajes adheridos se reduce considerablemente en concretos fisurados.

Se recomienda usar adhesivos aprobados que cumplan especificaciones, especialmente en aplicaciones estructurales. La idoneidad del adhesivo para el uso en anclajes se certifica con el

cumplimiento de unos requerimientos de desempeño o características de identificación (huella) definidos en una especificación [10, 11, 12, 13, 14].

Instalación por personal especialmente entrenado y certificado, con uso de equipos apropiados. Una instalación defectuosa de un anclaje químico y que ocasiona la falla del mismo no significa que el adhesivo usado no sea el adecuado o que el adhesivo falló.

En caso necesario se hacen ensayos de campo del anclaje instalado en el concreto de acuerdo con algún estándar como el especificado en [12]. Tener en cuenta que los ensayos de campo son restringidos (confinados) y los anclajes se cargan sólo a una fracción de su capacidad de adherencia o de fluencia, de esta forma no sirven para obtener datos de diseño sino para verificar la correcta instalación del anclaje. Tampoco son para calificar al adhesivo, para esto son los ensayos de identificación (huella) de las propiedades del material.

La aceptación en obra del anclaje químico se basa en que se hallan cumplido los requerimientos especificados del material adhesivo (a garantizar por el fabricante), los requerimientos de instalación (a garantizar por el aplicador o instalador) y ensayo de campo (realizado por un laboratorio independiente) y los requerimientos de colocación consignados en los planos.



Algunos de los equipos de aplicación (Pistolas, cepillos, bomba de aire manual).



8. Bibliografía

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 355. State of the art report on anchorage to concrete. ACI 355.1R-91 (reapproved 1997). Farmington Hills: ACI, 1991. 71p.
- [2] ELIGEHAUSEN, R., Mallée, R., Silva, J. Anchorage in Concrete Construction. Ernst & Sohn, Berlin, 2005.
- [3] COOK, Ronald A., Jacob Kunz, Werner Fuchs, and Robert C. Konz. Behavior and design of single adhesive anchors under tensile load in uncracked concrete. En: ACI Structural Journal. Jan.-Feb., 1998. vol. 95 No.1. p. 9-26.
- [4] ZAMORA, Noel A. Ronald A. Cook, Robert C. Konz, and Gary R. Consolazio. Behavior and design of single, headed and unheaded, grouted anchors under tensile load. En: ACI Structural Journal. Mar.-Apr., 2003. vol. 100 No. 2. p.222-230.
- [5] COOK, Ronald A. and Robert C. Konz. Factors influencing bond strength of adhesive anchors. En: ACI Structural Journal. Jan.-Feb., 2001. vol. 98 No.1. p.76-86.
- [6] DARWIN, David and Shahin S. Zavaregh. Bond strength of grouted reinforcing bars. En: ACI Structural Journal. Jul.-Aug., 1996. vol. 93 No.4. p.486-495.
- [7] FUJIKAKE, Kazunori, Jun Nakayama, Hiroshi Sato, Sidney Mindess, and Takeshi Ishibashi. Chemically bonded anchors subjected to rapid pullout loading. En: ACI Materials Journal. May.-Jun., 2003. vol. 100 No.3. p. 246-252.
- [8] UNTERWEGER, R., Bergmeister, K. Experimentelle und numerische Untersuchungen von Injektionsankern-Bohrverfahren, Haftspannungen, Materialmodell (Investigación experimental y numérica de anclajes inyectados-Sistema de taladrado, Esfuerzos de adherencia, Modelo del material). En: Beton- und Stahlbetonbau. Ernst & Sohn Verlag, Berlin. H.12, 1999.
- [9] ELIGEHAUSEN, R., Spieth, H. Anschlüsse mit nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstäben (Conexiones con varillas de refuerzo post-instaladas con mortero adhesivo). En: Beton- und Stahlbetonbau. Ernst & Sohn Verlag, Berlin. H.9, 2002.
- [10] INTERNATIONAL CODE COUNCIL EVALUATION SERVICE. AC 58. Acceptance Criteria for Adhesive Anchors in Concrete and Masonry Elements. July 2005. INTERNATIONAL CODE COUNCIL EVALUATION SERVICE. AC 308. Acceptance Criteria for post-installed adhesive Anchors in Concrete Elements. July 2005.
- [11] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 503. Guide for the selection of polymer adhesives with concrete. ACI 503.5R (reapproved 1997,2003). Farmington Hills: ACI, 2004. p503.5R1-503.5R16.
- [12] FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (F DOT) SPECIFICATIONS. Section 926 Epoxy compounds, Section 937 Adhesive bonding materials systems for structural applications, Section 416 Installing adhesive-bonded anchors and dowels for structural applications.
- [13] EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS (EOTA), Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete, ETAG No. 001, Part Five: Bonded Anchors. Brussels, 2000.
- [14] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. prEN 1504, Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Part 6: Anchoring of reinforcing steel bar. Brussels: CEN, 2003
- [15] UNIVERSITY OF STUTTGART, Institute of Construction Materials, Department of Fastening Technology, personal correspondence in 2004, Stuttgart, Germany.
- [16] FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON (FIB), Desing Guide, Part III Characteristic resistance of fastenings with bonded anchors and connections with post-installed reinforcing bars. Draft, Mai 2006.

Publicación: Sika Colombia S.A. - Segunda Edición
División Construcción - Febrero de 2007

Este documento esta basado en la bibliografía que representa el estado del arte actual del tema tratado y es responsabilidad del lector o usuario del documento y no de Sika el uso adecuado de la información aquí consignada.