



**PROCEDIMIENTOS
DE
REPARACION ESTRUCTURAL**

PROCRET LIMITADA
RICARDO GIANI DEL CHIARO

OCTAVA EDICIÓN

INDICE



A. INTRODUCCION

B. REPARACION DE ESTRUCTURAS DAÑADAS

1.- REPARACION EN BASE A SISTEMAS EPOXICOS

1.1 Sistemas Epóxicos

- 1.1.1 Formación Epóxica
- 1.1.2 Aditivos y Adiciones
- 1.1.3 Cargas Inertes

1.2 Propiedades de los Sistemas Epóxicos

- 1.2.1 Adherencia
- 1.2.2 Resistencias Mecánicas
- 1.2.3 Módulo de Elasticidad
- 1.2.4 Velocidad de Adquirir Resistencia
- 1.2.5 Deformación de Rotura
- 1.2.6 Dilatación Térmica
- 1.2.7 Viscosidad

1.3 Precauciones de Uso

1.4 Procedimientos de Reparación

1.4.1 Inyección Epóxica

- 1.4.1.1 Inyección Gravitacional
- 1.4.1.2 Inyección a Presión
- 1.4.1.3 Control de Calidad

1.4.2 Con Masillas o Mortero y Hormigones Epóxicos

- 1.4.2.1 Reparación de Grietas
- 1.4.2.2 Reparación de Nidos
- 1.4.2.3 Reposición de Revestimiento de Enfierraduras
- 1.4.2.4 Platabandas
- 1.4.2.5 Anclajes de Barras de Acero

2. REPARACIONES EN BASE A CONGLOMERADOS DE CEMENTO Y ADICIONES

2.1 Morteros

- 2.1.1 Morteros Predosificados
- 2.1.2 Morteros Tradicionales

2.2 Puentes de adherencia

- 2.2.1 Preparación de la Superficie

2.3 Reparaciones en Base a Morteros

- 2.3.1 Reparación de Grietas
- 2.3.2 Inyección de Lechadas
- 2.3.3 Grapado de Grietas

2.4 Reparaciones en Base a Hormigones Especiales

- 2.4.1 Hormigón Preempacado
- 2.4.2 Hormigón Proyectado

C. COMENTARIOS

A.- INTRODUCCION

Los movimientos sísmicos, frecuentes en nuestro país, ocasionan, cada vez que ocurren, danos considerables a las estructuras de obras civiles y de Edificación.

Estos daños se manifiestan normalmente como grietas, fisuras, fracturas y eventualmente desplazamientos y deformación de armaduras.

Los tipos de falla con mayor frecuencia de repetición observados, en cientos de obras reparadas, presentan la siguiente distribución aproximada:

- Fallas por diseño : 20%
- Fallas por construcción : 80%

El agrietamiento por diseño se produjo, en la mayoría de los casos, según la siguiente distribución por frecuencia de repetición:

- Formación de pilares cortos
- Uniones Machones - Vigas
- Fallas de fundaciones

Los daños debido a diseño en muchos de los casos obsevados estaban previstos y no alteraban la estabilidad general de la estructura, en un porcentaje importante.

Los daños fueron por defectos de construcción con mayor frecuencia de repetición fueron:

- Juntas de hormigonado mal ejecutadas.
- Nidos de piedra.
- Hormigones de calidad deficiente.
- Armaduras mal distribuídas o empalmes insuficientes.

De estas fallas, las juntas de hormigonado representan aproximadamente el 50%.

B. REPARACION DE ESTRUCTURAS DAÑADAS

Los procedimientos de reparación que se detallan en este trabajo, están orientados a recuperar el monolitismo original de las estructuras y eventualmente a producir un refuerzo que mejore su comportamiento sísmico.

Los procedimientos de reparación pueden dividirse según el tipo de material empleado en:

- Reparaciones en base a sistemas epóxicos.
- Reparaciones en base a conglomerados de cemento y adiciones.

1. REPARACION EN BASE A SISTEMAS EPOXICOS

Para comprender cabalmente las posibilidades y limitaciones de las reparaciones epóxicas, es necesario recordar previamente las principales características de este tipo de materiales.

1.1 Sistemas Epóxicos

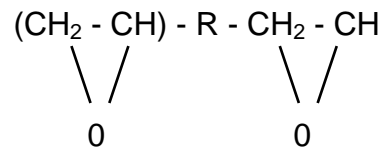
Las resinas epóxicas son materiales que pertenecen a la familia de los plásticos termo-estables. Se caracterizan por tener más de un grupo epoxi por molécula y poder polimerizar a través de estos grupos cuando se emplea un agente de enlace o endurecedor.

Las resinas epóxicas pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- Eteres Glicéricos.
- Aminas Glicéricas.
- Alifáticas lineales.
- Ciclos Alifáticos.

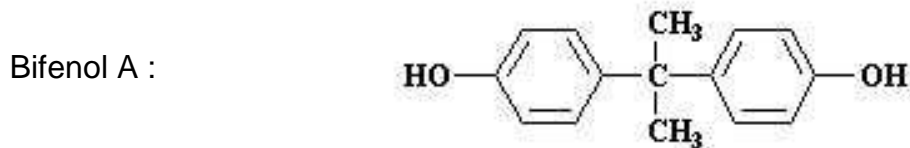
En nuestro país las resinas comerciales utilizadas en el campo de la Construcción pertenecen en su mayoría a la familia de los Eteres Glicéricos, provenientes de la reacción de la Epiclorhidrina con el Bifenol Butano, conocido también como Bifenol A. Estos productos provienen de la destilación fraccionada del petróleo y no se producen en nuestro país.

La fórmula característica de esta resina es:

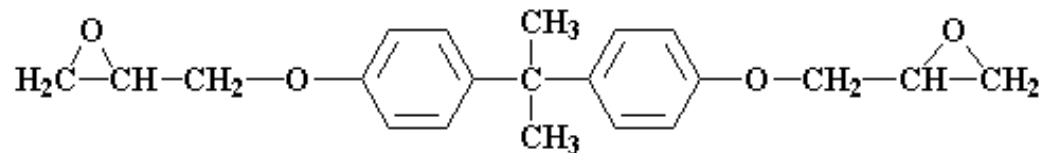


Grupo Epoxi

La resina epóxica se obtiene haciendo reaccionar la Epiclorhidrina con el Bifenol A.

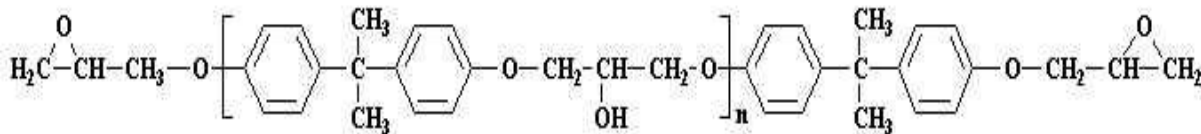


Resina Epóxica :



La Epiclorhidrina tiene un grupo epoxi que se combina fácilmente con cualquier sustancia que tenga un átomo de hidrógeno activo como el Bifenol A, utilizado por su facilidad de obtención y bajo costo.

La resina básica se obtiene, como se deduce de la fórmula anterior, con 2 moléculas de Epiclorhidrina y 1 de Bifenol A; sin embargo variando las proporciones entre reactivos puede obtenerse un mayor grado de polimerización.



N es el grado de polimerización o bien el número de veces que se repite la zona paréntesis en la cadena.

Variando la proporción entre componentes se obtienen resinas con distintos grados de polimerización. Las resinas líquidas, como las utilizadas en inyecciones, tienen un N bajo y por lo tanto un peso molecular y viscosidad también bajos.

Equivalente Epóxico = Gramos de resina que contiene 1 mol

ENDURECEDORES

Las resinas necesitan para su aplicación de endurecedores capaces de reaccionar con los grupos epoxi, formando cadenas de distintas formas y propiedades.

Los endurecedores pueden actuar como catalizadores uniendo 2 moléculas de resina, o bien como reactivos combinándose con parte de la molécula de resina para producir la unión.

Los endurecedores más utilizados son las aminas, poliaminas, poliamidas, bifloruro de boro, etc.

1.1.1 Formulación Epóxica

Conjunto de resinas endurecedores, formulado con las propiedades adecuadas.

Como el curado de una formulación es el producto de una reacción química, el exceso o defecto del endurecedor produce siempre alteraciones de las características del producto final. Por este motivo es necesario combinar la

resina y endurecedor en la proporción exacta en peso, no siendo nunca recomendable el empleo de fracciones de envases, medidos en volumen, de resinas comerciales formuladas.

Como la reacción no da lugar a un producto secundario la retracción de curado es mínima, por lo que casi no hay variación respecto al volumen inicial, propiedad que favorece notablemente la adherencia de estos productos.

La reacción de curado es exotérmica y aumenta su velocidad con la temperatura. El calor producido es de 25 Kc/m epoxi cuando el endurecedor es una amina primaria; por lo tanto la temperatura de la masa puede llegar a valores superiores a 100°C cuando el calor no se disipa fácilmente, como ocurre cuando se trabaja con volúmenes importantes de epoxi.

Cada resina con su endurecedor tiene una velocidad de reacción propia a una determinada temperatura, lo que debe tomarse en cuenta al momento de su utilización. Esta velocidad de reacción determina el Pot Life o tiempo de utilización de un sistema epóxico combinado. Al sobrepasar este tiempo la producción de enlace cambia la viscosidad de la resina y el desarrollo de temperatura acelera la reacción que se desencadena normalmente en forma muy rápida.

Cuanto esto ocurre la resina no puede ser utilizada.

1.1.2 Aditivos y adiciones

Los sistemas epóxicos formulados pueden contener, además de resina y endurecedor, adiciones o aditivos destinados a modificar algunas de sus propiedades, tales como: flexibilizadores, diluyentes reactivos, etc.

1.1.3 Cargas Inertes

Frecuentemente los sistemas epóxicos contienen cantidades importantes de cargas inertes, como en el caso de las masillas y morteros epóxicos.

Estas cargas desplazan resina, disminuyendo el costo y modificando, según el tipo de carga, las propiedades de los sistemas epóxicos, como por ej.: módulo elástico, tixotropía, tiempo de curado, etc.

Los tipos de cargas normalmente utilizados en el campo de la construcción son: Caolín - Arena Silíceo - Cuarzo - Bentonita - etc.

1.2 Propiedades de los Sistemas Epóxicos

1.2.1 Adherencia

Los sistemas epóxicos tienen en general una excelente adherencia con todos los materiales y en el caso específico del hormigón su adherencia es muy superior a la resistencia a tracción del hormigón (45 MPa).

Esta alta adherencia se produce por un anclaje mecánico, unido a la acción de las fuerzas moleculares en la zona de contacto entre la resina y el material base.

Para conseguir la adherencia adecuada al soporte es necesario que la superficie de contacto se encuentre limpia de aceites, grasas, polvo y en general de cualquier impureza que pueda alterar la interacción molecular o el anclaje mecánico.

En las masillas o morteros epóxicos la adherencia en general no se ve afectada, salvo que se utilicen altas dosis de cargas. En este caso conviene imprimir previamente con un sistema epóxico puro del mismo tipo del utilizado en el mortero.

1.2.2 Resistencias Mecánicas

Los sistemas epóxicos puros tienen resistencias a compresión entre 80 y 150 MPa y resistencias a tracción entre 60 y 80 MPa.

Estas resistencias mecánicas varían considerablemente con el uso de cargas en los morteros epóxicos donde, dependiendo del contenido de arena, las resistencias a compresión varían entre 40 y 80 MPa, a tracción entre 30 y 60 MPa, para las formulaciones comerciales que actualmente se encuentran en el mercado.

1.2.3 Módulo Elástico

El módulo elástico de los sistemas epóxicos comerciales, dependiendo de su formulación y contenido de cargas, puede variar desde 2.000 MPa para ciertas resinas epóxicas puras hasta 25.000 MPa para morteros 1:7.

1.2.4 Velocidad de Adquirir Resistencia

La velocidad de endurecimiento depende fundamentalmente de la composición del sistema epóxico y de la temperatura ambiente, ya que la temperatura acelera la velocidad de reacción.

Es necesario conocer al utilizar un sistema epóxico su Pot Life o intervalo de tiempo comprendido entre el instante que se produce la mezcla y el inicio del endurecimiento.

En general los sistemas epóxicos desarrollan en 48 horas a 25°C de temperatura una resistencia mayor que el 80% de su resistencia final.

1.2.5 Deformación de Rotura

Variable del 2 a 5% según formulación.

1.2.6 Dilatación Térmica

El Coeficiente de dilatación térmica es del orden de 4 a $5,8 \times 10^{-5}$ cm/cm °C, valor muy superior al hormigón, que es del orden de 1×10^{-5} cm/cm °C, pero puede corregirse a valores compatibles con el hormigón mediante la adición de cargas adecuadas.

El coeficiente de dilatación térmica no tiene mayor trascendencia en las inyecciones epóxicas o donde el espesor de resina sea mínimo. Sin embargo en los morteros epóxicos, donde el espesor puede ser 2,5 cm o más. La no utilización de un sistema con un coeficiente de dilatación compatible con el hormigón produce agrietamiento de la resina o del hormigón en la zona de unión, lo que descartaría su empleo en reparaciones estructurales, tales como nidos de piedra, recuperación de revestimientos, etc.

1.2.7 Viscosidad

En el mercado nacional existen formulaciones con valores de viscosidad, para sistemas epóxicos puros, comprendidos entre 80 y 15.000 MPa a 25 °C.

1.3 Precauciones de Uso

Las resinas epóxicas son producto de alta basicidad, por lo que en contacto con la piel producen irritaciones y quemaduras, sobre todo en individuos alérgicos.

Aproximadamente un 10% de los trabajos que manipulan este tipo de productos, tienen en mayor o menor grado una reacción alérgica a las resinas epóxicas, la que se manifiesta en forma de ronchas o fuertes irritaciones.

En estos individuos el contacto permanente con resina tiende a sensibilizar su reacción alérgica, por lo que no es conveniente que permanezcan tiempos prolongados en trabajos de este tipo.

En obra las precauciones necesarias mínimas son las siguientes:

- Uso obligatorio de guantes de goma largos.
- Uso de antiparras, casco y de preferencia una pechera de plástico, para proteger de salpicaduras.

En caso de que un trabajador tenga contacto directo con la resina, no debe limpiarse con diluyente, sino con jabón neutro y agua corriente.

Es conveniente mantener en obra además una crema neutra de protección a utilizar antes y después del trabajo.

Si la resina entra en contacto con partes sensibles del cuerpo como ojos, cara, etc., lavar con agua limpia a la cual se le ha agregado algunas gotas de limón. La acidez de este elemento neutraliza el efecto básico de la resina.

1.4 Procedimiento de Reparación

1.4.1 Inyección Epóxica

La reparación mediante inyección epóxica consiste en introducir dentro de una fisura o grieta un sistema epóxico de características adecuadas como adhesivo para recuperar el monolitismo de la estructura.

1.4.1.1 Inyección Gravitacional

Este tipo de inyección es utilizable solamente en grietas de pavimentos cuya abertura sea, según el tipo de resina a utilizar, superior a 0,8 - 1 mm.

Para ejecutar este tipo de inyección es recomendable:

- Construir pequeños diques de 1 cm. de altura y el mínimo ancho posible, con yeso, cemento o algún otro material, dejando espacios libres para la salida de aire cada 20 a 30 cm (fig. 1).
- Llenar los diques con resina y mantenerlos llenos hasta que la resina deje de penetrar.

- Para asegurar la inyección, es necesario controlar que la resina aparezca por los respiraderos entre diques.

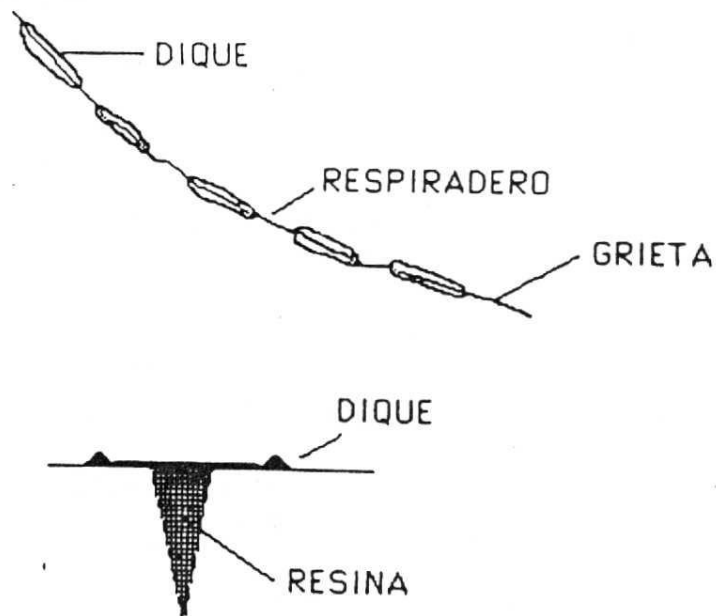


Figura 1

1.4.1.2 Inyección a Presión

El procedimiento consiste básicamente en lo siguiente:

- Despejar la zona en torno a la grieta de estuco de revestimiento.
- Colocar boquillas de inyección cada 20 a 50 cm, dependiendo del espesor del elemento a inyectar y de la abertura de la grieta, fijándolas con una masilla epóxica.
- Colocar por la trasera boquillas de registro a lo menos cada 50 cm.
- Sellar la grieta entre boquillas con una masilla epóxica tixotrópica u otro elemento, capaz de resistir la presión de inyección sin fugas.
- Inyectar a presión a través de las boquillas un sistema epóxico de características adecuadas.

La inyección a presión puede realizarse mediante dispositivos de:

- Aire comprimido.
- Embolo a pistón.
- Equipos de inyección en punta.

DISPOSITIVOS DE AIRE COMPRIMIDO

Es el procedimiento más antiguo y básico utilizado con bastante éxito. Consiste en un tarro hermético (Fig. 2) con las siguientes características mínimas:

- Paredes y tapa resistente a la presión de trabajo (0,7 MPa)
- Tapa de llenado hermética.
- Entrada de aire comprimido con llave.
- Salida de resina.
- Manómetro de control de presión.
- Llave a purga y control de presión.

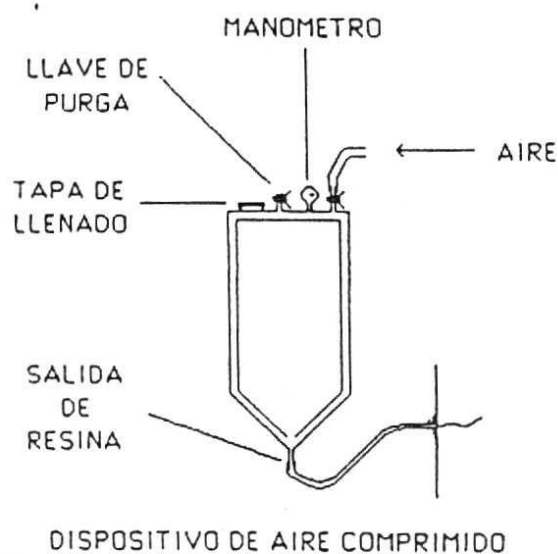


Figura 2

El sistema es simple y de fácil acceso, pero presenta los siguientes inconvenientes:

- Lentitud de trabajo

- Presión de inyección difícil de controlar, ya que el único sistema posible consiste en regular el flujo de entrada y escape del aire.
- Incorpora aire a la resina de inyección, especialmente a altas presiones.
- Difícil manejo del tiempo de colocación (Pot life).

PISTOLAS DE EMBOLO O PISTON

Las pistolas de émbolo consisten en un cilindro, en el que se vierte la resina, obteniéndose la presión a través de un émbolo o pistón accionado por medios mecánicos, hidráulicos o aire.

- El sistema presenta como ventajas una mayor velocidad y control de la inyección.
- Presión en general regulable salvo en los accionados a mano.
- No incorpora aire.
- Permite presiones de inyecciones sobre 0,9 MPa .

Como inconveniente presenta un llenado lento de la pistola y la posibilidad de tener que botar parte del contenido si el tiempo de inyección supera el Pot life.

SISTEMA DE INYECCION EN PUNTA

El procedimiento consiste en 2 cámaras independientes, una para la resina y otra para el endurecedor.

Ambos líquidos se dosifican y avanzan por circuitos independientes, mezclándose en punta a través de una pistola.

VENTAJAS:

- Funcionamiento continuo sin paradas para llenar.
- Evita la dependencia del Pot life de la resina, ya que la mezcla se produce al momento de inyectar.
- Permite presiones de inyección de hasta 1,4 MPa.

DESVANTAJAS:

- La mezcla en punta no garantiza una unión íntima resina endurecedor.

- Las proporciones de mezcla entre resina y endurecedor tienen variaciones del orden de hasta un 5%, lo que puede afectar las características del producto resultante.

PROCEDIMIENTO DE INYECCION

La inyección a través de boquillas avanza en forma de arco en torno al punto de inyección, por lo que la distancia entre boquillas debe ser entre 1 y 1,5 veces el espesor del elemento, con un máximo de 1 boquilla cada 50 cm.

La inyección debe iniciarse siempre por la boquilla más baja de la grieta y continuarse hasta que la resina salga por la siguiente, o mejor aún, por la subsiguiente ya que esto garantiza un completo llenado de la fisura o grieta.

La presión de inyección necesaria depende de la abertura de la grieta y de la viscosidad de la resina. En el gráfico 1 se presentan las curvas empíricas, obtenidas en ensayos realizados en laboratorio y durante experiencias en terreno.

Aún hoy es frecuente ver especificaciones que limitan la inyección a grietas de abertura superior a 0,5 mm. Esto se debe a que hasta hace algunos años las resinas de menor viscosidad bordeaban los 700 MPa, sin embargo, hoy las resinas de inyección tienen viscosidades de hasta 80 MPa a 25 °C, lo que permite inyectar fisuras de 0,1 mm. de abertura, ya que la necesidad de inyección depende del elemento a reparar, su ubicación y la profundidad de la grieta y no sólo de su abertura.

El éxito de una inyección epóxica depende fundamentalmente de la experiencia de la Empresa ejecutante, de una elección adecuada de la resina y del estado de limpieza en que se encuentran las paredes de la grieta.

En los trabajos experimentales realizados en pavimentos de hormigón se ha podido comprobar que:

- Las inyecciones realizadas en fisuras dentro de un plazo no mayor a 30 días desde su formación, y en todo caso antes de la entrega al tránsito del pavimento, permitieron la recuperación del monolitismo en el 100% de los casos.
- Las inyecciones realizadas después de un período de tráfico disminuyeron drásticamente su efectividad llegándose después de 60 días de tráfico intenso a un porcentaje de recuperación del monolitismo solo en un 30% de las grietas inyectadas, a pesar de una cuidadosa limpieza con aire comprimido y agua a presión. Esta disminución drástica de la efectividad,

se debe a la contaminación de la grieta por agentes atmosféricos y, en caso de pavimentos, sobre todo por el tráfico sobre la grieta que colmata las paredes de aceites y polvo, impidiendo una buena adherencia del sistema epóxico.

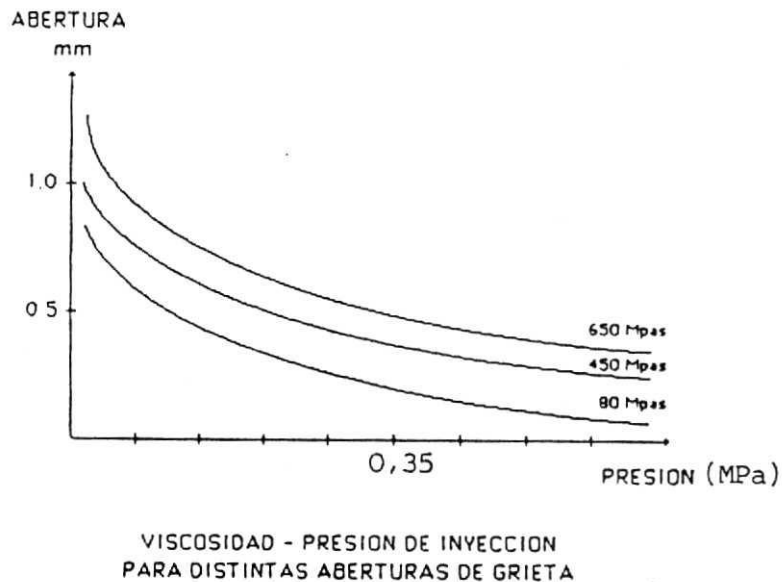


Gráfico 1

1.4.1.3 Control de calidad

El adecuado resultado y comportamiento de una inyección epóxica se comprueba generalmente mediante la extracción de testigos.

Estos testigos ensayados al hendimiento deben dar valores superiores al 90% de los obtenidos en un testigo patrón, extraído en un lugar cercano al punto de inyección en hormigón sano.

Por otra parte el control visual de la profundidad de penetración de la resina epóxica en la fisura o grieta permite comprobar la eficiencia del sistema utilizado, en este aspecto generalmente se exige que la resina haya penetrado a lo menos en un 80 a 90% de la grieta o fisura visible como criterio de aceptación o rechazo del resto no utilizado.

La frecuencia de testigos necesaria para un control adecuado de la calidad de inyección es del orden de 1 testigo cada 30 a 50 ml de grieta, con un mínimo de 1 muestra por cada elemento a reparar.

1.4.2 Reparaciones Mediante Masillas o Mortero y Hormigones Epóxicos

Las masillas y morteros epóxicos se utilizan en las reparaciones estructurales, fundamentalmente para reparar grietas, reemplazar hormigones porosos o con nidos, recubrir enfierraduras y como adhesivo para anclar refuerzos metálicos.

Como los morteros epóxicos se utilizan en muchas oportunidades en volúmenes importantes, resulta necesario tener en cuenta para la elección del sistema a utilizar las características de módulo elástico y coeficiente de dilatación térmica señalados en 1.2.

1.4.2.1 Reparación de Grietas

El procedimiento se utiliza para reparar grietas en estructuras de hormigón como alternativa al procedimiento de inyección. Ej.: grietas en muros, unión albañilería-pilar, etc.

La reparación consiste en picar la grieta en un ancho de 5 a 7 cm. y en toda su profundidad y rellenar con mortero epóxico, colocado a mano, con guantes, presionando el mortero en la cavidad.

Previo a la aplicación del mortero es necesario eliminar de la superficie toda partícula suelta o de polvo e imprimir con un sistema epóxico del mismo tipo pero sin carga.

En general para grietas que atraviesan todo el espesor del elemento estructural la reparación se efectúa por una cara hasta la mitad del espesor, repitiendo la reparación por la trasera a lo menos 24 horas después.

1.4.2.2 Reparación de Nidos

Para la reparación de nidos se procede de la siguiente forma:

- Picado del nido circunscribiéndolo en una figura de ángulos preferentemente rectos, penetrando un mínimo de 5 cm por lado en hormigón sano.
- Relleno con mortero epóxico del mismo modo que el indicado en la reparación de grietas.

- Cuando el volumen a rellenar supera los 10 litros resulta práctico, por costo y para limitar el desarrollo interno de calor, agregar al mortero epóxico gravilla rodada y limpia en proporción 1:1 hasta 1:2 según el volumen y las resistencias deseadas.

1.4.2.3 Reposición de Revestimiento de Enfierraduras

El procedimiento básico es el mismo indicado en la reparación de grietas, cuidando en especial que el picado penetre a lo menos 1 cm. detrás de las enfierraduras

1.4.2.4 Platabandas

Uno de los sistemas de refuerzo estructural mayormente utilizados en todo el mundo consiste en reponer o aumentar la sección de enfierradura de una estructura hormigón a través planchas de acero, adheridas sobre la superficie del hormigón, con masilla epóxica.

El procedimiento a utilizar es el siguiente:

- Remover el estuco en la franja de colocación de la plancha y la capa de hormigón carbonatada (normalmente 1 a 3 cm).
- Nivelar la superficie mediante mortero epóxico, hasta obtener una planeidad tal que una regla metálica de 3 m no indique hendiduras mayor a 5 mm.
- Pulir la cara de contacto de la plancha a metal blanco e imprimir con una resina epóxica de viscosidad inferior a 500 MPa, pura y libre de solventes. Esta imprimación no es necesaria si la plancha se coloca inmediatamente después de pulida.
- Aplicar sobre la cara de contacto de la plancha y del hormigón nivelado una masilla epóxica tixotrópica de resistencia a tracción superior a 30 MPa, en un espesor del orden de 0,3 a 0,5 cm.
- Colocar la plancha en posición y presionar, mediante gatas o pernos, hasta hacer fluir todo el exceso de masilla por los bordes de la placa. Si la platabanda ha sido previamente imprimada, al momento de aplicar la masilla debe pasarse una lija fina por la cara de contacto hasta eliminar el brillo superficial.

Según Bresson la presión recomendada es dada por la expresión:

$$p = \frac{2nl}{t} \left(\frac{1}{e_2^2} - \frac{1}{e_1^2} \right)$$

Donde:

- p = Presión a ejercer
- l = Ancho de la platabanda
- n = Viscosidad de la masilla
- t = Tiempo durante el cual se presiona
- ^e1 = Espesor inicial masilla
- ^e2 = Espesor final masilla

En ensayos realizados en laboratorio se ha encontrado como valores suficientes de presión 0,1 a 0,2 MPa, según el ancho de la placa y la viscosidad de la resina.

Es de vital importancia la seguridad de que la plancha haya sido previamente imprimada o colocada inmediatamente después del pulido, ya que 24 horas, tiempo entre pulido y colocación sin imprimación previa reducen la adherencia del sistema epóxico en aproximadamente un 50 a 70%. También es de vital importancia el uso de guantes de goma para evitar que el aceite o grasa de las manos reduzcan la buena adherencia.

Para comprobar el grado de pulido o limpieza antes de imprimir se puede utilizar la prueba de la gota de agua. Este ensayo consiste en depositar sobre la superficie una gota de agua destilada, si la superficie no está suficientemente limpia la tensión superficial la mantiene como gota en forma esférica, en cambio, si la superficie está perfectamente limpia la gota se extiende.

1.4.2.5 Anclajes de Barras de Acero

Otra aplicación tradicional de utilización de resinas epóxicas es la fijación de anclajes.

Para esto se perfora el hormigón o el material de base en el que se quiere anclar la barra de acero, en un diámetro del orden de 0,5 a 1 cm superior al del anclaje.

La perforación debe limpiarse con aire comprimido y rellenar aproximadamente 1/3 de su profundidad con el sistema epóxico a utilizar.

Introducir la barra lentamente hasta hacer fluir la resina en exceso por la boca.

Para no incorporar aire, el llenado de la perforación con el sistema epóxico debe realizarse desde el fondo hacia la boca de la perforación. Para este procedimiento puede emplearse una pistola de calafateo o una grasera.

Antes de colocar el sistema epóxico es siempre recomendable imprimir las paredes de la perforación con una resina pura libre de solventes.

La profundidad de perforación está dada por:

$$P = \frac{T \times D^2}{4 D_1 \times R}$$

Donde:

- T = Fatiga de fluencia del acero
- P = Profundidad de perforación requerida
- D = Diámetro de la barra a anclar
- R = Resistencia a tracción del material base
- D₁ = Diámetro de la perforación

2. REPARACIONES EN BASE A CONGLOMERACIONES DE CEMENTO Y ADICIONES

2.1 Morteros

2.1.1 Morteros Predosificados

Actualmente existen en el mercado una serie de morteros especiales, fabricados en base a:

- Cemento de alta resistencia
- Arena silícea o de cuarzo de granulometría muy controlada
- Aditivos y adiciones que le confieren características especiales.

Los morteros predosificados tienen en general las siguientes características:

- Altas resistencias
- Retracción hidráulica mínima y por lo tanto escasa o ninguna tendencia a la fisuración.
- Trabajabilidad adecuada.

Las resistencias a 28 días normalmente varían entre 30 y 60 MPa. Existe gran variación en el plazo de obtención de dichas resistencias y de hecho existen morteros de alta, mediana y normal velocidad de endurecimiento.

Respecto a la trabajabilidad, se encuentran en el mercado desde morteros autonivelantes como los utilizados para Grouting hasta morteros de reparación estructural de consistencia plástica seca.

En general existe una vasta gama de morteros predosificados, que permiten cubrir todos los requerimientos que requieren las reparaciones estructurales.

2.1.1 Morteros Tradicionales

También es posible utilizar para reparaciones estructurales morteros dosificados en faena.

Para la fabricación de estos morteros se deben tomar en cuenta las siguientes precauciones:

- Utilizar cemento Portland o con un mínimo de adiciones.
- Diseñar una dosificación cuya relación cemento-arena sea como máximo 1: 3, utilizando arena silícea limpia, sin materias orgánicas o arcillas y de una granulometría continua que cumpla con la Normas INN.
- Utilizar los aditivos necesarios para obtener las características deseadas, expansores y plastificantes y eventualmente adiciones de cenizas volantes o micro sílice.
- Mezclar preferentemente en hormigonera y agregando agua hasta una relación A/C no superior a 0,6.

Para el uso de mezclas o combinación de aditivos se debe consultar previamente su compatibilidad con el fabricante.

Siguiendo las recomendaciones indicadas es perfectamente posible obtener morteros de calidad adecuada para su empleo en reparaciones estructurales. El mortero predosificado presenta sin duda ventajas tales como:

- Uniformidad de calidad y características, propias de un proceso industrial.
- Propiedades perfectamente definidas y controladas.

2.2 Puentes de Adherencia

La utilización de morteros en base a cemento va generalmente asociado con la aplicación previa de un puente de adherencia acrílico o epóxico.

Los puentes de adherencia epóxico son formulaciones con una alta insensibilidad a la humedad, donde generalmente se utilizan endurecedores lentos.

Se aplican con brocha de pelo duro, pintando la superficie a rellenar hasta dejar una capa de 1 a 2 mm de espesor. Es recomendable que la aplicación del puente de adherencia se haga frotando la brocha en forma de pequeños círculos sobre la superficie, a fin de romper la tensión superficial, logrando así una mejor penetración del sistema epóxico en la superficie y por lo tanto un mejor anclaje mecánico.

Los puentes de adherencia acrílico son en general emulsiones de acrílico finamente molido en agua, que se aplican en forma similar a los puentes de adherencia epóxicos y permiten valores de adherencia del orden de los 1,5 a 1,8 MPa como máximo. Su empleo en reparaciones estructurales está limitado a la reparación de albañilerías, donde ese valor de la adherencia resulta suficiente.

2.2.1 Preparación de la Superficie

Para lograr una adherencia adecuada mediante la aplicación de puentes de adherencia es necesario que la superficie sobre la cual se aplique está perfectamente limpia de polvo, grasas o alterada por agentes atmosféricos.

En general dan buenos resultados superficies con la rugosidad propia del picado, siempre y cuando no haya estado en contacto con el ambiente por un período prolongado y se haya eliminado el polvo superficial. También resulta apropiado superficies arenadas o tratadas químicamente, como por ej.: ácido clorhídrico diluido en agua.

2.3 Reparaciones en Base a Morteros

2.3.1 Reparaciones de Grietas

La reparación de grietas mediante morteros de cemento está limitada a estructuras de albañilería o encuentros de albañilerías con hormigón.

El procedimiento de reparación consiste en:

- Picar la grieta por una de las caras del muro hasta la mitad del espesor.
- Aplicar un puente de adherencia epóxico o acrílico, según el caso, y rellenar con mortero.
- Repetir el tratamiento por la otra cara.

2.3.2 Inyección de Lechadas

En estructuras de albañilería maciza se ha utilizado con éxito la inyección de lechadas de cemento.

El Departamento de Ingeniería de ENDESA ha estudiado y recomienda para estas reparaciones, una lechada compuesta de cemento y arcilla en proporción 1:1. También se ha utilizado lechadas con puzolana o arcillas expansivas, como Caolín.

De acuerdo a experiencias realizadas los mejores resultados de adherencia y facilidad de inyección se obtienen con una lechada compuesta por:

- 1 parte de cemento
- 1 parte de polvo impalpable de cuarzo.
- Expansor en la proporción indicada por el fabricante. Aproximadamente 850 gramos, por saco de cemento.
- 0,10 a 0,20 partes de acrílico en emulsión, del mismo tipo utilizado como puente de adherencia.

Estas lechadas se inyectan por un procedimientos similar al utilizado en los sistemas epóxicos, pero de mayor capacidad y casi siempre provisto de un homogenizador que evita la sedimentación.

2.3.3 Grapado de Grietas

El procedimiento de grapado se utiliza generalmente en estructuras de albañilería o de hormigón sin armar, cuando la grieta se ha producido por esfuerzo de corte.

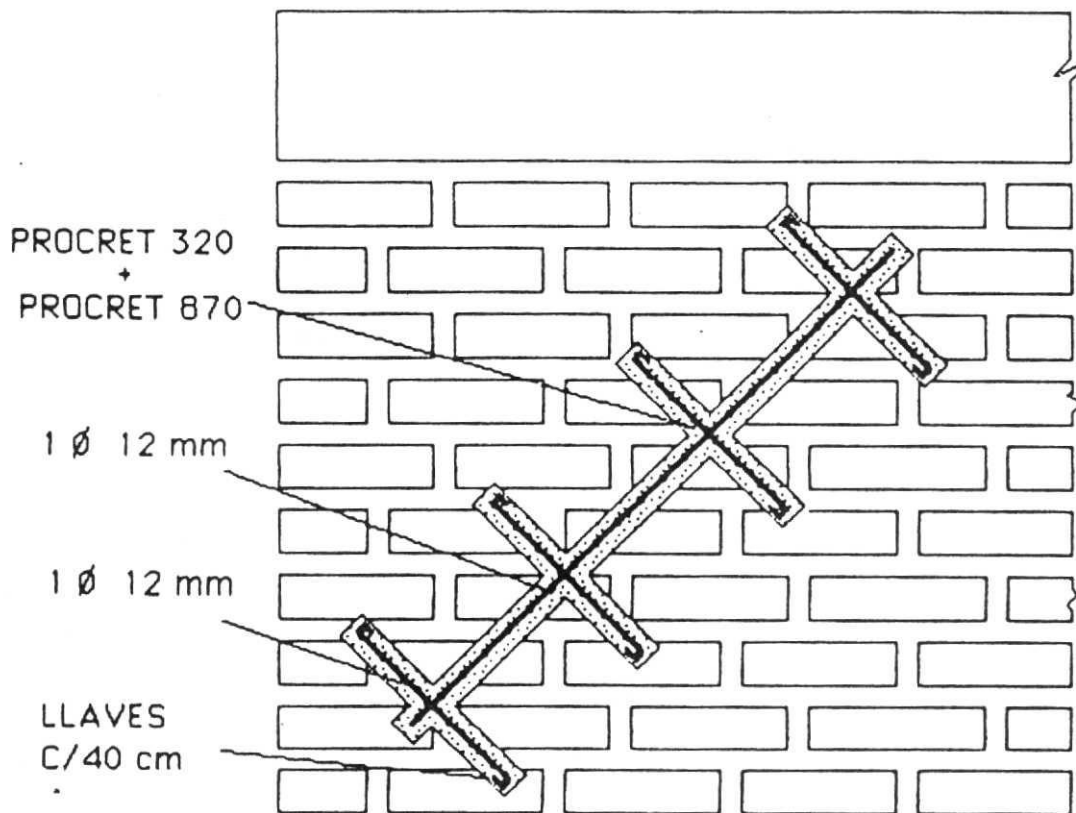
La reparación consiste en :

- Reparar la grieta según lo indicado en 2.3.1 con mortero y puente de adherencia, colocando previamente en el fondo de la grieta picada, una barra de acero.
- Ranurar el muro en forma perpendicular a la grieta, cada 30 a 50 cm, en un ancho de 5 cm y una profundidad de 7 cm.
- Colocar en el fondo de cada ranura una barra de acero y rellenar con un mortero, previa aplicación de un puente de adherencia epóxico, o bien rellenar con un mortero epóxico.

El diámetro del acero necesario así como la longitud de grapado está definida por diseño. Sin embargo normalmente se utilizan barras de un diámetro de 12 mm y una longitud de grapado de 1 m, es decir 50 cm a cada lado de la grieta.

- La barra central colocada en el fondo de la grieta, tiene por objeto absorber esfuerzos en otras direcciones que la del grapado.

Se adjunta un esquema de grapado desarrollado por PROCRET Ltda., que ayuda a visualizar el procedimiento (Fig. 3)



GRAPADO DE GRIETAS

Figura 3

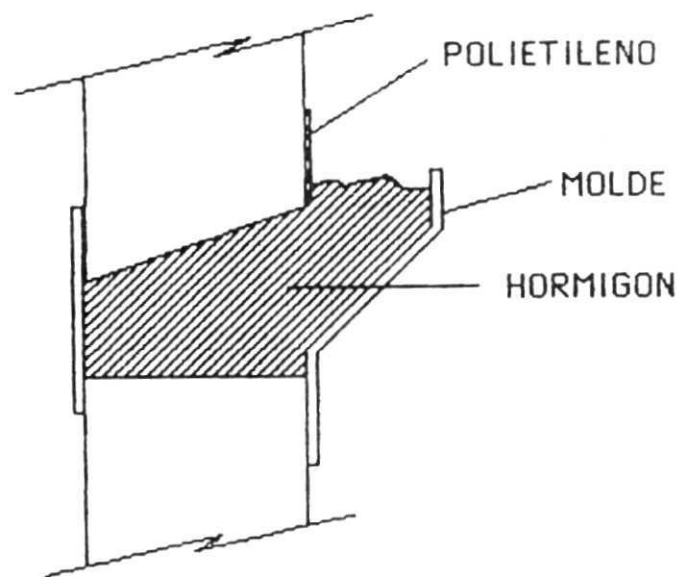
2.4 Reparaciones en Base a Hormigones Especiales

La reparación mediante hormigones especiales se utiliza para reparar nidos de piedra o en reparación de hormigones fracturados o defectuosos.

El hormigón puede fabricarse en base a mortero predosificado más la adición de grava en proporción 1:1 hasta 1:3 en peso, o bien como un hormigón tradicional más la adición de plastificantes o fluidificantes y expansores.

El procedimiento de reemplazo por medio de hormigones convencionales más utilizado es el siguiente:

- Picar el hormigón poroso o dañado, circunscribiéndolo en una figura de ángulos rectos.
- Colocar un molde provisto de un buzón de llenado (Fig. 4)
- Aplicar puente de adherencia epóxico o acrílico, según el caso, en la superficie de contacto.
- Rellenar con un hormigón con adición de fluidificante y expansor.



REPARACION POR REEMPLAZO
DE HORMIGON DAÑADO

Figura 4

2.4.1 Hormigón Preempacado

La técnica del hormigón preempacado consiste básicamente en rellenar con un mortero inyectado una matriz de grava previamente dispuesta en un molde.

El procedimiento generalmente utilizado es el siguiente:

- Colocación de un molde estanco, provisto de atiesadores y tirantes que cubra ambas caras del elemento a hormigonar.

- Sellar del molde en todo el contorno con arpillera, espuma plástica embebida en asfalto o cualquier otro sello estanco.
- El molde debe tener perforaciones cada 50 cm a 1 m para inyección en la parte baja y como respiradero en la parte alta.
- Colocación dentro del molde de una matriz de grava limpia a través de troneras.
- Colocación de boquillas e inyección del mortero, hasta hacer fluir la mezcla por las salidas de aire en la parte superior del molde.

De acuerdo a las recomendaciones del A.C.I. y las Normas A.S.T.M., los materiales a utilizar en la ejecución de hormigón preempacado son las siguientes:

- Aridos gruesos preferentemente de canto rodado, provenientes de roca sana, limpios y que cumplan con la siguiente banda de trabajo:

Malla	% que pasa
1 1/2"	95 - 100
1"	40 - 80
3/4"	20 - 45
1/2"	0 - 10
3/8	0 - 2

- Arena limpia proveniente de río, con un módulo de fineza comprendido entre 1.3 y 2.10.
- Una de las bandas recomendada para agregado fino es el siguiente:

Malla ASTM N°	% que pasa
8	100
16	95 - 100
30	55 - 80
50	30 - 55
100	10 - 30
200	0 - 10

Las mezclas para inyección están compuestas de:

- Cemento Portland
- Arena
- Puzolana como Adición
- Aditivos plastificantes incorporadores de aire y expansores.

El uso de puzolana es solamente para casos donde las resistencias a 28 días tienen requerimientos bajos, ya que las puzolanas se combinan con la cal de hidrólisis y endurecen lentamente.

El grouting con puzolana alcanza a 90 días resistencias similares a los sin adición.

La puzolana permite una mayor estabilidad de la mezcla, menor exudación y segregación.

La adición de puzolana en general no se emplea en morteros inyectados con fines estructurales.

El aditivo o mezcla de aditivos para la inyección de mortero para hormigones preempacados debe cumplir las siguientes condiciones mínimas:

- Reducción de agua de amasado respecto de un mortero patrón sin aditivo, mínimo	3%
- Expansión	2% máx.
- Incremento de la retención de agua de exudación.	60%
- Principio de fraguado mínimo (horas)	4
- Fin de fraguado máximo (horas)	24
- Test de compresión a 28 días porcentaje respecto a una muestra patrón	90%

Frecuentemente se adiciona al mortero de inyección incorporadores de aire para mejorar su impermeabilidad y obtener una mayor trabajabilidad y tixotropía.

La relación A/C del grouting no debe exceder de 0.8.

El tiempo de vaciado del cono estándar indicado en la Norma A.S.T.M C939, debe ser inferior a 35 segundos sin sedimentación.

VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL HORMIGON PREEMPACADO

El uso de hormigón preempacado o con áridos precolocados permite obtener hormigones prácticamente sin retracción hidráulica por cuanto la existencia de una matriz de grava en contacto impide la deformación del hormigón lo que permite una mejor adherencia a la estructura existente en reparación.

Esta estructura de grava aumenta el módulo elástico del hormigón resultante, dentro del rango elástico, obteniéndose hormigones muy rígidos (sobre 35.000 MPa).

Debido a su estructuración y porque normalmente se utiliza grava de canto rodado, la adherencia entre el árido y el mortero de inyección es menor que en los hormigones convencionales lo que reduce su resistencia a tracción.

2.4.2 Hormigón Proyectado

El procedimiento consiste en un equipo capaz de lanzar o proyectar una mezcla de cemento - arena o cemento - arena - gravilla a través de una boquilla a presión.

El equipo se alimenta con mezcla seca y, a través de una serie de pistones pasa a una cámara donde fluye una corriente de aire comprimido que impulsa la mezcla hasta una boquilla a través de la cual sale proyectada.

La humectación de la mezcla se produce en la boquilla de salida a través de un collarín perforado, por donde sale agua a presión pudiéndose regular el paso de agua a través de una llave.

El sistema logra mediante impacto su adherencia a la estructura a reparar.

Para evitar un rechazo excesivo o bien el desprendimiento de planchones, la regulación del agua de amasado debe ser tal que la mezcla colocada tenga un aspecto húmedo seco.

Si hay exceso de agua la mezcla colocada es brillante y con tendencia al deslizamiento.

En caso contrario aumenta mucho el polvo, el rechazo y el aspecto de la mezcla es el del cemento seco.

Para mortero proyectado se utilizan normalmente relaciones cemento - arena 1.3, con dosis de cemento cercanas a los 500 kg/m³.

La arena utilizada debe tener un módulo de fineza comprendido entre 2,2 y 3,0

A mayor cantidad de arena fina, menor rechazo y viceversa.

El mortero proyectado tiene baja tendencia a la fisuración, buena adherencia y es bastante impermeable, por su grado de compacidad y altas dosis de cemento.

El mortero proyectado se aplica en capas de 2 ó 3 cm máximo pudiéndose obtener espesores considerables con varias pasadas.

Donde se requieren espesores considerables se utilizan acelerantes rápidos de endurecimiento, capaces de producir el endurecimiento de la mezcla en 2 ó 3 minutos.

Las resistencias a compresión, según se utilice o no acelerante y según la composición de la mezcla, varían entre 20 y 35 MPa.

El chorro de hormigón debe proyectarse en forma perpendicular a la superficie a revestir a una distancia de aproximadamente 1 m.

El % de rechazo varía entre el 20 y 40% según las características y posición de la superficie a recubrir.

Sobre cabeza	30 - 45 %
Horizontal	15 - 30 %

VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL HORMIGON PROYECTADO

La técnica de Hormigón proyectado presenta claras ventajas en faenas de recubrimiento de estructuras hasta espesores del orden de 10 cm debido a que permite una reparación rápida sin necesidad de moldaje y con buena adherencia, por efecto del impacto, al hormigón de base.

La otra parte el uso de hormigón proyectado implica bajas relaciones A/C con lo que se obtienen hormigones de muy baja retracción y por lo tanto mínima tendencia a la fisuración.

El procedimiento se justifica debido al volumen que proyectan este tipo de equipos y al costo de los mismos cuando se necesario recubrir grandes superficies con poco espesor. En caso contrario el uso de hormigón proyectado resulta comparativamente demasiado caro.

Por otra parte el hormigón proyectado obliga al uso de altas dosis de cemento. No es utilizable en esferas reducidas por el gran volumen de polvo que produce en el ambiente y según el tipo de superficie tiene un alto porcentaje de pérdida por efecto del rechazo.

C. COMENTARIOS

Todos los procedimientos de reparación descritos permiten, al ser elegidos y ejecutados correctamente, recuperar la continuidad de las estructuras dañadas.

La elección de una metodología incorrecta puede causar concentraciones de esfuerzos, frente a nuevas solicitaciones, que tengan efectos negativos para la estructura reparada. Por este motivo es siempre necesario analizar previamente el comportamiento general de la estructura a reparar de forma que la metodología elegida resulte armónica con el conjunto manteniendo, hasta donde sea posible, la continuidad estructural.

Todo proyecto de reparación debe contemplar un esquema de control de calidad que permita verificar la correcta ejecución de los trabajos. Desde este punto de vista la permanencia en obra de una inspección técnica idónea resulta siempre aconsejable, sobre todo tomando en cuenta la trascendencia que una reparación estructural tiene para sus ocupantes.

Por otra parte la ejecución de una reparación estructural implica, casi siempre, el uso de materiales y/o tecnologías no tradicionales por lo que resulta necesario recurrir a empresas especializadas en este rubro que posean experiencia en el tipo de trabajos a ejecutar de forma de minimizar la posibilidad de fallas o defectos de ejecución que pueden alterar o anular la reparación proyectada.