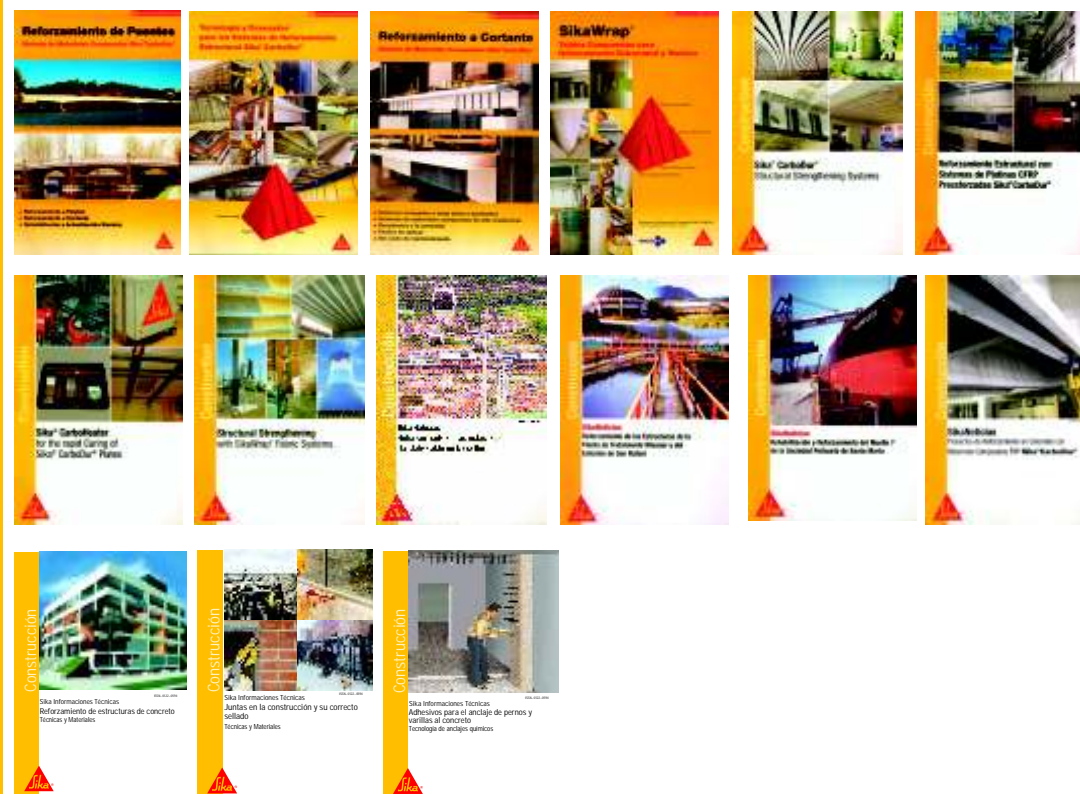


Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto

Tipos, usos y especificaciones

Otras publicaciones Sika:



Construcción



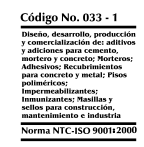
ISSN-0122-0594

Sika Informaciones Técnicas Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto Tipos, usos y especificaciones



| | | | |
|---|--|--|--|
| <p>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</p> | <p>BOGOTA Calle 15A No. 69 - 90 Tel.: (1) 412 3300 Fax: (1) 424 7235 Bogotá, D.C. E-mail: bogota.ventas@co.sika.com</p> | <p>CALI 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</p> | <p>CARTAGENA Albornoz - Vía Mamonal Carrera 56 No. 3-46 Tel.: (5) 667 2216 - 667 2044 667 2216 Fax: (5) 667 2042 E-mail: cartagena.ventas@co.sika.com</p> |
| <p>MEDELLIN Km. 34 Autopista Medellin - Bogotá Rionegro PBX: (4) 530 1060 Fax: (4) 530 1034 E-mail: medellin.ventas@co.sika.com</p> | <p>ORIENTE Calle 15A No. 69 - 90 Tel.: (1) 412 3300 Ext.: 470/473/474/475/476/477 Telefax: (1) 412 3300 Ext.: 478 Bogotá, D.C. E-mail: oriente.ventas@co.sika.com</p> | <p>PEREIRA Av. 30 de agosto No. 87 - 240 Tels.: (6) 320 2114 - 320 2144 Fax: (6) 337 4744 E-mail: pereira.ventas@co.sika.com</p> | <p>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</p> |

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



DCT - SI - 58 - 02 - 2007



Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto

Introducción

Las resinas sintéticas conformadas por polímeros tienen varias aplicaciones tales como adhesivos, rellenos de nivelación (grouts), sello de juntas, recubrimientos de protección del concreto. Los adhesivos poliméricos tienen una gran variedad de aplicaciones en la construcción y en la rehabilitación (reparación, reforzamiento) de estructuras de concreto tales como:

- Pega de concreto o mortero fresco a concreto endurecido.
- Pega de concreto endurecido a concreto endurecido (prefabricados, dovelas).
- Pega estructural y/o sello de fisuras en el concreto.
- Pega de insertos como pernos y varillas o barras de refuerzo dentro del concreto (anclajes o fijaciones).
- Pega de concreto y otros materiales (acero, vidrio, madera, aluminio, cerámica, membranas poliméricas).
- Conformación y pega de sistemas de reforzamiento externo (metálico, materiales compuestos FRP).
- Relleno de cavidades del concreto.

Este documento hará referencia al uso de adhesivos para varias de las aplicaciones mencionadas y se pretende dar al arquitecto, ingeniero y demás profesionales de la construcción una idea del los tipos, criterios de selección y especificación de los adhesivos con base en normas y estándares de diseño; además información sobre los diferentes tipos de ensayos a adhesivos y la interpretación de los mismos.

El uso de adhesivos como puentes de adherencia para la pega de concreto o mortero fresco a una superficie de concreto existente, ha sido un tema muy controvertido entre algunos profesionales dedicados a la construcción y a la rehabilitación de estructuras. La frase "para lograr la unión de concreto fresco a concreto endurecido basta con una adecuada preparación de superficie" hizo carrera,



Fallas de adherencia en enchape de fachada

con resultados en obra buenos, regulares y malos, reflejando la misma falencia que la frase muestra en su texto. Se habla de lograr "la unión" pero no se define el tipo de unión que se logra, es decir si esa unión es buena, regular o mala. Para no hablar de lo que significa en nuestro medio una "adecuada preparación de superficie" que puede variar entre lavar con agua, hasta escarificar y crear un adecuado perfil de anclaje, e incluso demoler o remover.

La labor de preparación de superficie realizada por mano de obra inexperta o con el uso de ciertos equipos o herramientas genera microfisuras en el sustrato, las cuales, aunque aparentemente haya buen perfil de anclaje, van a conducir a una pobre adherencia entre material nuevo y concreto viejo.

Incluso hablar de una pega "buena, regular o mala" conduce a que se generen calificativos con muy

poca significación técnica cuando se pretende evaluar la adherencia de un material cementoso nuevo a un sustrato viejo. Sólo cuando se entra a analizar valores de resistencia de adherencia puede el técnico juzgar la verdadera calidad de una pega, sin olvidar sin embargo que existen otros parámetros que entran en juego en la calidad de la pega y que también hay que evaluarlos.

La unión débil de dos materiales no sólo puede conducir a fallas de la reparación, recalce, etc, sino que deja un plano de falla invisible a simple vista pero suficientemente abierto para que el agua y agentes agresores presentes en el medio ambiente penetren, deterioren y den pie a la corrosión del acero de refuerzo, generando con el tiempo una nueva rehabilitación, esta vez más complicada pues ya está comprometido el refuerzo.

El objetivo del presente artículo es entonces informar al lector sobre el uso de adhesivos en la reparación o en la construcción de estructuras de concreto y los documentos que apoyan la labor de selección de adherentes generados por los más importantes entes de normalización de Europa y Estados Unidos y por institutos ampliamente reconocidos a nivel mundial que generan estándares internacionales sobre estos temas. Sobra agregar que es palpable la falta de información existente entre el gremio constructor, la disparidad de criterios y la falta de normalización nacional sobre temas tan importantes para la seguridad estructural y la durabilidad de las estructuras como el de la generación de una apropiada adherencia entre materiales de acuerdo con el uso, localización en la estructura y función estructural o no estructural.

Los adhesivos pueden ser rígidos o flexibles, este documento trata principalmente la pega rígida.

Adhesivos en la Construcción y Reparación de Estructuras de Concreto

Tipos, usos y especificaciones

Introducción

1. Teorías de adhesión y química de los adhesivos
2. Estándares, guías de selección y especificación de materiales de reparación y construcción
3. Ensayos de adherencia
4. Guías de diseño de reparación y construcción de estructuras de concreto
5. Resumen y conclusiones
6. Bibliografía



Desprendimiento de mortero en fachada a pesar de haber "preparado la superficie" por picado y haber saturado con agua.

Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto

1. Teorías de adhesión y química de los adhesivos

Mecanismos de adhesión

Los mecanismos de adhesión han sido investigados por años. No hay una teoría única que explique porque pega un adhesivo y varias teorías intentan describir el fenómeno de adhesión. Algunas teorías aplican mejor que otras en circunstancias específicas, unas son más aplicables para ciertos sustratos y usos. Cada teoría ha sido sujeta a estudio y controversia. Las teorías de adhesión existentes son:

Encaje o trabazón mecánica (mechanical interlocking)

Electrostática (electrostatic)

Adsorción (adsorption)

Absorción química (chemisorption)

Difusión (diffusion)

Capa-lindero-débil (weak-boundary-layer)

La pega de un adhesivo a un objeto o superficie es la suma de fuerzas mecánicas, físicas y químicas que se traslapan e influyen entre sí y no es posible separarlas una de la otra. Se distinguen entre trabazón mecánica, causada por el anclaje mecánico del adhesivo en los poros y partes irregulares de la superficie, fuerzas electrostáticas, referidas a la diferencia en electronegatividades de los materiales que se adhieren y los otros mecanismos de adhesión relacionados con fuerzas de pega intermolecular explicada con la teoría de adsorción y con las interacciones químicas explicada con la teoría de absorción química que ocurren en la interfaz de sistemas heterogéneos. Los procesos que juegan un papel en la pega de sistemas homogéneos de materiales poliméricos termoplásticos pueden ser determinados con la ayuda de la teoría de difusión. Otra teoría que existe es la de capa-lindero-débil.

La teoría de adsorción estipula que la adhesión resulta del contacto molecular entre dos materiales y las fuerzas de atracción superficiales que desarrollan, usualmente denominadas como fuerzas secundarias o de Van der Waals. Para que se desarrollen éstas fuerzas el adhesivo debe hacer contacto íntimo, molecular con la superficie del sustrato. Esta teoría es el mecanismo más importante en el logro de la adhesión.

De acuerdo con la teoría de capa-lindero-débil, cuando la falla de adherencia parece estar en la interfaz, generalmente la rotura cohesiva



Corrosión de armadura por deficiente adherencia entre concretos y/o falta de sello en junta fría o de construcción en viga de cimentación.

de la capa lindero o adyacente es la falla que realmente se presenta. Esta teoría sugiere que la falla real en la interfaz raramente ocurre. En la mayoría de los casos la falla en la junta resulta de una falla cohesiva de la capa lindero débil. De esta forma la resistencia de adherencia no es del adhesivo sino del sustrato (ver capítulo 3 Ensayos).

Química de los adhesivos.

Los adhesivos son fabricados a base de polímeros o resinas sintéticas. Los polímeros pueden ser de tres tipos (ASTM D-883): tipo termoplástico como copolímeros de vinil acetato (VAC o EVA), acetato de polivinilo (PVA),

éster poliacrílico (PAE), monómero de metil metacrilato (M); tipo termoendurecible, termoestable o termorigido como epóxico (E), poliéster (P); tipo elastómero como poliuretano (PU), polisulfuro (PS), silicona (S), estireno butadieno (SB), cloropreno (CR).

Los polímeros termoplásticos pueden ser repetidamente ablandados por calor y endurecidos por enfriamiento sin perder sus propiedades, en un rango de temperatura característico del plástico y en el estado ablandado puede dársele forma por extrusión, mientras que los termoestables y elastómeros son insolubles después de curados por calor u otros



Falla de adherencia de mortero aplicado sobre concreto.



Aplicación de puente de adherencia epóxico entre concreto nuevo y viejo en reforzamiento de columna con concreto

medios. Los elastómeros son elásticos o rebotan, recuperan deformaciones rápidamente y violentamente.

La temperatura de transición vítrea (Tg) es la temperatura por encima de la cual un polímero se vuelve blando y dúctil, y por debajo de la cual se vuelve duro y quebradizo como el vidrio y es distinta para cada polímero. La temperatura de deflexión (HDT) representa el mismo efecto antes descrito. Al pasar al estado blando las propiedades mecánicas del adhesivo se reducen drásticamente. Algunos polímeros son empleados a temperaturas por encima de su Tg y otros por debajo. La temperatura de servicio de un adhesivo estructural duro debe estar siempre por debajo del Tg o del HDT y las cuales deben estar muy por encima de la temperatura ambiente. En este caso el adhesivo debe ser capaz siempre en servicio de transmitir esfuerzos en la pega. En adhesivos duros no estructurales la temperatura de servicio puede estar por encima o por debajo del Tg o del HDT en el caso de que el ablandamiento no tenga incidencia en el comportamiento esperado de la pega, por ejemplo que solo se requiera una función de sello sin importar la consistencia del adhesivo. Los elastómeros son usados por encima de su Tg, en su estado caucho donde son blandos y flexibles. Temperaturas muy elevadas pueden consumir o dañar el polímero, por ejemplo por acción del fuego.

Los adhesivos poliméricos pueden ser libres de solventes como E, P, M, PS, PU, S, o con base en agua (adhesivos látex) como PVA, VAC, PAE, SB, CR. Los adhesivos látex son adhesivos en dispersión coloidal acuosa, siendo un coloide una dispersión de partículas microscópicas en un medio líquido sin su disolución en el medio. Los adhesivos látex

pueden ser re-emulsionables (los afecta la humedad) como PVA, VAC y no re-emulsionables (resistentes al agua) como PAE, SB.

A continuación se presenta una descripción breve de diferentes tipos de adhesivos poliméricos libres de solventes [1].

Adhesivos epóxicos (E).

Los adhesivos epóxicos están generalmente compuestos por una resina epóxica, un agente curador de amina o poliamida, diluyentes reactivos y, en algunos casos, llenantes inorgánicos y agentes tixotrópicos. Estos son los adhesivos polímeros más comúnmente usados. Los adhesivos epóxicos generalmente tienen una excelente adhesión debido a su relativamente baja contracción de curado, con una baja tensión superficial y propiedades moleculares que mejoran su atracción a una amplia variedad de sustratos. Son muy tolerantes a la alcalinidad del concreto.

Los adhesivos epóxicos pueden estar formulados para curar a una temperatura tan baja como -18°C (0°F) o para tener un tiempo de trabajo que permita el uso a 38°C (100°F). La mayoría de los epóxicos adhesivos tienen muy baja proporción de resina/agente curador, lo cual permite la medición y mezcla dentro de las tolerancias de equipos automáticos disponibles.

Los adhesivos epóxicos que cumplen la especificación ASTM C 881 se adherirán a los sustratos del concreto y algunos curan y adhieren bajo el agua. Ya que los sistemas de resina (resina/agente curador) están disponibles con viscosidades inferiores a 100 cps y en forma semisólida, pueden ser formulados dentro de productos adhesivos que se

vierten y penetran pero requieren contención de la línea de pega o de productos que puedan llenar espacios sin requerir contención.

Los epóxicos pueden ser formulados con valores de la HDT tan bajas como 12°C (10°F) o tan altas como 82°C (180°F) después del curado a temperatura ambiente normal. Esto significa que pueden ser adaptados en una amplia variedad de requerimientos de resistencia y de módulos para un amplio rango de temperaturas de servicio.

Los epóxicos son resistentes al ataque de ácidos, aceites, álcalis y solventes.

Adhesivos poliéster (P).

Las resinas de poliéster no saturadas están generalmente disueltas en un monómero estireno. Estos son curados con iniciadores, usualmente un peróxido orgánico como peróxido metiltilcetona o peróxido benzol. Promotores o acelerantes son comúnmente usados para activar la descomposición del iniciador a temperatura ambiente, permitiendo así un rápido curado a baja temperatura.

Debido a su relativa alta contracción durante el curado, los poliésteres han encontrado solo un uso limitado como adhesivos. Imprimantes epóxicos o de uretano modificado pueden ser usados para mejorar las resistencias de adherencia a los sustratos del concreto si los imprimantes son compatibles con la resina poliéster. La resistencia a la falla de adherencia puede también ser incrementada aumentando la flexibilidad de los poliéster, así se proporciona algún alivio al esfuerzo local



Remoción de concreto con maceta y cincel en columna a reforzar. Posterior preparación se superficie es requerida para remover concreto microfisurado.

Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto



Superficie de concreto preparada en encamisado metálico con relleno de concreto de baja retracción y uso de puente de adherencia epóxico.

durante la aplicación de fuerzas externas. La mayoría de los poliésteres no se adhieren bien a substratos húmedos o mojados y no deberían ser usados cuando existan estas condiciones. No obstante, recientes investigaciones han mostrado que algunos viniléster pueden adherirse bajo dichas condiciones.

El curado de poliéster puede ser acelerado mediante la adición de un componente acelerador el cual puede proporcionar un curado completo en aproximadamente dos minutos. El uso de acelerantes que permiten tiempos de curado muy cortos requiere de la mezcla con equipo automático. El acelerante es usualmente adicionado en una gran proporción de resina/ acelerante (100/1 a 100/10). Ya que el acelerante no llega a ser parte integral del sistema polímero, la mezcla homogénea con la resina monómero en una proporción precisa no es requerida para alcanzar un curado completo.

Generalmente los poliésteres tienen una excelente resistencia a los ambientes ácidos. Algunos poliésteres presentan relativamente una pobre resistencia a los álcalis y a solventes. Bajo cierto ataque químico se puede saponificar. Aunque la resistencia al agua del polímero mismo es buena, la mayoría de las pegas con adhesivos poliéster al concreto se deterioran bajo constantes condiciones de humedad.

Los poliésteres en general, son considerados inflamables, con puntos de ignición por debajo de 38°C (100°F). Sin embargo hay productos disponibles con puntos de ignición sobre 38°C (100°F). Los peróxidos usados como iniciadores cuando están en estado puro pueden descomponerse rápidamente en temperaturas elevadas sobre 32°C (90°F) y pueden también causar fuego o explosión. Los peróxidos en polvo, tales como el peróxido benzol, son extendidos en estado puro pueden descomponerse rápidamente en temperaturas elevadas sobre 32°C (90°F) y pueden también causar fuego o explosión. Los peróxidos en polvo, tales como el peróxido benzol, son extendidos con llenantes inertes, o son suministrados como emulsiones, o en forma de pasta en combinación con agua o líquidos orgánicos inertes, así se minimiza la amenaza de explosión. En cualquier evento, el almacenamiento prolongado de los iniciadores a temperaturas elevadas debe ser evitado para prevenir la descomposición del peróxido.

Adhesivos acrílicos.

El metilmetacrilato y los monómeros metacrilato de alto peso molecular de la familia de los acrílicos son usados como adhesivos libres de solvente para el concreto. Estos adhesivos generalmente comparten las mismas características que los adhesivos poliéster. Estos son más comúnmente usados con mezcla de agregado fino para formar un mortero adhesivo fluido. La fluidez del mortero puede ser controlada por la cantidad de agregado añadido. El mortero puede ser usado como adhesivo para llenar líneas anchas de pega y proporcionar un curado adecuado para el servicio en 30 minutos a 2 horas. En la mayoría de los casos es usado un imprimante compuesto de un monómero metacrilato curado con un peróxido orgánico para proporcionar una adherencia mejorada al concreto.



Equipo de inyección de resina epóxica de baja viscosidad.

Adhesivos de poliuretano (PU).

Los adhesivos de poliuretano están disponibles tanto como materiales rígidos como flexibles. Cuando se combina con una amina aromática el uretano forma un polímero rígido similar a los adhesivos epóxicos. Cuando están combinados con un polioli, forman un elastómero. Se ha limitado su uso con concreto debido a su baja resistencia de adherencia. Los tipos flexibles han sido usados en sistemas de membrana y en pega de tabletas de cerámica al concreto en donde se requiere resistencia al impacto.

Adhesivos viniléster.

Viniléster son los productos de reacción de resinas epóxicas con ácidos carboxílicos no saturados. Estos materiales reaccionan para dar enlaces ya sea por polimerización de la resina viniléster consigo misma o por co-polimerización con monómeros no-saturados tal como estireno. Tienen mejor adherencia a substratos húmedos o mojados que los adhesivos poliéster.



Equipo de inyección de resina epóxica de alta viscosidad.



Pega de membrana elástica al concreto con adhesivo epóxico en reparación de juntas.



Inyección de fisuras con resina epóxica en losa de concreto reforzado.

Factores que influyen la adhesión.

Los siguientes factores son importantes en el proceso de adhesión:

Mojado de la superficie (depende de la tensión superficial y viscosidad del adhesivo).
Preparación o tratamiento de la superficie (mecánico y/o químico).
Estructura de los materiales a ser adheridos (adhesivo y sustrato/porosidad).
Diseño de la junta (área, dirección de esfuerzos).

Preparación o tratamiento de la superficie.

Como ya se explicó uno de los mecanismos de pega es la trabazón mecánica del adhesivo en los poros e irregularidades de la superficie. De esta forma en los estándares de reparación de estructuras de concreto [6, 7, 8] se especifican los requerimientos de preparación de superficie y los equipos para efectuar dicha preparación. En el documento del ICRI Guía No. 03732 [16], se especifican también los diferentes perfiles de preparación de superficie y los equipos recomendados, de acuerdo con el tipo de recubrimiento o revestimiento a colocar. También se indica cuales métodos producen microfisuras en el concreto. Los métodos con menos riesgo de introducción de microfisuras son chorro de arena, chorro de agua o chorro de granalla.

Todas las partes dañadas, sueltas o sin adherir de concreto existente deben ser removidas primero con equipos apropiados tales como chorro de agua, bujarda, martillo neumático, u otro equipo apropiado, después de lo cual la superficie del concreto existente debe ser preparada para la reparación con un método tal como chorro de arena, chorro de agua o chorro de granalla, para remover toda la superficie microfisurada resultante del proceso de remoción

inicial. La sección de concreto sometida a remoción debe quedar con una geometría apropiada, en corrosión severa el acero de refuerzo debe ser expuesto en su contorno para su adecuado saneado y/o complemento si se requiere, los bordes del área a reparar y su superficie deben ser también acondicionados para un buen comportamiento de la reparación. Estos aspectos están especificados en el documento del ICRI Guía No. 03730 [15].

Tipos de conexiones adhesivas

Las conexiones adhesivas pueden ser divididas en tres categorías a saber, estructurales, semiestructurales y no estructurales [5]. Un tipo de pega entre concreto endurecido a endurecido es la unión de elementos prefabricados de concreto o dovelas en la construcción de puentes por segmentos, que podría clasificarse con una pega o conexión semi-estructural [5]. En este tipo de aplicación se utilizan adhesivos epóxicos y dependiendo del sistema constructivo empleado se utilizan adhesivos tipo VI o tipo VII según ASTM C 881. Para la pega y sello de segmentos prefabricados con tendones internos y erección segmento-por-segmento cuando postensionamiento temporal es aplicado se especifica adhesivo tipo VI ya que se requiere una ganancia muy rápida de resistencias del adhesivo y para pega y sello de segmentos prefabricados con tendones internos cuando no es aplicado postensionamiento temporal como en erección luz-por-luz se especifica adhesivo tipo VII ya que se no se requiere una ganancia muy rápida de resistencias del adhesivo dado que los segmentos están apoyados temporalmente en una estructura metálica. En casos críticos, con altos esfuerzos en la pega, se requiere además del adhesivo una conexión mecánica de los elementos a unir.

Durabilidad de sistemas adhesivos

Con respecto a la selección del tipo de adhesivo por durabilidad, el tiempo de vida útil del adhesivo

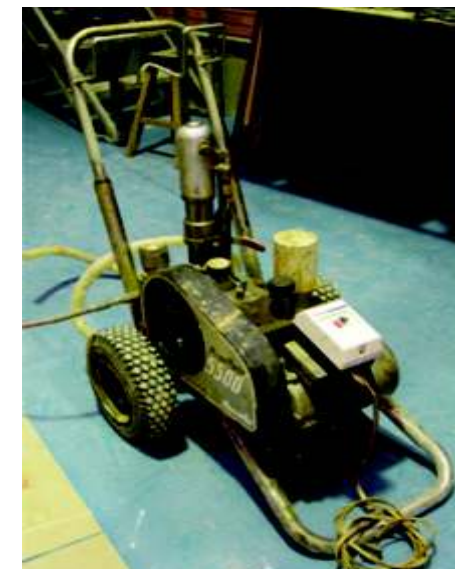
también es un parámetro importante. Adhesivos con base epóxica tienen una durabilidad superior a 20 años mientras que algunos adhesivos látex tienen una durabilidad menor a 20 años, por esto los adhesivos epóxicos son idóneos para aplicaciones estructurales y semi-estructurales y para uso en exteriores, mientras que los adhesivos látex con durabilidad menor a 20 años se usan en aplicaciones no estructurales y en interiores [11]. También en ACI 503.5R se mencionan los tipos de adhesivos látex para uso en interiores y exteriores, clasificándolos como tipo I y II [1].

Usos de adhesivos

En la introducción se describieron ya varios usos o aplicaciones de adhesivos en la construcción y rehabilitación de estructuras. Se observa que los adhesivos poliméricos tienen una gran variedad de usos que van desde aplicaciones sencillas no estructurales hasta aplicaciones más complejas o delicadas, en donde la especificación del adhesivo es de vital importancia para un comportamiento adecuado de la unión o pega. En los siguientes capítulos se mencionan documentos y estándares que facilitan al diseñador la especificación de un adhesivo para una aplicación determinada e igualmente se presentan los diferentes tipos de ensayos a adhesivos y la interpretación de resultados.

2. Estándares, guías de selección y especificación de materiales de reparación y construcción

La importancia de la adecuada unión entre dos materiales, en función de los requerimientos de diseño, ha motivado el estudio y la publicación desde hace ya décadas de diversos estándares y guías de selección y especificación de materiales de re-



Equipo de inyección de resina de poliuretano elástica.

Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto

paración y construcción como los siguientes y que contienen los tipos de adhesivos (estructurales y no estructurales), sus requerimientos de desempeño de adherencia o su caracterización de adherencia, los requerimientos de desempeño o caracterización de adherencia de los materiales (concreto o mortero) de reparación estructural, no estructural y reforzamiento:

- ACI 503.5R, Guía para la selección de adhesivos polímeros con concreto [1].
- ICRI Guía No. 03733, Guía para la selección y especificación de materiales para la reparación de estructuras de concreto [2].
- Estándar Europeo prEN 1504: Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de concreto: Parte 3: Reparación estructural y no estructural [3]. Parte 4: Pega estructural, Parte 5: Inyección de concreto, Parte 6: Productos de anclaje de refuerzo [4].
- Guía del uso estructural de los adhesivos, The Institution of Structural Engineers, United Kingdom [5].
- Especificaciones de adhesivos del Florida Department of Transportation (DOT). Secciones 926, 937, 416 [9].
- AASHTO M 235, Especificación para adhesivos epóxicos.
- International Code Council (ICC) AC 308. Criterios de aceptación de anclajes adheridos pos-instalados en elementos de concreto [17].
- American National Standard Specifications (ANSI) A-118.4 Especificaciones para la instalación de enchape cerámico con mortero cementoso látex [19].

A continuación se describen algunos aspectos contenidos en el estándar ACI 503.5R con respecto a la selección de adhesivos estructurales y no estructurales y en el estándar prEN 1504



Conformación de refuerzo externo CFRP con impregnación de tela de fibra de carbono y/o pega al concreto con adhesivo epóxico.

con respecto a los requerimientos de resistencia de adherencia de materiales (concreto o mortero) de reparación estructural, no estructural y reforzamiento colocados sobre el concreto existente y a los requerimientos de desempeño de adherencia de los adhesivos estructurales para pega de platinas metálicas o de FRP, pega de concreto o mortero, inyección de fisuras y anclaje de barras de refuerzo. También se presentan aspectos del ICRI Guía No. 03733 y de la sección 926 del DOT de la Florida. En el capítulo 3 se detallan los tipos de ensayos de adherencia y la interpretación de los resultados.

2.1 ACI 503.5R, Guía para la selección de adhesivos poliméricos con concreto [1].

Adhesivos libres de solventes:

Los adhesivos libres de solventes curan por polimerización de resinas monoméricas. Entre los tipos de adhesivos libres de solventes se tienen los adhesivos epóxicos (E), poliéster (P), acrílicos, polisulfuros (PS), poliuretano (PU), siliconas (S).

El estándar ASTM C-881 clasifica los adhesivos epóxicos en siete tipos:

TIPO I. Pegas no estructurales de concreto endurecido a concreto endurecido y otros materiales y como ligante en morteros y concretos epóxicos.

TIPO II. Pegas no estructurales de concreto fresco a concreto endurecido.

TIPO III. Pega de materiales antideslizantes a concreto endurecido y como ligante en morteros y concretos epóxicos usados en superficies resistentes a tráfico (o superficies sujetas a movimientos térmicos o mecánicos).

TIPO IV. Pegas estructurales de concreto endurecido a concreto endurecido y otros materiales y como ligante en morteros y concretos epóxicos.

TIPO V. Pegas estructurales de concreto fresco a concreto endurecido.

TIPO VI. Para pegar y sellar segmentos prefabricados con tendones internos y para proceso de tensado por etapas cuando postensiamiento temporal es aplicado.

TIPO VII. Para su uso como sellante no estructural en segmentos prefabricados cuando postensiamiento temporal no es aplicado.

Adhesivos con base en agua (adhesivos látex): Agentes adherentes látex Tipo I (re-emulsionables) son los diseñados para ser usados sin formulación adicional y su uso restringido a trabajos en interiores no sujetos a inmersión en agua o alta humedad y agentes adherentes látex tipo II (no re-emulsionables) diseñados para ser usados en forma de lechada con cemento hidráulico (según especificaciones ASTM C-1438 y ASTM C-1439), usualmente cemento Portland y apropiados para aplicación en áreas sometidas a alta humedad o inmersión en agua y además apropiados para uso en otras áreas.

Ambos tipos I y II son usados generalmente para pega de concreto fresco a endurecido, el tipo II, ocasionalmente, para pega de concreto endurecido a endurecido. Los tipos de látex usados en adhesivos látex tipo I son de acetato de polivinilo (PVA), copolímeros de vinil acetato (VAC), y en adhesivos látex tipo II son de éster poliacrílico (PAE), copolímeros de estireno butadieno (SB).

Resistencia de adherencia de adhesivos libres de solventes:

La resistencia de una pega adhesiva depende de:

- Adhesión a los materiales del sustrato.
- Resistencia cohesiva del adhesivo
- Grado de cohesión de los materiales del sustrato.

Es muy importante destacar que la pega será tan fuerte como la menor de estas tres resistencias, es decir falla por el elemento más débil.

La condición y la resistencia del concreto en la superficie es particularmente importante. Si el agregado (piedra) más grande no está expuesto, la capa superficial es considerablemente más débil que el concreto bajo la superficie.

Las resistencias de adherencia con el concreto pueden medirse de tres formas: en tensión directa, en flexión con la línea de pega paralela a la dirección de la carga aplicada o en corte. El método de plano inclinado descrito en ASTM C 882 es el ensayo más comúnmente usado. El ensayo a tensión directa descrito en ACI 503 R, Apéndice A es útil para ensayo en campo de uniones.

Resistencia de adherencia de adhesivos látex:

La resistencia de adherencia de los adhesivos látex tipo I y tipo II dependerá del látex, del tipo de cemento, de la calidad de la superficie endurecida y de la calidad del concreto fresco. Cuando son ensayados de acuerdo con el método de plano inclinado ASTM C 1042, los adhesivos tipo I usualmente dan resistencias de mínimo 2.8 MPa mientras los tipo II dan resistencias de adherencia de mínimo 8.6 MPa. (ASTM C1052).

Criterios de selección del adhesivo:

Los factores que pueden ser importantes en la escogencia de un adhesivo para una aplicación específica son: Tipo y magnitud de las cargas, condiciones durante la aplicación como contaminación de



Anclaje químico de barras con adhesivo epóxico en losa de concreto.



Construcción de puente segmentado con dovelas prefabricadas, con tendones internos, pega y sello de segmentos con adhesivo epóxico.

las superficies, temperatura de las superficies de contacto, humedad de los sustratos, acceso a las superficies y las demoras previstas en procesos de reparación.

Adhesivos para pega de concreto endurecido a endurecido:

Los adhesivos poliméricos son usados frecuentemente en la construcción para unir secciones o elementos, para pegar entre sí concreto fracturado y para fijar elementos, tales como fachadas a estructuras de concreto. En las situaciones más críti-

cas la pega adhesiva es usada en conjunto con fijaciones mecánicas, con acero de refuerzo o con tendones que cruzan la línea de pega.

Espesor de la línea de pega: El espesor recomendado varía de acuerdo con el tipo de adhesivo. En general la resistencia de una junta no reforzada disminuye cuando el espesor aumenta.

El efecto de la temperatura sobre el material de pega debe tenerse en cuenta, especialmente si no existe refuerzo atravesando la pega. Como ejem-



Inyección de fisuras con resina de poliuretano en tanque de agua.

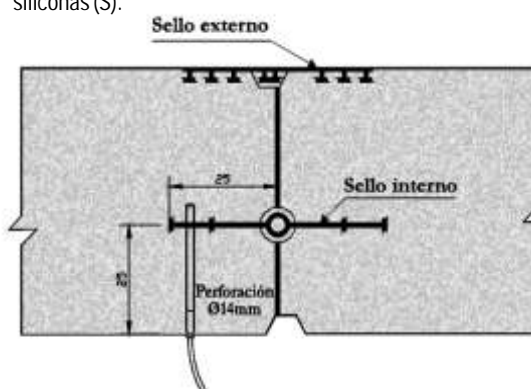


Figura 1. Relleno de cavidades del concreto, en el sitio del sello interno elastomérico, con resina de poliuretano, acrílica o epóxica, a través de ductos preinstalados.

Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto

plos de adhesivos epóxicos para pega de concreto endurecido a endurecido según ASTM C-881 están los tipos I para aplicaciones no estructurales y tipos IV, VI, VII para aplicaciones estructurales.

El requerimiento mínimo de resistencia de adherencia para los adhesivos epoxicos no estructurales tipo I y estructurales IV es el mismo de 10 MPa, y de 7 MPa para los tipos VI y VII, la diferencia radica entre otros en su temperatura de servicio admisible que debe ser mas alta para los adhesivos estructurales. Según ASTM C-881 la temperatura de deflexión mínima (HDT) de los adhesivos epóxicos estructurales debe ser de 50°C.

Adhesivos para pega de concreto fresco a endurecido:
Adhesivos poliméricos proporcionan una mejor adherencia entre concreto fresco o plástico y concreto endurecido, que aquella obtenida confiando en el mismo cemento o en una lechada cementosa, ya que los adhesivos poliméricos se contraen menos que la pasta de cemento en el curado y toleran un rango más amplio de condiciones de humedad en el concreto plástico y en el sustrato endurecido.

El uso primario de todos los adhesivos con base en agua (adhesivos látex) con el concreto es adherir concreto fresco a concreto endurecido. Los únicos adhesivos libres de solventes usados para pegar concreto fresco a concreto endurecido son los adhesivos epóxicos porque, a diferencia de otros adhesivos libres de solventes, pueden ser formulados para curar y adherir en presencia de agua.

Espesor de la línea de pega: Las superficies rugosas tienen una mayor área superficial que las lisas. Para adhesivos epóxicos los rendimientos varían entre 0.61 y 2.45 m²/l. El máximo espesor de la línea de pega de adhesivos látex depende de su viscosidad.

Consideraciones importantes de la resistencia de adherencia: Los adhesivos epóxicos proporcionan una mayor resistencia de adherencia que los adhesivos con base en agua (adhesivos látex). Como ejemplo la norma ASTM C 881 requiere para pega de concreto fresco a concreto endurecido una resistencia de adherencia mínima en plano inclinado de 10.3 MPa para un adhesivo epóxico (tipo II para aplicaciones no estructurales y V para aplicaciones estructurales), mientras que la norma ASTM C 1059 para pega de concreto fresco a endurecido estipula una resistencia mínima de 2.8 MPa para adhesivos látex tipo I y 8.6 MPa para adhesivos látex tipo II.

Tabla Guía Rápida de Referencia, ACI 503.5R:

| Condiciones para el uso de adhesivos | REQUERIMIENTOS DE DESEMPEÑO DE ADHESIVOS | | | | | |
|---|---|--------------------------------|---------------------|-------------|------------------------------|--------------|
| | RESISTENCIA EN PRUEBAS DE ADHERENCIA ASTM C 882 | | RESISTENCIA AL AGUA | | RESISTENCIA A LA TEMPERATURA | |
| | Sobre 2000 psi (13.8 MPa) | Por debajo 2000 psi (13.8 MPa) | Humedad | Sumergido | Por debajo 0 °C | Sobre 49 °C |
| Concreto plástico a concreto curado | E | E, SB, PVA PAE, VAC | E, PAE, SB VAE | E | E, A, SB, PA | E, A, SB, PA |
| Concreto curado a concreto curado | E, P, M | E, P, M, PP S | E, P, M, PP PP | E, P, M, PP | E, P, M, PP, S | E |
| Concreto fisurado | E, P, M | E, P, M, SB PAE | E, P, M | E, P, M | E, P, M | E |
| Concreto curado a otros materiales con similar CET y ME | E, P, M | E, P, M, PP S | E, P, M | E, M | E, P, M | E, P, M |
| Concreto curado a otros materiales con disimiles CET y ME | E, PP | E, PP, S | E, PP | E, PP | E, PP | E, PP |
| Anclajes | E, P, M | E, P, M | E, P, M | E, P, M | E, P, M | E, P, M |

Abreviaciones:

E: Epóxico
P: Poliéster
M: Monómero de metilmetacrilato
PP: Polifulsuro y Poliuretano
S: Silicona
PAE: Látex acrílico
SB: Látex estireno butadieno
PVA: Látex acetato de polivinilo
VAC: Látex copolímero de vinil acetato
CET: Coeficiente de expansión térmica
ME: Módulo de elasticidad

El requerimiento mínimo de resistencia de adherencia para los adhesivos epóxicos no estructurales tipo II y estructurales V es el mismo (10 MPa), la diferencia radica entre otros en su temperatura de servicio admisible que debe ser más alta para los adhesivos estructurales. Según ASTM C-881 la temperatura de deflexión mínima (HDT) de los adhesivos epóxicos estructurales debe ser de 50°C.

Uso de la Guía Rápida de Referencia, Precauciones: (ACI 503.5R)
Cuando se lista un tipo particular de adhesivo como idóneo para un requerimiento de adherencia esto indica cuales de los productos adhesivos de ese tipo cumplen los requerimientos mínimos. Esto no significa que todos cumplan con los requerimientos de aplicación o desempeño en obra.
El objetivo de la tabla es guiar al diseñador a un tipo de adhesivo generalmente apropiado, pero el diseñador debe verificar que el producto adhesivo específico cumple con los requerimientos de desempeño y aplicación para cada proyecto y uso en particular.

2.2 Estándar Europeo prEN 1504:

Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de concreto: Parte 3: Reparación estructural y no estructural [3], Parte 4: Pega estructural [4], Parte 5: Inyección de concreto [4], Parte 6: Anclaje de varillas de refuerzo de acero [4].

En el estándar EN 1504-3 se especifican los requerimientos de identificación, desempeño

(incluido durabilidad), y seguridad de los productos y sistemas usados para la reparación estructural y no estructural de estructuras de concreto.

Agente de pega: Componente de un sistema de reparación usado para ayudar a la adherencia de un mortero o concreto de reparación a un sustrato de concreto, con el propósito de lograr una pega permanente, que no sea afectada, en servicio, por la humedad y por álcalis fuertes.

Requerimientos de desempeño de productos de reparación: Los métodos de reparación contemplados en este estándar y que están relacionadas con la colocación de concreto nuevo o mortero, se clasifican como sigue:
Método 3.1: Restauración de concreto con aplicación manual de mortero
Método 3.2: Restauración de concreto con vaciado de concreto
Método 3.3: Restauración de concreto con concreto o mortero proyectado
Método 4.4: Reforzamiento estructural con adición de concreto o mortero
Método 7.1: Incremento del recubrimiento con concreto o mortero cementoso adicional
Método 7.2: Reemplazo de concreto contaminado o carbonatado

En la tabla 3 del estándar se muestran los requerimientos de desempeño para los productos de reparación estructural y no estructural usados en los métodos 3, 4 y 7. El fabricante debe efectuar ensayos de desempeño a los

Tabla 3: EN 1504-3 Requerimientos de desempeño para materiales de reparación estructural y no estructural usados en los métodos 3, 4 y 7.

| Item No. | Característica de desempeño | Sustrato Referencia (EN 1766) | Método de Ensayo | Requerimiento | | | |
|----------|---|-------------------------------|------------------|--|--|--|--|
| | | | | Estructural | | No Estructural | |
| | | | | Clase R4 | Clase R3 | Clase R2 | Clase R1 |
| 1. | Resistencia a la compresión | Ninguno | EN 12190 | 45 MPa | 25 MPa | 15 MPa | 10 MPa |
| 2. | Contenido de Ion Cloruro | Ninguno | prEN 1015-17 | 0,05% | | 0,05% | |
| 3. | Pega adhesiva | MC(0,45) | EN 1542 | 2,0 MPa | 1,5 MPa | 0,8MPa | |
| 4. | Retracción restringida expansión ^{5) 6)} | MC(0,45) | prEN 1217-4 | Resistencia adherencia luego del ensayo ^{3) 4)} | | | Ningun Requerimiento |
| 5. | Resistencia a la Carbonatación | Ninguno | prEN 13295 | d _k Concreto Control (MC(0,45)) | d _k Concreto Control (MC(0,45)) | d _k Concreto Control (MC(0,45)) | No requerido ¹⁾ |
| | | | | 20 GPa | 15 GPa | No requerido | |
| 6. | Módulo de elasticidad | Ninguno | prEN 13412 | Resistencia adherencia luego 50 ciclos ^{3) 4)} | | | |
| 7. | Compatibilidad Térmica ²⁾ Parte 1, Cong.-Desc. | MC(0,45) | prEN 13687-1 | 2,0 MPa | 1,5 MPa | 0,8 MPa | No fisuras o Delaminación luego de 50 ciclos ⁴⁾ |
| | | | | Resistencia adherencia luego 50 ciclos ^{3) 4)} | | | |
| 8. | Compatibilidad Térmica ²⁾ Parte 2, Borrasca | MC(0,45) | prEN 13687-2 | 2,0 MPa | 1,5 MPa | 0,8 MPa | No fisuras o Delaminación luego de 50 ciclos ⁴⁾ |
| | | | | Resistencia adherencia luego 50 ciclos ^{3) 4)} | | | |
| 9. | Compatibilidad Térmica ²⁾ Parte 4, Ciclos secado | MC(0,45) | prEN 13687-4 | 2,0 MPa | 1,5 MPa | 0,8 MPa | No fisuras o Delaminación luego de 50 ciclos ⁴⁾ |
| | | | | Resistencia adherencia luego 50 ciclos ^{3) 4)} | | | |
| 10. | Resistencia al desizamiento | Ninguno | prEN 13036-4 | De acuerdo con regulaciones nacionales | | De acuerdo con regulaciones nacionales | |
| 11. | Coefficiente de expansión térmica ⁶⁾ | Ninguno | EN 1770 | No requerido si ensayos 7, 8 o 9 son hechos, de lo contrario valor declarado | | No requerido si ensayos 7, 8 o 9 son hechos, de lo contrario valor declarado | |
| 12. | Absorción capilar | Ninguno | prEN 13057 | 0,5 kg.m ⁻² .hora ^{-0.5} | | 0,5 kg.m ⁻² .hora ^{-0.5} | |

Notas de tabla 3, prEN 1504-3:

- 1) No apropiado para la protección a la carbonatación a menos que el sistema de reparación incluya un sistema de protección superficial con probada protección contra carbonatación (ver prEN 1504-2).
- 2) Escogencia del método depende de las condiciones de exposición. Cuando un producto satisface Parte 1 este es aliviado de satisfacer Parte 2 y Parte 4.
- 3) Valor promedio con ningún valor aislado menor que 75% del requerimiento mínimo.
- 4) Máximo ancho de fisura promedio permisible 0,05mm con ninguna fisura 0,1mm y ninguna delaminación.
- 5) No requerido para principio de reparación 3.3.
- 6) No es requerido si es ejecutado ciclo térmico.

productos de reparación y el producto debe cumplir con los requerimientos establecidos.

En la tabla 3 se muestran los requerimientos de desempeño incluidos los requerimientos de adherencia (pega adhesiva) que debe cumplir el material de reparación colocado sobre concreto antiguo, según el ensayo EN 1542, adherencia por tracción directa. Para reparación no estructural el valor mínimo es de 0.8 MPa y para reparación estructural es de 1.5 MPa para concreto o mortero de reparación clase R3 y de 2.0 MPa para concreto o mortero de reparación clase R4. Las características de retracción, expansión y compatibilidad térmica también se evalúan con requerimientos de adherencia.

En el estándar EN 1504-4 se especifican los requerimientos de identificación, desempeño (incluido durabilidad) y seguridad de los agentes de adherencia estructurales usados para la pega estructural de materiales de reforzamiento tales como concreto o mortero endurecido o fresco adherido (Tabla 3.2) y para refuerzo de platina adherida, metálica o FRP (Tabla 3.1). También se especifican los requerimientos de resistencia a temperatura mínima del adhesivo a través de la temperatura de transición vítrea (Tg), que debe ser mayor o igual a 45°C o 20°C por encima de la máxima temperatura ambiente de servicio, la que sea mayor.

En el estándar EN 1504-5 se especifican los requerimientos de identificación, desempeño (incluido durabilidad), y seguridad de los productos a ser usados para inyección de fisuras de estructuras de concreto reforzado.

En el estándar EN 1504-6 Tabla 3 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

Tabla 3.1, EN 1504-4 Requerimientos de desempeño del puente de adherencia para refuerzo de platina adherida (tabla mostrada parcialmente).

| Item No. | Característica de desempeño | Concreto o mortero de referencia | Método de ensayo | Requerimientos |
|----------|----------------------------------|----------------------------------|--|---|
| 3 | Resistencia a cortante | - | EN 12188 | ≥ 12 N/mm ² |
| 6 | Temperatura de transición vítrea | - | EN 12614 | ≥45°C o 20°C por encima de la máxima temperatura ambiente en servicio, la que sea mayor |
| 13 | Adherencia | - | EN 12188 Nota: El método de ensayo puede que tenga que ser variado para platinas diferentes a acero | La resistencia a tensión soportada por la junta adherida en un ensayo de adherencia a tensión no debe ser menor que 14 N/mm ² . La resistencia a cortante en plano inclinado de prismas con junta biselada ensayados a compresión a varios ángulos θ no debe ser menor que los valores σ _t N/mm ² tabulados abajo. σ _t σ _t (N/mm ²) 50° 50 60° 60 70° 70 |

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 y los adhesivos con base cementosa.

2.3 ICRI Guía No. 03733, Guía para la selección y especificación de materiales para la reparación de estructuras de concreto [2].

Resistencia de adherencia: En la mayoría de los casos, una buena adherencia entre la reparación y el sustrato de concreto existente es un requerimiento primario para una reparación exitosa. Un sustrato adecuadamente preparado proporcionara casi siempre suficiente resistencia de adherencia. Ejemplos de falla de adherencia entre materiales de reparación y una superficie de concreto preparada adecuadamente es causada frecuentemente por deformaciones térmicas diferenciales o retracción de secado y no son resultado de resistencias de adherencia inadecuadas.

La adherencia esta mejor especificada como un requerimiento de preparación de superficie. Los métodos de ensayo descritos adelante son mayormente validos cuando son usados en conjunto con preparación de superficie, técnicas de aplicación y sustrato de la reparación real o una similar. De los métodos descritos, la tensión directa es el único método que puede proporcionar datos de resistencia en sitio.

Resistencia de adherencia - Tensión directa: Medida de la adherencia a tensión o de la resistencia a tensión de reparaciones superficiales o recubrimientos. Equipos de ensayo de tensión uniaxial pueden ser usados para ejecutar tanto ensayos de laboratorio como de campo. Método de ensayo: ACI 503R, Uso de compuestos epóxicos con concreto, Apéndice A. Requerimiento mínimo: ICRI Guía No. 03733 recomienda que los materiales de reparación desarrollen una resistencia de adherencia a tracción directa de mínimo 0,7 MPa. Limite sujeto a revisar de acuerdo con las condiciones reales del concreto.

Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto

Tabla 3.2, EN 1504-4 Requerimientos de desempeño del puente de adherencia para concreto o mortero adherido (tabla mostrada parcialmente).

| Item No. | Característica de desempeño | Concreto o mortero de referencia | Método de ensayo | Requerimientos |
|----------|---|----------------------------------|------------------|--|
| 3 | Resistencia a cortante | - | EN 12615 | $\geq 6 \text{ N/mm}^2$ |
| 7 | Temperatura de transición de vidrio | - | EN 12614 | $\geq 45^\circ\text{C}$ o 20°C por encima de la máxima temperatura ambiente en servicio, la que sea mayor |
| 14a | Adherencia | EN 1766 MC (0.40) | EN 12636 | Para concreto endurecido - a - concreto endurecido, el ensayo de adherencia en flexión debe resultar en fractura en el concreto. Para concreto fresco - a - concreto endurecido, el ensayo de adherencia en tensión debe resultar en fractura en el concreto. |
| 14b | Adherencia (método de ensayo alternativo) | EN 1766 MC (0.40) O MC (0.40) | EN 12615 | El ensayo de plano inclinado debe resultar en fractura en el concreto. |

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

| Propiedad | Método de ensayo | Requerimientos |
|---|------------------|--|
| (1) Extracción | PrEN 1881 | $\leq 0.6 \text{ N/mm}$ 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 $\leq 0.6 \text{ mm}$ después de carga continua de 50 KN después de 3 meses |

1) Solo para productos PC (Con base en resinas sintéticas)

Muchos especificadores están requiriendo resistencias de adherencia entre 0.87 MPa y 1.2 MPa. El valor mínimo de 0.7 Mpa ha sido seleccionado ya que la experiencia de campo ha mostrado repetidas veces que cualquier valor mas bajo es una clara indicación de serios problemas que requerirán una consideración cuidadosa.

Comentario: El ensayo de tensión directa es un método muy importante para especificar. Excelente técnica para evaluar materiales, sustrato y técnicas de colocación.

Resistencia de adherencia - Cortante directo:

Medida de la resistencia a cortante de la pega entre el material de reparación y el sustrato. Núcleos para ensayo deben ser removidos del campo o preparados en laboratorio.

Método de ensayo: Michigan DOT Adherencia a cortante

Requerimiento mínimo: (ver comentario)

Comentario: Valores de resistencia de adherencia altamente dependientes de la resistencia del sustrato y de los métodos de preparación de superficie. Si esta especificada la medida de resistencia a tensión en el sistema de reparación puede ser redundante especificar además requerimientos de adherencia a corte directo.

Resistencia de adherencia - Plano inclinado:

Resistencia de adherencia determinada con el ensayo de plano inclinado es mas frecuentemente reportada por los fabricantes del material.

Métodos de ensayo: ASTM C 882, Resistencia de adherencia de sistemas de resina epóxica usados con concreto.

ASTM C 1042, Resistencia de adherencia de sistemas látex usados con concreto.

AASHTO T 237, Ensayos de adhesivos de resina epóxica.

Requerimiento mínimo: (ver comentario)

Comentario: Las resistencias de adherencia determinadas con los ensayos de plano inclinado son altamente dependientes de la resis-

tencia a la compresión de la porción de sustrato del cilindro de ensayo. Por lo tanto resistencias de adherencia con plano inclinado tienen pequeño o ningún valor en comparación de materiales alternativos a menos que los ensayos fueran hechos con sustratos de igual resistencia. Ensayos de materiales de reparación seleccionados revelaron una pobre correlación entre las resistencias determinadas con el método del plano inclinado y de tensión directa.

2.4 DOT Florida, Secciones 926 y 937 [9].

En la sección 926 se clasifican los adhesivos epóxicos en diferentes tipos, Tipo A hasta Tipo P, de acuerdo con su uso. Tipo A es para pega de concreto fresco a endurecido, Tipo B para pega de concreto endurecido a endurecido, Tipo J para instalación o anclaje de pernos y barras en el concreto. En esta sección también se dan las especificaciones o requerimientos de desempeño (huella) que deben cumplir los adhesivos. Para los adhesivos tipo J las especificaciones se encuentran en la sección 937-3, evaluadas mediante ensayos de laboratorio confinados (tensión, hueco húmedo, temperatura, orientación, curado) y no confinados (resistencia de adherencia especificada) para adhesivos tipo V (aplicación vertical), tipo HV (horizontal y vertical) y tipo HSHV (alta resistencia horizontal y vertical). Los ensayos de campo están especificados en la sección 416 (ver capítulo 3).

3. Ensayos de adherencia

En general todas las uniones, con o sin agente adherente, con una preparación adecuada de la superficie registran un cierto grado de adherencia o en otras palabras se obtiene algún nivel de pega entre los elementos a unir, sin embargo la calidad de la pega, representada entre otros por su resistencia de adherencia, no es igual en todos los casos. Existen diferencias de resistencia en las pruebas entre una pega con adhesivo y una sin adhesivo, generalmente es menor en este último caso. También existe diferencia de resistencia de adherencia entre diferentes tipos de adhesivos, por ejemplo hay diferencia de resistencia de adherencia entre adhesivos sin solventes como el epóxico y los adhesivos látex con base agua, siendo menor la de estos últimos. Más aun existe diferencia de resistencia entre adhesivos de la misma base como entre los adhesivos látex tipo I y los adhesivos látex tipo II, teniendo menor resistencia los de tipo I [1].

Tipos de ensayos de adherencia.

En cuanto a los requerimientos mínimos de resistencia de adherencia y la forma de medirla, existen también diversos criterios. Existen dos tipos de ensayos de adherencia, en-



Construcción de puente segmentado con dovelas prefabricadas, con tendones internos, pega y sello de segmentos con adhesivo epóxico.



DOT Florida 937-3 Requerimientos mínimos de desempeño adhesivos tipo J (Ensayos FM 5-568)

| Resistencia de adherencia uniforme | | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Tipo V | Tipo HV | Tipo HSHV |
| Tensión Confinada | 2,290 psi [15.8 Mpa] | 2,290 psi [15.8 Mpa] | 3,060 psi [21.1 Mpa] |
| Instalación Hueco Húmedo | 1,680 psi [11.6 Mpa] | 1,680 psi [11.6 Mpa] | 1,830 psi [12.6 Mpa] |
| Temperatura Elevada | 2,290 psi [15.8 Mpa] | 2,290 psi [15.8 Mpa] | 3,060 psi [21.1 Mpa] |
| Orientación Horizontal | No aplica | 2,060 psi [14.2 Mpa] | 2,060 psi [14.2 Mpa] |
| Curado a Corto Plazo | 1,710 psi [11.8 Mpa] | 1,710 psi [11.8 Mpa] | 1,710 psi [11.8 Mpa] |
| Resistencia de Adherencia Especificada | 1,080 psi [7.5 Mpa] | 1,080 psi [7.5 Mpa] | 1,830 psi [12.6 Mpa] |

sayos de tensión directa y ensayos de plano inclinado. Los objetivos de los ensayos de adherencia son tres: (1) verificación de la calidad del soporte previa a la aplicación de un revestimiento, una reparación o un reforzamiento; (2) verificación de la calidad de adherencia de un revestimiento, reparación o reforzamiento ya colocado sobre el sustrato; (3) verificación de la calidad del adhesivo, caracterización o huella digital del adhesivo.

Los ensayos de tensión directa pueden ser usados para determinar alguno de los tres objetivos o los tres, mientras que el ensayo de plano inclinado solo sirve para determinar el tercer objetivo. Para ensayos de adhesivos en anclajes químicos ver descripción más adelante. El ensayo ASTM C 1583 sirve para determinar los tres objetivos. Para pega de concreto fresco a endurecido existen criterios de resistencia mínima de adherencia con base en la resistencia en plano inclinado, según la ASTM C 881 para pegas con adhesivos epóxicos y ASTM C 1059 para pegas con adhesivos látex.

ENSAYOS DE TENSION DIRECTA

(Objetivos 1,2,3):

ASTM C 1583 (adhesivos general, 1,2,3)

ASTM C 1404 (adhesivos general, 3)

ACI 503R (reparación epóxica, 1,2)

EN 1542 (reparación cementosa, 2)

EN 12636 (Adhesivos estructurales con base en polímeros, pega de concreto o mortero, 3)

EN 12188 (Adhesivos estructurales con base en polímeros, pega de platinas, 3)

ENSAYOS DE PLANO INCLINADO

(Objetivo 3):

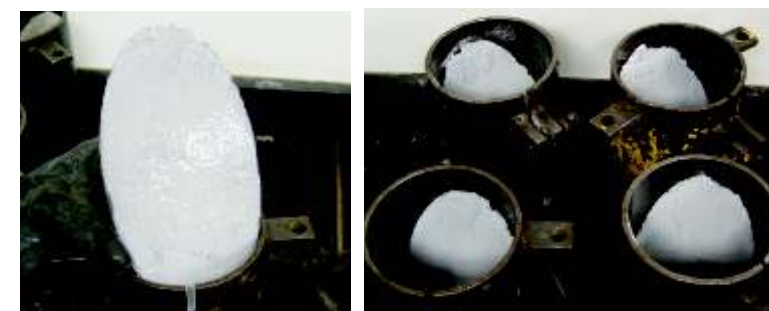
ASTM C 882 (adhesivos epóxicos)

ASTM C 1042 (adhesivos látex)

EN 12615 (Adhesivos estructurales con base en polímeros, pega de concreto o mortero)

EN 12188 (Adhesivos estructurales con base en polímeros, pega de platinas)

DOT Florida Sección 926 (adhesivos epóxicos)



Proceso de elaboración de probeta para ensayo de adherencia de plano inclinado, pega de concreto fresco a endurecido con adhesivo epóxico.

Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto



Ensayo de adherencia de plano inclinado, pega concreto endurecido a endurecido con adhesivo epóxico.



Ensayo de adherencia a tensión directa, pega de concreto fresco a endurecido con adhesivo epóxico.

De estos métodos el de tensión directa es el único método que puede proporcionar datos de resistencia de adherencia en campo y puede ser usado también en laboratorio [2]. Aunque los esfuerzos del ensayo nunca son verdaderamente representativos a aquellos en la junta adhesiva ellos dan una buena indicación del comportamiento esperado [5]. Las resistencias determinadas con los ensayos de plano inclinado son altamente dependientes de la resistencia a la compresión de la porción de sustrato del cilindro de ensayo; por lo tanto resistencias con plano inclinado tienen muy poco o ningún valor en comparación con ensayos alternativos, a menos que los ensayos sean hechos con sustratos de igual resistencia; existe una pobre correlación entre las resistencias determinadas con el método del plano inclinado y de tensión directa [2]. Inclusive otros parámetros como la cohesión del sustrato, la rugosidad del sustrato que esta relacionada con el método de preparación de superficie, el tipo y tamaño del agregado influyen en el comportamiento de la unión [10].

Los ensayos pueden tener diferentes objetivos como son evaluar la calidad de un sustrato existente, evaluar la preparación de superficie de un sustrato, evaluar la adherencia entre un concreto o mortero de reparación estructural o no estructural nuevo o adicionado al concreto antiguo ya sea en obra o en laboratorio como caracterización del material de reparación, evaluar o caracterizar en laboratorio al adhesivo que será empleado para pega estructural de materiales de reforzamiento tales como concreto o mortero endurecido o fresco, refuerzo de platina metálica o FRP, evaluar o caracterizar en laboratorio al adhesivo que será empleado para pegas no estructurales como morteros de acabado.

En adhesivos poliméricos utilizados en anclajes químicos existen dos tipos de ensayos hechos al perno o barra anclada: ensayos restringidos o confinados y ensayos no restringidos o no confinados, a tensión y cortante (ASTM E-488, ASTM E-1512, EN1881, EOTA ETAG 001 Parte 5). El ensayo no confinado sirve para la verificación de la calidad del adhesivo, caracterización o huella digital del adhesivo y el ensayo no confinado para hallar la capacidad de carga del sistema de anclaje (figura 2).

Las especificaciones de ensayos de campo se encuentran en la Sección 416 del DOT de la Florida [9]. También se encuentran en el estándar AC 308 del ICC-ES [17], sección 14.4.4, allí se especifica que la carga debe ser aplicada como en ensayos de tensión confinados (para no dañar el concreto que circunda la barra) y 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. El ensayo de campo no tiene el objetivo de ca-

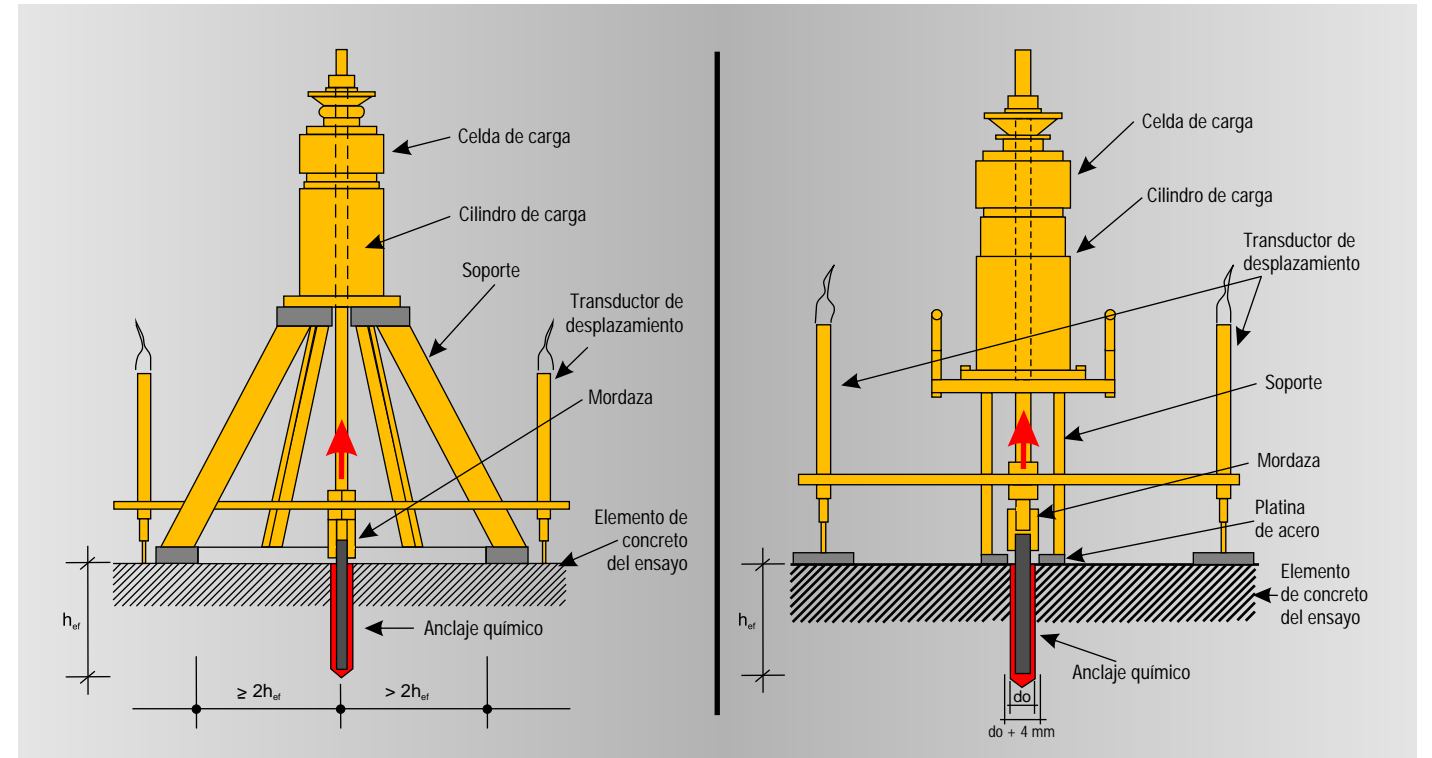


Fig 2. Ensayos no confinados (no restringidos) y confinados (restringidos) a tensión de anclajes químicos (EOTA-ETAG No. 001, Parte 5 [18]; ICC AC 308 [17]).

racterizar el adhesivo (huella digital) sino verificar la adecuada instalación del sistema de anclaje.

Los ensayos y especificaciones de adhesivos látex usados en pega de cerámica o enchapes están especificados en la norma ANSI A-118.4 [19]. Los ensayos son tiempo abierto, tiempo de fraguado Gillmore, resistencia a cortante y a compresión.

Evaluación de resultados de ensayos de adherencia.

Existen estándares que especifican los requerimientos mínimos de adherencia que se deben cumplir para las aplicaciones anteriormente mencionadas y los métodos de ensayo a emplear, como plano inclinado y/o de tensión directa. A continuación se presentan tablas con un resumen de algunos estándares de Estado Unidos de Norteamérica y europeos mencionados anteriormente [1, 2, 3, 4, 9] con datos de las especificaciones, tipo de adhesivos, material a unir, métodos de ensayo y requerimientos mínimos de resistencia de adherencia.

Aunque con ambos tipos de ensayos (plano inclinado y ensayo a tensión) un adhesivo puede cumplir con los requerimientos de las normas, estas pueden interpretar los resultados de manera diferente, ya sea en forma cualitativa y/o cuantitativa. Por ejemplo para la caracterización de adhesivos usados para pega de concreto el estándar EN 1504-4 evalúa la adherencia de forma cualitativa para ambos métodos de ensayo, requiriendo que la falla sea del concreto y no se dan valores de esfuerzos mínimos a cumplir. En el DOT Florida, sección 926 la interpretación del ensayo de plano inclinado es cualitativa.

Tabla: Evaluación del requerimiento de desempeño de adherencia de adhesivo estructural o no estructural con el método de plano inclinado. Pega de concreto, mortero, platinas metálicas o FRP.

| Ensayo Plano Inclinado Especificación (Método de Ensayo) | Resistencia de Adherencia (MPa) |
|---|---|
| ASTM C 881 (epoxico Tipo I a Tipo V/concreto, ASTM C-882) | ≥ 10.0 |
| ASTM C 881 (epoxico Tipo VI, VII/concreto, ASTM C-882) | ≥ 7.0 |
| ASTM C 1059 (látex Tipo I/concreto fresco, ASTM C-1042) | ≥ 2.8 |
| ASTM C 1059 (látex Tipo II/concreto fresco, ASTM C-1042) | ≥ 8.6 |
| EN 1504-4 (cortante/concreto o mortero, EN 12615) | ≥ 6.0 |
| EN 1504-4 (adherencia/concreto o mortero, EN 12615) | Falla concreto |
| EN 1504-4 (cortante/platinas metálicas o FRP, EN 12188) | ≥ 12.0 |
| EN 1504-4 (adherencia/platinas metálicas o FRP, EN 12188) | 50°/50;60°/60;70°/70 |
| DOT FLORIDA (epóxico tipo A y B/concreto, Sección 926-3) | f _c compuesto / f _c min > 0.9 |

Tabla: Evaluación del requerimiento de desempeño de adherencia de adhesivo estructural con el método de tensión directa. Pega de concreto, mortero, platinas metálicas o FRP

| Ensayo Tensión Directa Especificación (Método de Ensayo) | Resistencia de Adherencia (MPa) |
|---|---------------------------------|
| EN 1504-4 (adherencia/concreto o mortero, EN 12636) | Falla concreto |
| EN 1504-4 (adherencia/platinas metálicas o FRP, EN 12188) | ≥ 14.0 |

Tabla: Evaluación del requerimiento de desempeño de adherencia del material de reparación estructural o no estructural con el método de tensión directa. Adición de concreto o mortero.

| Ensayo Tensión Directa Especificación (Método de Ensayo) | Resistencia de Adherencia (MPa) |
|---|---------------------------------|
| ICRI Guía No. 03733 (ACI 503R) | ≥ 0.7 |
| EN 1504-3 (Reparación no estructural R1 y R2, EN 1542) | ≥ 0.8 |
| EN 1504-3 (Reparación estructural R3, EN 1542) | ≥ 1.5 |
| EN 1504-3 (Reparación estructural R4, EN 1542) | ≥ 2.0 |

Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto

La relación entre la resistencia a la compresión del cilindro compuesto y la menor de las resistencias de cada segmento de cilindro debe ser mínimo de 0.9 Mpa.

En la tabla siguiente se presentan los resultados de ensayos de adherencia de un adhesivo epóxico utilizado para la pega de concreto fresco a concreto endurecido, comparado con un testigo sin adherente utilizando el método de ensayo ASTM C-1404 modificado. El modo de falla con adhesivo fue fractura en el concreto con el ensayo de adherencia a tensión directa. De los resultados se observa que con el uso del adhesivo la resistencia de adherencia aumentó considerablemente. Si bien se puede pensar que sin el puente de adherencia se cumpliría el requerimiento de resistencia de adherencia mínimo, no hay que olvidar que los requerimientos de las normas son valores mínimos y además los ensayos son hechos en condiciones de laboratorio, es decir condiciones ideales de preparación de superficie y de colocación del nuevo material, condiciones que en la obra frecuentemente son difíciles de lograr. Por otra parte en la práctica la junta esta sometida muy seguramente a una combinación de esfuerzos que puede hacer que la unión se vea sobre esforzada y en este caso el adherente ayuda a aumentar la resistencia de la pega.

4. Guías de diseño de reparación y construcción de estructuras de concreto

Existen diversas guías de diseño de reparación y construcción de estructuras como las siguientes:

- Manual de Ingeniería EM 1110-2-2002, Evaluación y reparación de estructuras de concreto. U.S. Army Corps of Engineers [6].
- Especificaciones estándar para reparación de concreto M-47, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation-USBR [7].
- Evaluación de técnicas de reparación convencionales para puentes de concreto, WP 10510847, Center for Infrastructure and Constructed Facilities, Department of Ocean Engineering, Florida Atlantic University [8].
- Especificaciones de construcción de fundaciones de estructuras del Florida Department of Transportation (DOT). Sección 455 [9].

Resultados de ensayos de adherencia con y sin adhesivo epóxico.

Tensión Directa (ASTM C 1404) (modificado)

| PRODUCTO | RENDIMIENTO (g/m ²) | ESFUERZO (kg/cm ²) | | ESFUERZO (%) | |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----|--------------|------|
| | | 3d | 15d | 3d | 15d |
| Sin puente de adherencia | — | 8 | 23 | 100% | 100% |
| Con puente de adherencia | 300 | 30 | 46 | 375% | 200% |

- AC 308 Criterios de aceptación para anclajes adheridos post-instalados en elementos de concreto. International Code Council Evaluation Service [17].

En estas guías están descritas las técnicas de reparación y construcción y se indican los casos en los cuales se recomienda el uso de adhesivos y los tipos en las uniones de concreto fresco a endurecido y de concreto endurecido a endurecido. También se dan recomendaciones para la preparación de superficie. En el documento del ICRI Guía No. 03732 y No. 03730 [15,16], se especifican también los diferentes métodos de preparación de superficie y los equipos recomendados.

Adicionalmente a los estándares y guías hoy en día existe además una extensa documentación relacionada con el uso de adhesivos polímeros en la construcción [10, 11, 12] y de reparación [13, 14] que ofrecen gran ayuda para el conocimiento de esta tecnología y a que esta sea usada con confianza y seguridad. Todo esto por supuesto debe estar soportado por empresas fabricantes de adhesivos que ofrezcan la calidad requerida y personal calificado para la aplicación de los productos.

Para el caso de reparaciones con concreto lanzado o proyectado, normalmente no se requieren agentes o puentes de adherencia, sin embargo si se requieren se pueden colocar [14].



Núcleos extraídos de una columna recrcida con concreto para verificación de adherencia entre concreto nuevo y viejo.

En el ACI 302.1R-96 se encuentra lo referente al uso de adhesivos para pisos de concreto. En el ACI 546.R se encuentra lo referente al tipo de adhesivos a usar para pega entre concreto nuevo y antiguo en reparación. En el AC 308 [17] y en el EOTA ETAG 001 Parte 5 [18] además de especificaciones de ensayo se dan los lineamientos de diseño de anclajes químicos tanto en concreto con fisuras como sin fisuras.

5. Resumen y recomendaciones

Se puede observar en diferentes documentos [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] que existe diversidad de criterios, unos cualitativos otros cuantitativos, referentes al uso o especificación de adhesivos para pega en estructuras de concreto ya sea para pega de concreto fresco a endurecido o para pega de concreto endurecido a endurecido u otras aplicaciones.

Sin embargo un aspecto común es que el uso o especificación de un agente adherente o puente de adherencia dependerá de ciertos factores tales como: la importancia de la unión que está relacionada con su comportamiento estructural o no estructural (cargas estáticas, dinámicas), durabilidad del elemento que está relacionada con la condición ambiental de servicio de la estructura (agentes agresivos externos, concretos alcalinos, temperatura), factores constructivos que están relacionados con el tamaño del área y los espesores de concreto a recuperar o reforzar, humedad del sustrato, acceso al área de pega, geometría del área de pega.

En general es recomendable al estudiar una unión entre concretos seguir el siguiente procedimiento:

- De acuerdo con el requerimiento deseado de la unión está definida una calidad de pega específica, que esta determinada por la resistencia de adherencia, sin olvidar que existen más parámetros.
- Una vez definida la calidad requerida se analiza si el requerimiento se cumple sin la ayuda o con la ayuda de un agente adhesivo y en este caso se debe determinar que tipo de adhesivo cumple dicho requerimiento. En caso necesario prever además conectores.

Recordar que:

- En general, el uso de un puente de adherencia produce beneficios adicionales que una pega simple sin adhesivo no puede ofrecer.
- Por ejemplo una pega deficiente permitirá en condiciones de servicio el paso de humedad y de sustancias por la junta abierta que pueden causar corrosión del refuerzo.
- Un adhesivo polimérico proporciona mejor adherencia que una lechada de cemento ya que el

adhesivo polimérico se contrae menos y tolera un rango más amplio de condiciones de humedad.

- Los adhesivos epóxicos proporcionan una mayor resistencia de adherencia que los adhesivos látex.
- Un adhesivo epóxico admite un rango más amplio de humedad del sustrato y mayor durabilidad de la pega.
- Para calificar el sustrato, la calidad de una pega y el adhesivo (huella) existen ensayos universalmente avalados (tensión directa, plano inclinado).
- Los estándares de reparación establecen los requerimientos mínimos de adherencia (cualitativos y/o cuantitativos) que deben cumplir la unión entre el material nuevo y el antiguo. Sin embargo el comportamiento real de una unión puede ser muy diferente y más exigente.
- La idoneidad de un adhesivo para un uso en particular (puente de adherencia, fisuras, anclajes, etc) se comprueba con su caracterización o su huella digital (realizada en laboratorio de acuerdo a algún estándar). Evitar usar un adhesivo en aplicaciones para las cuales no fue diseñado o no está caracterizado.
- Los ensayos de campo de anclajes químicos no son para caracterizar o calificar al adhesivo, sino para verificar la correcta instalación del sistema de anclaje.
- Una adecuada preparación de superficie es de vital importancia para el éxito de una unión adhesiva.
- No olvidar el efecto de temperatura sobre el adhesivo. En general en adhesivos estructurales la temperatura de servicio debe ser inferior al Tg o HDT del adhesivo. En caso necesario colocar refuerzo o conectores que atraviesen la línea a pega.



Ensayo de adherencia a tensión directa en sitio para verificación de calidad del sustrato previo al reforzamiento en viga.

Adhesivos en la construcción y reparación de estructuras de concreto



Ensayo de campo de anclaje químico de barra al concreto



Ensayo de tiempo abierto de adhesivo látex para enchape según estándar ANSI A-118.4



Muestras para ensayo de cortante de adhesivo látex para enchape según estándar ANSI A-118.4

6. Bibliografía

- [1] 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.
- [2] International Concrete Repair Institute (ICRI), Guideline No. 03733, Guide for selecting and specifying materials for repair of concrete structures. January 1996.
- [3] European Committee for Standardization. prEN 1504-3, Products and systems for the protection and repair of concrete structures- Part 3: Structural and non-structural repair. Brussels: CEN, 2003.
- [4] European Committee for Standardization. prEN 1504, Products and systems for the protection and repair of concrete structures- Part 4: Structural bonding, Part 5: Concrete Injection, Part 6: Anchoring products. Brussels: CEN, 2003
- [5] The Institution of Structural Engineers. Guide to the structural use of adhesives, London, 1999.
- [6] U.S. Army Corps of Engineers. Engineer Manual, EM 1110-2-2002, Evaluation and repair of concrete structures., 1995.
- [7] United States Department of the Interior Bureau of Reclamation. Standard specifications for repair of concrete, M-47, 1996.
- [8] Florida Atlantic University. Department of Ocean Engineering. Evaluation of conventional repair techniques for concrete bridges, WP 1 0510847, Center for Infrastructure and Constructed Facilities, 1998.
- [9] Florida Department of Transportation (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, Section 455 Structures Foundations.
- [10] Bergmesiter, K., Kleben im Betonbau (Pega en construcciones de concreto). En: Beton - und Stahlbetonbau. Berlin: Ernst & Sohn Verlag. H 10, 2001. p.625-633.
- [11] Cognard, Philippe, Building & Construction Adhesives, Parte I to Part VI, SpecialChem, 2003 y 2004.
- [12] Petrie Edward M., Polymers for roads and bridges, SpecialChem, 2003.
- [13] Edison Michael P., Aesthetic repair materials: properties & selection. En: International Concrete Repair Institute's Concrete Repair Bulletin, March/April 1998.
- [14] Watson, Patrick.. Spall repair by low pressure spraying, RAP Bulletin 3. Farmington Hills: ACI, 2003.
- [15] International Concrete Repair Institute (ICRI). Guideline No. 03730: Guide for surface preparation for the repair of deteriorated concrete resulting from reinforcing steel corrosion, 1995.
- [16] International Concrete Repair Institute (ICRI). Guideline No. 03732, Selecting and specifying concrete surface preparation for sealers, coatings, and polymer overlays. January 1997.
- [17] International Code Council Evaluation Service (ICC-ES). AC 308 Acceptance criteria for post-installed adhesive anchors in concrete elements. July 2005.
- [18] European Organization 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.
- [19] American National Standard Specifications (ANSI) for the installation of ceramic tiles (latex-portland cement mortar), A-118.4.

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.