



**Educación**  
Secretaría de Educación Pública



**Volumen 8. Rehabilitación.**  
**Tomo 4. Reparación de elementos**  
**estructurales.**

Elaboración septiembre de 2025





## ÍNDICE

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Alcance.....   | 4  |
| 1.1   | Proceso de rehabilitación .....  | 4  |
| 2     | Reparación local de elementos estructurales .....  | 6  |
| 2.1   | Deficiencia por corregir .....   | 6  |
| 2.2   | Descripción de la técnica .....  | 7  |
| 2.3   | Reparación de elementos de concreto.....   | 7  |
| 2.3.1 | Reparación de elementos de concreto con desprendimiento de recubrimientos o desconchamiento..... | 7  |
| 2.4   | Reparación de daños ligeros en muros de mampostería .....  | 9  |
| 2.4.1 | Reemplazo de piezas aplastadas y/o desconchadas.....   | 9  |
| 2.4.2 | Reparación local de agrietamiento en muros de tabique con aplanado .....                         | 9  |
| 2.4.3 | Reparación de muros con problemas de salitre .....   | 10 |
| 2.5   | reparación de daños ligeros en losas.....  | 11 |
| 2.5.1 | Reparación de losacero en azoteas intermedias de entrepiso y/o azotea .....                      | 11 |
| 2.5.2 | Restitución del aplanado en losa.....  | 11 |
| 2.6   | reparación de daños ligeros y moderados en losas planas .....                                    | 12 |
| 3     | Reparación de grietas mediante fluidos.....  | 13 |
| 3.1   | deficiencia por corregir.....  | 13 |
| 3.2   | Descripción de la técnica .....  | 13 |
| 3.2.1 | Preparación .....  | 14 |
| 3.2.2 | Proceso de inyección.....  | 15 |
| 3.2.3 | Acciones posteriores a la inyección. ....  | 17 |
| 3.3   | Requisitos de diseño .....   | 19 |
| 3.4   | requisitos de construcción .....   | 20 |
| 3.5   | requisitos de supervisión y aseguramiento de calidad .....                                       | 21 |
| 4     | reemplazo de elementos estructurales dañados.....  | 22 |
| 4.1   | Deficiencia por corregir .....   | 22 |
| 4.2   | descripción de la técnica.....   | 22 |
| 4.3   | Losas en volado con problemas de flecha y/o agrietamiento excesivo .....                         | 23 |
|       | Procedimiento (Ilustración 16): .....  | 23 |
| 4.4   | Colocación de largueros adicionales o sustitución de largueros dañados.....                      | 24 |
| 5     | conexión entre elementos existentes y materiales o elementos nuevos.....                         | 25 |
| 5.1   | deficiencia por corregir.....  | 25 |



5.2 preparación de la superficie de concreto.....26

5.2.1 Escarificación .....26

5.2.2 Rotofresado .....27

5.2.3 Desbastado .....27

5.2.4 Martillos rompedores de concreto .....28

5.3 colocación de anclas y conectores .....29

5.4 Requisitos de análisis .....31

5.5 Requisitos de diseño de anclas y conectores .....32

5.5.1 Anclas.....32

5.5.2 Conectores .....32

5.5.3 Conectores para encamisados de mampostería .....33

5.6 procedimientos de diseño de anclas y conectores .....33

5.7 requisitos de construcción .....35

5.8 Requisitos de supervisión y aseguramiento de calidad.....35

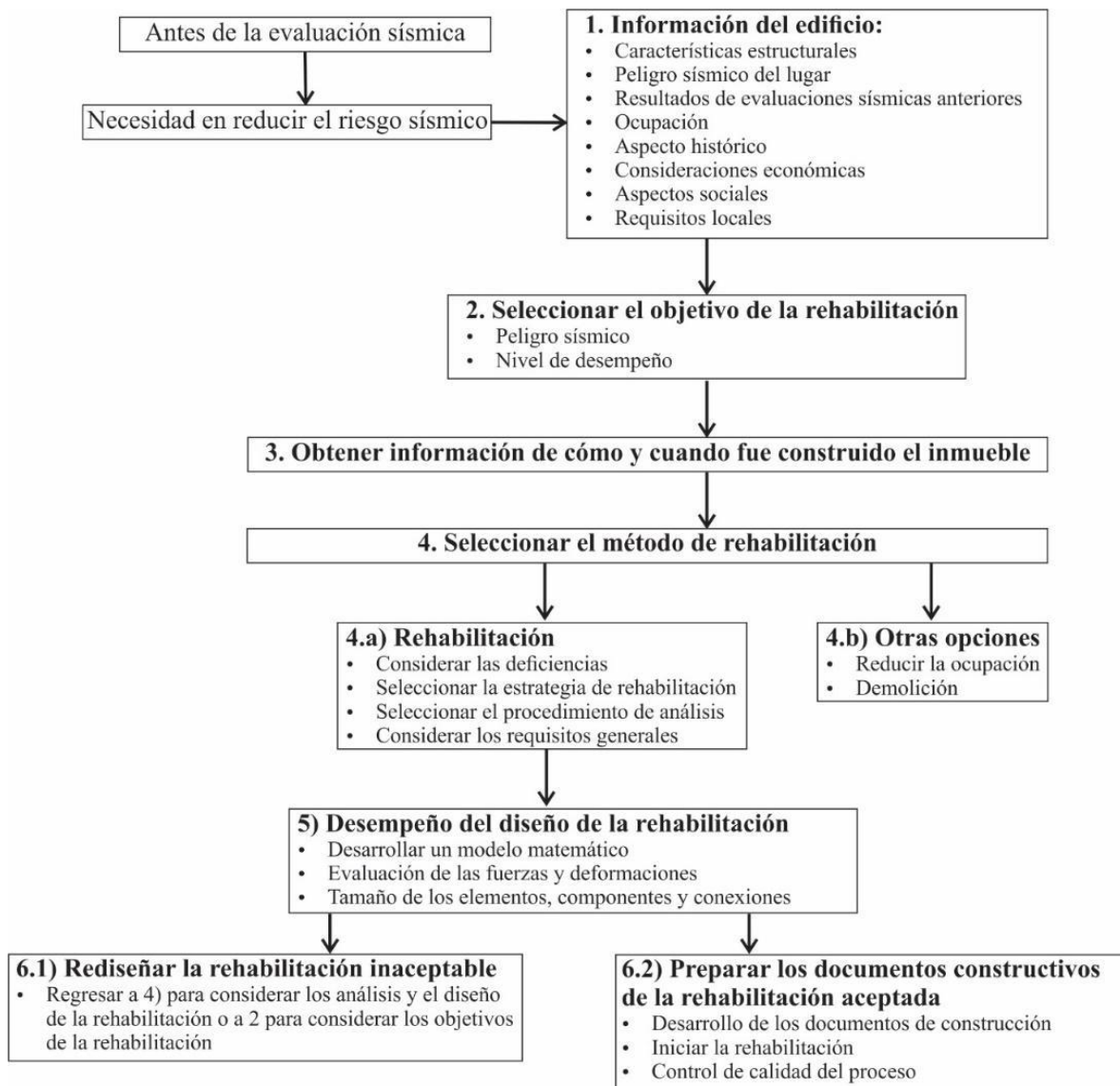


## 1 ALCANCE

En este tomo se presentan las técnicas de rehabilitación más comunes para ser aplicadas en edificios existentes. En cada una se indica la deficiencia estructural que se puede corregir con su uso y se describe en qué consiste, en lo general, y sus variaciones, cuando corresponda. Se incluyen requisitos de análisis, diseño, construcción y aseguramiento de la calidad. Cuando se requiere, se señalan los requisitos normativo cuyo cumplimiento debe prestarse especial atención. De igual forma, se indican los requisitos que no se deben cumplir, dado que no son aplicables a la rehabilitación de edificios existentes.

### 1.1 PROCESO DE REHABILITACIÓN

Se presenta un diagrama de flujo que representa de manera gráfica el proceso que se debe realizar para aplicar cualquier técnica de rehabilitación descrita en esta Volumen.





El proceso inicia con la obtención de la mayor información posible del edificio por rehabilitar. Posteriormente, se selecciona el Objetivo de la Rehabilitación de manera conjunta entre el proyectista, el director, el corresponsable y el propietario de la escuela. Después se identifican, en campo y en gabinete, las deficiencias estructurales del edificio. A partir de ellas, el proyectista desarrolla, conceptualmente, las posibles técnicas de rehabilitación consistentes con las estrategias de rehabilitación que permitan mitigar o eliminar las deficiencias identificadas. En seguida, con el apoyo de un modelo numérico del edificio, se verifica que la(s) técnica(s) de rehabilitación seleccionadas permiten: a) satisfacer el Objetivo de la Rehabilitación y b) mitigar o eliminar las deficiencias. En caso de que no se cumpla lo anterior, se debe(n) ajustar o cambiar la(s) técnica(s) de rehabilitación seleccionadas y/o el Objetivo de la Rehabilitación. Una vez cumplido el Objetivo de la Rehabilitación, se procede a elaborar el proyecto ejecutivo, haciendo énfasis en los planos constructivos y en la memoria de cálculo, en los detalles de conexiones, en el tipo y uso de nuevos materiales, en la secuencia de construcción y demás consideraciones de construcción y supervisión incluidas en este apartado y en los Tomos 1 y 2 de la presente Volumen.

En la Tabla 1. Objetivos de rehabilitación en correspondencia con cada técnica de rehabilitación. se muestran las técnicas de rehabilitación descritas en este Tomo y el Objetivo de Rehabilitación de cada una de ellas. Se excluyen de la tabla las técnicas de rehabilitación complementaria, i.e., reparación local, reparación de grietas, sustitución de elementos dañados y adición de anclas y conectores. Las técnicas de rehabilitación complementaria no modifican sensiblemente la capacidad estructural del edificio. Se recomienda que se apliquen como complemento de las técnicas indicadas en la tabla a fin de mejorar la respuesta local y global de la estructura ante sismo. Las técnicas de rehabilitación complementaria se describen los tomos previos.

Notas para la Tabla 1:

a: Reparación local, inyección de grietas, sustitución de elementos dañados.

b: Colocación de anclas y conectores en estructuras de concreto y de conectores en elementos metálicos.

\* El encamisado de elementos con concreto reforzado incrementará la resistencia de forma global en la estructura siempre que los componentes que conforman el sistema estructural se hayan rehabilitado con esta técnica, sin embargo, cuando la técnica se emplea en ciertos componentes del sistema estructural, se incrementará la resistencia de forma local, particularmente en el elemento rehabilitado.



**Tabla 1. Objetivos de rehabilitación en correspondencia con cada técnica de rehabilitación**

| Técnica   | Rehabilitación complementaria | Incrementar resistencia global | Aumentar rigidez | Incrementar la capacidad de deformación inelástica | Controlar la respuesta | Mejorar la configuración estructural |
|---|-------------------------------|--------------------------------|------------------|--|------------------------|--------------------------------------|
| En cam isado de vigas, columnas o nudos con concreto reforzado  | a y/o b                       | x *                            | x                | x  |                        |                                      |
| En cam isado de vigas columnas o nudos con acero                | a y/o b                       | x                              |                  | x  |                        |                                      |
| En cam isado de vigas, columnas o nudos con CPRF                | a y/o b                       | x                              | x                | x  |                        |                                      |
| En cam idado de muro de mampostería                             | a y/o b                       | x                              | x                | x  |                        |                                      |
| Adición de muros de concreto                                    | a y/o b                       | x                              | x                | x  |                        | x                                    |
| Adición de contraventeos de acero                               | a y/o b                       | x                              | x                | x  |                        | x                                    |
| Adición de contraventeos metálicos a base de cables postensados | a y/o b                       | x                              | x                | x  |                        | x                                    |
| Sustitución o adición de muros diafragma de mampostería         | a y/o b                       | x                              | x                | x  |                        | x                                    |
| Separación y recorte de pretilas en marcos de concreto o acero  | a y/o b                       |                                |                  | x  |                        | x                                    |
| Sistemas de protección pasiva                                   | a y/o b                       |                                | x                | x  | x                      |                                      |
| Rehabilitación de la cimentación                                | a y/o b                       | x                              | x                |  |                        | x                                    |

## 2 REPARACIÓN LOCAL DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

### 2.1 DEFICIENCIA POR CORREGIR

La reparación local de un elemento estructural de concreto o mampostería se practica cuando se requiere recuperar la capacidad original. Aquellos elementos dañados que adicionalmente serán reforzados deberán ser reparados antes.

Un caso particular de reparación es la de grietas mediante fluidos. Debido a su uso tan extendido, se trata de manera separada en la siguiente sección de este Tomo.



## 2.2 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

La reparación de un elemento de concreto consiste en la colocación de material compatible con el concreto desmenuzado y aplastado. Usualmente, este material está hecho a base de morteros hidráulicos o de resina epóxica. En la guía ICRI 320.3R se pueden consultar las propiedades de los materiales de reparación más usuales.

En el caso de mampostería, la reparación local implica la sustitución de las piezas desmenuzadas y aplastadas.

El desempeño de la reparación depende, entre otros factores, de la magnitud del daño y de la calidad de la ejecución. Por tanto, en la evaluación y en el análisis estructural se debe considerar el nivel de restitución de la capacidad estructural que sea factible alcanzar con la reparación para el modo de comportamiento, magnitud de daño y calidad de ejecución de la edificación. Esta consideración se vuelve más relevante si se usan materiales, técnicas y sistemas poco comunes.

En los incisos 2.3 a 2.5 se describen los procedimientos de reparación local para elementos de concreto, elementos de mampostería y losas, respectivamente. El procedimiento de ejecución está escrito de modo que pueda servir de base para una especificación de construcción. El material de esta sección fue complementado con las recomendaciones de Alcocer (2003), Soto (2008) e INIFED (2017a).

## 2.3 REPARACIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO

### 2.3.1 Reparación de elementos de concreto con desprendimiento de recubrimientos o desmenuzamiento.

Procedimiento:

1. Retirar, por medios manuales, las partes flojas o mal adheridas, cuidando de no dañar el acero de refuerzo.
2. Picar la superficie de concreto endurecido y preparar una "caja" con ángulos rectos, limpiando el concreto y barras dentro de la caja. En la Ilustración 1 se muestra una "caja" con el detalle del armado longitudinal de algún elemento de concreto (columna, trabe), lo que se observa en el centro son las barras.

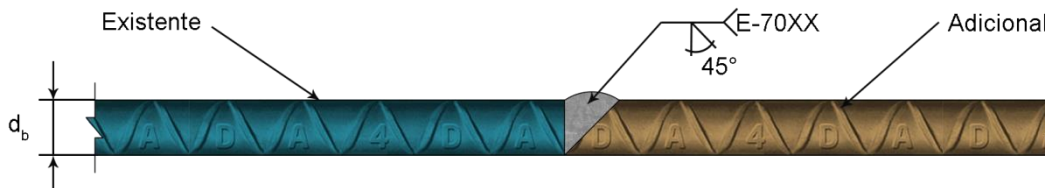
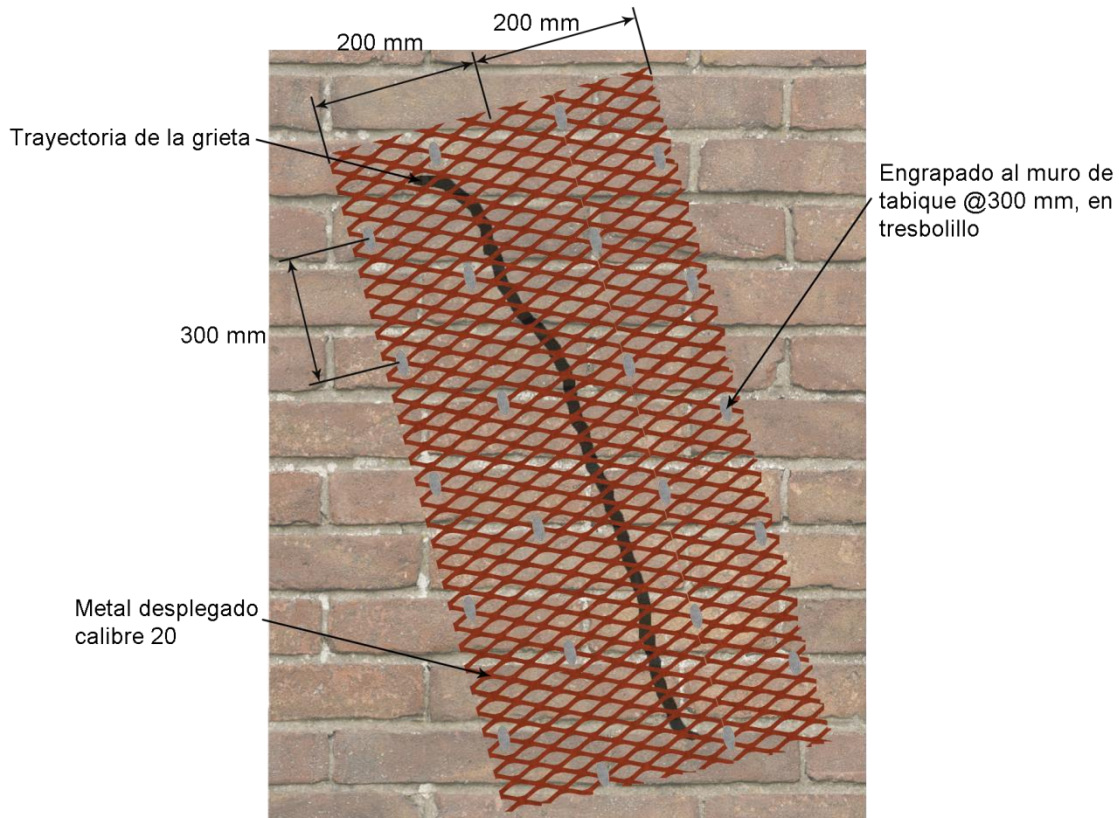


Ilustración 1. Unión de barras mediante soldadura.



3. Limpiar la superficie que deberá quedar perfectamente libre de polvo, grasa, óxido o cualquier otro elemento que pueda afectar la unión entre el concreto endurecido y el nuevo concreto. El acero de refuerzo deberá limpiarse con cepillo de cerdas metálicas, si la oxidación produce desprendimiento de la corrugación, éste deberá sustituirse.
4. Si la barra está fracturada o pandeada, unir la barra existente y la nueva con soldadura (Ilustración 2) o mediante traslape (recomendado).



*Ilustración 2. Reparación local de una grieta con metal desplegado calibre 20.*

5. Limpiar y humedecer la superficie del concreto endurecido cada 6 h, un día antes de aplicar un concreto nuevo o mortero cemento-arena en proporción 1:3, con llana o cuña hasta dejar un acabado parejo. Para oquedades mayores que 2.5 cm de profundidad, agregar gravilla limpia y seca, cuya cantidad máxima será de 25% de la mezcla cemento-arena.
6. Curado, transcurridas tres horas posteriores al resane, se deberá iniciar el curado, humedeciendo con agua limpia la superficie reparada, lo cual deberá hacerse cada hora durante un periodo de tres días como mínimo.



## 2.4 REPARACIÓN DE DAÑOS LIGEROS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

### 2.4.1 Reemplazo de piezas aplastadas y/o desconchadas

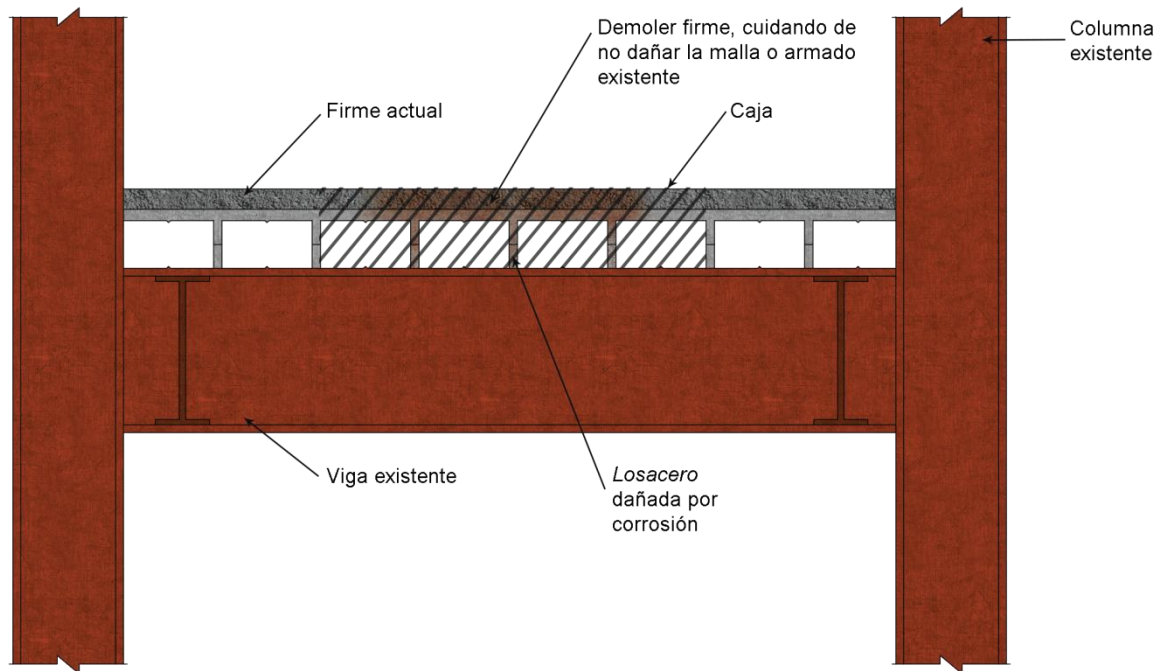
Procedimiento:

1. Retirar el material aplastado, suelto, mal adherido; lavar toda la superficie de contacto con un chorro abundante y presión suficiente de agua.
2. Colocar la nueva pieza con mortero cemento-arena en proporción 1:3 (mortero tipo I). La nueva pieza será del mismo material y con resistencia similar al de la pieza dañada.
3. Una vez concluido el proceso de sustitución de la pieza dañada, se reparará el mortero de las juntas adyacentes.

### 2.4.2 Reparación local de agrietamiento en muros de tabique con aplanado

Procedimiento:

1. Retirar parcialmente el aplanado a lo largo de la grieta, en un ancho de 20 cm a cada lado.
2. Retirar el material suelto, mal adherido; lavar toda la superficie de la grieta con un chorro abundante y presión suficiente de agua.
3. Colocar mortero cemento-arena en proporción 1:3 ( $f'j = 120 \text{ kg/cm}^2$ ) sobre la grieta, cuyo espesor y profundidad deberán ser ligeramente menores que el de las rajuelas por colocar, si es que las grietas facilitan la colocación de rajuelas. En caso contrario, rellenar la grieta con lechada de cemento (véase inciso 3.3).
4. Las zonas de grietas u oquedades mayores que 5 cm o con piezas desprendidas se deberán rellenar con el mortero anteriormente especificado y pedacera de tabique.
5. Colocar material desplegado o malla de gallinero.
6. Si se opta por colocar metal desplegado, será de calibre 20, rombo 6 x 25 mm, siguiendo la trayectoria de la grieta, fijándola al muro con grapas galvanizadas en tresbolillo (Ilustración 3). Restituir el aplanado con mortero cemento-arena tipo I, previniendo humedecer la superficie del muro para evitar contracciones importantes entre el aplanado existente y el nuevo.



*Ilustración 3. Reparación de losacero.*

7. Si se usa malla de gallinero (hexagonal), primero se coloca una capa de mortero de 10 mm; luego, se fija la malla con grapas y, finalmente, se recubre la malla con otros 10 mm de mortero.
8. Curar el mortero manteniendo un ambiente húmedo durante tres días, por lo menos.

### 2.4.3 Reparación de muros con problemas de salitre

Los problemas de salitre en muros deberán erradicarse para evitar deterioro del muro.

Procedimiento:

1. Demoler, a cada lado del muro, una franja de 300 mm de firme y piso.
2. Excavar el terreno bajo las zonas de piso demolidas hasta encontrar la base del enrase del cemento.
3. Retirar el aplanado de muro hasta una altura mínima de 500 mm con respecto al piso terminando o hasta la altura correspondiente a la zona salitrosa.
4. Limpiar la superficie del muro dejándola libre de polvo y de materiales sueltos o mal adheridos.
5. Lavar las superficies descubiertas con hipoclorito de sodio diluido en agua al 25% o 30% aplicado con escobilla plástica, y enjuagar con abundante agua.
6. Secar la superficie del muro por medio de ventilación y calor.
7. En caso de existir fisuras u oquedades por falta de material del junteo, repararlas con mortero cemento-arena y piedra laja.



8. Una vez que esté seca la reparación de grietas, se debe preparar la superficie hasta lograr una amplitud de rugosidades de 6 mm (1/4 pulg) (entre valle y cresta) según el tomo 1.
9. Finalmente, se repondrá el aplanado y se aplicará el acabado final de muros.

## **2.5 REPARACIÓN DE DAÑOS LIGEROS EN LOSAS**

### 2.5.1 Reparación de losacero en azoteas intermedias de entrepiso y/o azotea

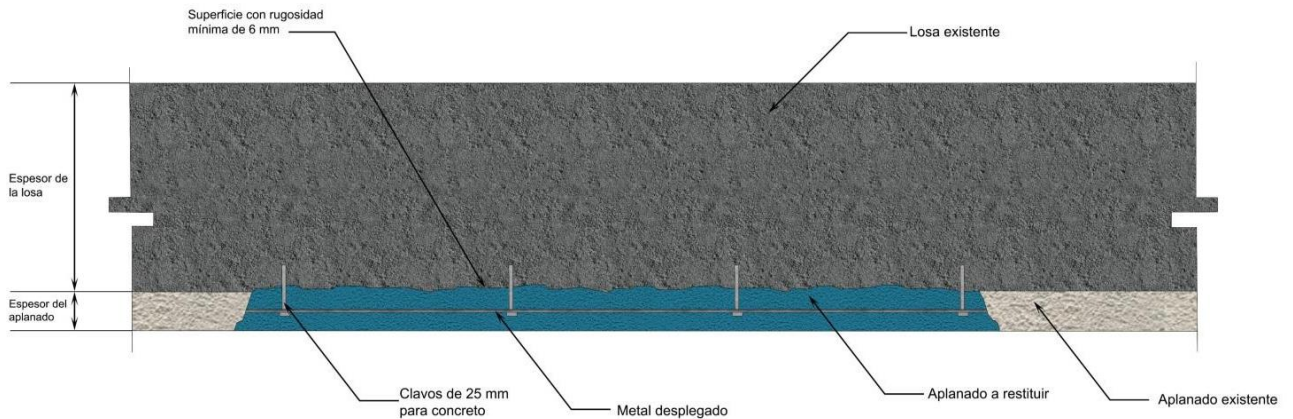
Procedimiento (véase ilustración 3):

1. Previo a cualquier demolición, apuntalar las azoteas afectadas de forma adecuada para garantizar que no se inducirá daño al resto del edificio.
2. Demoler con cincel y martillo, cuidando de no dañar el material suave.
3. Preparar las superficies de concreto endurecido que reciban concreto fresco, con rugosidades de 6 mm (1/4 pulg); saturar con agua previo al colado.
4. Realizar los engargolados, traslapes o fijaciones de láminas según las especificaciones del proveedor.
5. Colocar un armado adicional y colocar el concreto con aditivo estabilizador de volumen (siempre atendiendo las especificaciones del proveedor), con el mismo espesor del existente.

### 2.5.2 Restitución del aplanado en losa

Procedimiento (Ilustración 4):

1. Examinar el aplanado por medio de golpeteo directo, mediante un cincel.
2. Retirar el aplanado mal adherido o que presente algún deterioro con medios mecánicos.
3. Picar con cincel y martillo la superficie de la losa descubierta, dejando una rugosidad mínima de 5 mm (1/4 pulg).
4. Limpiar la superficie de la losa, dejándola libre de polvo, grasa, pintura y/o de materiales sueltos o mal adheridos.
5. Colocar metal desplegado, fijando por medio de clavos para concreto.
6. Preparar la superficie con una rugosidad de 6 mm (1/4 pulg) de amplitud.
7. Aplicar una capa de aplanado, máximo de 10 mm y esperar a que reviente para aplicar la capa final.
8. Curar las fisuras de la última capa de aplanado, por medio de arena cernida y cemento.
9. Aplicar el acabado firme una vez que esté bien seco el aplanado.



*Ilustración 4. Restitución de aplanado de losa.*

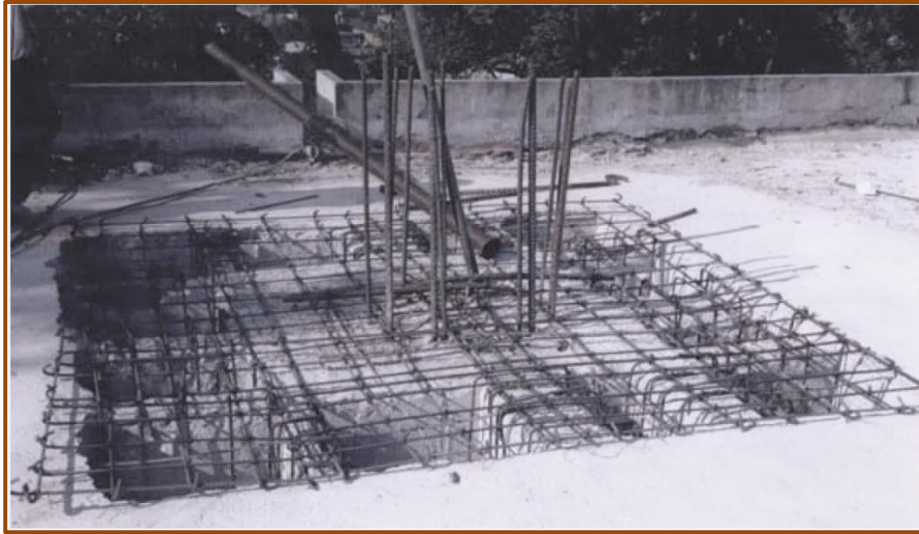
## 2.6 REPARACIÓN DE DAÑOS LIGEROS Y MODERADOS EN LOSAS PLANAS

Si las losas planas exhiben agrietamiento por cortante en dos direcciones o por punzonamiento, se podrán reparar localmente mediante la demolición del concreto dañado y la sustitución con nuevo concreto. Esta intervención normalmente implica la construcción de una zona maciza alrededor de la columna que conduzca a un incremento del perímetro crítico por cortante y, por tanto, a un aumento en la resistencia a cortante de la conexión.

Esta reparación debe ir acompañada de una rehabilitación global de la estructura, cuyo objetivo sea reducir las demandas de deformación en la conexión losa-columna a mantenerse en el intervalo elástico.

Procedimiento (véase Ilustración 5):

1. Previo a cualquier demolición, apuntalar las azoteas afectadas de forma adecuada para garantizar que no se inducirá daño al resto del edificio.
2. Demoler con cincel y martillo o rotomartillo hasta definir el área de la nueva zona maciza.
3. Preparar las superficies de concreto endurecido que reciban concreto fresco, con rugosidades de 5 mm (1/4 pulg); saturar con agua previo al colado.
4. Habilitar la cimbra.
5. Colocar el acero de refuerzo longitudinal y transversal de la zona maciza. Anclar el acero longitudinal en el eje del "marco" en la columna.
6. Colocar el concreto con aditivo estabilizador de volumen (siempre atendiendo las especificaciones del proveedor).



*Ilustración 5. Reforzamiento de una losa plana mediante la construcción de una zona maciza alrededor de las columnas. Fuente: Cortesía de Jorge Aguilar, 2020.*

### **3 REPARACIÓN DE GRIETAS MEDIANTE FLUIDOS**

#### **3.1 DEFICIENCIA POR CORREGIR**

La inyección de fluidos (resinas, lechadas, morteros) se emplea para reparar elementos estructurales de concreto agrietados debido a las acciones sísmicas. Sólo en algunos casos es económicamente viable usarla para reparar muros de mampostería; éste es el caso de muros de mampostería con piezas macizas y con un número reducido de grietas. Con la inyección sólo se puede obtener:

- a) La restitución de parte de la capacidad estructural con la que contaba el elemento en su estado original.
- b) La unión del concreto entre sí, con lo cual le regresa a su estado monolítico.
- c) La protección del acero de refuerzo del elemento de concreto.

Esta técnica usualmente se combina con otras necesarias para incrementar la capacidad de la estructura.

#### **3.2 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA**

Esta técnica de rehabilitación consiste en inyectar una resina sintética a base de polímeros epoxi (o epoxy) en las grietas causadas por sismos. Se aplica cuando el grado de deterioro del elemento es bajo y no se tienen desprendimientos de concreto significativos.

También se pueden reparar las grietas mediante la colocación por gravedad de lechadas a base de cemento con aditivos que aceleren el fraguado, incrementen la resistencia y establezcan el volumen. Asimismo, las grietas se pueden reparar mediante el relleno de morteros.



Para decidir el método de reparación de la grieta, se debe identificar su localización, espesor, extensión, orientación y origen.

### 3.2.1 Preparación

Previo a efectuar la inyección, se deben realizar las siguientes acciones:

- a) Retirar todos los acabados en una distancia no menor que 300 mm de la localización de la grieta, como se muestra en la Ilustración 6.



*Ilustración 6. Identificación y descubrimiento de la grieta de acabados adyacentes. Fuente: Rubén Bautista, 2019.*

- b) Limpiar la grieta de polvo, ya sea por medios mecánicos (compresoras, bombas de aire o aspiradoras de tipo industrial) o manuales (brochas de cerdas finas, cepillos). Se debe evitar el uso de compresores de aire operados por motores de combustión interna, ya que se pueden introducir partículas de aceite durante el proceso, a menos de que se cercioren que no haya expulsión de partículas de aceite. Una técnica para corroborar que no hay partículas de aceite en la línea de aire comprimido es dirigir el aire contra una hoja de papel. Se prefiere el uso de aspiradoras industriales para retirar el polvo y partículas de concreto o mampostería dentro de la grieta.
- c) En caso de existencia de humedad y si el material de reparación es resina epóxica, secar la grieta por medio de aire caliente y asegurarse de que la fuente de la humedad sea detenida.
- d) Si el material de reparación es una lechada a base de cemento, se puede limpiar la grieta con agua limpia.
- e) Ejecutar una pequeña perforación con un taladro en los lugares donde se colocarán las boquillas (Ilustración 7). Una vez concluidas las perforaciones, se deben retirar y limpiar todas las impurezas.

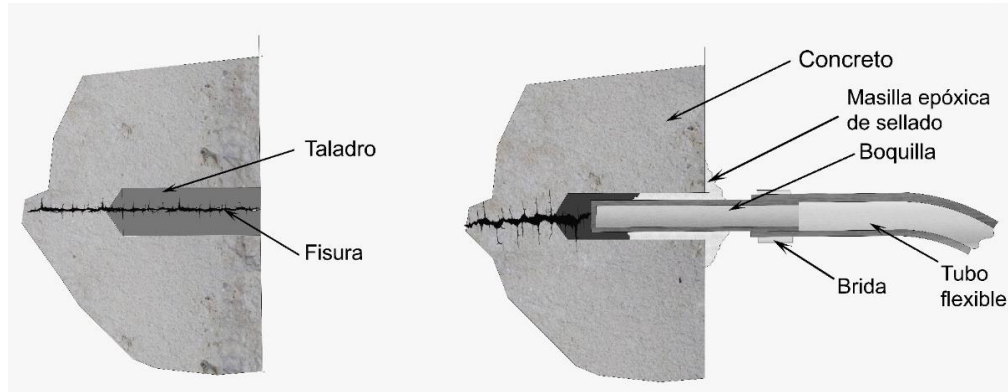


Ilustración 7. Diagrama de perforación de la grieta. Fuente: Fernández, 1981.

- f) Colocar las boquillas simultáneamente con la aplicación del material sellador de la grieta que sirve para fijarlas. Usualmente, las boquillas son de 10 mm de diámetro, tienen una profundidad de 60 mm y están separadas 500 mm entre sí. En la Ilustración 8 se muestra un ejemplo de boquilla disponible en el mercado. Este tipo de boquillas es recomendable porque tiene una válvula que evita la salida de la resina una vez inyectada. Las boquillas también pueden ser hechas con tubos o mangueras.

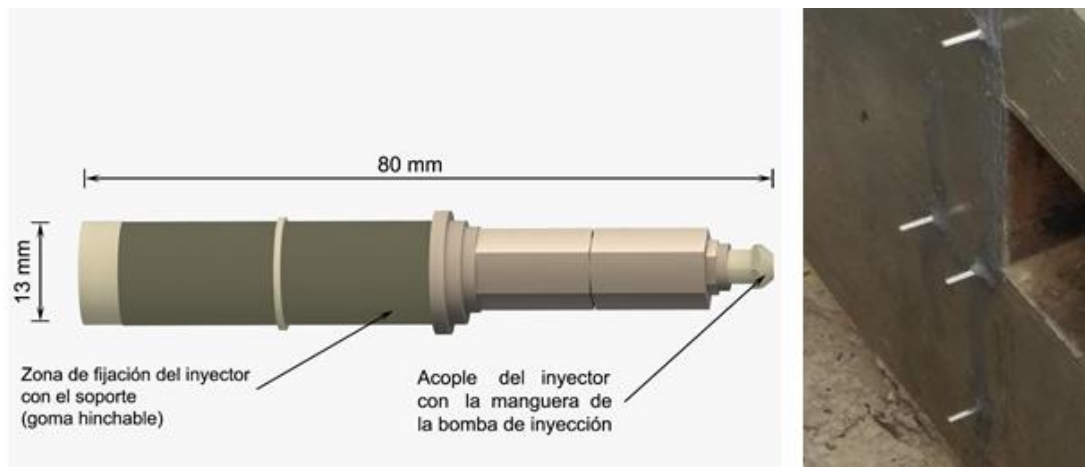


Ilustración 8. Ejemplos de a) Boquilla utilizada en la inyección de resinas epóxicas y b) colocación para inyección. Fuente: Juan Luis Cottier, 2020.

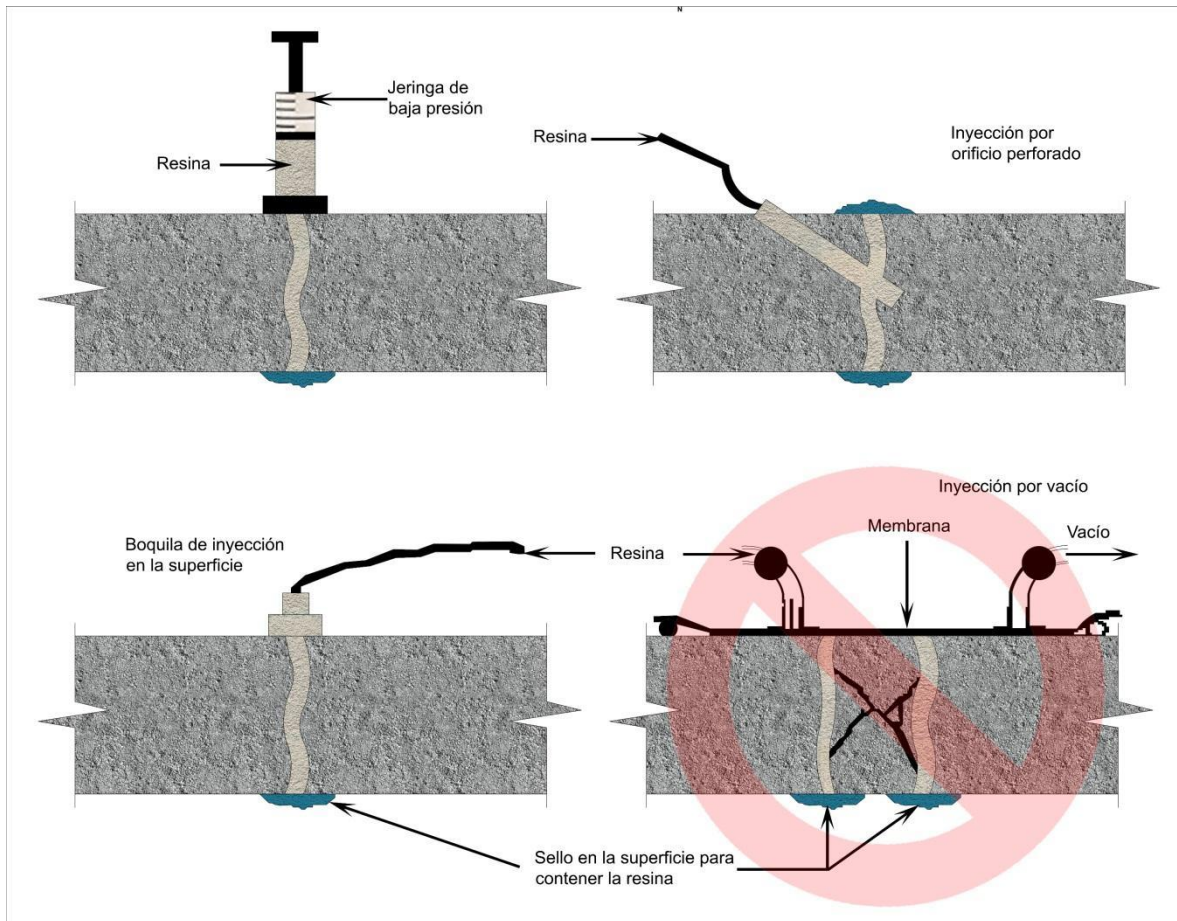
- g) Dejar secar el sellador para que alcance su resistencia; se recomienda que transcurra un plazo de 24 horas.

### 3.2.2 Proceso de inyección

Una vez que ha endurecido el sellador de la grieta, se prepara la resina. Ésta debe tener una viscosidad baja, así como una velocidad y temperatura de endurecimiento adecuadas para el elemento por inyectar. La inyección se realiza introduciendo a presión la formulación epóxica de baja viscosidad mediante jeringas de baja presión (método japonés), pistolas, gatos, bombas



mecánicas o por vacío (Ilustración 9). Esta última técnica no es confiable y, por tanto, no se debe usar. En la Ilustración 10 se muestra el uso de una bomba mecánica usada para inyectar la resina.

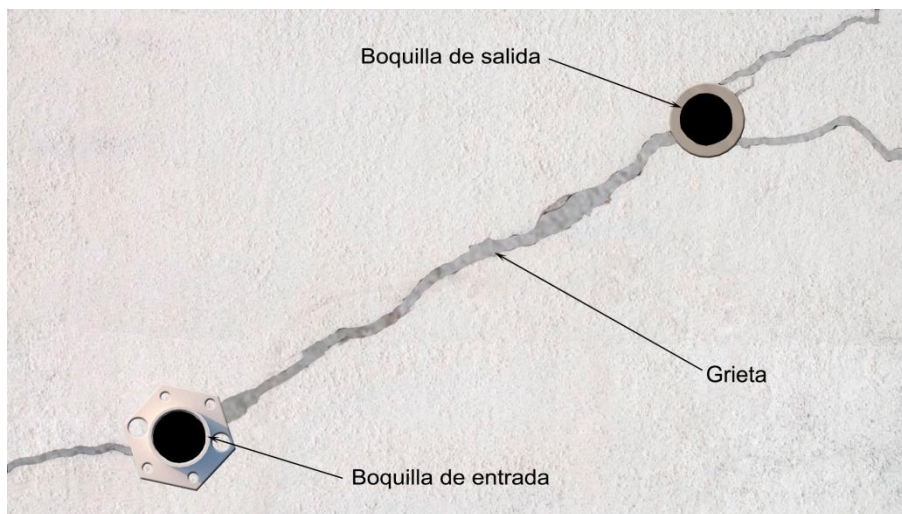


*Ilustración 9. Métodos de inyección de resina.*



*Ilustración 10. Inyección de resinas con bombas eléctricas.*

Cuando se reparan grietas verticales o inclinadas, se inyecta la resina por la boquilla más baja y se continúa hasta que ésta comienza a salir por la boquilla inmediata superior, como se muestra en la Ilustración 11. Una vez que la resina comienza a salir por la boquilla siguiente, se retira la bomba de la boquilla de inyección, se sella la boquilla y se conecta la bomba a la boquilla inmediata superior. Este proceso se repite a lo largo de toda la grieta. Una vez terminada la inyección, se deja que la resina alcance su resistencia, la cual dependerá de la formulación del fabricante. Por lo regular, la resistencia se alcanza a las 24 horas.



*Ilustración 11. Esquema de correcta inyección. Fuente: Fernández, 1981.*

### 3.2.3 Acciones posteriores a la inyección.

Una vez que la resina haya endurecido y alcanzado su resistencia, se retira la capa de sellado de la grieta. El sellador se puede retirar por medios mecánicos (desbastando con una



herramienta eléctrica) o con calor. Sin embargo, no se recomienda usar calor para retirar la capa de sellado, ya que puede afectar irreversiblemente a la resina ya inyectada. La apariencia final de un elemento inyectado es como la mostrada en la Ilustración 12.

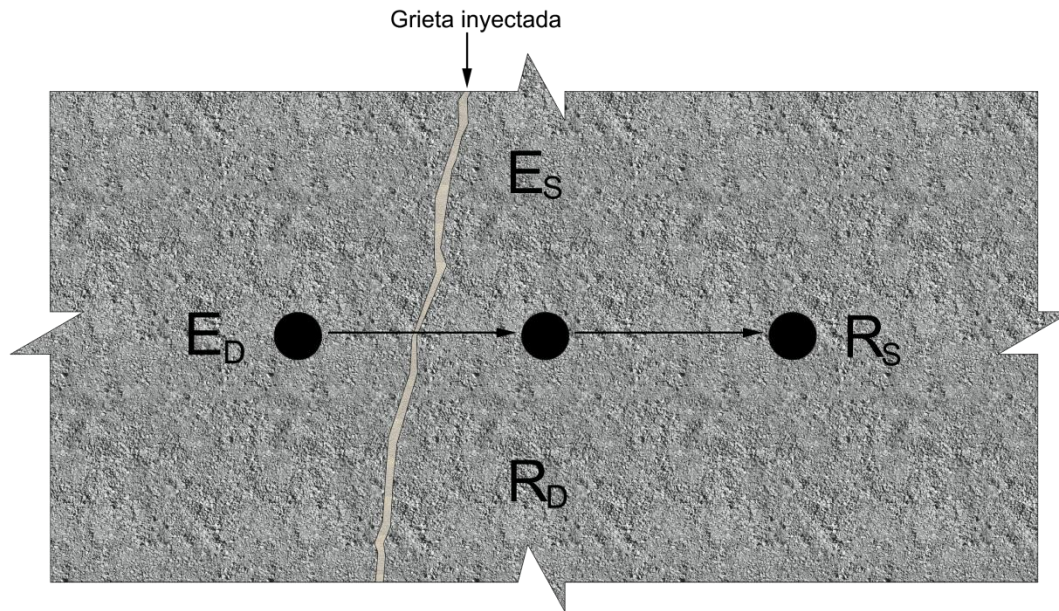


*Ilustración 12. Columna de concreto después de la inyección. Fuente: Jorge Abarca, 2019.*

Para asegurar que la inyección de la resina, lechada o mortero haya resultado exitosa, se debe realizar una prueba no destructiva de ultrasonido sobre el concreto (ICRI 210.1R). En este caso, se coloca una fuente emisora de vibraciones que haga pasar un conjunto de ondas por el concreto (o mampostería) y que lleguen a una fuente de captura. Si el llenado de resina fue exitoso, el tiempo de recepción de las ondas emitidas antes de la rehabilitación será mayor que el tiempo de recepción medido después de la rehabilitación (Alcocer, 2019).

Con la aprobación del director y el visto bueno del corresponsable, se aplicará la prueba de ultrasonido en al menos 10% de los elementos estructurales inyectados con resina, lechada o mortero en cada entrepiso. Se medirán los tiempos de recepción antes y después de la inyección. Se aceptará el elemento inyectado si la diferencia entre los tiempos es, cuando mucho, de 20%. Alternativamente, se medirá el tiempo de recepción después de la inyección (uD), y se comparará con el tiempo de recepción de referencia que se obtenga en concreto (o mampostería) sano en el mismo elemento estructural que se está evaluando (uS). Para este caso, la diferencia entre uS y uD no deberá ser mayor a 20%.

En el caso de la zona de daño inyectada, los transductores se colocarán equidistantemente a ambos lados de la grieta, de manera tal que la onda circule perpendicularmente al daño; según sea el caso, la distancia del daño a la ubicación del transductor (emisor o receptor) deberá oscilar entre 100 mm y 150 mm. En la zona sana, se usará la misma separación entre el emisor y el receptor empleada en la zona con daño. En la ilustración 13 se muestra gráficamente la recomendación anterior.



- $E_D$  Emisor ultrasónico sobre concreto dañado
- $R_D$  Receptor ultrasónico sobre concreto dañado
- $E_S$  Emisor ultrasónico sobre concreto sano
- $R_S$  Receptor ultrasónico sobre concreto sano

*Ilustración 13. Colocación de transductores emisor y receptor para prueba de ultrasonido. Fuente: Vidaud, 2019.*

### 3.3 REQUISITOS DE DISEÑO

La reparación de grietas en elementos de concreto y mampostería contribuye a la recuperación parcial de la resistencia, la rigidez y capacidad de deformación inelástica. Para fines de diseño, se podrán usar los valores de la Tabla 2, dependiendo del tamaño de la grieta y del material usado en la reparación.

En el diseño de la rehabilitación de edificios se deberá suponer los valores más bajos de la Tabla 2, a menos de que el corresponsable autorice el valor del límite superior.

**Tabla 2. Niveles de recuperación de la capacidad estructural de un elemento reparado con resina epóxica, mortero epóxico o mortero de cemento (Soto, 2008)**

| Material           | Ancho de grieta | Nivel de recuperación % |         |            |
|--------------------|-----------------|-------------------------|---------|------------|
|                    |                 | Resistencia             | Rigidez | Ductilidad |
| a. Resina epóxica  | 0.02 mm -0.5 mm | 70-90                   | 30-80   | 75-90      |
| b. Mortero epóxico | 0.3 mm - 0.5 mm | 70-90                   | 30-80   | 75-90      |
| c. Mortero cemento | > 0.5 mm        | 80                      | 50      | 80         |



### 3.4 REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

- a) De acuerdo con el ACI 224, los espesores de grietas aceptables bajo cargas de servicio se pueden resumir dependiendo su exposición, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3. Espesor de grieta aceptable según el ACI 224.**

| Condición de exposición                                     | Ancho de grieta |      |
|---|-----------------|------|
|   | pulg            | mm   |
| Aire seco o membrana protectora                             | 0.016           | 0.4  |
| Humedad, aire húmedo, suelo                                 | 0.012           | 0.3  |
| Productos químicos descongelantes                           | 0.007           | 0.2  |
| Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado | 0.006           | 0.15 |
| Estructuras para retención de agua                          | 0.004           | 0.1  |

- b) De acuerdo con la N-Rehabilitación y NTC- Concreto de la Ciudad de México, las grietas pueden ser inyectadas con resinas epóxicas a partir de 0.2 y hasta 5 mm. Para grietas de mayor espesor que 5 mm, se recomienda utilizar lechadas o morteros a base de cemento hidráulico o cementantes epóxicos, los cuales tendrán una formulación específica. Se preferirán los morteros hidráulicos de alta resistencia sin contracción.
- c) La limpieza de la grieta debe realizarse con extremo cuidado debido a que el polvo en ésta evitará la adherencia de la resina a su superficie.
- d) La formulación de la resina debe tener una baja viscosidad (aproximadamente de 500 cP) que permita trabajar a presiones reducidas, logrando así una velocidad de inyección adecuada, una temperatura de endurecimiento aceptable y una resistencia similar o superior a la del concreto original. Se debe consultar al fabricante de la resina sobre la viscosidad y curado recomendados para la aplicación en obra.
- e) El sellado de grietas de 0.02 mm hasta 5 mm se realizará con la misma resina, mientras que si la grieta es mayor se recomienda la utilización de un mortero epóxico. El tiempo de endurecimiento del sellador es de 24 horas.
- f) Las boquillas por utilizar podrán ser metálicas, regularmente son de 10 mm de diámetro. Se podrán utilizar boquillas plásticas si el responsable lo aprueba. Las boquillas se colocarán dependiendo el espesor de la grieta, a una separación máxima de 500 mm entre ellas. La separación se reducirá mientras la grieta sea más profunda.
- g) Si es necesario realizar un pequeño orificio que sirva como soporte de la boquilla, se debe limpiar de todo residuo de concreto o mampostería.
- h) La profundidad de la boquilla debe ser mayor que el recubrimiento del elemento de concreto; se recomienda que sea de al menos 60 mm.
- i) La inyección se realizará principalmente con bombas a presiones de entre 0.5 MPa hasta 2 MPa (5 kg/cm<sup>2</sup> hasta 20 kg/cm<sup>2</sup>), dependiendo de la viscosidad. Lo más común es usar una presión de 0.5 MPa (5 kg/cm<sup>2</sup>). Se ha encontrado que la inyección se puede lograr incluso con presiones de 0.2 MPa (2 kg/cm<sup>2</sup>).
- j) No se aceptará la inyección de resinas por medio del método de vacío. En éste, se coloca una membrana sobre las grietas selladas y se aplica vacío mediante las boquillas. Una



vez alcanzada la presión (negativa), se permite la entrada de la resina de manera controlada por las boquillas.

- k) En caso de que la superficie permanezca húmeda y no se pueda secar, es necesario contemplarlo al momento de solicitar al fabricante la formulación de la resina epóxica.

### **3.5 REQUISITOS DE SUPERVISIÓN Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD**

En la inyección de grietas con resina epóxica, mortero epóxico o lechadas a base de cemento, la supervisión es un factor determinante para que el procedimiento tenga éxito. Por ello, se deberán cuidar los siguientes aspectos:

- a) Que el proveedor proporcione la resina o mortero epóxicos con las características requeridas para el proyecto y el diseño, como es la viscosidad, la resistencia, el porcentaje de retracción, la temperatura de reacción, entre otros elementos.
- b) Que no se exceda el tiempo en el cual se puede inyectar la resina. Por lo regular, este tiempo está controlado por el reactivo utilizado en su formulación y debe ser especificado por el fabricante de la resina.
- c) Verificar el correcto sellado de las grietas; éste tiene que cubrir completamente la longitud total de la grieta, además de que debe ser uniforme en toda su extensión. Se revisará que las boquillas queden bien sujetas al elemento y que estén rodeadas en su base por el sellador.
- d) Limpiar la grieta para retirar el polvo, humedad o restos del material originados por el orificio taladrado para sostener las boquillas. Esta limpieza se puede realizar por medios manuales como son brochas y cepillos, o por medios mecánicos como bombas de aire. Se debe evitar el uso de aire comprimido operado por motores de combustión interna, ya que se pueden introducir partículas de aceite durante el proceso, a menos de que se cerciore que no haya expulsión de partículas de aceite (mediante dirigir el aire contra una hoja de papel y verificar que no hay partículas de aceite en la línea de aire comprimido). Se recomienda enfáticamente el uso de aspiradoras industriales.
- e) Si se observa que la grieta presenta humedad o agua, se debe secar y verificar que no se trate de una filtración que pueda afectar la inyección en un futuro. En caso de que la grieta no se pueda secar totalmente, se debe notificar al proveedor de la resina, ya que es posible agregar un aditivo que disminuya el efecto negativo del agua en la resina.
- f) Que se cumpla el tiempo mínimo de secado del sellado. Una vez comenzada la inyección, se debe poner atención de que no haya ninguna fuga por el sellado. Si es así, se suspenderá de inmediato la inyección y se repetirá el sellado.
- g) Que la inyección se realice en la dirección adecuada (de abajo hacia arriba), de esta manera se garantiza que no quede aire atrapado en la grieta al momento de la inyección.
- h) Que se cumpla el tiempo de endurecimiento de la resina una vez inyectada la grieta antes de retirar el sellado.
- i) Para verificar que el procedimiento de inyección se llevó a cabo de manera exitosa, se deben realizar pruebas de ultrasonido, como las requeridas en el inciso 3.2.3 de esta Tomo y el 16.7.1 de las NTC-Concreto de la Ciudad de México (o su equivalente en las NTC de la población donde se encuentre la escuela).



## 4 REEMPLAZO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DAÑADOS

### 4.1 DEFICIENCIA POR CORREGIR

En elementos con daño severo y muy grave, puede ser necesario reemplazar el elemento dañado por uno nuevo, previo apuntalamiento del elemento por sustituir.

Con el reemplazo de elementos estructurales dañados se puede obtener:

- a) La restitución de la capacidad estructural con la que contaba el elemento en su estado original.

Esta técnica se combina con otras si es necesario incrementar la capacidad de la estructura.

### 4.2 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

En el caso de estructuras de concreto, la sustitución de un elemento con daño severo o muy grave requiere la demolición del concreto dañado y la colocación de nuevo concreto, usualmente con características similares a las del concreto original. Para lograr un adecuado comportamiento, se deberá promover una buena adherencia entre los materiales existentes y los nuevos. Se deberán considerar los pequeños cambios volumétricos debidos a la contracción por fraguado. Se usarán materiales del mismo tipo y con una resistencia al menos igual que la del material original. La eficiencia de esta técnica depende, entre otros factores, de la calidad de su ejecución. En el diseño de la cimbra se cuidará que el aire atrapado en el concreto nuevo pueda escapar como resultado de la vibración para compactarlo.

Ejemplos de reemplazo de elementos de concreto son las vigas y columnas de marcos resistentes a momento (Ilustración 14).



*Ilustración 14. Columna demolida y reemplazada por un nuevo elemento. Fuente: Rubén Bautista, 2019.*



En el caso de mampostería, el procedimiento implica el reemplazo de un muro (Ilustración 15) o viga. Si bien es conceptualmente factible, no es muy frecuente que se practique.



*Ilustración 15. Muro de mampostería dañado y reemplazado por un nuevo muro. Fuente: Rafael Martín del Campo, 2018.*

El reemplazo de elementos metálicos es más común en edificios de acero. Ejemplos de ello son la sustitución de una columna dañada por cortante y aplastamiento y de un larguero dañado por corrosión.

En los incisos 4.3 y 4.4 se describen los procedimientos para el reemplazo de una losa en volado con problemas de flecha y/o agrietamiento excesivo y para el reemplazo de largueros de un techo. Éstos son de los ejemplos de sustitución de elementos estructurales más comunes en escuelas.

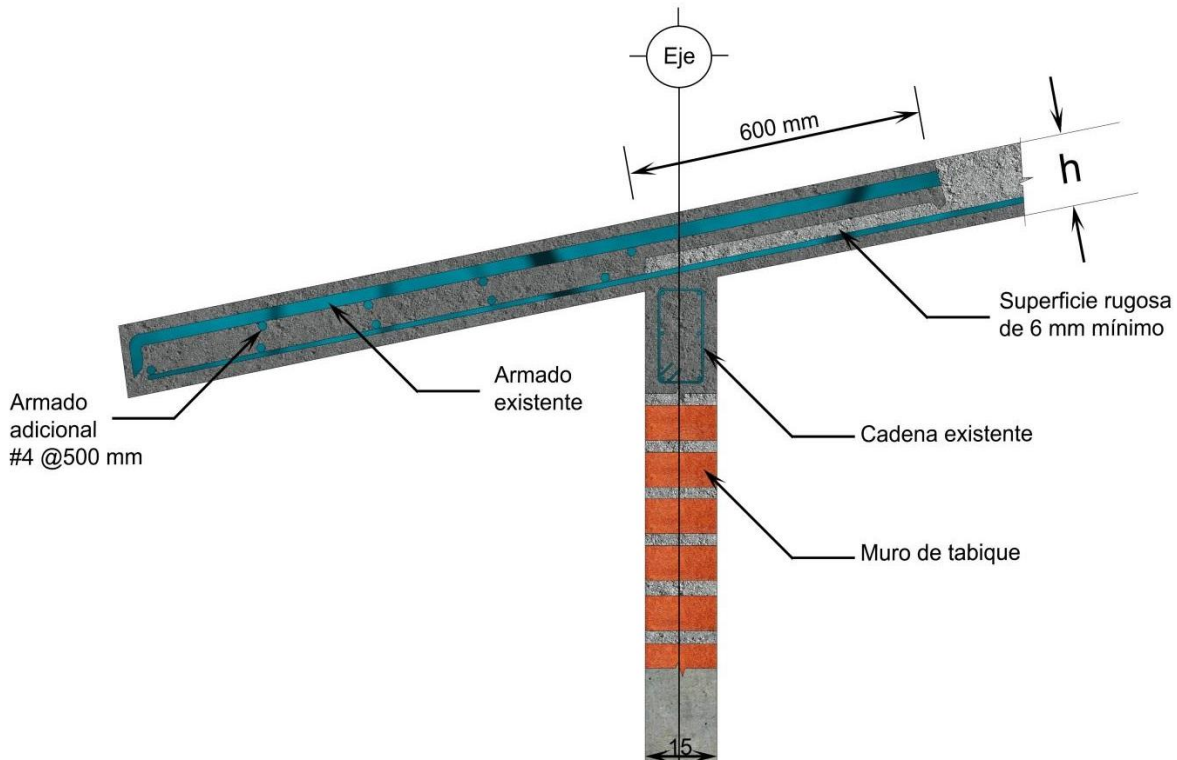
#### **4.3 LOSAS EN VOLADO CON PROBLEMAS DE FLECHA Y/O AGRIETAMIENTO EXCESIVO**

Procedimiento (Ilustración 16):

1. Acordonar el área de trabajo; se recomienda utilizar señalamientos para evitar la circulación de los usuarios en dicha obra.
2. Apuntalar la zona antes de iniciar los trabajos de demolición.
3. Demoler por medios manuales con cincel y martillo, cuidando de no dañar el acero de refuerzo ni el concreto sano.
4. Limpiar la zona demolida para que quede libre de polvo, óxido, grasa o de cualquier elemento que pueda afectar la liga entre concreto fresco y concreto endurecido. Usar aire a presión, sólo si el compresor de aire cuenta con filtro de aceite y se verifica que no hay partículas de aceite en la línea de aire comprimido.
5. Limpiar el acero de refuerzo con cepillo de cerdas metálicas. Si la oxidación es tal que, al efectuar la limpieza, se desprende la corrugación de la barra, se deberá sustituir el



- tramo de barra dañada. La unión entre la barra existente y la nueva se hará mediante un traslape (recomendable) o con soldadura y una junta a tope.
6. Limpiar la superficie que reciba el concreto nuevo con chorro de agua y lograr una superficie rugosa de 6 mm (1/4 pulg) de amplitud.
  7. Habilitar la cimbra y colocar el concreto nuevo de la losa.
  8. Curar el concreto de la losa mediante un ambiente húmedo, al menos durante tres días después de su colocación.



*Ilustración 16. Ejemplo de sustitución de losa en volado con problemas de flecha y/o agrietamiento excesivo.*

#### **4.4 COLOCACIÓN DE LARGUEROS ADICIONALES O SUSTITUCIÓN DE LARGUEROS DAÑADOS**

Procedimiento:

1. Trazar en obra la ubicación de los largueros (si son adicionales), procurando que la separación entre ellos no exceda la recomendada en el manual del fabricante del sistema de cubierta o 2 metros.
2. Quitar de la cubierta cualquier elemento que interfiera con la colocación de los largueros adicionales.
3. Preparar las superficies que recibirán la placa de unión de larguero adicional.
4. Soldar las placas de soporte de largueros adicionales a la estructura existente. Esta acción deberá ser ejecutada por un soldador calificado y supervisada por el residente de obra y el director.



5. Montar los largueros adicionales, procurando que éstos se coloquen a presión por medio de puntales, rastras y cuñas que permitan corregir lentamente la deformación. Es recomendable que sean cuando menos tres puntales por cada larguero, uno en cada extremo y otro al centro.
6. Fijar la lámina de la cubierta a los largueros adicionales por medio de pijas.
7. Terminados los pasos anteriores, aplicar la soldadura entre las placas de soporte y los largueros.
8. Una vez aplicada la soldadura, retirar el apuntalamiento de los largueros, procurando iniciar desde el centro.
9. Dar el acabado final a los largueros y a sus placas de unión y corregir los detalles de la estructura existente, tanto los originados por el proceso como los ajenos a éste.

## **5 CONEXIÓN ENTRE ELEMENTOS EXISTENTES Y MATERIALES O ELEMENTOS NUEVOS**

### **5.1 DEFICIENCIA POR CORREGIR**

Cuando se colocan nuevos elementos en contacto con los existentes, es necesario asegurar la adecuada transmisión de fuerzas. Para ello, la conexión debe tener la suficiente resistencia y rigidez para que el comportamiento entre los materiales nuevos y existentes sea monolítico. Esto implica que las deformaciones unitarias de los dos materiales a lo largo de la junta sean iguales. La colocación de morteros o concreto nuevos sobre concreto existente requiere la preparación de la superficie de modo de asegurar el mecanismo de transmisión señalado.

Adicionalmente, es frecuente el uso de anclas (barras corrugadas ahogadas en resina epóxica) o conectores en elementos de concreto o de acero para conectar los nuevos elementos materiales a los existentes. Su aplicación dependerá del tipo de técnica de rehabilitación. Ésta, a su vez, será seleccionada en función del modo de comportamiento de la estructura existente que se haya identificado como resultado de la evaluación estructural ante sismos, así como del Objetivo de la Rehabilitación establecido (véase Diagrama inciso 1.1). Las técnicas de rehabilitación que requieren la colocación de anclas o conectores en estructuras de concreto son:

- a) Encamisados de concreto.
- b) Encamisados de acero.
- c) Encamisados de compuestos de polímeros reforzados con fibra.
- d) Adición de muros de concreto.
- e) Adición de contraventeos metálicos.
- f) Sustitución o adición de muros diafragma de mampostería.

En estructuras de mampostería, los conectores se usan en el encamisado de muros de mampostería.

Mediante el diseño y colocación de las anclas de acuerdo con esta sección, se pretende lograr el comportamiento monolítico supuesto en el tomo 2, así como establecer un mecanismo de transferencia de fuerzas entre la estructura existente y el nuevo material o elemento.



## 5.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE CONCRETO

En ICRI 310.2R se presentan lineamientos para la selección de los métodos de preparación de la superficie de concreto. Estos métodos son capaces de producir una variedad de perfiles en la superficie de concreto que se identifican por su amplitud o aspereza. Para las aplicaciones de esta Guía técnica de conectar una nueva capa de concreto (o mortero) a la existente de concreto, se debe preparar la superficie para lograr perfiles con amplitud igual o mayor que 6 mm (1/4 pulg).

El perfil requerido se puede lograr mediante alguno de los siguientes métodos de preparación de la superficie:

- a) Escarificación.
- b) Rotofresado.
- c) Desbastado.
- d) Martillos rompedores de concreto.

Los métodos de preparación pueden dañar localmente el sustrato preparado. Los estudios de campo han demostrado que las resistencias a la adhesión de superficies preparadas con métodos mecánicos de alto impacto (como los incisos a al d anteriores) pueden ser menores que las correspondientes a superficies preparadas usando métodos menos agresivos. El microagrietamiento (normalmente a 45 grados del plano de la superficie) de la pasta de cemento y del agregado debilita el sustrato.

De los cuatro métodos de preparación indicados con anterioridad, la escarificación tiene un riesgo intermedio de producir microagrietamiento, mientras que el rotofresado, el desbastado y el uso de martillos rompedores representan un riesgo alto.

Se recomienda revisar la calidad e idoneidad de la preparación de la superficie mediante inspecciones visuales o métodos de evaluación no destructiva. Para ello se puede consultar el apéndice B de ICRI 310.2R.

En seguida se presenta un resumen de cada uno de los métodos disponibles para lograr el perfil requerido en esta Guía técnica. Estos resúmenes fueron tomados de ICRI 310.2R.

### 5.2.1 Escarificación

La escarificación se utiliza principalmente en superficies horizontales para la remoción de concreto y recubrimientos frágiles de hasta 3 mm (1/8 pulg) de espesor (Ilustración 17). Pueden realizarse varias pasadas para una remoción más profunda. También pueden utilizarse para perfilar superficies de concreto. Puede quitar adhesivos ajustando los espaciadores y seleccionando cortadores adecuados. Las unidades portátiles están disponibles para las aplicaciones verticales y elevadas. La escarificación puede usarse en casi cualquier sustrato de concreto y es adecuada para aplicaciones en interiores y exteriores. Este método también se conoce como nivelación de concreto. Se aceptará preparar la superficie con herramientas manuales (martelina).



*Ilustración 17. Superficie escarificada con máquina que muestra marcas de dientes. Fuente: ICRI 310.2R, 2013.*

### 5.2.2 Rotofresado

El rotofresado se utiliza en superficies horizontales para quitar concreto en mal estado, recubrimientos de alto espesor y materiales asfálticos (Ilustración 18). También puede utilizarse para perfilar sustratos de concreto. Es un método adecuado para usarse en aplicaciones en interiores y exteriores, principalmente en superficies horizontales. Los accesorios de fresado montados en las excavadoras se utilizan para fresar superficies y esquinas verticales.



*Ilustración 18. Superficie de concreto preparado con rotofresado. Fuente: ICRI 310.2R, 2013.*

### 5.2.3 Desbastado

El desbastado se utiliza principalmente en superficies horizontales para quitar concreto o recubrimientos frágiles tales como epoxy, poliuretano o sistemas de metil metacrilato de hasta 1/4 pulg (6 mm) de espesor como preparación para revestimientos (Ilustración 19). También se



pueden usar para perfilar superficies de concreto. Las unidades portátiles (bujarda) están disponibles para las superficies verticales y elevadas. Este método es adecuado para usarse en aplicaciones en interiores y exteriores.



*Ilustración 19. Retiro de recubrimiento. Fuente: ICRI 310.2R, 2013.*

#### 5.2.4 Martillos rompedores de concreto

Los martillos rompedores de concreto portátiles se clasifican por su peso. Los más grandes (martillo mecánico) en la clase de 30 lb (14 kg) y mayores suelen utilizarse en superficies horizontales. Los martillos rompedores más pequeños (martillos cinceladores), que pesan 20 lb (9 kg) o menos, pueden utilizarse en superficies horizontales, verticales y elevadas para quitar el concreto a una profundidad determinada. Una aplicación característica para un martillo cincelador es la remoción de concreto deteriorado y/o contaminado de cloruro alrededor de acero reforzado. Los martillos rompedores de concreto portátiles también pueden utilizarse como un paso en la preparación de revestimientos. Es un método adecuado para usarse en aplicaciones interiores y exteriores (véase Ilustración 20 e Ilustración 21).



*Ilustración 20. Superficie rugosa usando martillo rompedor de concreto portátil antes de una preparación adicional. Fuente: ICRI 310.2R, 2013.*



*Ilustración 21. Superficie rugosa seguida de chorro abrasivo para quitar el sustrato fracturado. Fuente: ICRI 310.2R, 2013.*

### 5.3 COLOCACIÓN DE ANCLAS Y CONECTORES

En el caso de estructuras existentes de concreto y mampostería, se pueden instalar anclas y conectores (Ilustración 22), así como clavos y pernos:



*Ilustración 22. Anclas y conectores para unir elementos existentes y materiales o elementos nuevos.*

- a) Anclas para unir elementos de concreto. Consiste en la perforación del concreto existente, la limpieza del agujero, el llenado con resina epóxica y la colocación de una barra corrugada de acero dentro del agujero (Ilustración 23).



*Ilustración 23. Barras corrugadas de acero colocadas dentro de un agujero con resina epóxica. Fuente: Rubén Bautista, 2019.*

- b) Conectores roscados para unir elementos metálicos con componentes de concreto existentes. En lugar de colocar anclas, se instalan conectores roscados ahogados en resina (conectores adheridos), o bien, conectores de tipo expansivo.
- c) Clavos para concreto, alcayatas o grapas de alambrazón. Usualmente se usan para fijar las mallas de alambre soldado a las caras del muro de mampostería (Ilustración 24).



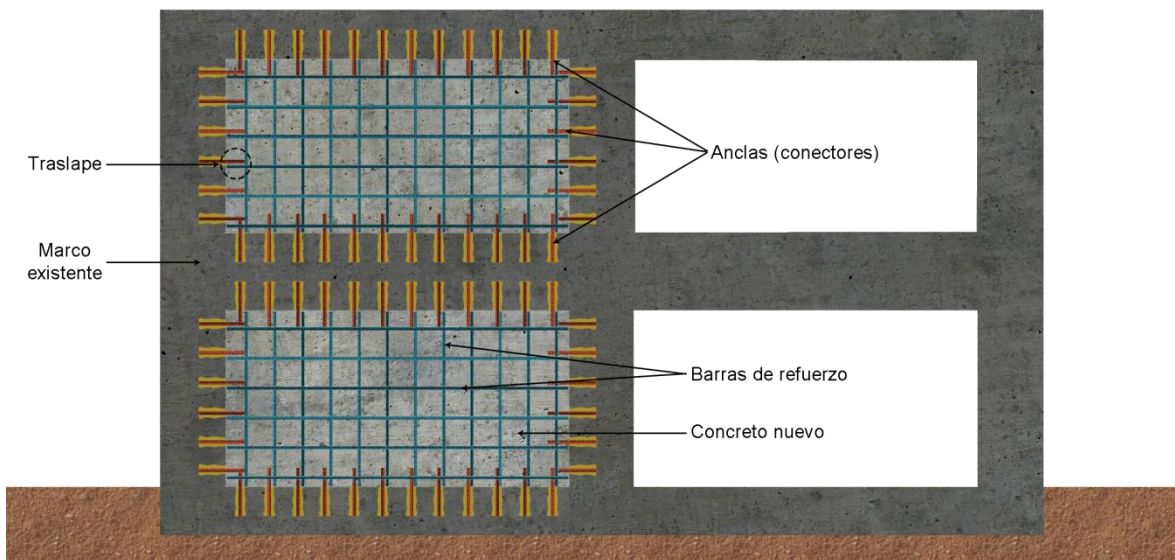
*Ilustración 24. Ejemplos de clavos para concreto y alcayatas.*

En el caso de elementos nuevos de acero para conectarse a nuevos elementos de concreto, como en el caso de contraventeos con marco de acero, se pueden instalar pernos tipo Nelson (Ilustración 24), o bien, barras con una tuerca en el extremo.



*Ilustración 25. Conectores tipo Nelson.*

En la Ilustración 26 ilustra la aplicación de anclas para añadir muros diafragma nuevos a columnas y vigas de concreto existentes.



*Ilustración 26. Anclas para unir elementos de concreto.*

#### **5.4 REQUISITOS DE ANÁLISIS**

Las fuerzas de diseño se obtendrán del análisis del edificio con la(s) técnica(s) de rehabilitación seleccionadas.



## 5.5 REQUISITOS DE DISEÑO DE ANCLAS Y CONECTORES

### 5.5.1 Anclas

- a) Se podrán emplear barras corrugadas ahogadas en resina epóxica para desarrollar el esfuerzo especificado de fluencia. La profundidad del ancla dentro de la resina epóxica no será menor que  $7d_b$ , donde  $d_b$  es el diámetro nominal de la barra por anclar.
- b) Las anclas y conectores deberán cumplir con lo siguiente:
  - I. Diámetro – entre 9.5 (número 3) y 19 mm (número 6).
  - II. Separación longitudinal, centro a centro–no será menor que  $7.5 d_b$ , ni mayor que 300 mm.
  - III. Si se colocan las anclas en dos filas o al tres-bolillo, la separación transversal, medida centro a centro, será mayor o igual que  $5.5 d_b$  o  $4 d_b$ , respectivamente.
  - IV. La distancia entre el centro del ancla y la cara del muro será mayor o igual que  $2.5 d_b$ .
  - V. La longitud de anclaje de la barra dentro del nuevo concreto será mayor o igual que 30
- c) Este valor se podrá reducir a  $20 d_b$  si se termina con un gancho a 90 grados o con una tuerca con diámetro externo igual a  $2 d_b$ .
- d) Se aceptará usar valores distintos a los anteriores si el proveedor de las anclas y/o de la resina demuestra, a satisfacción del corresponsable, que se logra un comportamiento (resistencia y rigidez) al menos similar al obtenido con los valores requeridos anteriormente.

### 5.5.2 Conectores

- a) Se podrán emplear conectores post-instalados en concreto. La profundidad de empotramiento efectiva,  $h_{ef}$ , no será menor que  $5 d_a$  ni mayor que  $10 d_a$ , donde  $d_a$  es el diámetro del conector. En ningún caso será menor que 40 mm.
- b) La distancia crítica al borde será  $1.5 h_{ef}$  (Ilustración 27).

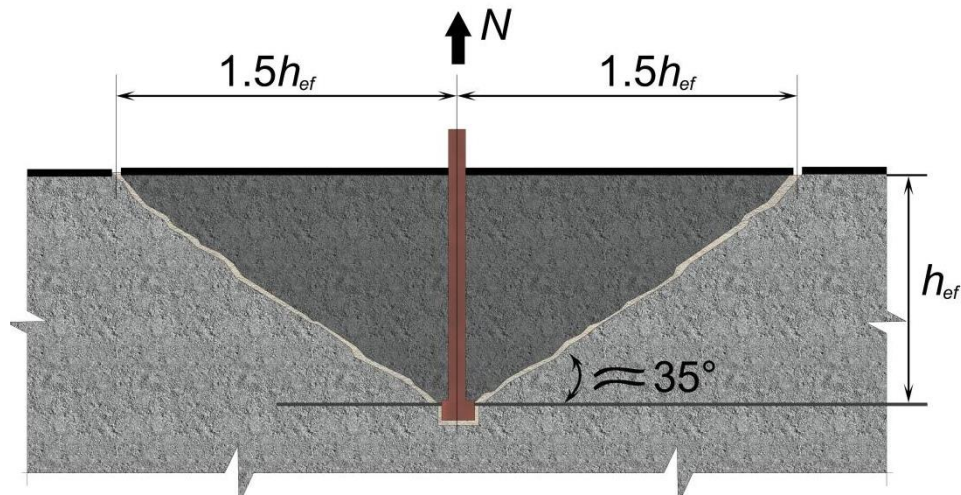


Ilustración 27. Sección a través de un cono de falla.



### 5.5.3 Conectores para encamisados de mampostería

Los requisitos geométricos de conectores para fijar la malla se especifican en el siguiente tomo.

## 5.6 PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE ANCLAS Y CONECTORES

- a) Previa autorización del corresponsable, se diseñarán las anclas y conectores por colocarse en elementos de concreto o de acero, mediante cualquiera de los procedimientos I a III siguientes:
  - I. Anclas y conectores adheridos a elementos de concreto, de acuerdo con las tablas, valores y ecuaciones de fabricantes de resina epóxica y conectores certificados por un organismo nacional de certificación.
  - II. Conectores post-instalados en concreto, de acuerdo con el capítulo 17 del ACI 318-19, en complemento con el ACI 355.2.
  - III. Con las expresiones del inciso c siguiente.
- b) Si se emplean valores sugeridos por fabricantes, se verificará que corresponden a valores de diseño tales que incluyan el factor de resistencia correspondiente.
- c) Expresiones de diseño:

- I. Resistencia a fuerza cortante: la resistencia a fuerza cortante,  $V_a$ , se define como la capacidad resistida por un único anclaje en la interfaz de concreto. La resistencia a fuerza cortante será el menor valor entre  $V_{a1}$  y  $V_{a2}$ , los cuales están determinados por la resistencia del acero y la resistencia del concreto, respectivamente.

- Conectores expansivos

Cuando  $4 d_a \leq h_{ef} < 7 d_a$

$$\begin{aligned}
 V_a &= [V_{a1}, V_{a2}] \\
 V_{a1} &= 0.7 f_{ya} A_{sa} \\
 V_{as} &= 0.3 \sqrt{E_c f'_c} A_{sa} \\
 \text{Siendo } v &= \frac{V_a}{A_{sa}} \text{ no mayor que } 250 \text{ MPa } \left( 2500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)
 \end{aligned}$$

Cuando  $h_{ef} \geq 7 d_a$

$$\begin{aligned}
 V_a &= [V_{a1}, V_{a2}] \\
 V_{a1} &= 0.7 f_{ya} A_{sa} \\
 V_{as} &= 0.4 \sqrt{E_c f'_c} A_{sa} \\
 \text{Siendo } v &= \frac{V_a}{A_{sa}} \text{ no mayor que } 294 \text{ MPa } \left( 2940 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)
 \end{aligned}$$

Conectores adheridos

Cuando  $h_{ef} \geq 7 d_a$

$$\begin{aligned}
 V_a &= [V_{a1}, V_{a2}] \\
 V_{a1} &= 0.7 f_{ya} A_{sa} \\
 V_{as} &= 0.4 \sqrt{E_c f'_c} A_{sa}
 \end{aligned}$$



Siendo  $v = \frac{V_a}{A_{sa}}$  no mayor que 300 MPa (3 000  $\frac{kg}{cm^2}$ )

En donde:

- $d_a$  diámetro nominal de la barra de anclaje para conectores adhesivos o diámetro del fuste del conector de expansión, mm.
- $h_{ef}$  profundidad de empotramiento efectiva del conector, se aceptará como mínimo 40 mm.
- $f_{ya}$  esfuerzo de fluencia del conector, MPa.
- $A_{sa}$  área de la sección transversal del conector de expansión en la interfaz del concreto, o área de la sección transversal del conector adhesivo, mm<sup>2</sup>.
- $f'_c$  esfuerzo especificado de compresión del concreto, MPa.
- $E_c$  módulo de elasticidad del concreto, MPa.

II. Resistencia a tensión: la resistencia a tensión,  $N_a$ , se define como la capacidad resistida por un único anclaje en la interfaz del concreto. La resistencia a tensión será el menor valor entre  $N_{a1}$ , determinado por la resistencia del acero,  $N_{a2}$ , definido por la falla del cono del concreto, y  $N_{a3}$ , controlado por la resistencia de la unión en el conector adhesivo.

#### 1. Conectores expansivos

$$N_a = [N_{a1}, N_{a2}]$$

$$N_{a1} = \min[f_{ya}A_{se}, f_yA_{s0}]$$

$$N_{a2} = 0.23\sqrt{f'_c} A_c$$

#### 2. Conectores adheridos

$$N_a = [N_{a1}, N_{a2}, N_{a3}]$$

$$N_{a1} = f_yA_{s0}$$

$$N_{a2} = 0.23\sqrt{f'_c} A_c$$

$$N_{a3} = v_a\pi d_a l_e$$

$$v_a = 10 \sqrt{\left(\frac{f'_c}{21}\right)}$$

En donde:

- $A_{se}$  área mínima de la sección transversal del conector de expansión, mm<sup>2</sup>.
- $f_y$  esfuerzo especificado de fluencia del acero, MPa.
- $A_{s0}$  área efectiva de la sección transversal de la barra de acero roscada (sin rosca), o área nominal de la sección transversal de la barra de anclaje, mm<sup>2</sup>.



- $A_c$       área proyectada de la superficie de falla del cono de concreto de un anclaje único, que se calcula por medio de la expresión  $A_c = l_{ef}^2$  (tomada del capítulo 17 del ACI 318-19), mm<sup>2</sup>.
- $V_a$       resistencia de unión del ancla adherida contra la fuerza de extracción, MPa.

## 5.7 REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

- Se seguirán las recomendaciones de instalación de los fabricantes de resina epóxica y conectores. Usando productos certificados por un organismo nacional de certificación.
- Previo a la perforación, se identificará la colocación del acero de refuerzo del elemento de concreto existente y se preparará la superficie del concreto que estará en contacto con el nuevo concreto, mediante una rugosidad de 6 mm (1/4 pulg).
- Se hará el agujero usando un taladro de impacto para promover la rugosidad en su cara lateral. Una vez hecho el agujero, con la profundidad y diámetro de diseño, se limpiará por medio de un cepillo para biberones o mediante aspiradora industrial. No se permite limpiar el agujero con aire a presión si éste proviene de un compresor de combustión interna, a menos de que se dirija el aire contra una hoja de papel y se verifique que no haya expulsión de partículas de aceite.
- Se rellena el agujero con resina epóxica hasta dos terceras partes de la profundidad del agujero. Posteriormente, se inserta la barra corrugada o el conector, girando sobre su eje conforme avanza su colocación con lentitud.
- Se retira el exceso de resina.
- Se acepta colocar anclas con barrenos inclinados a 45 grados con respecto a la superficie de concreto, con la misma profundidad que los barrenos perpendiculares a la superficie. En este caso, se dejarán pasar 24 h para doblar en frío la barra para que quede ortogonal a la cara de concreto.

## 5.8 REQUISITOS DE SUPERVISIÓN Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Se debe supervisar que:

- La profundidad y diámetro del agujero cumplan con lo señalado en los planos.
- Se limpie el agujero de polvo o cualquier sustancia que impida la adhesión de la resina con el concreto y que no se use aire comprimido proveniente de equipos de combustión interna.
- Si se opta por usar anclas con barrenos inclinados a 45 grados con respecto a la superficie de concreto, se dejen pasar 24 h para que la resina endurezca antes de doblar la barra en frío.
- Se prohíbe la remoción y reinstalación de anclas y conectores.