

Prueba de "Pull Off" para evaluar la adherencia de los materiales de reparación en concreto

Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: evidaud@mail.imcyc.com

Ingrid N. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Doctorado en Ciencias.

Su correo electrónico es: ingrid@fco.uo.edu.cu

Uno de los métodos más empleados para evaluar con éxito la adherencia de los materiales de reparación y la resistencia en la superficie de los elementos de concreto, es el ensayo de adherencia; también denominado en la literatura como ensayo de desprendimiento, o "Pull Off". Es defendido por diversos especialistas como parcialmente destructivo, por lo que tras la prueba, deben realizarse reparaciones puntuales al elemento ensayado.

El ensayo de "Pull Off" (ver fotografía en **Fig. 1**) es uno de los métodos de ensayo a tensión, que a diferencia de otros métodos para ensayar la adherencia, puede realizarse tanto en laboratorio, como "in situ"; basta solamente disponer de una cara expuesta del elemento a ensayar, siendo aplicable a vigas, losas u otro elemento; sin planificación previa del colado.

Se soporta este ensayo en el concepto de que la fuerza de tensión necesaria para "jalar" de un disco metálico unido a una capa superficial de concreto, se asocia con la resistencia a la compresión del material; razón por la que el ensayo se realiza con dos propósitos fundamentales:

- (i) para estimar la resistencia superficial del concreto y
- (ii) para evaluar la resistencia de la unión entre el material de reparación y el concreto reparado.



Figura 1



Fuente: ATE/LCO IMCYC.

Figura 2



Proceso de desarrollo de la semiperforación en una trabe recién reparada, previo al desarrollo de la fijación del disco de prueba de "Pull Off". A la derecha de la fotografía se aprecian 3 semiperforaciones previamente desarrolladas.



Fuente: ATE/LCO IMCYC.

El ensayo consiste básicamente en transmitir tensión axial directa, con un equipo portátil, a un disco previamente adherido al concreto; siempre después de transcurrido un tiempo suficiente para que se haya curado la resina o material adhesivo usado en la fijación del disco.

La primera aproximación del término de "Pull Off" data de los años 70 del siglo XX en Inglaterra; específicamente en la Universidad de Queens, Belfast y con el propósito inicial de evaluar la resistencia del concreto "in situ". Para esta época también se utilizó en Austria, donde entonces se le denominó Prueba de Corte o "Tear Off". En 1991 igualmente se estudió el enlace en la zona de interfaz mediante el uso de ensayos de tensión uniaxial con extracción de muestras parciales. Estos ensayos se realizaron, tanto con instrumentos de mecanismo hidráulico, como de mecanismo neumático.

Desde entonces se ha venido desarrollando el equipo para realizar el ensayo, el que hoy es comercializado por varias compañías; de la misma manera en que se han perfeccionado los métodos de ensayo. Países como Inglaterra y Estados Unidos reconocen este método como una alternativa para estimar de manera aproximada la calidad del concreto "in situ".

Es un método que exhibe entre sus más significativas ventajas: la rapidez y economía en el proceso, la posibilidad de realizarse "in situ" con mínimo daño a la estructura, así como la disponibilidad inmediata de los resultados.

Como antes se comentó, una de las principales aplicaciones de la técnica del "Pull Off" es la evaluación de la resistencia de la unión (zona de interfaz) entre el material de reparación y el concreto reparado. El procedimiento general que se sigue en este ensayo, típicamente se resume en los 5 pasos que se relacionan a continuación:

Paso 1: Marcado y preparación de la zona de ensayo, la que debe quedar perfectamente limpia de cualquier residuo que pueda entorpecer la posterior adherencia del disco de prueba.

Paso 2: Ranurado o semiperforación de la zona de prueba (en donde se fijará posteriormente el disco de prueba) con una broca hueca de corona de diamante; que generalmente en fusión del tamaño del disco de prueba, es de 2 pulgadas de diámetro (ver fotografía de la **Fig. 2**); la profundidad de la perforación deberá ser mínimo de 1.5 cm.

Paso 3: Colocación del disco sobre la superficie del concreto usando una resina epoxica (ver fotografía de **Fig. 3**). Este material de adherencia resulta de elevada resistencia y fraguado rápido, pudiendo llegar a valores de resistencia a la tensión de

Figura 3



Fuente: ATE/LCO IMCYC.

Figura 4

Proceso de desarrollo de la prueba de "Pull Off"; tal y como se aprecia, en un monitor dispuesto en la parte frontal del equipo se registra la magnitud de la tensión directa que se va aplicando sobre el disco de prueba adherido al sustrato.



Fuente: ATE/LCO IMCYC.

alrededor de 10 MPa cuando está completamente curado. Por lo general el endurecimiento demora de 2 a 5 minutos.

De acuerdo a la cinemática y las características de cada ensaye en particular, será posible invertir el orden de los pasos 2 y 3; o sea semiperforar alrededor del disco de prueba ya adherido, quedando este como una guía de perforación.

Paso 4: Colocación del inserto o perno roscado al disco de "Pull Off" (ver fotografía anexa a la **Fig. 3**); a este dispositivo se conectará el equipo de "Pull Off", antes del inicio de la prueba.

Paso 5: Desarrollo de la prueba de "Pull Off", en donde se cuantifica la tensión directa aplicada al disco para desprenderlo del elemento al que había quedado adherido (ver fotografía anexa a la **Fig. 4**). Según se aprecia en los nuevos equipos que se comercializan en el mercado, la magnitud de la tensión directa que se va aplicando según se intenta desprender el disco de prueba del sustrato, queda registrada en un monitor que se ubica en la parte frontal del equipo.

En el ensayo "Pull Off" para elementos de concreto reparados, es difícil que se tenga una distribución de esfuerzos uniforme en la zona de transición entre el concreto antiguo y el nuevo. Esto ocurre debido a que la superficie de fallo no es perfectamente perpendicular a la dirección de la "carga de prueba" y a que además, en ocasiones se pueden generar milimétricas excentricidades entre el centro del disco y el centro de la semiperforación. Como resultado de lo anterior, se presenta un estado de esfuerzos más complejo que en el caso resultante de los esfuerzos uniaxiales; en este caso, se tienden a generar concentraciones de esfuerzos localizadas en algunas zonas de la interfaz.

En este sentido, gran parte de los resultados de la prueba de "Pull Off" no proporcionan valores exactos de la resistencia a la tensión en la zona de interfaz; sino que proporciona magnitudes que resultan muy útiles para establecer comparaciones en distintos tipos de soluciones de reparación. En muchos casos, el ensayo se realiza con éxito para determinar si la resistencia de la unión entre el material de reparación y el de soporte, cumple con las especificaciones de fallo establecidas.

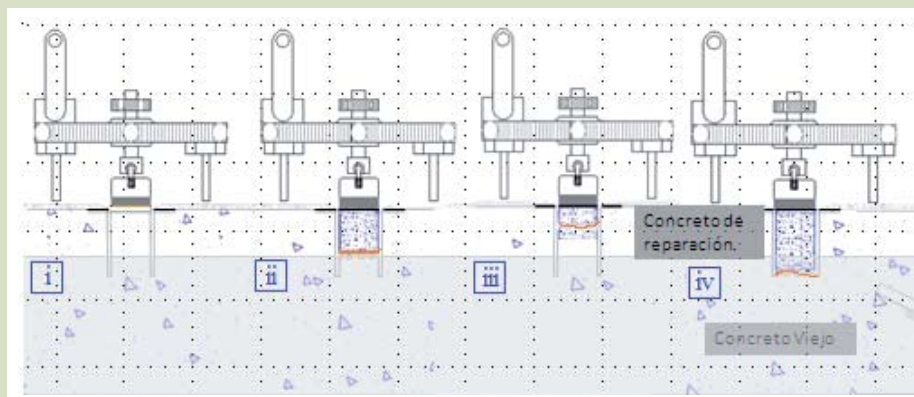
En general el esfuerzo de tensión directa o de adherencia puede ser obtenido como el cociente entre la fuerza máxima obtenida del ensaye, y el área de la interfaz; teóricamente, como ya se ha referido en párrafos anteriores, esta formulación será válida, siempre y cuando el fallo se produzca completamente en esta zona. De acuerdo a lo anterior, la resistencia al desprendimiento y el patrón de falla del recu-



Figura 5

Posibles tipos de fallo durante una prueba de "Pull Off".

Fuente: ATE/LCO IMCYC.



Acero de calidad para la realización de tus proyectos.



Nuestros productos cumplen con las normas nacionales y extranjeras vigentes, garantizando la calidad y seguridad de sus obras.

Varilla corrugada



Varilla habilitada



Perfil IR



Ángulo LI



Solera SOL



Canal CE



Perfil TR



Cuadrado CS



Redondo OS



Ángulo LD



GO GERDAU CORSA

www.gerdaucorsa.com.mx

brimiento de un sustrato de concreto son entonces propiedades importantes de su rendimiento. Esta es la razón por lo que ambos parámetros, al unísono, deberán de ser tomados muy en cuenta a la hora de evaluar la calidad de los resultados de una de estas pruebas, así como para establecer las especificaciones generales de un determinado proyecto.

El fallo puede clasificarse según los patrones de falla, los que a su vez pueden ser:

- i) Fallo del adhesivo, que es cuando el fallo se produce en la zona de interfaz,
- ii/iii) Fallo por cohesión en el material de reparación o dentro del sustrato de concreto, y
- iv) Fallo adhesivo/por cohesión, que es una mezcla de los tres primeros patrones de falla.

En la **Fig. 5** se ilustran las características de los tipos de fallo de referencia.

El fallo en el sustrato indica que la resistencia de la interfaz es mayor que la resistencia a la tensión del sustrato; así como el fallo en el interior del material de reparación indica que la resistencia de la unión es mayor que la resistencia a la tensión del material superpuesto. Normalmente se prefiere entonces el fallo en el sustrato, lo que es evidencia de que el material de reparación superpuesto se ha concebido correctamente. Es entonces el fallo adhesivo el menos deseable pues no es conveniente que falle la zona de interfaz. De acuerdo a lo anterior dos elementos importantes a tener en cuenta son la magnitud del fallo respecto a la capacidad resistente del material a tensión y la preparación de la superficie previo al proceso de aplicación del material de reparación.

Con el ensayo "Pull Off" se determina la mayor tensión perpendicular (directa) que la superficie puede soportar, antes de que sea separada del sustrato. El fallo ocurrirá a lo largo del plano más débil dentro del sistema compuesto por el equipo de ensayo, el material adhesivo, el concreto del recubrimiento, y el concreto del sustrato; quedando expuesta la superficie de fractura.

Al emplear la prueba de "Pull Off" para estimar la resistencia del concreto, es común que se monitoree el aumento gradual de la resistencia si se utilizan equipos con manómetro digital integrado. De esta forma, el esfuerzo que provoca la rotura, si se asocia con las curvas de tendencia que se marcan en la literatura especializada, hace también posible que se pueda estimar de manera muy aproximada la resistencia a la compresión del material.

En este caso, muchos factores intervienen en la variabilidad de los resultados. Pueden citarse entre los más importantes: composición y propiedades del concreto en las capas, posible degradación superficial del material debido a efectos medioambientales, material utilizado en la zona de interfaz, dimensiones del núcleo, orientación y posición del agregado respecto al disco, tamaño máximo del agregado grueso, diámetro y espesor del disco, sistema de contrapresión utilizado (anillo o trípode) y velocidad de aplicación de la carga.

Diversas fuentes se refieren a la influencia que puede tener la presencia del acero de refuerzo con poco recubrimiento, en el área a ensayar del elemento (justo donde el disco hace contacto con el concreto). Esta variable debe tomarse en cuenta pues al no hacerlo se podrían introducir distorsiones en los resultados. Bajo esta prerrogativa es recomendable que previo a la ubicación del disco, se utilice un localizador de acero de refuerzo; para asegurar que no exista presencia de acero de refuerzo con poco recubrimiento en el sitio del ensayo.

Si bien es un método bien aceptado por sus ventajas, también experimenta algunas limitaciones entre las que sobresale, como antes se comentó, el ser un ensayo con alta sensibilidad a la excentricidad. Aun así, es un hecho el que la prueba de "Pull Off" continúe siendo una excelente alternativa para evaluar de manera general la calidad y la resistencia, a partir del sustrato, en estructuras de concreto. **C**

REFERENCIAS:

- **Bonaldo E., Barros J., Lorenço P. (2005), "Bond characterization between concrete substrate and repairing SFRC using pull-off testing", International Journal of Adhesion & Adhesives 25, 463-474.**
- **Germann Instruments (2010). NDT System (Catálogo de productos del año 2010).**
- **Henderson G., Muhammed P., Long A. (2004), "Pull Off Test and Permeation Test", en "Handbook on Nondestructive Testing of Concrete".**
- **NORDTEST METHOD, NT BUILD 365 (----) "Concrete, repair materials and protective coating: bond strength, direct Pull-Off Test", Approved 1991 - 02.**

MAJLA DE INGENIERÍA

Gran
ahorro en
tiempo y
dinero



La Malla de Ingeniería es un armado electrosoldado para refuerzo de concreto que sustituye en forma eficiente a los armados de varilla de 3/8" hasta 3/4".

Ventajas de la Malla de Ingeniería:

- El trabajo se realiza más rápido que con la varilla grado 42.
- Permite obtener ahorros de hasta un 75% en el costo de mano de obra.
- Su instalación es rápida y sencilla ya que sólo se colocan y traslapan las hojas de acuerdo al plano de montaje.
- Servicio de área técnica para aplicación en proyectos reales.

Armados típicos de varilla

| | |
|------|-------|
| 3/8" | 15 cm |
| | 20 cm |
| | 25 cm |
| | 30 cm |
| 1/2" | 35 cm |
| | 40 cm |

@

Malla de Ingeniería



Ejemplos de aplicaciones de la Malla de Ingeniería:



Firmes / Pisos

Canales

Pavimentos

Puentes

Muros

Losas

ventas@deacero.com

deacero.com

01800 831 5700

DEACERO