



Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: EIC-Lanamme-INF-1047-2022

**Informe de revisión de protocolo de reparación de pilotes.
Unidad Funcional I, proyecto Circunvalación Norte**

INFORME FINAL



Preparado por:

Ing. Ana Lorena Monge Sandí, M.Sc.
Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Agosto, 2022





Informe EIC-Lanamme-INF-1047-2022	Agosto de 2022	Página 2 de 26
-----------------------------------	----------------	----------------



Contenido

I.	Introducción.....	4
II.	Observaciones al documento “Protocolo de reparación de concreto en pilotes”	4
II.1	Sección 2 “Preparación de la obra”	4
II.2	Sección 3 “Modo de operación”	4
II.3	Sección 4 “Plan de autocontrol”	6
II.4	Sección “Demoliciones”	6
III.	Indicaciones del ACI 546R “Guía para la reparación de concreto”	6
III.1	Remoción del concreto.....	6
III.2	Preparación de la superficie	12
III.3	Limpieza del acero de refuerzo	14
III.4	Control de calidad de remoción de concreto y preparación de la zona	14
III.5	Materiales recomendables para reparaciones	15
III.5.1	Materiales para reemplazo de concreto	15
III.5.2	Materiales para reparación de grietas.....	16
III.5.3	Materiales adhesivos.....	16
III.6	Tipos de reparaciones	16
III.6.1	Reparación de grietas	17
III.6.2	Sustitución de concreto	20
III.6.3	Reparación del acero de refuerzo	24
IV.	Comentarios finales.....	26
V.	Referencias	26



Informe de revisión de protocolo de reparación de pilotes. Unidad Funcional I, proyecto Circunvalación Norte

I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, se procede a revisar la información aportada que muestra el protocolo para la reparación del concreto para los pilotes que muestran el acero de refuerzo expuesto, ya sea por falta de concreto durante su colado, porque tuvo que demolerse una zona por existir concreto excedente, o por la falta de concreto en la unión de la viga cabezal y el pilote por el proceso de descabezado. El documento que muestra el protocolo es el siguiente:

- CR-CN-PT-565-050-00 “Protocolo de reparación de concreto en pilotes” elaborado por el Consorcio Estrella - H. Solís

Adicionalmente, se incorpora una serie de recomendaciones a contemplar cuando se realizan reparaciones en concreto señaladas en el documento ACI 546R “Guía para la reparación de concreto”, que pueden ser de utilidad para ser contemplados en este y otros protocolos de reparación de elementos que involucren concreto como material.

II. Observaciones al documento “Protocolo de reparación de concreto en pilotes”

Al realizar la revisión del documento “CR-CN-PT-565-050-00: Protocolo de reparación de concreto en pilotes” elaborado por el Consorcio Estrella - H. Solís, se puede observar a grandes rasgos que es posible que cuente con los elementos básicos para realizar las reparaciones. Sin embargo, se observa que existen algunos aspectos faltantes que no se contemplaron y al momento de realizar las actividades, es posible que se requiera mayor claridad. A continuación, se muestran los aspectos encontrados que pueden mejorarse o ser incluidos.

II.1 Sección 2 “Preparación de la obra”

En esta sección, en el apartado 2.3 “Materiales”, el documento muestra un listado de materiales que pueden ser utilizados al momento de realizar las reparaciones. A pesar de que se indican los nombres de algunos productos comerciales y parece prudente indicar que se puede utilizar un material similar, se considera pertinente enumerar las características que debe tener cada tipo de material pues si no se logran conseguir los productos específicos indicados en la lista, se pueda buscar alguno otro contemplando las características que debe cumplir enumeradas en el documento.

II.2 Sección 3 “Modo de operación”

En cuanto a esta sección, se cuenta con el apartado 3.1 “Antes de inicio de la actividad en campo”, que no se tiene clara la intención de generar a nivel de documento este apartado, pues la sección no cuenta con un apartado adicional al 3.1.

Con respecto al contenido del mismo, en el listado de actividades, se encuentra que en la actividad #2, se indica que se debe identificar la zona a reparar. El procedimiento explicado en este punto parece adecuado, sin embargo, no se tiene clara la forma en que el ingeniero a cargo identifica el concreto a reparar en la zona que cuenta con el daño, ni el sustento técnico que asegure que deben



ser al menos 1.5 cm los que se señalen en la zona sana que contiene la marca rectangular. Lo anterior en virtud de que cuando se realizan trabajos de remoción de concreto, en este caso por exceso del mismo, se utiliza equipo de alto impacto tales como rompedoras, que pueden eventualmente generar deterioro al concreto colindante a la zona del daño. Es por ello que se considera recomendable que, en este procedimiento se indique el método para determinar si el concreto cercano a la zona del acero de refuerzo expuesto, cuenta con algún grado de agrietamiento o muestra fisuras que hagan necesario extender por un lado la zona de reparación del concreto y por otro la franja de concreto sano que se requiera para generar el monolitismo en el elemento una vez haya sido reparado el concreto.

En el punto #3, se indica que se debe realizar un corte con esmeriladora la zona de trabajo, pero es importante recordar que, en esas zonas debido al trabajo de remoción de concreto por sobreexcavación realizado, no se tiene clara la profundidad a la que se encuentra el acero de refuerzo, por lo que se considera recomendable hacer algún tipo de indicación del cuidado que se debe tener en esta actividad, pues se puede llegar a cotar el acero de refuerzo en la zona del corte e incluso del acero que se encuentra expuesto. No está de más recordar que cuando se realizan reparaciones de concreto reforzado, uno de los aspectos más importantes que se destacan en las guías es el no cortar el acero de refuerzo, pues esto genera una interrupción en la continuidad del acero y por ende en la distribución de esfuerzos que se debe dar en el elemento estructural.

En el punto #4, se plantea que: "...se debe picar al menos 25 mm hacia adentro del pilote...", sin embargo, no es claro qué significa "hacia adentro". Se presume que esto se podría interpretar que es hacia lo profundo, pues luego se indica que es para generar un espacio libre entre el concreto y el acero, no obstante, se cuenta con el acero expuesto, por lo que no se tendría que generar un espacio entre este y el concreto. Adicionalmente, y como se comentó en el párrafo anterior, no se cuenta con algún tipo de indicación de los cuidados que se deben tener para evitar cortar el acero de refuerzo.

En el punto #5, se comenta que se debe realizar la limpieza del área que se va a reparar, pero se hace de manera general, y no se indica algún tipo de procedimiento a seguir, a saber: cómo eliminar el óxido que se formó en el acero de refuerzo por estar expuesto a la humedad del ambiente, qué equipo es el más adecuado para emplear en este tipo de zonas, el modo de preparación de la zona donde se aplicarán los materiales de reparación, entre otros. Por consiguiente, se considera oportuno, solicitar esta información.

El punto #7 indica que en este momento se debe colocar la formaleta para hacer la colocación de los materiales que se van a utilizar en la reparación del elemento y se muestra un esquema de conformación de la formaleta en la zona de trabajo. El punto #8 plantea la colocación con brocha del producto Maxistik 580-LPL o el Maxicril según sea el espesor para subsanar, los cuales son aditivos adherentes. Sin embargo, al revisar las fichas técnicas de estos productos, se dice que cuando se van a utilizar como aditivo adherente, en el caso de Maxistik 580-LPL se debe colocar en la zona a trabajar con una brocha, lo que se podría dificultar si ya fue colocada la formaleta como lo indica el punto #7. Para el caso de Maxicril, la ficha técnica indica que se debe mezclar con el mortero que se vaya a utilizar en la reparación, en cuyo caso lo indicado en el punto #7 es adecuado, pero no es lo que se establece en el punto #8. Se considera adecuado, solicitar la aclaración a este respecto.

Un aspecto importante que se observa en la ficha técnica del producto Maxibed® Grout Standard es el tiempo y metodología de curado que se debe realizar, pues se indica que debe ser por un periodo de 48 horas (en climas calientes se puede extender hasta 7 días) y con agua limpia. En el protocolo de reparación preparado por el consorcio Estrella – H. Solís no se detalla ninguna indicación acerca del procedimiento de curado a pesar de que se muestra en el listado de materiales un producto



curador. Se considera pertinente, solicitar el procedimiento para realizar el curado contemplando los aspectos indicados en las fichas técnicas de los productos a utilizar.

II.3 Sección 4 “Plan de autocontrol”

Al realizar la revisión del documento “CR-CN-PT-565-050-00: Protocolo de reparación de concreto en pilotes” elaborado por el Consorcio Estrella - H. Solís, no se observa un plan de control de calidad. Sin embargo, como se comentará en la siguiente sección del presente informe, el ACI 546 muestra en su apartado 3.4, una serie de procedimientos que se requieren durante la remoción del concreto y preparación de la superficie en la que serán colocados los productos de reparación. Por lo tanto, se considera oportuno solicitar la información al respecto por parte del consorcio.

II.4 Sección “Demoliciones”

Al respecto del procedimiento mostrado en el documento CR-CN-PT-565-050-00 acerca de los procedimientos de demolición de elementos, no se tienen comentarios adicionales respecto. Sin embargo, no se observan las indicaciones de cómo se realizará la sustitución del elemento demolido. De modo que se considera pertinente solicitar la información correspondiente a este respecto.

III. Indicaciones del ACI 546R “Guía para la reparación de concreto”

A continuación, se muestran algunos extractos importantes del documento “ACI 546R: Guía para la reparación de concreto”, incluso como un aspecto previo antes de realizar la reparación de un elemento, en este caso los pilotes del muro de la Unidad Funcional I del proyecto Circunvalación Norte, pues se debe considerar la condición en la que se encuentra el concreto del elemento, previo a la preparación de la zona y una vez que sea ha eliminado el material.

III.1 Remoción del concreto

Cuando se realiza la remoción de concreto, el ACI 546R indica en el apartado 3.2 que el eliminar el concreto utilizando ciertos métodos que se pueden considerar agresivos, pueden dañar el concreto que debe permanecer en su lugar, es decir, el que se encuentra sano. Por ejemplo, métodos como el de voladura con explosivos o el uso de equipo de alto impacto pueden generar delaminación o agrietamiento adicional del concreto. También se pueden generar microfisuras o abolladuras al eliminar el concreto usando herramientas de impacto.

Lo anterior puede provocar que exista una zona de concreto que se encuentre débil, lo cual podría provocar una reducción de la fuerza de unión entre el concreto y el material de reparación. Por lo tanto, es importante eliminar la zona de concreto dañado para lograr una unión fuerte y una acción compuesta entre el concreto sano y el material de reparación. Si no se elimina todo el concreto deteriorado y dañado, aumenta la posibilidad de fallas en la reparación, incluso si se usa un material de reparación de alta calidad. Por ello, contar con un procedimiento adecuado de la remoción del concreto es importante.

Para tener una mejor idea de las metodologías que se pueden utilizar para demoler concreto, el ACI 546R muestra un resumen en la tabla 3.2.4, que se recapitula a continuación:



Tabla 1 Resumen de características y consideraciones de métodos para remover concreto para su posterior reparación

Categoría		Características	Consideraciones
MÉTODOS DE CORTE	Corte por chorro de agua: Utiliza cortes perimetrales para eliminar piezas grandes de concreto	a) Chorro de agua a alta presión sin abrasivos b) Aplicable para hacer cortes a través de losas, cubiertas y otros elementos delgados de concreto c) Corta formas irregulares y curvas d) Hace recortes sin sobrecortar las esquinas e) Permite cortes al ras con las superficies que se cruzan f) No se produce calor, vibración o polvo. g) El manejo de escombros es eficiente porque la mayor parte del concreto se retira en piezas grandes	a) Recortes son limitados en secciones delgadas b) El corte suele ser más lento y costoso que el aserrado con hoja de diamante c) Pueden producirse niveles moderados de ruido d) Puede ser necesario controlar el flujo de aguas residuales e) Se requieren precauciones adicionales de seguridad debido a la alta presión de agua producida por el sistema f) No corta el acero de refuerzo
	Corte con sierra: Aplicable para hacer cortes a través de losas, cubiertas y otros elementos delgados de concreto	a) Hace cortes de precisión b) No se produce vibración c) El manejo de escombros es eficiente porque la mayor parte del concreto se retira en piezas grandes	a) Recortes son limitados a secciones delgadas b) El rendimiento se ve afectado por el tipo de diamantes y la unión del diamante con el metal en los segmentos de la sierra (la selección de la hoja se basa en la dureza del agregado) c) Es más lento y costoso, cuanto mayor sea el porcentaje de refuerzo de acero presente en la zona de cortes d) Es más lento y costoso, cuanto más duro es el agregado e) Puede ser necesario controlar el flujo de aguas residuales
	Corte con cadena de alambre de diamante: Aplicable para cortar piezas de concreto grandes y gruesas	a) La cadena de alambre de diamante puede ser de cualquier longitud b) No se produce polvo ni vibraciones. c) Los bloques grandes de concreto se pueden levantar con una grúa u otros métodos mecánicos d) La operación de corte puede ser eficiente en cualquier dirección	a) La cadena de corte debe ser continua b) El acceso debe estar disponible para perforar agujeros a través del concreto o alrededor de la sección completa de la estructura si esta se va a cortar c) El agua debe estar disponible para la cadena d) Puede ser necesario controlar el flujo de aguas residuales e) Es más lento y costoso, cuanto más duro sea el agregado o el concreto, y cuanto mayor sea el porcentaje de acero f) El rendimiento se ve afectado por la calidad, el tipo y la cantidad de diamantes, así como por la unión del diamante con el metal en la cadena
	Corte mecánico: Aplicable para hacer cortes a través de losas, cubiertas y otros elementos delgados de concreto	a) El refuerzo de acero se puede cortar b) Se producen ruido y vibraciones limitados c) El manejo de escombros es eficiente porque la mayor parte del concreto se retira en piezas grandes	a) Limitado a secciones delgadas donde se dispone de un borde o un agujero para comenzar el corte b) El acero de refuerzo expuesto está dañado sin posibilidad de reutilización c) El concreto restante está dañado d) Se produce un perfil extremadamente rugoso en el borde de corte e) Los biselés irregulares de los bordes permanecen después de retirarlos



Tabla 1 Resumen de características y consideraciones de métodos para remover concreto para su posterior reparación (continuación)

Categoría	Características	Consideraciones
MÉTODOS DE CORTE (continuación)	Puntadas con perforaciones: Aplicable para hacer recortes a través de elementos de concreto donde solo el acceso a una cara es factible	a) El manejo de escombros es más eficiente porque la mayor parte del concreto se retira en piezas grandes a) La perforación con percusión rotatoria es más conveniente y económica que la perforación con núcleo de diamante. Sin embargo, puede generar mayor daño al concreto que queda, especialmente en el concreto del punto de salida b) La profundidad de los cortes depende de la precisión del equipo de perforación para mantener la superposición entre los agujeros respecto a la profundidad y diámetro: cuanto más profundo sea el corte, mayor será el diámetro requerido del agujero para mantener la superposición entre los mismos y esto genera mayor costo c) Las porciones entre perforaciones adyacentes no cortadas, dificultarán o evitarán la remoción d) Cortar concreto reforzado aumenta el tiempo de corte y el costo. La tenacidad del agregado afecta la perforación por percusión mientras que la dureza del agregado dificulta la perforación con diamante, por lo que se afecta el costo y la velocidad de corte e) El personal debe usar protección auditiva debido a los altos niveles de ruido
	Impacto: Utiliza golpes repetidos de la superficie con una masa para fracturar y descascarar el concreto	a) Martillos manuales b) Aplicable para volúmenes limitados de remoción de concreto c) Aplicable donde la energía de golpe debe ser limitada d) Ampliamente disponible comercialmente e) Se puede utilizar en áreas limitadas de espacio de trabajo f) Produce desechos relativamente pequeños y fáciles de manejar a) El desempeño es una función de la disgregabilidad del concreto y la tenacidad de los agregados b) Se produce una pérdida significativa de productividad cuando el quebrado no es hacia abajo c) Es probable que se requiera realizar cortes con sierra en los bordes para alisarlos d) El concreto que queda puede estar dañado (microfisuras) e) Produce altos niveles de ruido, polvo y vibración
MÉTODOS DE IMPACTO	Martillos tipo aguijón colocado en maquinaria: Aplicables para remoción de profundidad total de losas, cubiertas y otros elementos delgados de concreto y para la remoción de superficies de estructuras de concreto más masivas	a) Se puede utilizar para superficies verticales y elevadas b) Ampliamente disponible comercialmente c) Produce escombros fáciles de manipular a) La energía de golpe al concreto puede tener que limitarse para proteger contra daños a la estructura que se está reparando y las estructuras circundantes b) El desempeño es una función de la disgregabilidad del concreto y la tenacidad de los agregados c) Quedan daños en el concreto d) Quedan daños al acero de refuerzo e) Produce bordes afilados f) Produce un alto nivel de ruido y polvo

Tabla 1 Resumen de características y consideraciones de métodos para remover concreto para su posterior reparación (continuación)

Categoría		Características	Consideraciones
MÉTODOS DE IMPACTO (continuación)	Martillo devastador hidráulico	a) Bajo costo inicial b) Puede ser operado por mano de obra no calificada c) Se puede utilizar en áreas de espacio de trabajo limitado d) Elimina el concreto deteriorado de superficies de paredes o pisos de manera eficiente e) Fácilmente disponible comercialmente	a) La alta energía cíclica aplicada a una estructura produce fracturas en la superficie del concreto restante b) Produce un alto nivel de ruido y polvo c) Eliminación de profundidad limitada
	Descamador de aguja: Aplicable para volúmenes limitados de remoción de concreto	a) Se puede utilizar en áreas limitadas de espacio de trabajo b) Se puede utilizar para superficies verticales y elevadas c) Produce desechos relativamente pequeños y fáciles de manipular	a) Profundidad de eliminación de concreto limitada b) El concreto que queda puede dañarse (microfisuras) c) Produce bordes afilados
	Escarificador/fresador: Aplicable para eliminar concreto deteriorado de losas, cubiertas y concreto masivo	a) Los cortadores colocados en maquinaria son aplicables para la eliminación de superficies de paredes y techos b) El perfil de eliminación se puede controlar c) El método produce desechos relativamente pequeños y fáciles de manejar	a) La eliminación se limita al concreto sin acero de refuerzo b) El concreto sólido reduce la velocidad de remoción c) Puede dañar el concreto que queda (microfisuración) d) Se producen ruidos, vibraciones y polvo
	Erosión/presión expansiva (hidrodemolición): aplicable para la remoción de concreto deteriorado de superficies de puentes y plataformas de estacionamiento y otras superficies deterioradas donde la profundidad de remoción es de 150 mm o menos	a) No daña el concreto que queda b) El acero de refuerzo queda limpio y sin daños para su reutilización c) El método produce desechos de tamaño adecuado que facilita su manipulación	a) La productividad se reduce cuando se elimina el concreto en buen estado b) El perfil de remoción variará con los cambios en la profundidad del deterioro c) El método requiere una gran fuente de agua potable para satisfacer la cantidad de agua que demanda d) Puede ser necesario controlar las aguas residuales e) Es posible que se requiera un permiso si las aguas residuales van a ingresar a una vía fluvial f) El personal debe usar protección auditiva debido al alto nivel de ruido producido g) Se producen escombros voladores h) Se requieren requisitos de seguridad adicionales debido a las altas presiones que producen estos sistemas
	Voladuras (explosivos): utiliza gas de rápida expansión confinado dentro de una serie de pozos para producir una fractura controlada y por consiguiente la remoción de concreto	a) El método más conveniente para remover grandes volúmenes donde la sección de concreto es de 250 mm de espesor o más b) Produce una buena fragmentación de los escombros de concreto para una fácil remoción	a) Requiere personal altamente calificado para el diseño y ejecución b) Deben cumplirse estrictas normas de seguridad en relación con el transporte, almacenamiento y uso de explosivos debido a sus peligros inherentes c) La energía de la explosión debe controlarse para evitar daños a las estructuras circundantes como resultado de la onda expansiva, la vibración del suelo y los escombros voladores

Tabla 1 Resumen de características y consideraciones de métodos para remover concreto para su posterior reparación (continuación)

Categoría		Características	Consideraciones
MÉTODOS DE PRECORTE	Precorte: Utiliza gatos hidráulicos, pulsos de agua o agentes expansivos en un patrón de perforaciones para cortar y fracturar el concreto para facilitar la remoción	a) Las secciones grandes se pueden dividir previamente para su eliminación, lo que hace que el manejo de los escombros sea más eficiente b) El desarrollo del plano de precorte en la dirección de la profundidad de los agujeros es limitado c) El desarrollo del plano de precorte se reduce por la presencia de acero de refuerzo normal al plano de precorte d) La abertura precortada debe ser lo suficientemente ancha para permitir el corte del acero de refuerzo de acero, si se requiere e) Es posible que se requieran métodos de corte secundarios para completar la eliminación f) La pérdida de control del plano de precorte puede presentarse si los agujeros están demasiado separados o si se encuentran en concreto severamente deteriorado	a) El desarrollo del plano de precorte se reduce por la presencia de acero de refuerzo normal al plano de precorte b) La abertura precortada debe ser lo suficientemente ancha para permitir el corte del acero de refuerzo de acero, si se requiere c) Es posible que se requieran métodos de corte secundarios para completar la eliminación d) La pérdida de control del plano de precorte puede presentarse si los agujeros están demasiado separados o si se encuentran en concreto severamente deteriorado
	Divisor hidráulico: Aplicable para el precorte de losas, cubiertas, muros y otros elementos de concreto de espesor fino a mediano	a) Típicamente menos costoso que cortar elementos b) La dirección del precorte se puede controlar mediante la orientación de las cuñas y disposición de los agujeros c) Se puede utilizar en áreas de acceso limitado d) Habilidades limitadas se requieren para el operador e) No se produce vibración, ruido o rocas volantes, excepto por la perforación de agujeros y el método de corte secundario	
	Divisor de pulsos de agua	a) Económico, portátil, resistente y fácil de usar y mantener b) Los dispositivos tienen fuentes de alimentación autónomas c) Vibración despreciable	a) Requiere perforaciones a intervalos cortos para controlar la propagación de grietas b) El control de la profundidad del plano de fisura es limitado c) No aplicable a superficies verticales d) Produce algo de ruido e) Los agujeros de perforación deben contener agua
	Agentes expansivos: Aplicables donde se van a quitar 230 mm o más de una cara de concreto	a) Se puede utilizar para producir planos de división vertical de profundidad significativa b) No se produce vibración, ruido o escombros voladores distintos a los producidos por la perforación de agujeros y el método de corte secundario	a) Se utiliza mejor en agujeros verticales o casi verticales para ser rellenos b) La consistencia de los agentes explosivos (masilla) están disponibles para su uso en orificios horizontales o elevados c) El desarrollo del plano de precorte se reduce por la presencia de acero de refuerzo normal al plano de precorte



Es importante considerar que, durante la remoción del concreto para reparar un área específica, puede que sea necesario eliminar concreto en buen estado para garantizar que se haya eliminado todo el material en mal estado o contaminado, facilitar las modificaciones estructurales, proporcionar una geometría y configuración de reparación adecuadas, y proporcionar el desarrollo y encapsulamiento del acero de refuerzo y los elementos empotrados.

Por lo tanto, algunos de los métodos enlistados en la **Tabla 1**, puede que sean más efectivos en áreas como concreto sólido, mientras que otros pueden funcionar mejor en concreto deteriorado. Asimismo, la misma técnica de eliminación puede no ser adecuada para todas las partes de una estructura determinada, por ello es común que se presente una combinación de técnicas, pues esto permite acelerar el trabajo de remoción y limita el daño al concreto circundante en buen estado.

El ingeniero diseñador de la reparación de concreto, debe especificar los objetivos que se lograrán con la remoción de concreto, y se debe permitir que el contratista encargado de la reparación seleccione el método de remoción más efectivo, sujeto a la aceptación del ingeniero diseñador. Sin embargo, en algunos casos, el ingeniero diseñador puede especificar alguna técnica determinada por algún aspecto especial con que cuente el elemento a reparar, o puede indicar qué técnicas pueden estar contraindicadas dadas las consecuencias que podrían generar.

Es importante que se indiquen el tamaño, cantidad y ubicación del acero de refuerzo, tamaño y tipo de agregados, módulo de elasticidad de la resistencia a la compresión del concreto, la presencia de revestimientos, acabados y superposiciones existentes; así como otras condiciones existentes o construidas, pues esta es información que es requerida para considerar aplicar alguna de las técnicas de remoción de concreto y los costos asociados.

Las técnicas de remoción de concreto deben ser efectivas, seguras para la estructura y los trabajadores del proyecto, económicas, adecuadas para los requisitos del proyecto, considerando aspectos del medio ambiente y minimizar el daño al concreto sano que se queda en el sitio.

Adicionalmente, es importante contemplar que al remover concreto alrededor del acero de refuerzo, se debe tener especial cuidado de no generarle algún tipo de daño, incluso si el refuerzo se encuentra parcialmente expuesto después de la remoción del concreto deteriorado, puede ser que no sea necesario eliminar concreto adicional para exponer toda la circunferencia de la barra de acero siempre y cuando el refuerzo no se encuentre corroído, no se haya perdido la adherencia con el concreto circundante y este último se encuentre en buen estado, sin indicios de afectación por contaminación con cloruro, por la carbonatación o ataque ácido.

Cuando el acero de refuerzo presente óxido suelto, productos de corrosión, no se encuentre adecuadamente adherido o bien el concreto a su alrededor esté contaminado con cloruros, la remoción de concreto debe contemplar ya sea un espacio libre mínimo de 19 mm entre el acero y el concreto, o bien debe ser más grande 6 mm que el agregado más grueso utilizado en el material de reparación.

Por último, después de remover el concreto en mal estado, el área de reparación debe para crear una configuración simétrica, preferiblemente cuadrada o rectangular con esquinas cuadradas. El corte se debe realizar a una profundidad de entre 13 a 19 mm, para generar un bore adecuado para consolidar el material de reparación. Se debe tener cuidado en no generar cambios abruptos en la profundidad dentro del área de reparación, ya que el material de reparación es más susceptible de agrietarse en esas zonas.



III.2 Preparación de la superficie

La preparación de la superficie consiste en los pasos finales necesarios para preparar la superficie de concreto para recibir los materiales de reparación. La preparación adecuada de la superficie de concreto depende de los procedimientos utilizados para eliminar el concreto y del tipo de reparación a realizar.

La mayoría de los métodos de remoción de concreto descritos en el apartado III.1 también se pueden utilizar en la preparación de superficies, pero puede que su efectividad no sea adecuada para algún requisito específico que se solicite en el proyecto, por ejemplo, para la colocación de recubrimientos con membranas como material de reparación, una superficie áspera o irregular no es conveniente.

Como se mencionó anteriormente, algunos métodos de remoción de concreto pueden dañar o debilitar la superficie de concreto restante, condición que puede ser considerada crítica si se requiere la unión estructural del material de reparación con el concreto del elemento. Tal es el caso cuando se forman microfisuras en la superficie del concreto al utilizar algún método de remoción que pueden con el tiempo producir un plano débil en el concreto subyacente. En este caso, es posible que sea más adecuado utilizar un método menos invasivo y agresivo de preparación final de la superficie, como granallado seco o con agua, para eliminar la capa superficial dañada.

En algunas situaciones en que se debe realizar la reparación de concreto, la metodología a proponer puede requerir solamente del perfilado de la superficie, la exposición del agregado grueso o fino, la remoción de una capa delgada de concreto dañado o la limpieza de la superficie del concreto. Dentro de los alcances descritos anteriormente, varios de los métodos de remoción de concreto mostrados en el apartado III.1, pueden ser utilizados para este tipo de preparación de superficies.

En la **Tabla 2**, se resumen varios métodos para la preparación de la superficie requerida, que puede tratarse desde una limpieza abrasiva ligera para la aplicación de algún tipo de recubrimiento hasta una rugosidad más profunda con un perfilado de la superficie, necesarios para una adherencia y rendimientos adecuados del material de reparación. Por ende, el seleccionar un método de preparación de la superficie que cumpla con las exigencias del proyecto, es de suma importancia pues influye en el costo y rendimiento de la reparación.

Por último, al finalizar los procesos de remoción y preparación de la superficie a reparar, debe realizar una limpieza final del área que incluya la limpieza del acero de refuerzo. Al completar estos procesos la superficie en la que se colocará el material de reparación debe estar limpia, seca y sin microfisuras ni abolladuras. Todo el concreto suelto, agregados, óxido, aceite y otros contaminantes deben eliminarse de la superficie del concreto y del acero de refuerzo. Esto puede requerir técnicas tales como granallado con arena, agua o aire, pasar la aspiradora, entre otros.



Tabla 2 Resumen de características y consideraciones de métodos para preparar la superficie de concreto para su posterior reparación

Categoría	Características	Consideraciones
Granallado con material abrasivo (Arenado en seco o húmedo): Utiliza equipos que impulsan un medio abrasivo a alta velocidad en el concreto para desgastar la superficie	a) Método eficiente para hacer rugosa la superficie y exponer el agregado b) Limpia el acero de refuerzo c) Elimina la contaminación superficial	a) El procedimiento de arenado en seco produce grandes volúmenes de polvo b) El arenado húmedo es lento
Granallado con agua a baja presión con materiales abrasivos	a) Elimina selectivamente el concreto defectuoso b) Control preciso del proceso de remoción c) Limpia el acero de refuerzo mientras elimina el concreto d) Produce daños mínimos al concreto restante e) No produce calor ni polvo f) Los materiales abrasivos permiten que el granallado corte el acero de refuerzo y agregados duros	a) Alta inversión inicial b) Es posible que se requieran procedimientos adicionales de protección y seguridad debido a la presión del agua c) Puede ser necesario controlar el flujo de aguas residuales contaminadas
Granallado	a) Método eficiente para hacer rugosa la superficie y exponer el agregado b) Bajas emisiones de polvo c) Elimina los contaminantes de la superficie d) Profundidad controlada de remoción de concreto e) Fácilmente disponible comercialmente	a) Las unidades grandes pueden producir altos niveles de ruido b) Requerimientos de energía de alto voltaje
Limpieza química	a) Aplicación de productos químicos para eliminar la suciedad y los contaminantes de la superficie b) Puede ser necesaria una preparación adicional de la superficie para eliminar los residuos de productos químicos de limpieza c) Se deben seguir las recomendaciones del fabricante de productos químicos de limpieza d) Se deben seguir las instrucciones del fabricante del recubrimiento	a) Puede ser necesaria una preparación adicional de la superficie b) Puede no ser eficaz para eliminar todos los contaminantes c) Puede tener un olor químico fuerte d) Es necesaria la protección del área adyacente
Grabado ácido	a) Eficaz en la eliminación de materiales a base de cemento b) Aumenta la porosidad de la superficie del concreto	a) Se necesita ropa protectora b) Son necesarias grandes cantidades de agua c) Puede manchar permanentemente el concreto d) Es necesaria la protección del área adyacente e) Puede contaminar y dañar la superficie de concreto restante
Limpieza con agua a baja presión sin materiales abrasivos	a) Elimina eficazmente los contaminantes de la superficie sin dejar residuos químicos b) Protección mínima de áreas adyacentes necesaria	a) Control de grandes cantidades de agua b) La remoción de pequeñas cantidades de concreto puede ser notable



III.3 Limpieza del acero de refuerzo

Todas las superficies expuestas del acero de refuerzo deben limpiarse a fondo para eliminar el concreto suelto, óxido, aceite y otros contaminantes. El método que ha comprobado ser el más adecuado es el granallado con arena. El grado de limpieza depende del procedimiento de reparación y del material seleccionado. Para áreas limitadas, es aceptable realizar el cepillado con alambre u otros métodos manuales de limpieza. Después de limpiar el acero y eliminar las partículas sueltas del área de reparación, no se deben contaminar el acero de refuerzo ni la superficie de concreto con el aceite del equipo que se utiliza para estos propósitos.

Otro método eficaz es el de granallado con agua a alta presión. Cuando los materiales de reparación son sensibles a la humedad, será necesario eliminar el exceso de agua antes de aplicar el material de reparación. Los bordes cortados con sierra también deben limpiarse con granallado abrasivo para hacer rugosa la superficie cortada con sierra.

III.4 Control de calidad de remoción de concreto y preparación de la zona

Para poder realizar una reparación adecuada del concreto, se requiere aplicar procedimientos de control de calidad en todas las operaciones de remoción de concreto y preparación de la superficie, para garantizar la adecuada colocación del material de reparación.

Estos procedimientos pueden comprender actividades asociadas a inspección visual, sondeos y uso de medidores de cobertura u otros equipos para ubicar el acero de refuerzo. El sondeo es una de las metodologías más adecuadas para identificar la delaminación y despegado del concreto. Sin embargo, la identificación de grietas subsuperficiales, microfisuras y la extensión del deterioro u otros defectos internos puede que no sean detectados con estos métodos.

En estos casos, se deben utilizar otros medios de evaluación para identificar adecuadamente la extensión del concreto deteriorado y, además, para verificar su remoción completa en el proceso de reparación. Varios métodos de evaluación indicados en el ACI 228.2R "Reporte acerca de ensayos no destructivos para la evaluación del concreto en estructuras" y en el ICRI 210.4 "Guía de métodos de evaluación no destructivos para la valoración de la condición, reparación y desempeño del monitoreo de estructuras de concreto", pueden brindar información acerca de la condición de la reparación del concreto antes, durante y después de la remoción del concreto.

La mayoría de los métodos que se mencionan en los documentos mencionados en el párrafo anterior, no requieren de información complementaria como muestras de núcleos de concreto existente extraídos de la zona a reparar o bien del material colocado en la reparación. A continuación, se enlistan los ensayos que se utilizan más comúnmente en las evaluaciones realizadas durante el proceso de reparación, con el objetivo de evaluar la calidad del trabajo:

1. Métodos para la resistencia del concreto:
 - a. Núcleos y cilindros: compresión, tracción, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción indirecta
 - b. Adherencia (ASTM C900)
 - c. Velocidad de pulso (ASTM C597)
2. Ubicación del acero de refuerzo
 - a. Medidor de cobertura
 - b. Radar de penetración terrestre (GPR – ASTM D6087)
 - c. Rayos X



3. Delaminación, identificación de desprendimiento y microfisuras (puede ser identificado por análisis petrográfico)
 - a. Examen visual
 - b. Impacto acústico (ASTM D4580: incluye cadena sonido de arrastre/martillo, sonido electromecánico y métodos de percusión rotatoria)
 - c. Impacto-eco (ASTM C1383)
 - d. Termografía infrarroja (ASTM D4788)
 - e. Radar de penetración terrestre (GPR – ASTM D6087)
4. Limpieza y resistencia de la superficie (ACI 515.1R)
 - a. Ensayo de pH de superficies limpias (ASTM D4262)
 - b. Limpieza de superficies de concreto para recubrimientos (ASTM D4258)
 - c. Ensayo por remoción de cinta (ASTM E1216)
5. Perfil de la superficie de medición (ICRI 310.2R)
 - a. Réplica en masilla (ASTM D7682)
 - b. Réplica en cinta (ASTM D4417)
 - c. Método de arena (ASTM E965)
 - d. Perfilometría láser
6. Ensayos de extracción (ASTM C1583, ICRI 210.3)

III.5 Materiales recomendables para reparaciones

Existe una gran variedad de materiales que se pueden utilizar en las reparaciones de concreto, dependiendo del tipo y de las condiciones de la situación a remediar. No obstante, las propiedades de adherencia y resistencia a la compresión son de las primordiales a verificar para determinar la selección del material. En el ACI 546R se detallan las características de los materiales más comúnmente utilizados, indicando sus ventajas, limitaciones, aplicaciones y especificaciones. A continuación, se mencionan los destacados en este documento, por aplicabilidad.

III.5.1 Materiales para reemplazo de concreto

El material que se utilice como reemplazo para el concreto en la zona a reparar, debe ser compatible con la superficie de concreto existente. Para ello se busca igualar las propiedades del concreto que se está reparando lo más cerca posible, por lo que el concreto, el mortero de cemento hidráulico u otro material cementante que se utilice debe contener una proporción similar de materiales al que se está reparando. Los materiales más comúnmente utilizados son:

- Concreto convencional
- Mortero convencional
- Concretos y morteros empacados
- Lechada de cemento
- Concreto y mortero de cemento hidráulico con polímeros
- Concretos y morteros polímeros
- Concretos y morteros con fosfato de magnesio



- Materiales cementantes suplementarios:
 - Concreto con humo de sílice
 - Cemento con compensado por contracción
 - Cemento de fraguado rápido
- Aditivos comunes:
 - Acelerantes
 - Retardantes
 - Reductores de agua
 - Inhibidores de corrosión
 - A base de litio
 - Impermeabilizantes
 - Antievaaporantes
- Otros materiales agregados al concreto y mortero:
 - Fibras de refuerzo
- Combinación de algún material indicado anteriormente

III.5.2 Materiales para reparación de grietas

Los materiales para reparar grietas más comúnmente utilizados son los siguientes:

- Resinas epóxicas
- Resinas de uretano
- Lechadas químicas de poliuretano
- Selladores de poliuretano
- Selladores de silicón
- Metacrilatos
- Lechadas poliméricas
- Lechadas de cemento con polímeros
- Lechadas de cemento

III.5.3 Materiales adhesivos

Los materiales adhesivos se pueden utilizar para unir un material de reparación nuevo o concreto fresco a una superficie de concreto existente, previamente preparada. Los materiales adhesivos se pueden clasificar según su composición química en:

- Materiales a base de epóxico
- Materiales a base de látex
- Materiales a base de epóxico modificado
- Materiales a base de cemento

III.6 Tipos de reparaciones

Existen varias técnicas de reparación disponibles para restaurar el concreto deteriorado y el acero de refuerzo en cualquier tipo de estructura. Cada método de reparación tiene sus ventajas que se definen dependiendo de los factores específicos del proyecto, tales como limitaciones físicas del área de reparación o costos. El método de reparación seleccionado puede tener una influencia significativa en la durabilidad a largo plazo de la reparación del concreto. A continuación, se describen las técnicas de reparación según la extensión del daño producido en los elementos.

Informe EIC-Lanamme-INF-1047-2022	Agosto de 2022	Página 16 de 26
-----------------------------------	----------------	-----------------



III.6.1 Reparación de grietas

La reparación de grietas en el concreto es un procedimiento común de reparación de concreto. Las grietas en el concreto se pueden presentar debido a la contracción, a cambios térmicos, a la influencia de la corrosión en el acero de refuerzo embebido, los esfuerzos desarrollados en la estructura y al acortamiento por deformación a largo plazo.

Para seleccionar adecuadamente la técnica de reparación de las grietas, se debe determinar la razón del agrietamiento producido en el concreto. Además, es importante tener claro que las grietas estructurales que requieren reparación deben permitir la transferencia continua de la carga a través de la grieta y restaurar la integridad estructural del elemento reparado. En este caso, la inyección de epóxicos y lechada son los métodos más comunes para su reparación.

Para el caso de las grietas activas, particularmente las causadas por cambios térmicos, se deben reparar para permitir movimientos futuros. En este caso, se ha encontrado que las técnicas más eficientes son la lechada química, los selladores y los sistemas de decapado y sellado. Se debe tener el cuidado de trabajar estas reparaciones en sitios donde la temperatura sea mayor que los 4 °C.

A continuación, se indican las características generales de las técnicas más comunes utilizadas en la reparación de grietas en el concreto.

Inyección de epóxico

Es la técnica en la que se aplican resinas epóxicas en las grietas a presiones que permitan su penetración. El procedimiento de inyección puede variar, dependiendo de la localización, tamaño, abertura y accesibilidad de la grieta.

Generalmente, la inyección se realiza a una presión promedio de 1400 a 2100 kPa, sin embargo, existen metodologías en las que se requiere de inyecciones a alta presión que implica la aplicación en un rango entre 2100 a 3500 kPa, o bien de baja presión a 105 kPa o menos. Adicionalmente, existen dos procedimientos para aplicar los epóxicos:

- Inyección al vacío: en este caso, las grietas son llenadas con epóxico generando una presión negativa dentro del elemento de concreto. Para que esta aplicación sea exitosa, todas las grietas expuestas deberían encontrarse selladas adecuadamente para mantener la presión negativa dentro del elemento.
- Colocación por gravedad: este procedimiento comúnmente utiliza epóxicos o metacrilatos de alto peso molecular vertido a través de la superficie horizontal de la grieta. Esta metodología de colocación se limita estrictamente a la reparación de grietas en superficies horizontales.

Por último, el ACI 503.7 muestra las especificaciones que se deben cumplir para realizar inyecciones con epóxicos.

Inyección de lechada

La inyección de lechada es un método común para rellenar grietas, juntas abiertas, concreto "garapiñado" y vacíos interiores. Los materiales de lechada incluyen cemento, polímero, polímero-cemento, epoxi, poliuretano y metacrilato. La lechada puede reforzar una estructura, detener el



movimiento del agua o ambas cosas. Antes de seleccionar este procedimiento, se deben definir los objetivos de la lechada y seleccionar el material adecuado para cumplir con esos objetivos. Cuando corresponda, las medidas de control de calidad deben incluir la toma de núcleos para verificar que se haya logrado la penetración y unión adecuadas.

Existen varios procedimientos para la inyección de lechada, que se detallan a continuación:

- *Lechada química:* la lechada química es un material fluido que no depende de sólidos en suspensión para reaccionar, y solo lo hace con el agua que se encuentra en la grieta o que se colocó previo a la inyección. Debe endurecerse sin afectar negativamente a ningún metal ni a los límites de la zona de concreto se ha inyectado. Las lechadas químicas pueden estar compuesta por materiales que modifican las propiedades físicas, como la consistencia, la generación de calor y el volumen.

Las lechadas químicas de poliuretano se usan comúnmente para reparar grietas con fugas, con tamaños 0,12 mm y más de ancho, y se inyectan a altas presiones. Las lechadas químicas generalmente no son adecuadas para reparaciones estructurales y debe inyectarse desde la superficie o el interior del elemento a reparar de manera similar que las lechadas de cemento, con la excepción de que, para lechadas sin relleno, los tamaños de los dispositivos de inyección son de 3 o 6 mm de diámetro.

- *Lechada de cemento:* La lechada se puede inyectar en una grieta desde la superficie de un elemento de concreto o a través de perforaciones que interceptan la grieta en el interior del elemento. Cuando se inyecta lechada desde la superficie, se deben realizar orificios de entrada cortos, de un mínimo de 25 mm de diámetro y un mínimo de 50 mm de profundidad, que al finalizar el proceso se sellan con mortero de cemento hidráulico o resinas. Cuando las grietas se extienden a través de un elemento estructural, como una pared, el orificio se sella en ambos lados.

Si la apariencia no es determinante, los orificios a menudo se pueden sellar con masilla, pero el papel y otros materiales plásticos no son adecuados para este fin. Los agujeros puertos no deberían estar separados más allá de la profundidad deseada de penetración de la lechada.

Antes de aplicar la lechada, los orificios deben limpiarse con agua, siguiendo el mismo procedimiento que se utilizará para la lechada. El enjuague es necesario para humedecer las superficies interiores para mejorar el flujo y la penetración de la lechada, para verificar la efectividad del sellado de la superficie y el sistema de puertos, para proporcionar información sobre los patrones probables de flujo de lechada y las interconexiones, y para familiarizarse con el equipo de lechada bajo las condiciones existentes.

La lechada se inicia en un extremo de una grieta horizontal o en la parte inferior de una grieta vertical y continúa hasta que se observa lechada en el punto adyacente o encima del que se está bombeando. Cuando esto ocurre, se inyecta lechada en el siguiente orificio y se continúa hasta que se vuelve a ver lechada en el orificio abierto adyacente. Cada orificio debe taparse antes de pasar al siguiente. Se debe monitorear el proceso en el lado más alejado del elemento.

La consistencia de la lechada al inicio es relativamente delgada, y se espesa lo más rápido posible hasta lograr una consistencia más densa pero que permita que se realice el bombeo sin obstrucciones.



- *Lechada de polímeros o polímero-cemento:* La lechada de polímero generalmente se usa para reparar grietas inactivas de 6 mm o más de ancho. Las lechadas de polímero se pueden aplicar a mano y rellenar grietas grandes, independientemente de la orientación. Las lechadas de polímero se adhieren bien al concreto y tienen una baja contracción, lo que da como resultado una reparación impermeable en las grietas inactivas.

Las lechadas de polímero son adecuadas para grietas que requieren reparación estructural. Si se utilizan lechadas de polímero en grietas que experimentan movimiento, se puede esperar que aparezcan grietas paralelas adyacentes a las grietas reparadas.

La lechada de polímero y cemento es una mezcla que consiste principalmente en cemento, agregado fino, agua y un polímero tal como acrílico, estireno-acrílico, estireno-butadieno o un epoxi acuoso. La consistencia de este material se puede ajustar desde un material rígido adecuado para rellenar a mano grietas grandes en superficies verticales y elevadas hasta una consistencia vertible adecuada para grietas llenadas por gravedad en losas horizontales.

Estos materiales pueden proporcionar mejores propiedades físicas, como adherencia, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión, que las lechadas de cemento hidráulico que no usan polímeros. Sin embargo, por su potencial de contracción pueden dificultar la obtención de una reparación impermeable en comparación con las lechadas de polímero. Además, no son tan resistentes químicamente como las lechadas de polímero.

Selladores

Los selladores de poliuretano (o uretano) se utilizan en el sellado de juntas y grietas activas e inactivas en concreto. Su uso común radica en mitigar las fugas de agua a través de grietas. Los selladores cuentan con una variedad de productos que pueden ser utilizados en superficies horizontales o verticales, así como en bajo el agua. Los selladores se pueden usar en grietas y juntas de hasta 50 mm, y cuenta con una alta capacidad de movimiento que permite adaptarse a los cambios dimensionales normales del concreto.

Los selladores de silicona cuentan con propiedades de elongación más altas que los selladores de poliuretano, por lo que son más adecuados para juntas más anchas y activas de hasta 75 a 100 mm. Son altamente resistentes a la luz ultravioleta, pero no deben usarse para aplicaciones de inmersión de agua.

Todos los selladores, tanto de poliuretano como de silicona, no son adecuados para reparaciones estructurales. Además, los selladores requieren un diseño de junta adecuado para garantizar que los materiales funcionen correctamente, lo cual se encuentra detallado en el ACI 224.1R.

Sistemas de selladores de banda

Los sistemas selladores de banda consisten en una lámina flexible, como el caucho sintético, que se coloca sobre una grieta o junta y se adhiere a la estructura en cada lado con un adhesivo adecuado. Estos sistemas están diseñados para cubrir la grieta o junta de cualquier ancho para evitar fugas de agua, aunque estas no se rellenen ni reparen.

Las propiedades de elongación de estos sistemas son excelentes, lo que los hace apropiados para su uso en juntas y grietas activas. Algunos sistemas tienen una alta resistencia a los productos químicos agresivos. Por lo general, no se requiere de alguna habilidad especial del trabajador o equipo para instalarlos.

Informe EIC-Lanamme-INF-1047-2022	Agosto de 2022	Página 19 de 26
-----------------------------------	----------------	-----------------



Los sistemas de selladores de banda no son adecuados para la reparación estructural. Se pueden aplicar en forma vertical u horizontal. El ACI 546.3R cuenta con información adicional cerca de los sistemas selladores de banda.

III.6.2 Sustitución de concreto

Como parte de la reparación de un concreto, se encuentra la metodología de sustitución, la cual cuenta con una serie de procedimientos que se describen a continuación.

Reparación horizontal de la superficie superior: profundidad parcial y total

La reparación de una superficie horizontal es común en losas elevadas y losas sobre el terreno, donde la localización de las áreas a reparar se determina sondeando la superficie. El desempeño de las reparaciones depende de la preparación adecuada de la superficie tal como se indicó en el apartado III.2.

Las condiciones de humedad de la superficie del concreto deben ser las especificadas por el fabricante del material de reparación antes de colocarlo. Las reparaciones se pueden extender en toda la profundidad, por lo que en estos casos se requiere del uso de formaleas para realizar la reparación. El concreto debe ser colocado y curado de acuerdo con ACI 301 y los materiales de reparación patentados deben curarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

El artículo RAP-7 del ACI contiene información adicional sobre la reparación de superficies horizontales de concreto.

Reparación horizontal por medio de encofrado y colocado

La técnica de encofrado y colocado del material de reparación, es un proceso de varios pasos que consiste en la preparación de la superficie del área de reparación, la construcción del encofrado y la colocación de los materiales de reparación en el espacio confinado del encofrado. Los beneficios derivados de las reparaciones incluyen un mejor curado debido a la protección y retención de la humedad proporcionada por el encofrado. Se deben usar moldes impermeables para permitir el remojo previo de la superficie y para evitar fugas cuando se usan morteros de reparación fluidos.

Los materiales de reparación se colocan entre el encofrado y la superficie preparada con baldes, bombas, rampas o carretillos. La técnica de encofrado y colocado permite el uso de varios materiales de reparación vaciados in situ, y se puede realizar a una profundidad parcial o total. La consolidación del material se puede realizar mediante vibración o apisonado con varilla y si este cuenta con un asentamiento extremadamente alto o se autoconsolida, es posible que no se requieran pasos adicionales para consolidar el material de reparación. No se deben usar vibradores de alta potencia para consolidar materiales de reparación fluidos o materiales con un asentamiento mayor que 175 mm.

El artículo RAP-4 del ACI contiene información adicional sobre la reparación de superficies horizontales utilizando la técnica de encofrado y colocado.

Reparación vertical y elevada por medio de encofrado y bombeo: profundidad parcial

La técnica de encofrado y bombeo es un método de reparación para reemplazar el concreto deteriorado mediante el llenado del encofrado con un concreto o un mortero de reparación utilizando la presión de una bomba. Este método se puede utilizar para reparaciones verticales y elevadas.



Los materiales de reparación se mezclan y bombean a través de una línea de descarga hacia el encofrado, el cual debe diseñarse y construirse para resistir la presión hidrostática inducida por la colocación y consolidación del material de reparación. El encofrado también debe contemplar la ventilación del aire, que puede ser por medio de la utilización de tubos de ventilación o perforando orificios en el concreto existente.

El llenado del encofrado debe iniciar en el punto más bajo en reparaciones verticales o en un extremo en reparaciones elevadas, se continúa hasta que la zona encofrada se llena por completo y al finalizar se presurizan a 0,14 a 0,55 MPa, según el tamaño, geometría y cantidad orificios de ventilación. El material de reparación se debe consolidar alrededor del acero de refuerzo e introducirse en las grietas de la superficie preparada para mejorar la adherencia.

Para que esta metodología de reparación sea óptima, se debe utilizar el equipo de bombeo adecuado, el cual consiste comúnmente en tres tecnologías utilizadas que son: el estator del rotor, la peristáltica y el pistón de tubo oscilante. El bombeo con los equipos de pistón de tubo oscilante y peristáltico son capaces de bombear materiales de reparación que contienen el agregado de gran tamaño necesario para colocaciones masivas o profundas.

El artículo RAP-4 del ACI y el ACI 309R contiene información adicional sobre la reparación de superficies mediante la técnica de encofrado y bombeo.

Reparación vertical y elevada por medio de métodos manuales

El método de aplicación manual se puede usar para reparar concreto deteriorado o para recubrir superficies verticales y elevadas de concreto. La aplicación de materiales de reparación con llaneta es adecuada para reparaciones de superficies poco profundas, especialmente en áreas con acceso limitado o difícil.

- *Alisado:* el alisado manual de materiales de reparación se puede utilizar para áreas de reparación limitadas y poco profundas, en el cual se utiliza llanetas u otras herramientas adecuadas para transportar y presionar el material de reparación en la superficie preparada para generar la unión adecuada con el concreto existente. Estas reparaciones se pueden realizar con morteros de cemento hidráulico, productos empacados, lechadas de cemento polimérico, lechadas y morteros poliméricos, entre otros.

Esta metodología no es conviene utilizarse cuando el acero de refuerzo está expuesto, pues se dificulta la consolidación del material de reparación alrededor y detrás del mismo. La pasta del material de reparación se usa como material de unión y cuando se requieren varias capas para alcanzar el espesor requerido, la superficie de las capas intermedias debe rasparse para facilitar la adherencia con las capas posteriores.

Existe una gran variedad de productos empacados que permiten desviaciones en las técnicas de colocación del material de reparación, y esto eventualmente puede comprometer algunas propiedades como la contracción, la adherencia y el coeficiente de expansión térmica, por lo que el diseñador y el contratista deben consultar con el fabricante para asegurarse de que la capacidad de rendimiento y las limitaciones del material cumplan con los criterios del proyecto antes de usar estos materiales.

Las reparaciones exitosas con esta técnica dependen de la preparación de la superficie y la habilidad del operario, ya que se debe evitar que quede aire atrapado en la superficie de unión pues puede reducir la resistencia a la adherencia. Además, el curado adecuado del



material de reparación a base de cemento hidráulico es importante para que el material de reparación no se seque antes de que se complete la hidratación.

El artículo RAP-6 del ACI, el ACI 308R y el ACI 308.1 contiene información adicional sobre la reparación de superficies verticales y elevadas mediante el método de alisado con llaneta.

- *Empaque en seco:* esta técnica consiste en la colocación manual de un mortero de cemento hidráulico con poca agua en la superficie preparada para luego aplisarlo. Al tener una baja relación agua-material cementante, las reparaciones correctamente dosificadas y aplicadas muestran una baja contracción, y buenas resistencia, durabilidad e impermeabilidad. Sin embargo, esta característica hace que el curado sea crítico para evitar la pérdida de humedad necesaria para la hidratación del cemento.

Este procedimiento es más adecuado utilizarlo en reparaciones de encofrados, de pernos, orificios o áreas pequeñas con relaciones relativamente altas de profundidad – superficie.

Reparación vertical y en la superficie superior con concreto o mortero lanzado: profundidad parcial y total

El concreto o mortero lanzado es un material que se transporta neumáticamente a alta velocidad a través de una manguera hacia la superficie receptora. La alta velocidad con que es expulsado el material que golpea la superficie, proporciona el esfuerzo de compactación necesario para consolidar el material y desarrollar una unión adecuada con la superficie de reparación preparada. El proceso de fabricación del concreto o mortero lanzado hace que los materiales puedan ser colocado en superficies verticales sin el uso de formaletas y el material se puede transportar de manera continua a varios metros desde el punto de entrega.

El uso de esta técnica se debería considerar cuando el acceso al sitio es difícil o cuando se requieren áreas significativamente grandes de reparaciones o aéreas verticales, pues la eliminación del encofrado proporciona economía en comparación con otras técnicas de reparación. Además, se debe considerar que el operador de la manguera debe tener experiencia en esta técnica, sino puede influir de manera relevante en la adecuada colocación del material y en el aumento del rebote.

Existen dos procedimientos para el concreto o mortero lanzado: el fabricado por vía húmeda y el de vía seca. A continuación, se comentan aspectos generales de cada uno de ellos.

- *Concreto o mortero lanzado vía húmeda:* en este caso, el cemento, los agregados y el agua se mezclan y bombean a través de una manguera hasta una boquilla donde se agrega aire para impulsar el material hacia la superficie.
- *Concreto o mortero lanzado vía seca:* para este tipo, el cemento y los agregados se premezclan para luego bombearlos neumáticamente a través de una manguera. El agua se agrega en la boquilla a medida que el material se lanza a alta velocidad sobre una superficie.

El artículo RAP-12 del ACI y el ACI 506 contiene información adicional sobre la reparación de superficies mediante la técnica de concreto lanzado y especificaciones del material.

Reparación vertical y en la superficie superior por rociado a baja presión: profundidad parcial

Los morteros empacados son los materiales de reparación que generalmente se utilizan para hacer este tipo de reparaciones. El rociado se aplica inyectando aire en las boquillas de bombas pequeñas



para concreto o bombas de servicio pesado para lechadas y así forzar a salir de la manguera al mortero que es de bajo asentamiento. La unión con la superficie preparada se logra por medio de la combinación de la preparación adecuada de la superficie, el impacto del material de reparación a baja velocidad y las propiedades de adherencia del mortero empacado.

Los morteros empacados de bajo asentamiento no deben ser de fraguado rápido y deben aplicarse sobre capas húmedas. Al realizar las reparaciones, se debe tener en cuenta la temperatura ambiente y de la superficie a reparar, pues influyen en la adecuada unión del material de reparación con la superficie. Se debe evitar detener el trabajo cuando hay material en la manguera.

El artículo RAP-3 del ACI contiene información adicional sobre la reparación de superficies mediante la técnica de rociado a baja presión.

Reparación vertical y elevada con agregado precolocado: profundidad parcial

Este tipo de reparación de concreto con agregado precolocado, implica la colocación del agregado grueso en una zona conformada por encofrado para posteriormente agregar una mezcla de cemento hidráulico y arena u otro material de reparación apropiado mediante bombeo. La contracción por secado del concreto se reduce debido a que el contacto de los agregados entre sí permiten la colocación de un volumen de pasta reducido.

El concreto con agregados precolocados también se puede usar para reparaciones horizontales, siempre que la lechada se inyecte desde la parte inferior de la reparación, ya sea bombeándola desde debajo del área de reparación o utilizando una tubería Tremie y extrayéndola a medida que la lechada llena el área. El concreto con agregados precolocados se usa con frecuencia en proyectos de reparación bajo el agua. El mortero de concreto se bombea desde el fondo de la reparación, desplazando el agua a medida que sube a la superficie, tal como se indica en el ACI 546.2R.

El artículo RAP-9 del ACI y el ACI 304.1R contiene información adicional sobre la reparación de superficies mediante la técnica de concreto con agregado colocado y especificaciones del material.

Reparación de concreto bajo el agua

La colocación del concreto directamente bajo el agua por medio de la tubería Tremie o bombeo es un método de reparación que se utiliza con frecuencia. En general, los mismos requisitos de materiales y procedimientos que se aplican a las construcciones nuevas también se aplican a las reparaciones bajo el agua. Estas reparaciones se presentan en el ACI 546.2R y las especificaciones de la colocación de concreto bajo el agua por Tremie y por bombeo se detallan en el ACI 304R.

Materiales de unión entre materiales de reparación y la superficie preparada

Los materiales de unión se utilizan para mejorar la conexión de los materiales de reparación a la superficie de concreto preparada existente en el elemento. Los materiales de reparación pueden requerir o no un material de unión por separado, esto será indicado por cada fabricante de productos de reparación.

En los casos en que se vaya a utilizar un material adhesivo, la aplicación del material a la superficie preparada debe sincronizarse con la colocación del material de reparación, pues no se puede permitir que los materiales de unión aplicados a la superficie preparada inicien su fragua pues puede generar un plano de debilidad con el material de reparación.



En los materiales de unión a base de cemento se rocían o se escarifican para garantizar la unión con el material de reparación, mientras que los materiales a base de látex y epoxi se cepillan, se escarifican o se rocían. Es importante contemplar que, al momento de aplicar materiales de unión, se realicen ensayos para determinar la efectividad de la unión, que generalmente se basan en ensayos de resistencia a la adherencia como el establecido en la norma ASTM C1583.

III.6.3 Reparación del acero de refuerzo

La causa más frecuente de daño al acero de refuerzo es la corrosión. Otras posibles causas de daños son incendios, ataques químicos y cortes accidentales. Es importante destacar que cuando se trata de verificar el estado del acero en situaciones como las descritas anteriormente, se deba consultar a un profesional responsable del diseño para que sea quien determine el tipo de reparación a aplicar.

Después de quitar el concreto deteriorado y dañado, es necesario exponer el acero de refuerzo, evaluar su condición y prepararlo en caso de ser necesario. La inspección y preparación adecuada del refuerzo ayuda a asegurar un desempeño satisfactorio a largo plazo de la solución de reparación.

Inspección del acero de refuerzo

Después de retirar el concreto, el acero de refuerzo debe limpiarse como se describe en el apartado III.3 e inspeccionarse cuidadosamente. Es posible que sea necesario reemplazar o complementar el acero de refuerzo deteriorado. Las especificaciones y planos del proyecto deben incluir criterios para la reparación o el reemplazo del acero de refuerzo cuando sea necesario, y proporcionar las longitudes de empalme y los criterios de conexión mecánica según lo exija el ACI 562.

El acero de refuerzo limpio puede corroerse levemente entre el momento en que se limpia y cuando se coloca el material de reparación. Si el óxido que se forma está fuertemente adherido al acero de tal manera que no puede eliminarse con un cepillo de alambre, entonces no se requiere ninguna acción adicional. Si el óxido está débilmente adherido como para inhibir la unión entre el acero y el material de reparación, las barras de refuerzo deben limpiarse nuevamente antes de colocar el material de reparación.

Generalmente, se utilizan dos tipos de refuerzo en el concreto, el acero de refuerzo dulce y el pretensado, los cuales requieren de técnicas de reparación distintas, que dependen de la condición del refuerzo y su impacto en la integridad de la estructura. Estos se mencionan a continuación.

Acero de refuerzo dulce

Para el acero de refuerzo dulce, las alternativas de reparación pueden implicar el reemplazo o la complementación del refuerzo deteriorado. El método seleccionado es una decisión de ingeniería basada en la función del refuerzo y el impacto estructural requerido para el elemento reforzado.

- **Reemplazo:** consiste en cortar el área deteriorada y empalmar con las barras de reemplazo. Se debe tener mucho cuidado al retirar el acero de refuerzo que está bajo tensión. Hay que evitar cortar el acero de refuerzo cargado lo más sea posible. Puede ser necesario descargar el elemento para aliviar la tensión en el refuerzo y retirarlo de manera segura. En algunas ocasiones, el reemplazo debe ser total, si es que el área dañada es extensa o bien se puede dejar el acero dañado y empalmarlo con acero nuevo. El acero de reemplazo o empalme debe realizarse con barras del mismo tamaño y longitud.



- *Refuerzo suplementario*: esta alternativa a menudo se selecciona cuando el acero de refuerzo ha perdido un área transversal significativa, el existente es inadecuado o el elemento existente debe reforzarse. El refuerzo deteriorado que quede debe limpiarse de acuerdo con lo indicado en el apartado III.3 y se debe remover el concreto necesario para permitir la colocación de la barra suplementaria al lado de la barra existente con una cubierta adecuada y un espacio mínimo de 19 mm por debajo de las barras. La longitud de la barra suplementaria debe ser igual a la longitud del segmento deteriorado de la barra existente más una longitud de empalme traslapado en cada extremo igual. También se puede colocar acero de refuerzo suplementario para controlar la contracción del material de reparación, restaurar la capacidad estructural y proporcionar un anclaje mecánico de los materiales de reparación de concreto si ocurre una falla de adherencia. El anclaje mecánico es especialmente importante para la reparación de fachadas de edificios y reparaciones aéreas.
- *Recubrimiento del refuerzo*: las barras nuevas sin recubrimiento y las barras existentes que se han limpiado se pueden recubrir con epóxicos, lechada de cemento con polímeros, epóxico rico en zinc, recubrimiento cementoso, cemento de látex o látex acrílico para protección contra la corrosión. Algunos materiales pueden necesitar varias capas para su protección, pero estas no deben exceder un espesor de 0,3 mm para minimizar la pérdida unión por desarrollo en las corrugaciones del refuerzo. Por ello para las barras de acero de refuerzo que han perdido corrugaciones se debe tener cuidado con la colocación de recubrimientos.

Acero presforzado

Existen dos tipos de acero presforzado en elementos estructurales: adherido y no adherido. El deterioro del acero presforzado se puede deber a fuerzas impactivas, por sobrecarga, corrosión o fuego. A continuación, se indica la forma de reparar el acero presforzado según el tipo que cuente el elemento en cuestión.

- *Acero presforzado adherido*: para este tipo de refuerzo, solo la zona deteriorada se destensa durante la reparación. El procedimiento de reparación requiere reemplazar la sección deteriorada con un nuevo torón conectado a los extremos no deteriorados del torón existente. La nueva sección del torón para la longitud expuesta debe postensarse para lograr el nivel de fuerza del torón existente. Para obtener mayor información sobre la reparación de acero de presfuerzo adherido, se puede consultar el ACI 423.8R.
- *Acero presforzado no adheridos*: La corrosión del torón o los alambres y los anclajes del acero presforzado no adherido es la causa principal del deterioro de estos elementos. Es posible que se requiera apuntalamiento en el tramo que se está reparando y los tramos adyacentes hasta varios tramos de distancia antes y durante la reparación del sistema no adherido. También, es posible que sea necesario destensar los hilos y alambres no adheridos antes de la reparación y volver a tensarlos después de la reparación para restaurar la integridad estructural del elemento. Para realizar la reparación, se expone la parte deteriorada del refuerzo quitando el concreto y el revestimiento. El torón o los alambres luego se destensan y se cortan en ambos lados de la porción deteriorada. Se debe tener cuidado cuando estos se encuentran cargados total o parcialmente. La parte deteriorada del refuerzo se retira y se reemplaza con una nueva sección que se empalma con el tendón existente. Posteriormente, se postensan hasta alcanzar las fueras requeridas por el refuerzo. Para obtener mayor información sobre la reparación de acero de presfuerzo no adherido, se puede consultar el ACI 423.4R y PTI DC 80.3-12/ICRI 320.6.



IV. Comentarios finales

Una vez realizada la revisión del documento de protocolo de reparación preparado por el consorcio Estrella – H. Solís, se tienen los siguientes comentarios:

- En cuanto a preparación de la obra se considera pertinente indicar las características y especificaciones que debe cumplir cada material utilizado en la reparación, para así si no es posible acceder a la marca indicada, se busque algún otro producto que cumpla con las indicaciones apuntadas
- Se considera recomendable que, en el procedimiento de reparación, se indique algún tipo de metodología para establecer si el concreto alrededor de la zona que tiene el acero expuesto, cuanta con algún grado de daño que no permita la eficacia de la reparación propuesta para dicha zona
- Se estima pertinente incluir los cuidados que se debe tener con el acero de refuerzo al momento de realizar reparaciones de concreto
- Solicitar información referente a los procedimientos específicos de limpieza del área a reparar pues se indica que se debe realizar, pero no se muestra cómo hacerlo
- Solicitar la aclaración respecto a cuál es el método de preparación para el material de unión con el área preparada para la reparación, pues en la ficha técnica se incluyen varios y no se tiene claridad de cuál es el que se implementará en el proyecto
- Se considera pertinente, solicitar el procedimiento específico que se empleará para realizar el curado contemplando los aspectos indicados en las fichas técnicas de los productos a utilizar
- Se estima recomendable, que el consorcio cuente con un plan de autocontrol para esta actividad, pues se considera de suma importancia proveer del recubrimiento adecuado al acero de refuerzo de estos elementos estructurales
- Con respecto a las demoliciones, es pertinente solicitar la información correspondiente a las indicaciones de cómo se realizará la sustitución de un elemento que se establece sea demolido

V. Referencias

1. American Concrete Institute. "ACI 546R: Guide to concrete repair". Michigan, setiembre 2014.
2. Consorcio Estrella - H. Solís. "CR-CN-PT-565-050-00: *Protocolo de reparación de concreto en pilotes*". San José, junio 2022.