



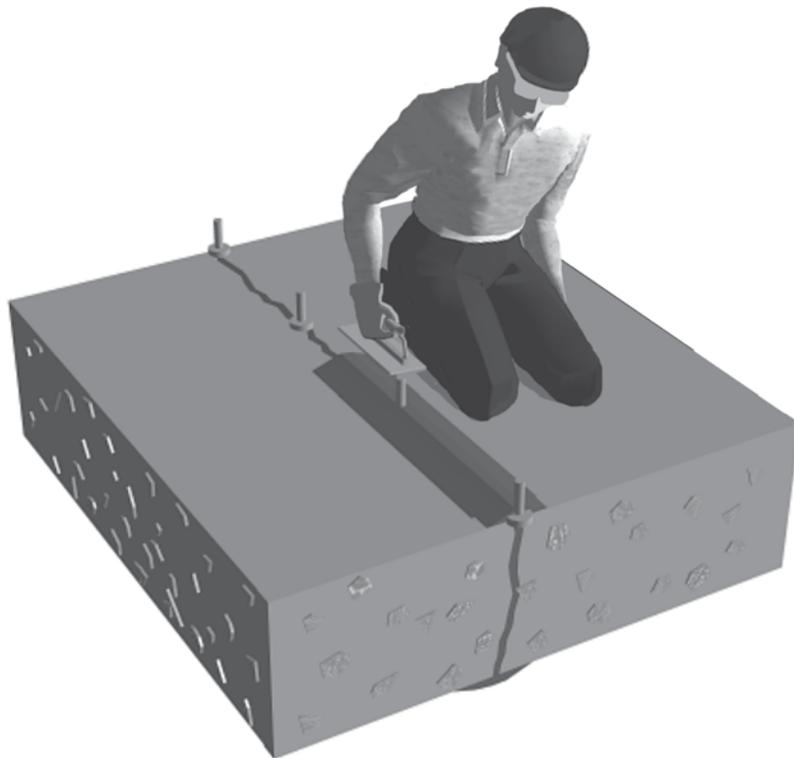
American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge

Boletín 1 de RAP del ACI

GUÍA PRÁCTICA DE
PROCEDIMIENTOS
DE APLICACIÓN PARA
REPARACIONES
DE CONCRETO

Reparación de Grietas Estructurales Por Inyección de Resinas Epóxicas

por Brian F. Keane



**Guía Práctica de Procedimientos de Aplicación para
Reparaciones de Concreto**

**Reparación de Grietas Estructurales Por Inyección de
Resinas Epóxicas**

Informe del Comité E706 de ACI

Brian F. Keane^{*}
Presidente

J. Christopher Ball
Floyd E. Dimmick, Sr.
Peter H. Emmons[§]
Timothy R. W. Gillespie

H. Peter Golter
Bob Joyce
Kenneth M. Lozen
John S. Lund

Richard Montani[†]
Jay H. Paul
George I. Taylor
Patrick M. Watson[‡]

David W. Whitmore

^{*}Autor principal del boletín 1 de los Procedimientos de Aplicación para Reparaciones de Concreto (RAP).

[†]Autor principal del boletín 2 de RAP.

[‡]Autor principal del boletín 3 de RAP.

[§]Autor principal de los boletines 4 y 5 de RAP.

El comité agradece a Brandon Emmons por las ilustraciones de estos boletines.

Es responsabilidad del usuario de este documento establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas a las circunstancias específicas implicadas con su uso. ACI no representa a ninguna entidad respecto a los aspectos de seguridad e higiene industrial y al uso de este documento. El usuario deberá determinar la aplicabilidad de todas las limitaciones de regulación antes de aplicar los contenidos del documento y cumplir con todas las leyes y reglamentos que apliquen incluyendo sin sentido limitativo, los estándares de seguridad e higiene de la Occupational Safety and Health Association (OSHA) de los EE.UU.

Exención estructural

Este documento pretende ser una guía práctica que ofrecemos al propietario, profesional de diseño y contratista de reparación de estructuras de concreto. No pretende liberar al usuario de esta guía, de la responsabilidad que tiene de realizar una valoración adecuada de las condiciones y una evaluación estructural actual, y de la especificación de los métodos, materiales o prácticas para la reparación de concreto por el ingeniero/diseñador experimentado.

Procedimiento de aplicación para reparaciones de concreto 1 del ACI.
Copyright © 2012, Instituto Americano del Concreto (ACI).

Todos los derechos reservados incluyendo los derechos de reproducción y uso en cualquier forma o medio, incluyendo el copiado por cualquier proceso de fotografía o dispositivo electrónico o mecánico, impreso, escrito u oral, o la grabación de sonido o reproducción visual o para usarse en cualquier sistema o dispositivo de recuperación de información, a menos que se obtenga el permiso, por escrito, de los propietarios del derecho de autor. Impreso en los Estados Unidos de Norteamérica.

El Instituto no es responsable de las declaraciones u opiniones de esta publicación. Las publicaciones del Instituto no pueden ni pretenden sustituir la capacitación individual, la responsabilidad o juicio del usuario, o del proveedor de la información proporcionada.

Introducción

Hay ciertas cosas en la vida que son inevitables. Se dice que algunas incluyen la muerte, los impuestos y las grietas en el concreto. Las grietas son un tema de muchas publicaciones sobre sus causas y su reparación. Algunas de las causas más típicas del agrietamiento del concreto incluyen:

- Retracción por secado;
- Contracción o expansión térmica;
- Asentamiento;
- Falta de juntas de control adecuadas;
- Condiciones de sobrecarga que producen grietas por flexión, tensión o esfuerzo cortante en el concreto; y
- Restricción del movimiento.

Uno de los procedimientos de reparación potencialmente efectivos consiste en inyectar las grietas con resina epóxica a presión. El procedimiento de inyección variará en función de la aplicación y localización de las grietas, además las grietas horizontales, verticales o “sobre-cabeza” requieren algunos enfoques de aplicación diferentes. El enfoque que se utilice debe considerar también la accesibilidad a la superficie agrietada y el tamaño de la grieta.

Las grietas pueden ser inyectadas desde uno o ambos lados de un elemento de concreto. Si el acceso está limitado a un lado solamente, los procedimientos de aplicación pueden incluir variaciones en la viscosidad de la resina epóxica, el equipo de inyección, la presión de inyección y el espaciamiento de los puertos de inyección para asegurar una completa penetración de la resina en la grieta.

Dependiendo de los requisitos específicos del proyecto, la reparación de grietas mediante la inyección de resina epóxica puede reestablecer la integridad estructural y reducir la penetración de la humedad a través de las grietas en el concreto que tengan un espesor de 0.05 mm (0.002 pulg.) o mayor. Sin embargo, antes de que se realice cualquier reparación del concreto, la causa del daño deberá evaluarse y corregirse, entendiéndose el objetivo de la reparación. Si la grieta está sujeta a movimiento subsecuente, es posible que no sea aplicable la reparación por medio de resina epóxica.

Nota: Si lo permite la reparación, las grietas en superficies horizontales con un espesor suficiente pueden rellenarse por medio de resinas epóxicas aplicadas por gravedad (consulte el boletín Reparación de Grietas Inyectando Resinas Por Medio de Gravedad, RAP-2S).

¿Cuál es el propósito de esta reparación?

El objetivo principal de este tipo de reparación es restaurar la integridad estructural y la resistencia a la penetración de humedad del elemento de concreto.

¿Cuándo utilizo este método?

El método de inyección se utiliza típicamente para grietas en superficies horizontales, verticales o “sobre-cabeza” dónde los métodos convencionales de reparación no pueden penetrar y distribuir el producto de reparación específico en la grieta.

Antes de proceder con la reparación de la grieta por medio de inyección de resina epóxica, deberá determinarse la causa

de la misma y la necesidad de su reparación estructural. Si la grieta no compromete la integridad estructural de la estructura, es posible que la inyección con grouts de poliuretano u otros materiales no estructurales sean una opción más adecuada para rellenar la grieta. Cuando se requiere una reparación estructural, deberá corregirse la causa de la grieta antes de proceder con la inyección de la resina epóxica. Si la grieta está húmeda y no puede secarse, deberá considerarse el uso de una resina epóxica tolerante a la humedad. Las grietas que son causadas por corrosión del acero de refuerzo, no deben repararse por inyección de resina epóxica ya que la corrosión continua causando la aparición de nuevas grietas.

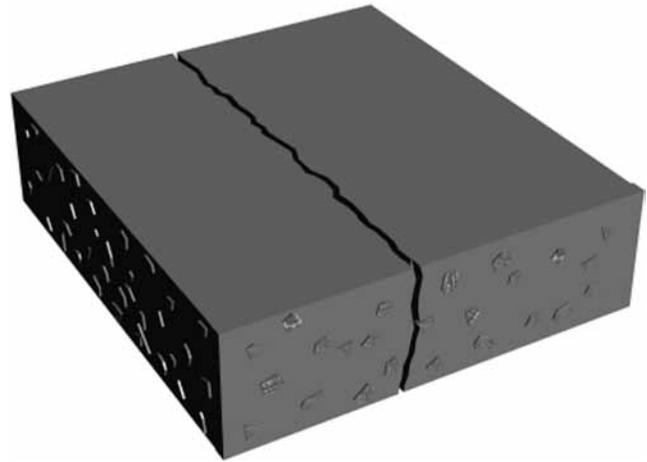


Fig. 1—Las grietas deben estar limpias y sin residuos.

¿Cómo debo preparar la superficie? (vea Fig. 1)

Limpie el área de la superficie de aproximadamente 13 mm (1/2 pulg.) de ancho a cada lado de la grieta. Esto se realiza para asegurar que los materiales que se utilicen para sellar la parte superior de la grieta (sellado final) se adhieran adecuadamente al concreto. Se recomienda usar cepillos de alambre ya que los esmeriladores mecánicos pueden provocar que polvo indeseable penetre en la grieta. También pueden eliminarse contaminantes usando agua a alta presión, aire comprimido “sin aceite”, o aspiradoras eléctricas. Cuando utilice agua para limpiar la grieta, sople aire caliente o comprimido, sin aceite, en la grieta para acelerar el secado. De lo contrario, dé tiempo suficiente para que se seque naturalmente antes de inyectar las resinas epóxicas que son sensibles a la humedad.

Cuando las superficies de concreto, adyacentes a la grieta, están deterioradas, ranure la grieta en “V” hasta que encuentre concreto sano. Las ranuras en “V” pueden usarse también cuando las altas presiones de inyección requieren un sellado final más resistente.

Tabla 1 – Requisitos del estándar ASTM C881 para las resinas epóxicas que se utilizan para la adhesión de concreto endurecido a concreto endurecido

	Tipo I*	Tipo IV †
Viscosidad, Pa·s (centipoises)		
Grado 1 (viscosidad baja), máxima	2.0 (2000)	2.0 (2000)
Grado 2 (viscosidad media), mínima	2.0 (2000)	2.0 (2000)
Máxima	10 (10,000)	10 (10,000)
Consistencia, mm (pulg.)		
Grado 3 (sin escurrimiento), máxima	6.0 (¼)	6.0 (¼)
Tiempo de gelificación, minutos	30	30
Resistencia a la adhesión, mínimo, MPa (psi)		
2 días, curado en húmedo‡	7.0 (1000)	7.0 (1000)
14 días, curado en húmedo	10.0 (1500)	10.0 (1500)
Absorción, 24 horas máximo, %	1	1
Temperatura de deflexión por calor, °C (°F)		
7 días mínimo	—	50 (120)
Coeficiente lineal de retracción		
Al curar, máximo	0.005	0.005
Resistencia a la fluencia bajo compresión, MPa (psi)		
7 días mínimo	55.0 (8000)	70.0 (10,000)
Módulo de compresión, mínimo	1000 (150,000)	1400 (200,000)
Resistencia a la tensión, 7 días mínimo	35.0 (5000)	50.0 (7000)
Elongación a la ruptura, mínimo, %	1	1

*Tipo I: para usarse en aplicaciones que no están bajo carga.

†Tipo IV: para usarse en aplicaciones que soportan carga.

Fuente: ASTM C881, Standard Specification for Epoxy Resin Base Bonding Systems for Concrete.

‡Los sistemas curados por humedad deben someterse a prueba, ensamblando las secciones que se van a adherir antes de sumergirlas en agua.

¿Cómo selecciono el material correcto?

La viscosidad apropiada de la resina epóxica dependerá del tamaño de la grieta, espesor de la sección de concreto y del acceso para la inyección. Para las grietas con espesores de 0.3 mm (0.010 pulg.) o menores, utilice una resina epóxica de baja viscosidad (500 cps o menos). Para grietas más anchas, o donde el acceso a la inyección se limita a un solo lado, el uso de un material con una viscosidad media a viscosidad de gel, puede ser más adecuado.

La especificación de la ASTM C881, “Standard Specification for Epoxy Resin Base Bonding Systems for Concrete,” identifica los criterios básicos para la selección del grado y clase de las resinas a usar (vea Tabla 1).

Para secciones de concreto mayores de 305 mm (12 pulg.), se puede necesitar un tiempo de aplicación mayor con una viscosidad menor, conforme la grieta disminuye de tamaño.

Además de los criterios utilizados en la Tabla 1 para la selección de la resina epóxica, también deberán considerarse las siguientes características del producto:

- Módulo de elasticidad (rigidez);
- Tiempo de trabajabilidad de la mezcla epóxica;

- Tolerancia a la humedad;
- Color; y
- Resistencias a la compresión, flexión y tensión.

¿Qué tipo de equipo necesito?

Un equipo para la inyección de resinas epóxicas con sistemas de alta o baja presión que incluya:

- Pistolas de aire;
- Sistemas de suministro activados manualmente;
- Cápsulas accionadas por resortes; y
- Cápsulas accionadas por globo.

Determine el método de suministro que mejor se ajuste a los requisitos de reparación considerando el tamaño y complejidad de la reparación por inyección y las limitaciones económicas del proyecto.

¿Qué aspectos de seguridad hay que considerar?

Las resinas epóxicas son materiales peligrosos y deben tratarse como tal. Las prácticas de seguridad en la obra deben incluir, pero no en sentido limitativo, lo siguiente:

- Material Safety Data Sheets (MSDS) (información sobre seguridad en el manejo del producto) disponibles donde se realiza el trabajo;
- Uso de ropa protectora y lentes de protección donde se requiera;
- Uso de guantes de goma o cremas protectoras para protección de las manos;
- Disponibilidad de instalaciones para lavado de ojos;
- Uso de respiradores donde sea necesario;
- Proveer ventilación en áreas cerradas;
- Almacenamiento seguro de materiales peligrosos;
- Materiales de limpieza necesarios a mano; y
- Notificar a los ocupantes de los procedimientos de reparación pendientes.

Es responsabilidad del usuario de este documento establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas a las circunstancias específicas implicadas con su uso. ACI no representa a ninguna entidad respecto a los aspectos de seguridad e higiene industrial y al uso de este documento. El usuario deberá determinar la aplicabilidad de todas las limitaciones reglamentarias antes de utilizarlos contenidos del documento y cumplir con todas las leyes y reglamentos que apliquen, incluyendo sin sentido limitativo, los estándares de seguridad e higiene de la Occupational Safety and Health Association (OSHA) de los EE.UU.

Reunión previa a la construcción

Antes de proceder con la reparación, se recomienda realizar una reunión previa. Deberán asistir a la reunión representantes de todas las partes participantes (propietario, ingeniero, contratista, fabricante de materiales, etc.) y tratar específicamente los parámetros, medios, métodos, apariencia final y materiales necesarios para lograr los objetivos de la reparación.

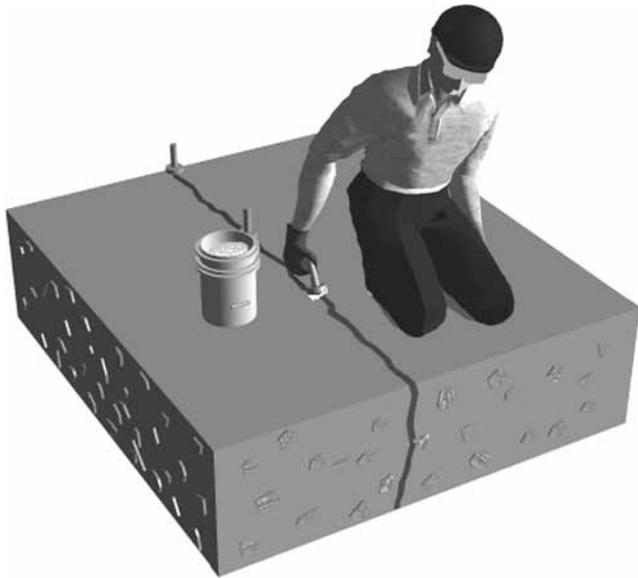


Fig. 2—Instalación de puertos de entrada.

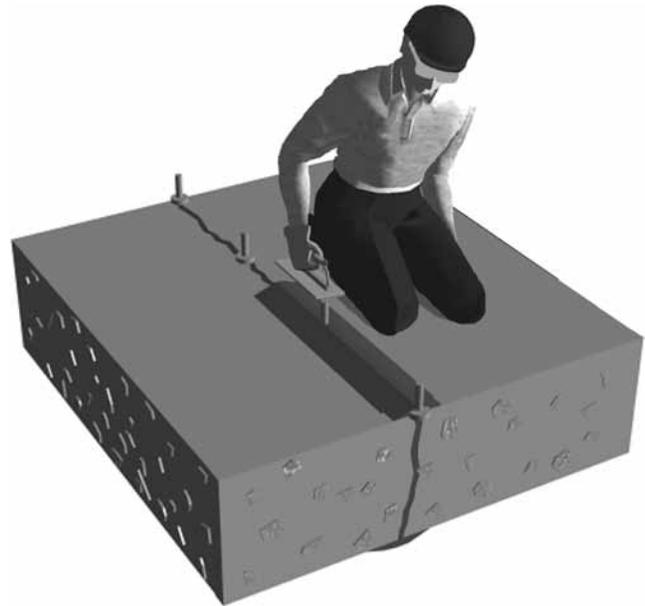


Fig. 3—Instalación del sello externo final.

Procedimiento de reparación

1. Instalación de los puertos de entrada (vea Fig. 2).

Instale los puertos de entrada únicamente después de haber preparado la superficie en forma adecuada. Existen dos tipos de puertos de entrada disponibles para el proceso de inyección:

- Montado en la superficie; o
- Montado en la boquilla.

Los puertos de entrada (también llamados adaptadores de puerto) pueden ser cualquier dispositivo similar a un tubo que permite la transferencia efectiva de la resina epóxica bajo presión en la grieta. Existen también pistolas de inyección patentadas con boquillas especiales con empaque para usarse sin los adaptadores de puertos. El espaciamiento entre los puertos es típicamente de 200 mm (8 pulg.) de centro a centro, con un espaciamiento mayor para grietas más anchas. El espaciamiento de los puertos puede también depender del espesor del elemento de concreto.

Los puertos de entrada montados en la superficie son normalmente adecuados para la mayoría de las grietas, pero los puertos montados en boquillas se utilizan cuando las grietas están bloqueadas, como es el caso del concreto calcificado. Los puertos de entrada pueden también conectarse por un sistema múltiple cuando la inyección simultánea de múltiples puertos representa una ventaja.

2. Instale el sello externo (vea Fig. 3).

Si se instaló en forma adecuada, el sello externo retendrá la resina epóxica conforme se inyecta bajo presión dentro de la grieta. Cuando las grietas penetran a través de una sección, los sellos externos trabajan mejor cuando se instalan a ambos lados del elemento agrietado, asegurando la contención de la resina epóxica. Los sellos externos se han instalado exitosamente

usando resinas epóxicas, poliésteres, ceras de parafina y selladores de silicón. Para la selección del material del sello externo, deberán considerarse los siguientes criterios, sujetos al tipo de grieta por reparar:

- Consistencia sin escurrimiento (para elementos verticales o “sobre-cabeza”);
- Tolerancia a la humedad;
- Tiempo de trabajabilidad de la mezcla epóxica;
- Rigidez (módulo de elasticidad).

Cambios en la temperatura del concreto después de la instalación del sello externo, pero antes de la inyección, pueden causar que el sello externo se agriete. Si esto sucede, el sello externo debe repararse antes de inyectar la resina epóxica.

Antes de proceder a la instalación del sello externo, marque la ubicación de la porción más ancha de la grieta y ponga especial atención a lo siguiente:

- Utilice sólo materiales que no han excedido su vida útil;
- Dosificación precisa de los componentes;
- Lotes pequeños para mantener el material fresco y disipar el calor;
- Espaciamiento de los puertos; y
- Aplicación consistente del material (25 mm de ancho [1 pulg.] x 5 mm de espesor [3/16 pulg.] a lo largo de la grieta).

3. Inyecte la resina epóxica (vea Fig. 4 y 5).

Para la inyección exitosa de la resina epóxica, empiece con una dosificación y mezclado adecuados de los componentes epóxicos apegándose estrictamente a los requisitos del fabricante. Antes de iniciar con la inyección, asegúrese

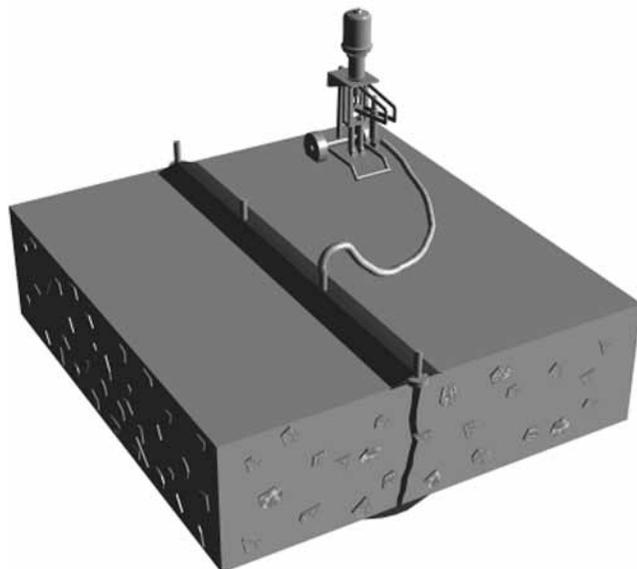


Fig. 4.—Inicio la inyección en el segmento más ancho de la grieta.

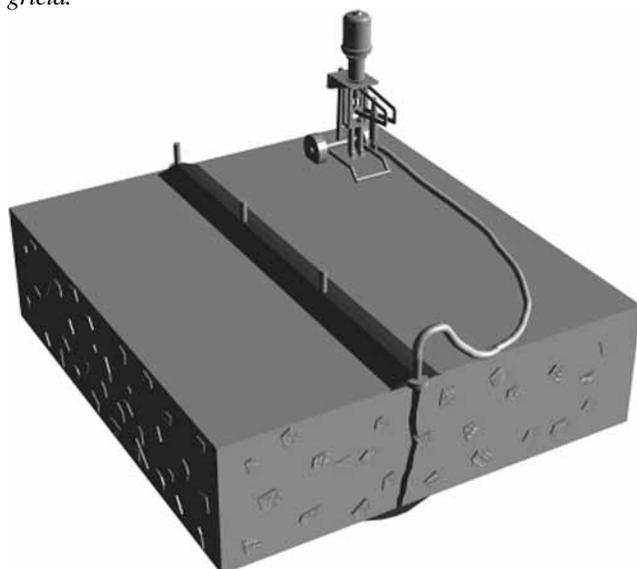


Fig. 5.—Continúe la inyección hasta que ya no entre más resina y se rebose.

que el sello externo y el adhesivo del adaptador del puerto se hayan curado adecuadamente de tal forma que puedan soportar las presiones de inyección.

En una grieta horizontal inicie la inyección en la sección más ancha de la grieta. (Asegúrese de localizar y marcar estas áreas antes de instalar el sello externo.) Comúnmente, las grietas verticales son inyectadas de la parte inferior hacia la parte superior.

Continúe la inyección hasta que se rebose. Si un puerto adyacente empieza a rebosar, tape el puerto que se está inyectando y continúe la inyección en el puerto más lejano del que este brotando resina. Las grietas capilares internas en ocasiones no son muy adecuadas para repararse por “bombeo hasta el rebose”. En esos casos, trate de inyectar la resina epóxica a una presión mayor (aproximadamente



Fig. 6.—Retire el externo.

1.3 MPa (200 lb./pulg.²)) por 5 minutos. También deberá considerar un espaciamiento menor de los puertos.

Cuando la inyección en el puerto se completa, tápelo inmediatamente. Se pueden usar presiones mayores para inyectar grietas muy estrechas o aumentar la velocidad de inyección. Sin embargo, debe tener cuidado al usar presiones mayores para prevenir que el sello externo o los puertos se revienten.

4. Retire los puertos y el sello externo (vea Fig. 6).

Al terminar el proceso de inyección, retire puertos y el sello externo por calentamiento, cincelandos o esmerilando. Si la apariencia no es objetada por el cliente, el sello externo puede dejarse en su lugar. Si se requiere quitarlo por completo para aplicar posteriormente un recubrimiento más estético, prepare la superficie de concreto por esmerilado.

¿Cómo debo verificar la reparación?

Para asegurar que la inyección se ha realizado exitosamente, se pueden usar medidas de aseguramiento de la calidad que incluyan muestras de prueba o evaluaciones no destructivas (*NDE, siglas en ingles*).

1. Corazones de prueba:

- Deberán seleccionarse las ubicaciones de los corazones para evitar cortar el acero de refuerzo, perforar para obtener muestras en áreas de esfuerzos críticos o creando orificios por debajo del nivel de agua. El ingeniero debe determinar las ubicaciones de los corazones cuando existan estas condiciones; Asegúrese que la resina epóxica ha fraguado antes de extraer un corazón;
- Tome corazones (normalmente de 50 mm [2 pulg.] de diámetro) para verificar que la penetración de la resina epóxica es adecuada;

- Inspeccione el corazón visualmente para determinar la penetración de la resina epóxica dentro de la grieta;
- Se pueden realizar pruebas adicionales en los corazones para determinar la resistencia a compresión y a la tensión por compresión diametral según el estándar ASTM C42; y
- Subsecuentemente, repare el área de donde se retiró el corazón (después de una preparación adecuada de la superficie) con un material cementante expansivo o un grout epóxico compatible con el sustrato de concreto existente y el medio que lo rodea.

2. Métodos para la evaluación no destructiva:

- Impacto por ondas sonoras (*impact echo, IE, siglas en inglés*);
- Velocidad de pulso ultrasónico (*ultrasonic pulse velocity, UPV, siglas en inglés*); y
- Análisis del espectro de las ondas superficiales (*spectral analysis of surface waves, SASW, siglas en inglés*).

Fuentes de consulta para información adicional

ACI Committee 224, 1993, "Causes, Evaluation, and Repairs of Cracks in Concrete Structures (224.1R-93)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 22 pp.

ACI Committee 364, 1994, "Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation (364.1R-94)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 22 pp.

ACI Committee 503, 1998, "Use of Epoxy Compounds with Concrete (ACI 503R-93 (Reapproved 1998)), " American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 28 pp.

ACI Committee 546, 1988, "Guide for Repair of Concrete Bridge Structures (546.1R-80 (Reapproved 1988)), " American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 20 pp.

ACI Committee 546, 1996, "Concrete Repair Guide (546R-96)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 41 pp.

ASTM C 881-90, 1990, "Standard Specification for Epoxy-Resin Based Bonding Systems for Concrete," ASTM International, West Conshohocken, Pa., 5 pp.

Emmons, P. H., 1994, Concrete Repair and Maintenance Illustrated, R. S. Means Co., Inc., Kingston, Mass., 300 pp.

"Guide for Verifying Performance of Epoxy Injection of Concrete Cracks," 1998, ICRI Technical Guideline No. 03734.

Murray, M. A., 1987, "Epoxy Injection Welds Cracks Back Together," Concrete Repair, V. 3.

Promboon, Y.; Olsen, L. D.; and Lund, J., 2002, "Nondestructive Evaluation (NDE) Methods for Quality Assurance," ICRI Bulletin, V. 15, No. 1, Jan.-Feb., pp. 12-16.

"State-of-the-Art Adhesives for Concrete Construction," 1998, Construction Canada Magazine, May-June.

Trout, J. F., 1998, Epoxy Injection in Construction, The Aberdeen Group, 80 pp.