

# ¿Por qué fallan los anclajes adhesivos?

Por Pedro Nel Quiroga Saavedra

Presidente Seccional Colombiana del Instituto Americano del Concreto, Profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Certificador del ACI Internacional, Ph.D. de la Universidad de Texas en Austin, Magister de la Universidad de los Andes e ingeniero civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Los anclajes adhesivos se utilizan para anclar elementos estructurales y no estructurales a elementos de concreto o mampostería. También se utilizan en trabajos de reforzamiento para conectar elementos o porciones de elementos de reforzamiento a concreto existente.

Sin embargo, el comportamiento de estos anclajes es supremamente sensible a factores ambientales, al tipo de resina utilizada y a la calidad de la instalación; al punto que se han reportado numerosas fallas en todo el mundo, algunas de ellas catastróficas. Una de las fallas de anclajes más conocida es la del cielorraso de uno de los túneles del "Big Dig" de Boston y que motivó la creación de la certificación ACI/CRSI (American Concrete Institute / Concrete Reinforcing Steel Institute) para instaladores de anclajes adhesivos. Los paneles del cielorraso estaban sostenidos por tornillos anclados a la parte superior de la estructura del túnel. Por deficiencias en la instalación y por el uso de un adhesivo no apropiado para las condiciones de operación, algunos anclajes fallaron más o menos a los seis años de haber sido instalados y en julio de 2006 dieron lugar a la caída de paneles sobre un automóvil produciendo la muerte de una persona y heridas al conductor (Meinheit, 2014; NTSB, 2006). Un incidente similar ocurrió en Japón, donde una parte del cielo raso del túnel Sasago colapsó en diciembre de 2012 causando la muerte a 9 personas, 25 años después de haber sido dado al servicio. Los investigadores concluyeron que hubo deficiencias en la instalación, cargas sostenidas relativamente altas y cargas no tenidas en cuenta durante el diseño (Meinheit, 2014). En este artículo se presentan algunos de los factores que inciden en la resistencia y comportamiento de anclajes adhesivos y la magnitud de dicho efecto, la mayoría de los cuales están relacionados con la instalación.

## Factores que afectan el comportamiento de anclajes adhesivos

Algunos de los factores que influyen en el comportamiento de anclajes adhesivos son:

- Método de perforación
- Limpieza de la perforación
- Humedad y temperatura del concreto
- Fecha de expiración del adhesivo y mezcla de los componentes
- Llenado de la perforación y vacíos en el adhesivo
- Profundidad y diámetro de la perforación
- Curado
- Permanencia de la carga
- Fisuración del concreto

A continuación se describen estos factores en detalle.

## Método de perforación

Para las perforaciones se pueden usar tres métodos: taladro percutor, taladro para roca y taladro saca núcleos. La rugosidad del agujero depende del tipo de sistema de perforación, lo cual incide en el desempeño del anclaje, pues a mayor rugosidad mejor puede ser el desempeño del anclaje. Mientras que los taladros saca-núcleos producen superficies lisas, los taladros percutores producen superficies moderadamente rugosas y los taladros para roca superficies muy rugosas. Sin embargo, estos últimos pueden dar lugar a mayor consumo de adhesivo y podría dañar el concreto que rodea la perforación. Aunque recientemente se han desarrollado sistemas saca-nú-

cleos que no requieren agua y aspiran el polvo generado, que pueden constituir una buena alternativa especialmente para perforaciones de gran diámetro (Eligehausen, 2006), muchos sistemas requieren agua para lubricar y enfriar la broca, lo cual puede generar disminución de la adherencia si las perforaciones no se limpian inmediatamente, tal como se muestra en la Figura 1, en la cual se puede ver que el esfuerzo de adherencia para los diferentes sistemas de perforación así como el de anclajes fundidos en sitio. Adicionalmente cuando se usan brocas saca-núcleos que necesiten agua, se requiere un tiempo adicional para que el concreto dentro de la perforación se seque. Por eso, en general, los taladros percutores son los preferidos para anclajes adhesivos.

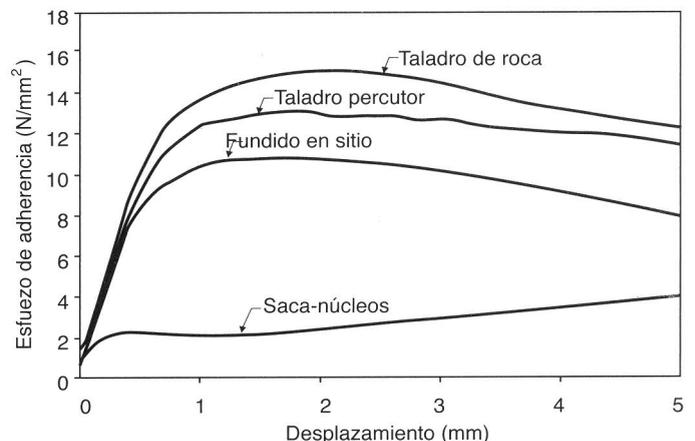
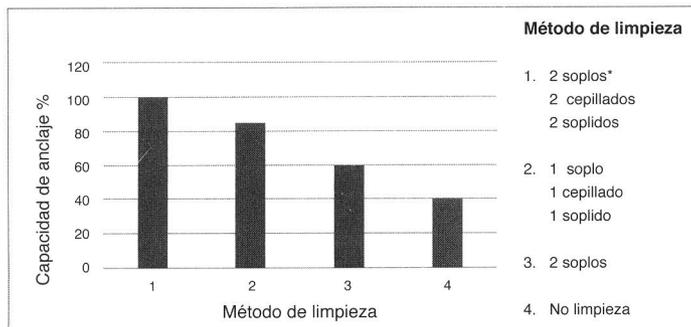


Figura 1. Diagrama esfuerzo de adherencia vs desplazamiento para anclajes de 20 mm hechos con diferentes métodos de perforación (Wollmershauser, 2008)

## Calidad de la limpieza de la perforación

La perforación debe estar libre de polvo que impida el contacto directo entre el adhesivo y la superficie del concreto, para lo cual se debe usar un método de limpieza que en general, incluye el uso de un cepillo de cerdas de acero o nylon y aire a presión. Sin embargo, el número de veces y el orden en que se realice el proceso para lograr una limpieza adecuada de un sistema dado, depende lo que establezca el fabricante. El cepillo debe haber sido diseñado para este fin, debe estar en buen estado y su tamaño debe ser acorde con el diámetro de la perforación que se va limpiar.

En la Figura 2 se muestran los resultados de un estudio en que se midió la resistencia de anclajes en función del método de limpieza utilizado para un sistema de anclaje determinado. En ella, se puede ver claramente que la resistencia de un anclaje puede ser mucho menor que la resistencia esperada si la perforación no se limpia o no se limpia adecuadamente de acuerdo con las Instrucciones del Fabricante (MPII). Se aclara que la pérdida de resistencia depende del sistema de anclaje utilizado y que el método de limpieza más apropiado para un sistema de anclaje dado no es necesariamente el indicado en la gráfica; de hecho recientemente se han desarrollado sistemas que presentan pérdidas mínimas de resistencia aun cuando no se limpie la perforación.



\* soplos de aire a presión con compresor manual o mecánico

Figura 2. Efecto de la calidad de la limpieza de la perforación en la capacidad de anclajes. Adaptado de Elgehausen (2006)

## Humedad y temperatura del concreto

El concreto dentro de la perforación debe estar limpio, a una temperatura adecuada y seco (a menos que sea una instalación sumergida). Concreto seco, de acuerdo con el ACI 355.4-11, es aquel concreto que tiene al menos 21 días y no ha sido expuesto al agua en los últimos 14 días. Las condiciones ambientales deben cumplir los requisitos establecidos en las Instrucciones Impresas del Fabricante (MPII, siglas en inglés de Manufacturer Printed Installation Instructions), pues por ejemplo muchas resinas no curan adecuadamente cuando están sometidas a humedad o cuando la temperatura del concreto está fuera del rango aceptable. En la Figura 3 se presenta la resistencia relativa de varios sistemas de anclaje bajo diferentes condiciones de humedad. Se puede observar que en la mayoría de los casos, la resistencia del anclaje disminuye significativamente cuando el concreto en la perforación está húmedo.

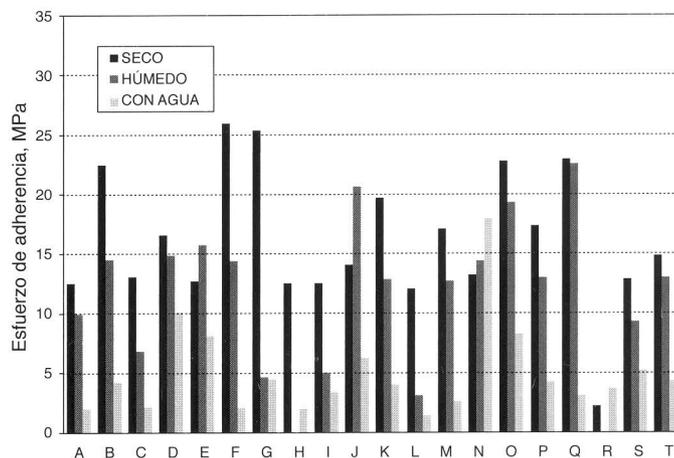


Figura 3. Efecto de la humedad de la perforación en la resistencia de anclaje. (Meinheit, 2014)

Por otro lado, la temperatura del concreto debe estar en el rango establecido por las MPII, típicamente entre -1 y 38 °C. El esfuerzo de adherencia de algunos sistemas puede disminuir con el aumento de temperatura del concreto como se ilustra en la Figura 4, para tres productos diferentes.

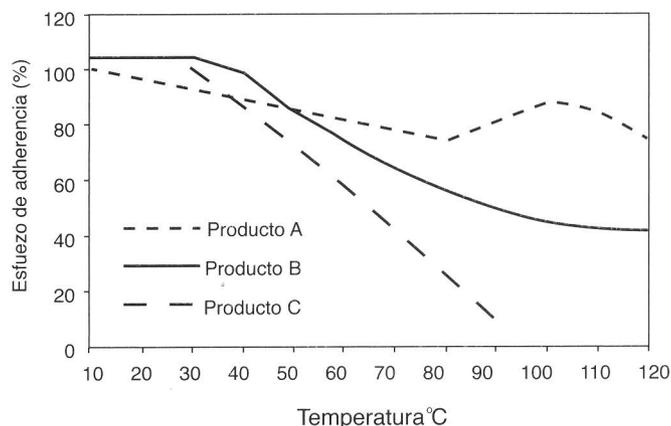


Figura 4. Efecto de la temperatura del concreto en la capacidad de anclajes de tres sistemas. Adaptado de Meinheit (2014)

## Fecha de expiración, condiciones de almacenamiento y mezcla de los componentes del adhesivo

No se puede garantizar la calidad de adhesivos con fecha de expiración vencida, así como de adhesivos almacenados en condiciones de temperatura diferentes a las recomendadas por los fabricantes. En consecuencia, no se deben usar adhesivos cuya fecha de expiración ha pasado o adhesivos almacenados a temperaturas muy altas o muy bajas.

En los sistemas de cartucho, los dos componentes del sistema se mezclan en el dispositivo de aplicación en las proporciones establecidas por el fabricante, por lo cual no se deben usar partes de sistemas de fabricantes diferentes (por ejemplo cartuchos de un fabricante con la boquilla de otro). Adicionalmente, cuando se utiliza un cartucho nuevo se debe desechar el adhesivo que sale inicialmente de la boquilla (unos 10 cm) hasta que se obtenga un color uniforme consistentemente (Figura 5). Esto asegura que los componentes se han mezclado

en forma adecuada, de lo contrario, la resistencia del anclaje será sólo una fracción de la esperada, al punto que se han reportado anclajes que se puede remover manualmente

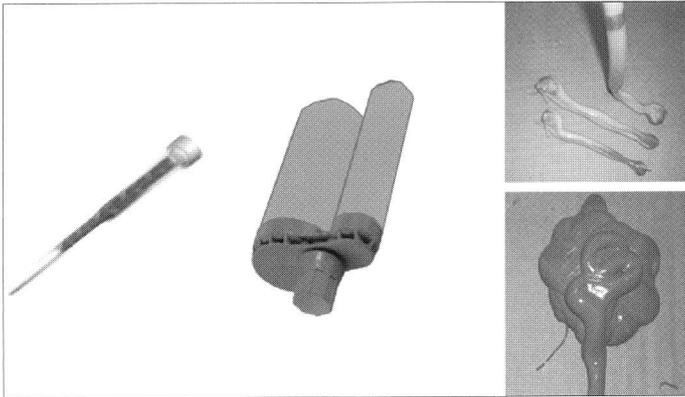


Figura 5. (a) Detalle de la boquilla mezcladora y de los dos componentes de un adhesivo. Se puede apreciar que en este caso, los componentes no se mezclan en partes iguales. (b) Arriba, adhesivo que sale inicialmente de la boquilla en el cual aún no se han mezclado bien los componentes. Abajo, adhesivo bien mezclado (Meinheit, 2014).

Entre las causas de la falla en 2006 de una pérgola de un puente en Atlanta, GA, (17th Street Bridge) que se muestra en la Figura 6, están el mal mezclado de los componentes, adhesivo sin curar en algunas perforaciones y grandes vacíos en el adhesivo. En la figura también se muestra el deslizamiento de uno de los pernos.

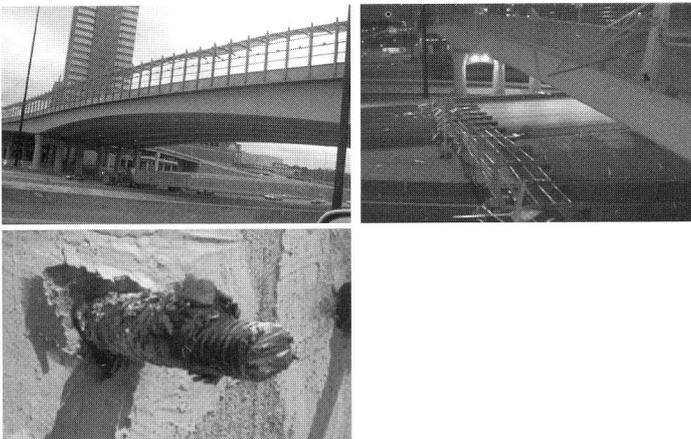


Figura 6. Pérgola de puente en Atlanta, GA (a) antes y (b) después de la falla de los anclajes adhesivos. (c) Detalle de uno de los anclajes que fallaron. Flickr:O's World of Photos

## Llenado de la perforación y vacíos en el adhesivo

La perforación se llena parcialmente de tal forma que al colocar el anclaje el espacio entre éste y las paredes de concreto quede completamente lleno de adhesivo cuando se coloque el anclaje. Sin embargo, deben evitarse burbujas en el interior del adhesivo porque es prácticamente imposible sacarlas posteriormente, particularmente en posiciones sobre cabeza y los vacíos en el adhesivo disminuyen el área de contacto entre el anclaje o la pared y el adhesivo, afectando la resistencia del anclaje. Los anclajes se deben colocar hasta el fondo del agujero, aplicando un movimiento de rotación para permitir que el adhesivo fluya y cubra completamente las roscas de tornillos o los resaltes de barras.

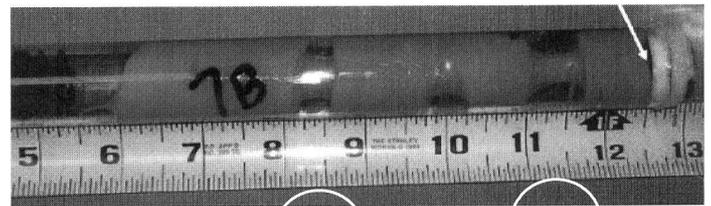


Figura 7. Detalle del llenado de una "perforación" sobre cabeza en un espécimen de certificación del ACI, en que se puede observar la cantidad de vacíos dejada por el examinador. ACI - CP-81)

## Diámetro y profundidad de la perforación

Debe asegurarse que el diámetro y la profundidad de la perforación sean consistentes con el diámetro del anclaje y la longitud requerida de anclaje. Agujeros de diámetro mayor al requerido no solo necesitaran más adhesivo, sino que podrían afectar negativamente la resistencia del anclaje. Agujeros muy pequeños también afectan negativamente el desempeño del anclaje pues podrían quedar zonas en que no hay adhesivo suficiente para transmitir las fuerzas del anclaje al concreto. Para desarrollar la resistencia del anclaje por adherencia se requiere una profundidad mínima, de hecho, si la perforación es muy corta la resistencia del anclaje será menor que la esperada; por otro lado si es muy larga, habrá desperdicio de adhesivo o el anclaje podría no tener la longitud necesaria para hacer las conexiones requeridas.

## Permanencia de la carga

Los adhesivos al igual que otros materiales como el concreto, presentan flujo plástico (creep) bajo cargas permanentes o sostenidas. En algunos casos el flujo plástico puede dar lugar a la falla del anclaje como ocurrió en el túnel de Boston. Algunos adhesivos son más susceptibles que otros, por lo que debe asegurarse que el adhesivo utilizado esté formulado para cargas permanentes y el nivel de éstas. En la figura 8 se presenta un ejemplo de curvas de deformación de un polímero para diferentes porcentajes de carga sostenida (respecto a la carga máxima de corta duración que resiste el material). En este caso, si la carga sostenida es igual o mayor que 50 % de la carga máxima, el polímero sufrirá grandes deformaciones por flujo plástico y finalmente ruptura. Sólo si la carga es menor que un 40 % no se presentará ruptura, al menos en un tiempo suficientemente largo comparado con la vida útil del proyecto (v.g. 50 años o 100 años).

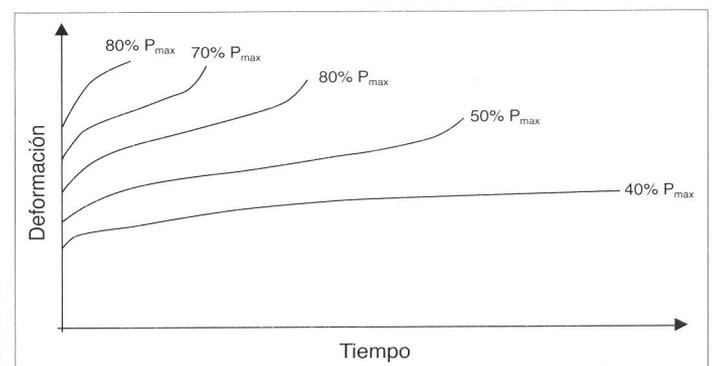


Figura 8. Deformación de polímeros contra tiempo, en función de la carga aplicada como porcentaje de la carga máxima en un ensayo rápido.

La Figura 9 muestra resultados de un ensayo de flujo plástico en anclajes adhesivos, en la cual se puede ver el efecto de la carga sostenida en el comportamiento. Cuando se esperen cargas sostenidas de cierta magnitud sólo se permite el uso de adhesivos que cumplan los requisitos del AC 308 "The acceptance criteria for post-installed adhesive anchors in concrete elements" en cuanto a desempeño ante cargas sostenidas se refiere. Lo anterior implica que el sistema de anclaje se debe someter a ensayos de flujo plástico a 23 °C y a temperatura elevada y cumplir ciertos requisitos para que califique, de lo contrario sólo se puede utilizar para aplicaciones en los cuales las cargas predominantes sean de corta duración como sismo o viento.

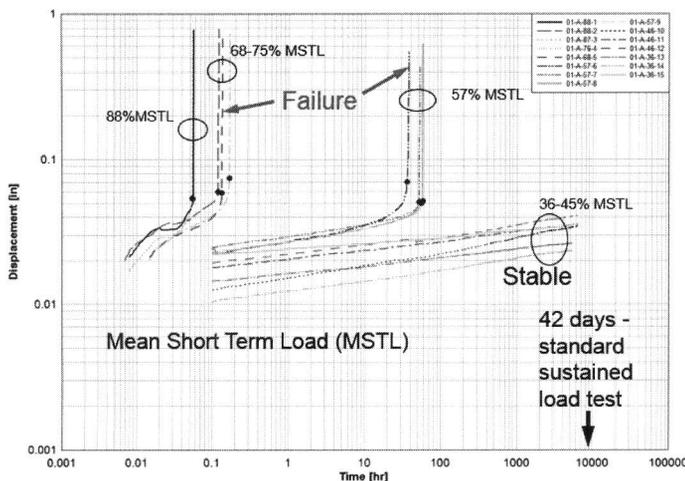


Figura 9. Resultados de ensayos de anclajes sometidos a cargas sostenidas. (Meinheit, 2014)

## Curado

Los adhesivos requieren un cierto tiempo de curado, durante el cual no se les debe aplicar carga ni perturbarse, de lo contrario no desarrollarán la resistencia esperada. El tiempo de curado depende de la resina utilizada y de la temperatura y deben seguirse las indicaciones del fabricante al respecto.

## Estado del concreto (fisuración)

La resistencia de un anclaje adhesivo depende de si el concreto está fisurado o no y del ancho de las fisuras. En concreto con fisuras los anclajes pierden capacidad como se muestra en la Figura 10. Esto se tiene que considerar pues por ejemplo, debería evitarse colocar anclajes cerca a los apoyos en donde posiblemente se formen rótulas plásticas en caso de sismo. Algunos sistemas de anclaje son más susceptibles que otros y pierden comparativamente mayor resistencia en concreto fisurado, por lo cual si se prevé que los anclajes se van a colocar en concreto que se va a fisurar deben usarse sistemas certificados para ello.

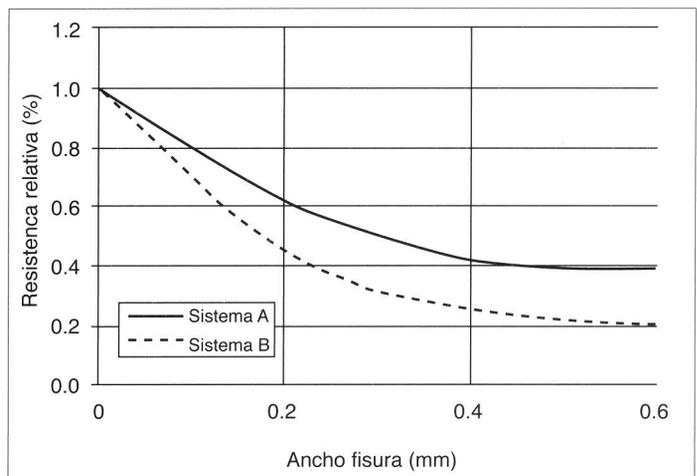


Figura 10. Efecto del ancho de fisura en la resistencia relativa de anclajes (concreto fisurado/concreto no fisurado) Sistema A: diseñado para concreto fisurado; Sistema B: no diseñado para concreto fisurado. Adaptado de Eligehausen (2006) y Meinheit, (2014).

## CONCLUSIONES

Los anclajes adhesivos constituyen una buena alternativa para conectar elementos estructurales de diferentes materiales, siempre y cuando se utilicen los productos y técnicas adecuadas para las condiciones específicas de uso y de carga. El no seguir estrictamente las instrucciones de los fabricantes o el uso de adhesivos no apropiados para unas condiciones dadas puede dar lugar a resistencias mucho menores que las esperadas y en algunos casos a fallas catastróficas. Por ello, el ACI junto con el CRSI desarrollaron un programa de certificación para Instaladores de Anclajes Adhesivos, el cual tiene como propósito asegurar que los instaladores tienen un conocimiento adecuado de todas las variables que afectan la capacidad de anclajes adhesivos, entienden los procedimientos establecidos por los fabricantes y los saben ejecutar en forma apropiada.

## REFERENCIAS

Meinheit, D. *Memorias del curso de diseño de anclajes adhesivos. Seccional Colombiana del ACI, agosto de 2014.*

National Transportation Safety Board (NTSB). *Ceiling Collapse in the Interstate 90 Connector Tunnel, Boston Massachusetts, July 10, 2006.*

Eligehausen, R., Mallée, R. y Silva, J. *Anchorage in concrete construction. Ernst & Sohn – A Wiley Company. 2006.*

American Concrete Institute (ACI). *Installer Workbook Publication CP-80. ACI-CRSI Certification Adhesive Anchor Installer*

Wollmershauser, R. & Mattis, L. *Adhesive Anchor Installation and Inspection- Understanding the requirements to ensure proper performance. Concrete International. December 2006.*